Universität Trier

Bernhard Baltes-Götz & Johannes Götz

Einführung in das Programmieren mit Java 7

2012.09.24

Herausgeber: Zentrum für Informations-, Medien- und Kommunikationstechnologie (ZIMK) an der Universität Trier
Universitätsring 15
D-54286 Trier
WWW: http://www.uni-trier.de/index.php?id=518
E-Mail: zimk@uni-trier.de
Tel.: (0651) 201-3417, Fax.: (0651) 3921
Autoren: Bernhard Baltes-Götz & Johannes Götz

Vorwort

Dieses Manuskript entstand als Begleitlektüre zum Java-Einführungskurs, den das Zentrum für Informations-, Medien- und Kommunikationstechnologie (ZIMK) an der Universität Trier im Wintersemester 2011/2012 angeboten hat, sollte aber auch für das Selbststudium geeignet sein. In hoffentlich seltenen Fällen enthält der Text noch Formulierungen, die nur für Kursteilnehmer(innen) perfekt passen.

Inhalte und Lernziele

Die von der Firma **Sun Microsystems** (mittlerweile von der Firma **Oracle** übernommen) entwickelte Programmiersprache Java ist zwar mit dem Internet groß geworden, hat sich jedoch mittlerweile als universelle, für vielfältige Zwecke einsetzbare Lösung etabliert, die als de-facto – Standard für die plattformunabhängige Entwicklung gelten kann. Unter den objektorientierten Programmiersprachen hat Java den größten Verbreitungsgrad, und dieses Paradigma der Softwareentwicklung hat sich praktisch in der gesamten Branche als *state of the art* etabliert.

Die Entscheidung der Firma Sun, Java beginnend mit der Version 6 als **Open Source** unter die GPL **(***General Public License)* zu stellen, ist in der Entwicklerszene positiv aufgenommen worden und trägt sich zum anhaltenden Erfolg der Programmiersprache bei.

Allerdings steht Java nicht ohne Konkurrenz da. Nach dem fehlgeschlagenen Versuch, Java unter der Bezeichnung *J++* als Windows-Programmiersprache zu etablieren, hat die Firma Microsoft mittlerweile mit der Programmiersprache C# für das .NET-Framework ein ebenbürtiges Gegenstück erschaffen (siehe z.B. Baltes-Götz 2011). Beide Konkurrenten inspirieren sich gegenseitig und treiben so den Fortschritt voran.

Das Manuskript beschränkt sich auf die *Java Standard Edition* (JSE) zur Entwicklung von Anwendersoftware auf Desktop-Computern, auf die viele weltweit populäre Softwarepakete setzen (z.B. IBM SPSS Statistics, Matlab). Daneben gibt es sehr erfolgreiche Java-Varianten für unternehmensweite oder serverorientierte Lösungen (*Java Enterprise Edition*, JEE) sowie für Kommunikationsgeräte mit beschränkter Leistung (*Java Micro Edition*, JME).

Im Manuskript geht es nicht um Kochrezepte zur schnellen Erstellung effektvoller Programme, sondern um die systematische Einführung in das Programmieren mit Java. Dabei werden wichtige Konzepte und Methoden der Softwareentwicklung vorgestellt, wobei die objektorientierte Programmierung einen großen Raum einnimmt.

Voraussetzungen bei den Leser(innen)[1]

- **EDV-Allgemeinbildung**
  Dass die Leser(innen) wenigstens durchschnittliche Erfahrungen bei der *Anwendung* von Computerprogrammen haben sollten, versteht sich von selbst.
- **Programmierkenntnisse**
  Programmierkenntnisse werden *nicht* vorausgesetzt. Leser *mit* Programmiererfahrung werden sich bei den ersten Abschnitten eventuell etwas langweilen.
- **EDV-Plattform**
  Im Manuskript wird ein PC unter Windows 7 verwendet. Weil dabei ausschließlich Java-Software zum Einsatz kommt, ist die Plattformunabhängigkeit jedoch garantiert.

Software zum Üben

Für die unverzichtbaren Übungen sollte ein Rechner zur Verfügung stehen, auf dem das Java SE Development Kit 7.0 der Firma Sun mitsamt der zugehörigen Dokumentation installiert ist. Als integrierte Entwicklungsumgebung zum komfortablen Erstellen von Java-Software wird Eclipse in der Version ab 3.7.1 empfohlen. Die genannte Software ist kostenlos für alle signifikanten Plattfor-

[1] Zugunsten einer guten Lesbarkeit beschränkt sich das Manuskript meist auf die männliche Form.

men (z.B. Linux, MacOS, UNIX, Windows) im Internet verfügbar. Nähere Hinweise zum Bezug, zur Installation und zur Verwendung folgen in Abschnitt 2.1.

Dateien zum Manuskript

Die aktuelle Version dieses Manuskripts ist zusammen mit den behandelten Beispielen und Lösungsvorschläge zu vielen Übungsaufgaben auf dem Webserver der Universität Trier von der Startseite (http://www.uni-trier.de/) ausgehend folgendermaßen zu finden:

Rechenzentrum > Studierende > EDV-Dokumentationen >
Programmierung > Einführung in das Programmieren mit Java

Leider blieb zu wenig Zeit für eine sorgfältige Kontrolle des Texts, so dass einige Fehler und Mängel verblieben sein dürften. Entsprechende Hinweise an die Mail-Adresse

baltes@uni-trier.de

werden dankbar entgegen genommen.

Trier, im September 2012 Bernhard Baltes-Götz & Johannes Götz

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Im ersten Kapitel geht es zunächst um die Denk- und Arbeitsweise (leicht übertrieben: die *Weltanschauung*) der objektorientierten Programmierung. Danach wird Java als Software-Technologie vorgestellt.

1.1 Beispiel für die objektorientierte Softwareentwicklung mit Java

In diesem Abschnitt soll eine Vorstellung davon vermittelt werden, was ein Computerprogramm (in Java) ist. Dabei kommen einige Grundbegriffe der Informatik zur Sprache, wobei wir uns aber nicht unnötig lange von der Praxis fernhalten wollen.

Ein Computerprogramm besteht im Wesentlichen (von Medien und anderen Ressourcen einmal abgesehen) aus einer Menge von wohlgeformten und wohlgeordneten *Definitionen* und *Anweisungen* zur Bewältigung einer bestimmten Aufgabe. Ein Programm muss ...

- den betroffenen Anwendungsbereich *modellieren*
  Beispiel: In einem Programm zur Verwaltung einer Spedition sind z.B. Kunden, Aufträge, Fahrer, Fahrzeuge, Touren (Einsatzfahrten), (Ent-)ladestationen etc. und kommunikative Prozesse (als Nachrichten zwischen beteiligten Agenten) zu repräsentieren.
- *Algorithmen* realisieren, die in endlich vielen Schritten und unter Verwendung von endlich vielen Betriebsmitteln (z.B. Speicher) bestimmte Ausgangszustände in akzeptable Zielzustände überführen.
  Beispiel: Im Speditionsprogramm muss u.a. für jede Tour zu den meist mehreren (Ent-)ladestationen eine optimale Route ermittelt werden (hinsichtlich Entfernung, Fahrtzeit, Mautkosten etc.).

Wir wollen präzisere und komplettere Definitionen zum komplexen Begriff eines Computerprogramms den Lehrbüchern überlassen (siehe z.B. Goll et al. 2000) und stattdessen ein Beispiel im Detail betrachten, um einen Einstieg in die Materie zu finden.

Bei der Suche nach einem geeigneten Java-Einstiegsbeispiel tritt ein Dilemma auf:

- Einfache Beispiele sind für das Programmieren mit Java nicht besonders repräsentativ, z.B. ist von der Objektorientierung außer einem gewissen Formalismus nichts vorhanden.
- Repräsentative Java-Programme eignen sich in der Regel wegen ihrer Länge und Komplexität (aus der Sicht des Anfängers) nicht für eine Detailanalyse. Beispielsweise können wir das eben zur Illustration einer realen Aufgabenstellung verwendete, aber potentiell sehr aufwendige, Speditionsverwaltungsprogramm jetzt nicht im Detail vorstellen.

Wir analysieren stattdessen ein Beispielprogramm, das trotz angestrebter Einfachheit nicht auf objektorientiertes Programmieren (OOP) verzichtet. Seine Aufgabe besteht darin, elementare Operationen mit Brüchen auszuführen (Kürzen, Addieren), womit es etwa einem Schüler beim Anfertigen der Hausaufgaben (zur Kontrolle der eigenen Lösungen) nützlich sein kann.

1.1.1 Objektorientierte Analyse und Modellierung

Einer objektorientierten Programmentwicklung geht die **objektorientierte Analyse** der Aufgabenstellung voran mit dem Ziel einer Modellierung durch kooperierende **Klassen**. Man identifiziert per **Abstraktion** die beteiligten **Objektsorten** und definiert für sie jeweils eine **Klasse**. Eine solche Klasse ist gekennzeichnet durch:

- **Eigenschaften bzw. Zustände** (in Java repräsentiert durch **Felder**)
  Viele Eigenschaften (bzw. Zustände) gehören zu den *Objekten* bzw. *Instanzen* der Klasse (z.B. Zähler und Nenner eines Bruchs), manche gehören zur Klasse selbst (z.B. Anzahl der in einem Programmeinsatz bereits erzeugten Brüche).

  Im letztlich entstehenden Programm landet jede Eigenschaft in einer so genannten *Variablen*. Dies ist ein benannter Speicherplatz, der Werte eines bestimmten Typs (z.B. Zahlen, Zeichen) aufnehmen kann. Variablen zur Repräsentation der Eigenschaften von Objekten oder Klassen werden in Java meist als *Felder* bezeichnet.
- **Handlungskompetenzen** (in Java repräsentiert durch **Methoden**)
  Analog zu den Eigenschaften sind auch die Handlungskompetenzen entweder individuellen Objekten bzw. Instanzen zugeordnet (z.B. das Kürzen bei Brüchen) oder der Klasse selbst (z.B. das Erstellen neuer Objekte). Im letztlich entstehenden Programm sind die Handlungskompetenzen durch so genannte *Methoden* repräsentiert. Diese ausführbaren Programmbestandteile enthalten die oben angesprochenen Algorithmen. Die Kommunikation zwischen Klassen bzw. Objekten besteht darin, ein anderes Objekt oder eine andere Klasse aufzufordern, eine bestimmte Methode auszuführen.

Eine Klasse …

- kann einerseits **Bauplan für konkrete Objekte** sein, die im Programmablauf je nach Bedarf erzeugt und mit der Ausführung bestimmter Methoden beauftragt werden,
- kann andererseits aber auch **Akteur** sein (Methoden ausführen und aufrufen).

Weil der Begriff *Klasse* gegenüber dem Begriff *Objekt* dominiert, hätte man eigentlich die Bezeichnung *klassenorientierte Programmierung* wählen sollen. Allerdings gibt es nun keinen ernsthaften Grund, die eingeführte Bezeichnung *objektorientierte Programmierung* zu ändern.

Dass jedes Objekt gleich in eine Klasse („Schublade“) gesteckt wird, mögen die Anhänger einer ausgeprägt individualistischen Weltanschauung bedauern. Auf einem geeigneten Abstraktionsniveau betrachtet lassen sich jedoch die meisten Objekte der realen Welt ohne großen Informationsverlust in Klassen einteilen. Bei einer definitiv nur *einfach* zu besetzenden Rolle kann eine Klasse zum Einsatz kommen, die ausnahmsweise *nicht* zum Instantiieren (Erzeugen von Objekten) gedacht ist sondern als Akteur.

In unserem Bruchrechnungsbeispiel kann man sich bei der objektorientierten Analyse vorläufig auf die Klasse der *Brüche* beschränken. Beim möglichen Ausbau des Programms zu einem Bruchrechnungstrainer kommen jedoch sicher weitere Klassen hinzu (z.B. Aufgabe, Übungsaufgabe, Testaufgabe).

Dass Zähler und Nenner die zentralen **Eigenschaften** eines Bruchs sind, bedarf keiner Begründung. Sie werden in der Klassendefinition durch ganzzahlige Felder (Java-Datentyp **int**) repräsentiert:

- `zaehler`
- `nenner`

Auf die oben als Möglichkeit genannte klassenbezogene Eigenschaft mit der Anzahl bereits erzeugter Brüche wird (vorläufig) verzichtet.

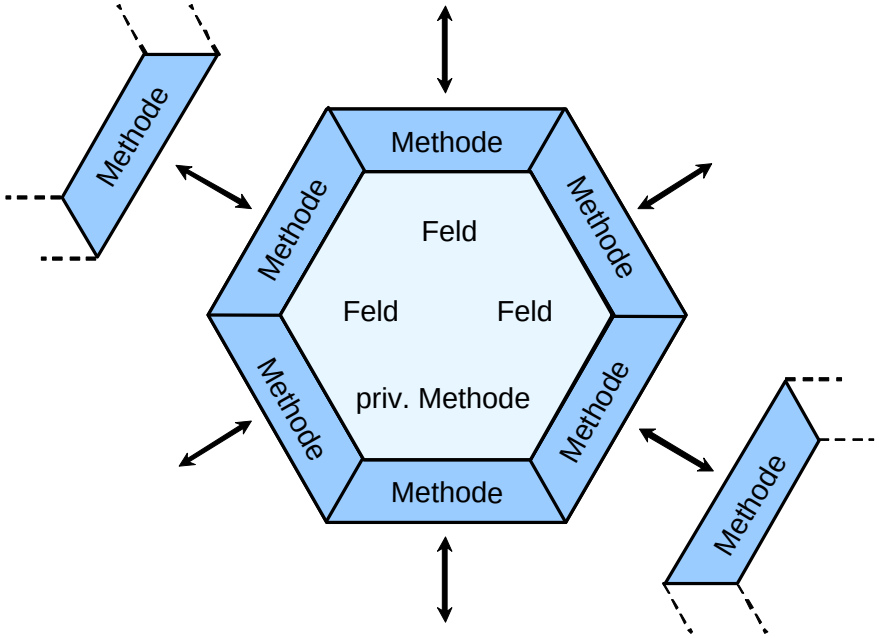
Im objektorientierten Paradigma ist jede Klasse für die Manipulation ihrer Eigenschaften selbst verantwortlich. Diese sollen **eingekapselt** und so vor direktem Zugriff durch fremde Klassen geschützt sein. So kann sichergestellt werden, dass nur sinnvolle Änderungen der Eigenschaften möglich sind. Außerdem wird aus später zu erläuternden Gründen die Produktivität der Softwareentwicklung durch die Datenkapselung gefördert.

Demgegenüber sind die **Handlungskompetenzen** (Methoden) einer Klasse in der Regel von anderen Agenten (Klassen, Objekten) ansprechbar, wobei es aber auch *private* Methoden für den aus-

schließlich internen Gebrauch gibt. Die *öffentlichen* Methoden einer Klasse bilden ihre **Schnittstelle** zur Kommunikation mit anderen Klassen.

Die folgende, an Goll et al. (2000) angelehnte Abbildung zeigt für eine Klasse ...

- im gekapselten Bereich ihre Felder sowie eine private Methode
- die Kommunikationsschnittstelle mit den öffentlichen Methoden



Die **Objekte** (Exemplare, Instanzen) einer Klasse, d.h. die nach diesem Bauplan erzeugten Individuen, sollen in der Lage sein, auf eine Reihe von **Nachrichten** mit einem bestimmten Verhalten zu reagieren. In unserem Beispiel sollte die Klasse `Bruch` z.B. eine Instanzmethode zum Kürzen besitzen. Dann kann einem konkreten `Bruch`-Objekt durch Aufrufen dieser Methode die Nachricht zugestellt werden, dass es Zähler und Nenner kürzen soll.

Sich unter einem `Bruch` ein Objekt vorzustellen, das Nachrichten empfängt und mit einem passenden Verhalten beantwortet, ist etwas gewöhnungsbedürftig. In der realen Welt sind Brüche, die sich selbst auf ein Signal hin kürzen, nicht unbedingt alltäglich, wenngleich möglich (z.B. als didaktisches Spielzeug). Das objektorientierte Modellieren eines Anwendungsbereichs ist nicht unbedingt eine direkte Abbildung, sondern eine *Rekonstruktion*. Einerseits soll der Anwendungsbereich im Modell gut repräsentiert sein, andererseits soll eine möglichst stabile, gut erweiterbare und wieder verwendbare Software entstehen.

Um Objekten aus fremden Klassen trotz Datenkapselung die Veränderung einer Eigenschaft zu erlauben, müssen entsprechende Methoden (mit geeigneten Kontrollmechanismen) angeboten werden. Unsere `Bruch`-Klasse sollte als über Methoden zum Verändern von Zähler und Nenner verfügen (z.B. mit den Namen `setzeZaehler()` und `setzeNenner()`). Bei einer geschützten Eigenschaft ist auch der direkte *Lese*zugriff ausgeschlossen, so dass im `Bruch`-Beispiel auch noch Methoden zum Ermitteln von Zähler und Nenner erforderlich sind (z.B. mit den Namen `gibZaehler()` und `gibNenner()`). Eine konsequente Umsetzung der Datenkapselung erzwingt also eventuell eine ganze Serie von Methoden zum Lesen und Setzen von Eigenschaftswerten.

Mit diesem Aufwand werden aber erhebliche Vorteile realisiert:

- **Stabilität**
  Die Eigenschaften sind vor unsinnigen und gefährlichen Zugriffen geschützt, wenn Veränderungen nur über die vom Klassendesigner entworfenen Methoden möglich sind. Treten doch Fehler auf, sind diese leichter zu identifizieren, weil nur wenige Methoden verantwortlich sein können.

- **Produktivität**
  Durch Datenkapselung wird die **Modularisierung** unterstützt, so dass bei der Entwicklung großer Softwaresysteme zahlreiche Programmierer reibungslos zusammenarbeiten können. Der Klassendesigner trägt die Verantwortung dafür, dass die von ihm entworfenen Methoden korrekt arbeiten. Andere Programmierer müssen beim Verwenden einer Klasse lediglich die Methoden der Schnittstelle kennen. Das Innenleben einer Klasse kann vom Designer nach Bedarf geändert werden, ohne dass andere Programmbestandteile angepasst werden müssen. Bei einer sorgfältig entworfenen Klasse stehen die Chancen gut, dass sie in mehreren Software-Projekten genutzt werden kann (**Wiederverwendbarkeit**). Besonders günstig ist die Recycling-Quote bei den Klassen der Java–Standardbibliothek (siehe Abschnitt 1.2.3), von denen alle Java-Programmierer regen Gebrauch machen.

Nach obigen Überlegungen sollten die Objekte unserer `Bruch`-Klasse folgende Methoden beherrschen:

- `setzeZaehler(int zpar)`, `setzeNenner(int npar)`
  Das Objekt wird beauftragt, seinen `zaehler` bzw. `nenner` auf einen bestimmten Wert zu setzen. Ein direkter Zugriff auf die Eigenschaften soll fremden Klassen nicht erlaubt sein (Datenkapselung). Bei dieser Vorgehensweise kann das Objekt z.B. verhindern, dass sein Nenner auf Null gesetzt wird.

  Wie die Beispiele zeigen, wird dem Namen einer Methode eine in runden Klammern eingeschlossene, eventuell leere Parameterliste angehängt. Methodenparameter, mit denen wir uns noch ausführlich beschäftigen werden, haben einen Namen (z.B. `zpar`) und einen Datentyp. Im Beispiel erlaubt der Datentyp **int** ganze Zahlen als Werte.
- `gibZaehler()`, `gibNenner()`
  Das `Bruch`-Objekt wird beauftragt, den Wert seiner Zähler- bzw. Nenner-Eigenschaft mitzuteilen. Diese Methoden sind erforderlich, weil ein direkter Zugriff auf die Eigenschaften nicht vorgesehen ist. Aus der Datenkapselung resultiert für ein betroffenes Feld neben dem Schreibschutz stets auch eine Lesesperre.
- `kuerze()`
  Das Objekt wird beauftragt, `zaehler` und `nenner` zu kürzen. Welcher Algorithmus dazu benutzt wird, bleibt dem Objekt bzw. dem Klassendesigner überlassen.
- `addiere(Bruch b)`
  Das Objekt wird beauftragt, den als Parameter übergebenen Bruch zum eigenen Wert zu addieren. Wir werden uns noch ausführlich damit beschäftigen, wie man beim Aufruf einer Methode ihr Verhalten durch die Übergabe von Parametern (Argumenten) steuert.
- `frage()`
  Das Objekt wird beauftragt, `zaehler` und `nenner` beim Anwender via Konsole (Eingabeaufforderung) zu erfragen.
- `zeige()`
  Das Objekt wird beauftragt, `zaehler` und `nenner` auf der Konsole anzuzeigen.

In realen (komplexeren) Programmen wird keinesfalls *jedes* gekapselte Feld über ein Methodenpaar zum Lesen und geschützten Schreiben durch die Außenwelt erschlossen.

Beim Eigenschaftsbegriff ist eine (ungefährliche) Zweideutigkeit festzustellen, die je nach Anwendungsbeispiel mehr oder spürbar wird (beim Bruchrechnungsbeispiel überhaupt nicht). Man kann unterscheiden:

- real definierte, meist gekapselte Felder
  Diese sind für die Außenwelt (für andere Klassen) irrelevant und unbekannt. In diesem Sinn wurde der Begriff oben eingeführt.

- nach Außen dargestellte Eigenschaften
  Eine solche Eigenschaft ist über Methoden zum Lesen und Schreiben zugänglich und *nicht* unbedingt durch ein einzelnes Feld realisiert.

Wir sprechen im Manuskript meist über *Felder* und *Methoden*, wobei keinerlei Mehrdeutigkeit besteht.

Man verwendet für die in einer Klasse definierten Bestandteile oft die Bezeichnung **Member**, gelegentlich auch die deutsche Übersetzung **Mitglieder**. Unsere `Bruch`-Klasse enthält folgende Member:

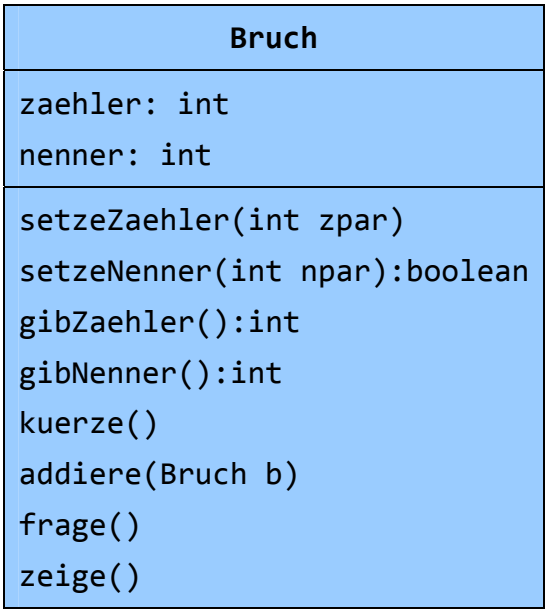
- Felder
  `zaehler`, `nenner`
- Methoden
  `setzeZaehler()`, `setzeNenner()`, `gibZaehler()`, `gibNenner()`, `kuerze()`, `addiere()`, `frage()` und `zeige()`

Von kommunizierenden Objekten und Klassen mit Handlungskompetenzen zu sprechen, mag als übertriebener Anthropomorphismus (als Vermenschlichung) erscheinen. Bei der Ausführung von Methoden sind Objekte und Klassen selbstverständlich streng determiniert, während Menschen bei Kommunikation und Handlungsplanung ihren freien Willen einbringen!? Fußball spielende Roboter (als besonders anschauliche Objekte aufgefasst) zeigen allerdings mittlerweile schon recht weitsichtige und auch überraschende Spielzüge. Was sie noch zu lernen haben, sind vielleicht Strafraumschwalben, absichtliches Handspiel etc. Nach diesen Randbemerkungen kehren wir zum Programmierkurs zurück, um möglichst bald freundliche und kluge Objekte erstellen zu können.

Um die durch objektorientierte Analyse gewonnene Modellierung eines Anwendungsbereichs standardisiert und übersichtlich zu beschreiben, wurde die **Unified Modeling Language** (UML) entwickelt. Hier wird eine Klasse durch ein Rechteck mit drei Abschnitten dargestellt:

- Oben steht der **Name** der Klasse.
- In der Mitte stehen die **Eigenschaften** (**Felder**).
  Hinter dem Namen einer Eigenschaft gibt man ihren Datentyp an (z.B. **int** für ganze Zahlen).
- Unten stehen die **Handlungskompetenzen** (**Methoden**).
  In Anlehnung an eine in vielen Programmiersprachen (wie z.B. Java) übliche Syntax zur Methodendefinition gibt man für die Argumente eines Methodenaufrufs sowie für den Rückgabewert (falls vorhanden) den Datentyp an. Was mit letzten Satz genau gemeint ist, werden Sie bald erfahren.

Für die `Bruch`-Klasse erhält man folgende Darstellung:



Sind bei einer Anwendung *mehrere* Klassen beteiligt, dann sind auch die *Beziehungen* zwischen den Klassen wesentliche Bestandteile des Modells.

Nach der sorgfältigen Modellierung per UML muss übrigens die Kodierung eines Softwaresystems nicht am Punkt Null beginnen, weil UML-Entwicklerwerkzeuge üblicherweise Teile des Quellcodes automatisch aus dem Modell erzeugen können.[1]

Das relativ einfache Einstiegsbeispiel sollte Sie nicht dazu verleiten, den Begriff *Objekt* auf *Gegenstände* zu beschränken. Auch *Ereignisse* wie z.B. die Fehler eines Schülers in einem entsprechend ausgebauten Bruchrechnungsprogramm kommen als *Objekte* in Frage.

1.1.2 Objektorientierte Programmierung

In unserem einfachen Beispielprojekt soll nun die `Bruch`-Klasse in der Programmiersprache Java kodiert werden, wobei die Felder (Eigenschaften) zu deklarieren und die Methoden zu implementieren sind. Es resultiert der so genannte **Quellcode**, der in einer Textdatei namens **Bruch.java** untergebracht werden muss.

Zwar sind Ihnen die meisten Details der folgenden Klassendefinition selbstverständlich jetzt noch fremd, doch sind die Variablendeklarationen und Methodenimplementationen als zentrale Bestandteile leicht zu erkennen. Außerdem sind Sie nach den ausführlichen Erläuterungen zur Datenkapselung sicher an der technischen Umsetzung interessiert. Die beiden Felder (`zaehler`, `nenner`) werden durch eine **private**-Deklaration vor direkten Zugriffen durch fremde Klassen geschützt. Demgegenüber werden die Methoden über den Modifikator **public** für die Verwendung in klassenfremden Methoden frei gegeben. Für die Klasse selbst wird mit dem Modifikator **public** die Verwendung in beliebigen Java-Programmen erlaubt.

---

[1] Für die im Kurs bevorzugte Java-Entwicklungsumgebung Eclipse (siehe Abschnitt 2) sind etliche, teilweise kostenlose UML-Werkzeuge verfügbar (siehe z.B. http://www.eclipse.org/modeling/mdt/).

```
public class Bruch {
   private int zaehler;// wird automatisch mit 0 initialisiert
   private int nenner = 1;

   public void setzeZaehler(int zpar) {zaehler = zpar;}

   public boolean setzeNenner(int n) {
      if (n != 0) {
         nenner = n;
         return true;
      } else
         return false;
   }

   public int gibZaehler() {return zaehler;}

   public int gibNenner() {return nenner;}

   public void kuerze() {
      // größten gemeinsamen Teiler mit dem Euklidischen Algorithmus bestimmen
      if (zaehler != 0) {
         int ggt = 0;
         int az = Math.abs(zaehler);
         int an = Math.abs(nenner);
         do {
            if (az == an)
               ggt = az;
            else
               if (az > an)
                  az = az - an;
               else
                  an = an - az;
         } while (ggt == 0);

         zaehler /= ggt;
         nenner  /= ggt;
   } else
     nenner = 1;
   }

   public void addiere(Bruch b) {
      zaehler = zaehler*b.nenner + b.zaehler*nenner;
      nenner = nenner*b.nenner;
      kuerze();
   }

  public void frage() {
   int n;
   do {
     System.out.print("Zaehler: ");
     setzeZaehler(Simput.gint());
   } while (Simput.checkError());
   do {
     System.out.print("Nenner : ");
     n = Simput.gint();
     if (n == 0 && !Simput.checkError())
       System.out.println("Der Nenner darf nicht Null werden!\n");
   } while (n == 0);
   setzeNenner(n);
   }
   public void zeige() {
      System.out.println("    "+zaehler+"\n -----\n    "+nenner);
   }
}
```

Allerdings ist das Programm schon zu umfangreich für die bald anstehenden ersten Gehversuche mit der Softwareentwicklung in Java.

Wie Sie bei späteren Beispielen erfahren werden, dienen in einem objektorientierten Programm beileibe nicht alle Klassen zur Modellierung des Aufgabenbereichs. Es sind auch Objekte aus der Welt des Computers zu repräsentieren (z.B. Fenster der Bedienoberfläche, Netzwerkverbindungen, Störungen des normalen Programmablaufs).

1.1.3 Algorithmen

Am Anfang von Abschnitt 1.1 wurden mit der *Modellierung des Anwendungsbereichs* und der *Realisierung von Algorithmen* zwei wichtige Aufgaben der Softwareentwicklung genannt, von denen die letztgenannte bisher kaum zur Sprache kam. Auch im weiteren Verlauf des Manuskripts wird die explizite Diskussion von Algorithmen (z.B. hinsichtlich Voraussetzungen, Korrektheit, Terminierung und Aufwand) keinen großen Raum einnehmen. Wir werden uns intensiv mit der Programmiersprache Java sowie der zugehörigen Standardbibliothek beschäftigen und dabei mit möglichst einfachen Beispielprogrammen (Algorithmen) arbeiten.

Unser Einführungsbeispiel verwendet in der Methode `kuerze()` den bekannten und nicht gänzlich trivialen **euklidischen Algorithmus**, um den größten gemeinsamen Teiler (ggT) von Zähler und Nenner eines Bruchs zu bestimmen, durch den zum optimalen Kürzen beide Zahlen zu dividieren sind. Beim euklidischen Algorithmus wird die leicht zu beweisende Aussage genutzt, dass für zwei natürliche Zahlen (1, 2, 3, …) u und v ($u > v > 0$) der ggT gleich dem ggT von v und (u - v) ist:

Ist t ein Teiler von u und v, dann gibt es natürliche Zahlen t_u und t_v mit $t_u > t_v$ und

$$u = t_u \cdot t \quad \text{sowie} \quad v = t_v \cdot t$$

Folglich ist t auch ein Teiler von (u - v), denn:

$$u - v = (t_u - t_v) \cdot t$$

Ist andererseits t ein Teiler von u und ($u – v$), dann gibt es natürliche Zahlen t_u und t_d mit $t_u > t_d$ und

$$u = t_u \cdot t \quad \text{sowie} \quad (u - v) = t_d \cdot t$$

Folglich ist t auch ein Teiler von v:

$$u - (u - v) = v = (t_u - t_d) \cdot t$$

Weil die Paare (u, v) und (u - v, v) dieselben Mengen gemeinsamer Teiler besitzen, sind auch die größten gemeinsamen Teiler identisch. Weil die Zahl Eins als trivialer Teiler zugelassen ist, existiert übrigens zu zwei natürlichen Zahlen immer ein größter gemeinsamer Teiler, der eventuell gleich Eins ist.

Dieses Ergebnis wird in `kuerze()` folgendermaßen ausgenutzt:

Es wird geprüft, ob Zähler und Nenner identisch sind. Trifft dies zu, ist der ggT gefunden (identisch mit Zähler und Nenner). Anderenfalls wird die größere der beiden Zahlen durch deren Differenz ersetzt, und mit diesem verkleinerten Problem startet das Verfahren neu.

Man erhält auf jeden Fall in endlich vielen Schritten zwei identische Zahlen und damit den ggT.

Der beschriebene Algorithmus eignet sich dank seiner Einfachheit gut für das Einführungsbeispiel, ist aber in Bezug auf den erforderlichen Berechnungsaufwand nicht überzeugend. In einer Übungsaufgabe zu Abschnitt 3.7 werden Sie eine erheblich effizientere Variante implementieren.

1.1.4 Startklasse und main()-Methode

Bislang wurde im Anwendungsbeispiel aufgrund einer objektorientierten Analyse des Aufgabenbereichs die Klasse `Bruch` entworfen und in Java realisiert. Wir verwenden nun die `Bruch`-Klasse in einer Konsolenanwendung zur Addition von zwei Brüchen. Dabei bringen wir einen Akteur ins

Spiel, der in einem einfachen sequentiellen Handlungsplan `Bruch`-Objekte erzeugt und ihnen Nachrichten zustellt, die (zusammen mit dem Verhalten des Anwenders) den Programmablauf voranbringen.

In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, dass es in *jedem* Java - Programm eine **Startklasse** geben muss, die eine Methode mit dem Namen **main()** in ihren klassenbezogenen Handlungsrepertoire besitzt. Beim Start eines Programms wird seine Startklasse ausfindig gemacht und aufgefordert, ihre **main()**-Methode auszuführen.

Es bietet sich an, die oben angedachte Handlungssequenz des Bruchadditionsprogramms in der obligatorischen Startmethode unterzubringen.

Obwohl prinzipiell möglich, erscheint es nicht sinnvoll, die auf Wiederverwendbarkeit hin konzipierte `Bruch`-Klasse mit der Startmethode für eine sehr spezielle Anwendung zu belasten. Daher definieren wir eine zusätzliche Klasse namens `BruchAddition`, die nicht als Bauplan für Objekte dienen soll und auch kaum Recycling-Chancen hat. Ihr Handlungsrepertoire kann sich auf die *Klassenmethode* **main()** zur Ablaufsteuerung im Bruchadditionsprogramm beschränken. Indem wir eine *neue* Klasse definieren und dort `Bruch`-Objekte verwenden, wird u.a. gleich demonstriert, wie leicht das Hauptergebnis unserer Arbeit (die `Bruch`-Klasse) für verschiedene Projekte genutzt werden kann.

In der `BruchAddition`–Methode **main()** werden zwei Objekte (Instanzen) aus der Klasse `Bruch` erzeugt und mit der Ausführung verschiedener Methoden beauftragt. Beim Erzeugen der Objekte ist eine spezielle Methode der Klasse `Bruch` beteiligt, der so genannte **Konstruktor** (siehe unten):

Quellcode	Ein- und Ausgabe

```
class BruchAddition {
 public static void main(String[] args) {
  Bruch b1 = new Bruch(), b2 = new Bruch();

  System.out.println("1. Bruch");
  b1.frage();
  b1.kuerze();
  b1.zeige();

  System.out.println("\n2. Bruch");
  b2.frage();
  b2.kuerze();
  b2.zeige();

  System.out.println("\nSumme");
  b1.addiere(b2);
  b1.zeige();
 }
}
```

```
1. Bruch
Zaehler: 20
Nenner : 84
    5
  -----
    21


2. Bruch
Zaehler: 12
Nenner : 36
    1
  -----
    3


Summe
    4
  -----
    7
```

Wir haben zur Lösung der Aufgabe, ein Programm für die Addition von Brüchen zu erstellen, zwei Klassen mit folgender Rollenverteilung definiert:

- Die Klasse `Bruch` enthält den Bauplan für die wesentlichen Akteure im Aufgabenbereich. Dort alle Eigenschaften und Handlungskompetenzen von Brüchen zu konzentrieren, hat folgende Vorteile:
  - Die Klasse kann in verschiedenen Programmen eingesetzt werden (Wiederverwendbarkeit). Dies fällt vor allem deshalb so leicht, weil die Objekte Handlungskompetenzen (Methoden) **und** alle erforderlichen Eigenschaften (Felder) besitzen.
    Wir müssen bei der Definition dieser Klasse ihre allgemeine Verfügbarkeit explizit

mit dem Zugriffsmodifikator **public** genehmigen. Per Voreinstellung ist eine Klasse nur im eigenen Paket (siehe Kapitel 9) verfügbar.

  - Beim Umgang mit den `Bruch`–Objekten sind wenige Probleme zu erwarten, weil nur klasseneigene Methoden Zugang zu kritischen Eigenschaften haben (Datenkapselung). Sollten doch Fehler auftreten, sind die Ursachen in der Regel schnell identifiziert.

- Die Klasse `BruchAddition` dient *nicht* als Bauplan für Objekte, sondern enthält eine Klassenmethode **main()**, die beim Programmstart automatisch aufgerufen wird und dann für einen speziellen Einsatz von `Bruch`-Objekten sorgt. Mit einer Wiederverwendung des `BruchAddition`-Quellcodes in anderen Projekten ist kaum zu rechnen.

In der Regel bringt man den Quellcode jeder Klasse in einer eigenen Datei unter, die den Namen der Klasse trägt, ergänzt um die Namenserweiterung **.java**, so dass im Beispielsprojekt die Quellcodedateien **Bruch.java** und **BruchAddition.java** entstehen. Weil die Klasse `Bruch` mit dem Zugriffsmodifikator **public** definiert wurde, *muss* ihr Quellcode unbedingt in einer Datei mit dem Namen **Bruch.java** gespeichert werden (siehe unten). Es ist erlaubt, aber nicht empfehlenswert, den Quellcode der Klass `BruchAddition` ebenfalls in der Datei **Bruch.java** unterzubringen.

Wie aus den beiden vorgestellten Klassen ein ausführbares Programm entsteht, erfahren Sie in Abschnitt 2. Wer sich schon jetzt von der Nützlichkeit unseres Bruchadditionsprogramms überzeugen möchte, findet eine ausführbare Version an der im Vorwort angegebenen Stelle im Ordner

...\BspUeb\Einleitung\Bruch\Konsole

und kann die beiden Dateien **Bruch.class** und **BruchAddition.class** mit ausführbarem Java-Bytecode (siehe unten) auf einen eigenen Datenträger kopieren. Weil die Klasse `Bruch` wie viele andere im Manuskript verwendete Beispielklassen mit konsolenorientierter Benutzerinteraktion die (nicht zur Java-Standardbibliothek gehörige) Klasse `Simput` verwendet, muss auch die Klassendatei **Simput.class** übernommen werden. Sobald Sie die zur Vereinfachung der Konsoleneingabe (*Simple Input*) für das Manuskript entworfene Klasse `Simput` in eigenen Programmen einsetzen sollen, wird sie näher vorgestellt. In Abschnitt 2.2.4 lernen Sie eine Möglichkeit kennen, die in mehreren Projekten benötigten **class**-Dateien zentral abzulegen und durch eine passende Definition der Umgebungsvariablen CLASSPATH allgemein verfügbar zu machen.

Gehen Sie folgendermaßen vor, um die Klasse `BruchAddition` zu starten:

- Öffnen Sie ein Konsolenfenster, z.B. mit

  Start > Alle Programme > Zubehör > Eingabeaufforderung

- Wechseln Sie zum Ordner mit den **class**-Dateien, z.B.:

```
u:
cd \Eigene Dateien\Java\Einleitung\Bruch\Konsole
```

- Starten Sie das Programm unter Beachtung der Groß/Kleinschreibung mit

```
java BruchAddition
```

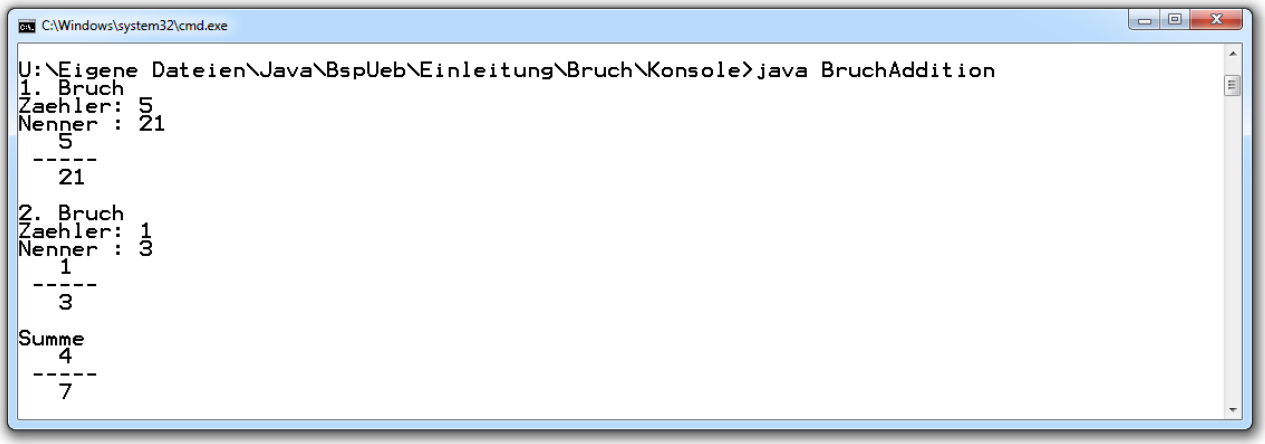
  Zum Starten eines Programms ruft man eine **Java Runtime Environment** (JRE, vgl. Abschnitt 1.2.2) auf und gibt als Kommandozeilenoption die Startklasse an.

- Eine noch fehlende JRE besorgt man sich in der Regel bei der Firma **Oracle** über die Webseite

  http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html

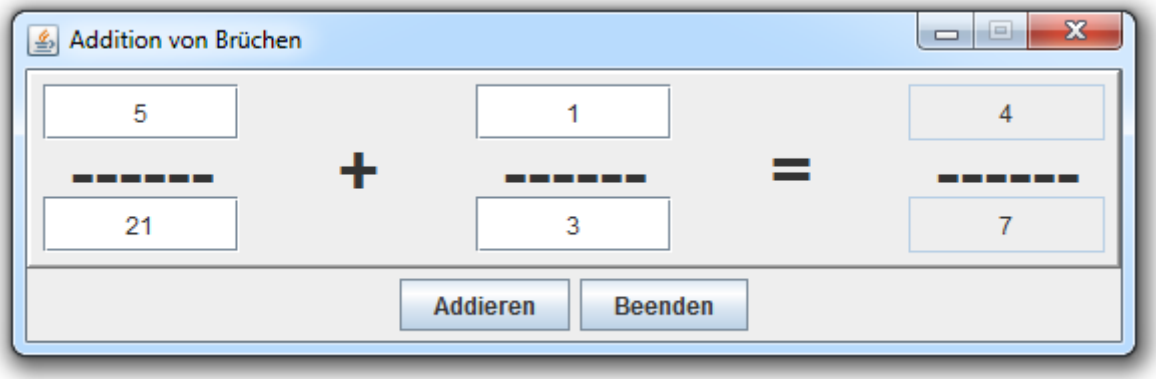
  Bei der in Abschnitt 2.1 beschriebenen und für Programmierer empfohlenen JDK-Installation (*Java Development Kit*) landet auch eine JRE auf der Festplatte, so dass keine zusätzliche JRE-Installation erforderlich ist.

Ab jetzt sind Bruchadditionen kein Problem mehr:



1.1.5 Ausblick auf Anwendungen mit graphischer Benutzerschnittstelle

Das obige Beispielprogramm arbeitet der Einfachheit halber mit einer konsolenorientierten Ein- und Ausgabe. Nachdem wir im Manuskript in dieser übersichtlichen Umgebung grundlegende Sprachelemente kennen gelernt haben, werden wir uns natürlich auch mit der Programmierung von graphischen Bedienoberflächen beschäftigen. In folgendem Programm zur Addition von Brüchen wird die oben definierte Klasse `Bruch` verwendet, wobei an Stelle ihrer Methoden `frage()` und `zeige()` jedoch Grafikorientierte Techniken zum Einsatz kommen:



Mit dem Quellcode zur Gestaltung der graphischen Bedienoberfläche könnten Sie im Moment noch nicht allzu viel anfangen. Nach der Lektüre des Manuskripts werden Sie derartige Anwendungen aber mit Leichtigkeit erstellen, zumal die im Manuskript bevorzugte Entwicklungsumgebung *Eclipse* (siehe Abschnitt 2.4) die Erstellung graphischer Bedienoberflächen durch den WindowBuilder sehr erleichtert.

Zum Ausprobieren des Programms startet man mit Hilfe der Java Runtime Environment (JRE), vgl. Abschnitt 1.2.2) aus dem Ordner

...\BspUeb\Einleitung\Bruch\GUI

die Klasse `BruchAdditionGui`:

```
javaw BruchAdditionGui
```

`BruchAdditionGui` stützt sich auf etliche andere Klassen, die im selben Ordner anwesend sein müssen.

1.1.6 Zusammenfassung zu Abschnitt 1.1

Im Abschnitt 1.1 sollten Sie einen ersten Eindruck von der Softwareentwicklung mit Java gewinnen. Alle dabei erwähnten Konzepte der objektorientierter Programmierung und technischen Details der Realisierung in Java werden bald systematisch behandelt und sollten Ihnen daher im Moment noch keine Kopfschmerzen bereiten. Trotzdem kann es nicht schaden, an dieser Stelle einige Kernaussagen von Abschnitt 1.1 zu wiederholen:

- Vor der Programmentwicklung findet die objektorientierte Analyse der Aufgabenstellung statt. Dabei werden per Abstraktion die beteiligten Klassen identifiziert.
- Ein Programm besteht aus Klassen. Unsere Beispielprogramme zum Erlernen elementarer Sprachelemente werden oft mit einer einzigen Klasse auskommen. Praxisgerechte Programme bestehen in der Regel aus zahlreichen Klassen.
- Eine Klasse ist charakterisiert durch Eigenschaften (Felder) und Handlungskompetenzen (Methoden).
- Eine Klasse dient in der Regel als Bauplan für Objekte, kann aber auch selbst aktiv werden (Methoden ausführen und aufrufen).
- Ein Feld bzw. eine Methode wird entweder den Objekten einer Klasse oder der Klasse selbst zugeordnet.
- In den Methodendefinitionen werden Algorithmen realisiert, in der Regel unter Verwendung von zahlreichen vordefinierten Klassen aus diversen Bibliotheken.
- Im Programmablauf kommunizieren die Akteure (Objekte und Klassen) durch den Aufruf von Methoden miteinander, wobei aber in der Regel noch „externe Kommunikationspartner“ (z.B. Benutzer, andere Programme) beteiligt sind.
- Beim Programmstart wird die Startklasse vom Laufzeitsystem aufgefordert, die Methode **main()** auszuführen. Ein Hauptzweck dieser Methode besteht oft darin, Objekte zu erzeugen und somit „Leben auf die objektorientierte Bühne zu bringen“.

1.2 Die Java-Plattform

Bisher war von der Programmiersprache Java und gelegentlich etwas ungenau vom Laufzeitsystem die Rede. Nach der Lektüre dieses Abschnitts werden Sie ein gutes Verständnis von den **drei Säulen der Java-Plattform** besitzen:

- Die **Programmiersprache** mit dem Compiler, der Quellcode in Bytecode wandelt
- Die **Standardklassenbibliothek** mit ausgereiften Lösungen für (fast) alle Routineaufgaben
- Die **Laufzeitumgebung** (JVM, JRE) mit zahlreichen Funktionen bei der Ausführung von Bytecode (z.B. optimierender JIT-Compiler, Klassenlader, Sicherheitsüberwachung)

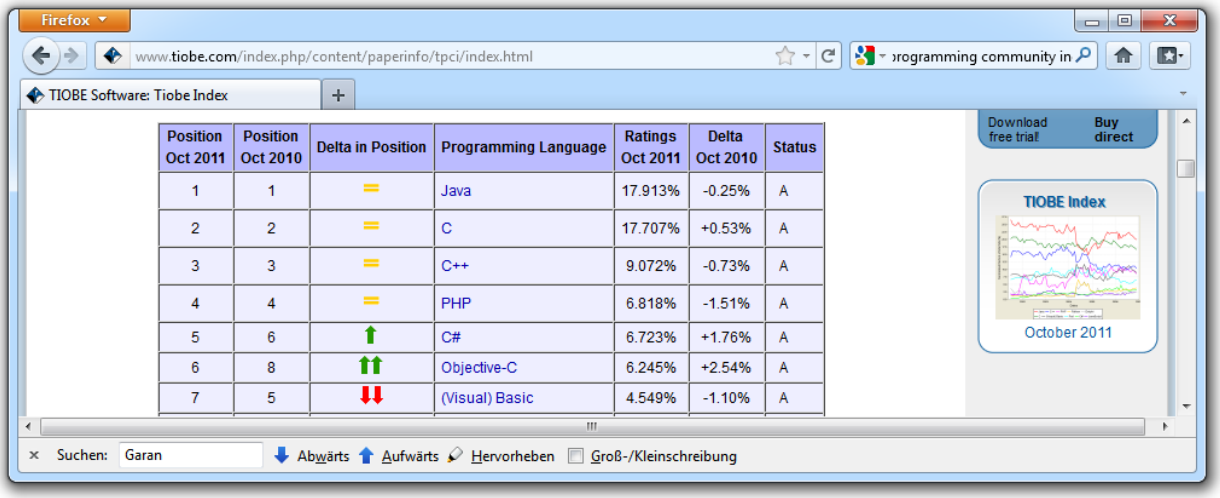
1.2.1 Herkunft und Bedeutung der Programmiersprache Java

Weil auf der indonesischen Insel Java eine auch bei Programmierern hoch geschätzte Kaffee-Sorte wächst, kam die in diesem Manuskript vorzustellende Programmiersprache Gerüchten zufolge zu ihrem Namen.

Java wurde ab 1990 von einem Team der Firma Sun Microsystems unter Leitung von James Gosling entwickelt (siehe z.B. Gosling et al. 2011). Nachdem erste Pläne zum Einsatz in Geräten aus dem Bereich der Unterhaltungselektronik (z.B. Set-Top-Boxen) wenig Erfolg brachten, orientierte man sich stark am boomenden Internet. Das zuvor auf die Darstellung von Texten und Bildern beschränkte WWW (Word Wide Web) wurde um die Möglichkeit bereichert, kleine Java-Programme (*Applets* genannt) von einem Server zu laden und ohne lokale Installation im Fenster des Internet-Browsers auszuführen. Ein erster Durchbruch gelang 1995, als die Firma Netscape die Java-

Technologie in die Version 2.0 ihres WWW-Navigators integrierte. Kurze Zeit später wurden mit der Version 1.0 des Java Development Kits Werkzeuge zum Entwickeln von Java-Applets und -Applikationen frei verfügbar.

Mittlerweile hat sich Java als moderne, objektorientierte und für vielfältige Zwecke einsetzbare Programmiersprache etabliert, die als de-facto – Standard für die plattformunabhängige Entwicklung gelten kann und wohl von allen Programmiersprachen den größten Verbreitungsgrad besitzt. Diesen Eindruck vermittelt jedenfalls der **TIOBE Programming Community Index** im Oktober 2011:[1]



Position Oct 2011	Position Oct 2010	Delta in Position	Programming Language	Ratings Oct 2011	Delta Oct 2010	Status
1	1	=	Java	17.913%	-0.25%	A
2	2	=	C	17.707%	+0.53%	A
3	3	=	C++	9.072%	-0.73%	A
4	4	=	PHP	6.818%	-1.51%	A
5	6	↑	C#	6.723%	+1.76%	A
6	8	↑↑	Objective-C	6.245%	+2.54%	A
7	5	↓↓	(Visual) Basic	4.549%	-1.10%	A

Nach meinem Eindruck ist Java von den Sprachen aus der Spitzengruppe am leichtesten zu erlernen und daher für den Einstieg in die professionelle Programmierung eine gute Wahl.

Die Java-Designer haben sich stark an der Programmiersprache **C++** orientiert, so dass sich Umsteiger von dieser sowohl im Windows- als auch im Linux/UNIX - Bereich weit verbreiteten Sprache schnell in Java einarbeiten können. Wesentliche Ziele bei der Weiterentwicklung waren Einfachheit, Robustheit, Sicherheit und Portabilität. Auf den Aufwand einer systematischen Einordnung von Java im Ensemble der verschiedenen Programmiersprachen bzw. Softwaretechnologien wird hier verzichtet (siehe z.B. RRZN 1999, Goll et al 2000, S. 15). Jedoch sollen wichtige Eigenschaften beschrieben werden, weil sie eventuell relevant sind für die Entscheidung zum Einsatz der Sprache und zur weiteren Lektüre des Manuskripts:

1.2.2 Quellcode, Bytecode und Maschinencode

In Abschnitt 1.1 haben Sie Java als eine Programmiersprache kennen gelernt, die Ausdrucksmittel zur Modellierung von Anwendungsbereichen und zur Formulierung von Algorithmen bereitstellt. Unter einem *Programm* wurde dabei der vom Entwickler zu formulierende *Quellcode* verstanden. Während *Sie* derartige Texte bald mit Leichtigkeit lesen und begreifen werden, kann die CPU (*Central Processing Unit*) eines Rechners nur einen maschinenspezifischen Satz von Befehlen verstehen, die als Folge von Nullen und Einsen (= *Maschinencode*) formuliert werden müssen. Die ebenfalls CPU-spezifische Assembler-Sprache stellt eine für Menschen lesbare Form des Maschinencodes dar. Mit dem Assembler- bzw. Maschinenbefehl

```
mov eax, 4
```

einer CPU aus der x86-Familie wird z.B. der Wert 4 in das EAX-Register (ein Speicherort im Prozessor) geschrieben. Die CPU holt sich einen Maschinenbefehl nach dem anderen aus dem Hauptspeicher und führt ihn aus, heutzutage immerhin mehrere Milliarden Befehle pro Sekunde (*Instruc-*

[1] URL: http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html

tions Per Second, IPS). Ein Quellcode-Programm muss also erst in Maschinencode übersetzt werden, damit es von einem Rechner ausgeführt werden kann. Dies geschieht bei Java aus Gründen der Portabilität und Sicherheit in zwei Schritten:

Kompilieren: Quellcode → Bytecode

Der (z.B. mit einem beliebigen Texteditor verfasste) Quellcode wird vom **Compiler** in einen maschinen-unabhängigen **Bytecode** übersetzt. Dieser besteht aus den Befehlen einer von der Firma Sun Microsystems bzw. dem Nachfolger Oracle definierten **virtuellen Maschine**, die sich durch ihren vergleichsweise einfachen Aufbau gut auf aktuelle Hardware-Architekturen abbilden lässt. Wenngleich der Bytecode von den heute üblichen Prozessoren noch nicht direkt ausgeführt werden kann, hat er doch bereits die meisten Verarbeitungsschritte auf dem Weg vom Quell- zum Maschinencode durchlaufen. Sein Name geht darauf zurück, dass die Instruktionen der virtuellen Maschine jeweils genau ein Byte (= 8 Bit) lang sind. Weil Bytecode kompakter ist als Maschinencode, eignet er sich gut für die Übertragung via Internet.

Mittlerweile gibt es auch reale Java-Prozessoren, die Bytecode als Maschinensprache verwenden, z.B. die auf mobilen und eingebetteten Systemen stark verbreiteten ARM-Prozessoren mit Jazelle-Erweiterung.[1] Allerdings haben reale Java-Maschinen bisher keine große Bedeutung erlangt.

Den im kostenlosen **Java Development Kit** (**JDK**) der Firma Oracle (siehe Abschnitt 2) enthaltenen Compiler **javac.exe** setzen auch manche Java-Entwicklungsumgebungen im Hintergrund ein (z.B. der JCreator). Demgegenüber setzt die im Manuskript bevorzugte Entwicklungsumgebung Eclipse auf einen eigenen Compiler, der inkrementell arbeitet und schon beim Editieren eines Programms tätig wird.

Quellcode-Dateien tragen in Java die Namenserweiterung **.java**, Bytecode-Dateien die Erweiterung **.class**.

Interpretieren: Bytecode → Maschinencode

Abgesehen von den seltenen Systemen mit realem Java-Prozessor muss für jede Betriebssystem/CPU - Kombination mit Java-Unterstützung ein (naturgemäß plattformabhängiger) **Interpreter** erstellt werden, der den Bytecode zur Laufzeit in die jeweilige Maschinensprache übersetzt. Dabei findet auch eine Bytecode-**Verifikation** statt, um potentiell gefährliche Aktionen zu verhindern. Die eben erwähnte Bezeichnung *virtuelle Maschine* (engl.: ***J**ava **V**irtual **M**achine*, JVM) verwendet man auch für die an der Ausführung von Java-Programmen beteiligte Software. Man benötigt also für jede reale Maschine eine vom jeweiligen Wirtsbetriebssystem abhängige JVM, um den Java-Bytecode auszuführen. Diese Software wird meist in der Programmiersprache C++ realisiert.

Für alle relevanten Betriebssysteme liefert die Firma Oracle über die folgende Adresse

http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html

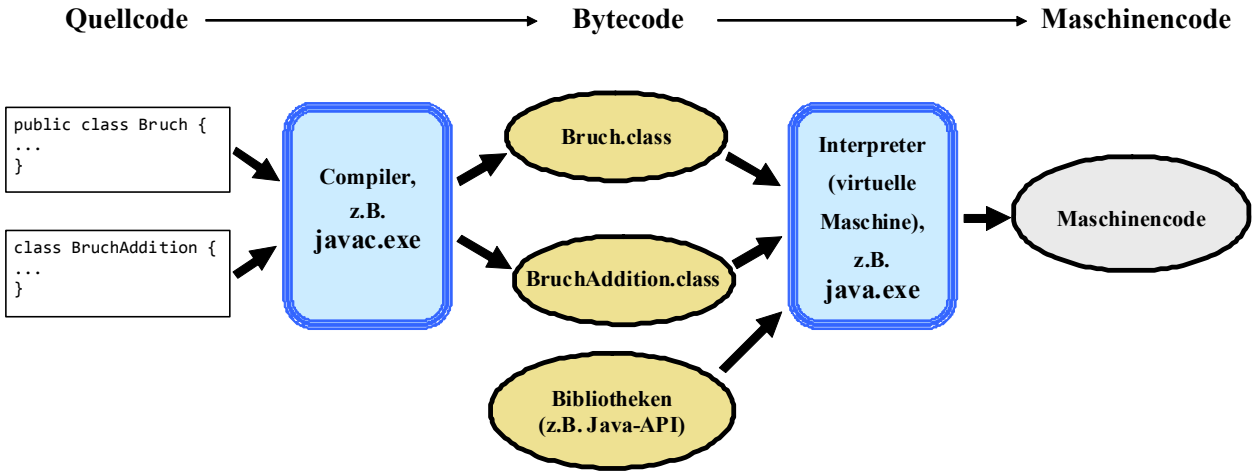
kostenlos eine **Java Runtime Environment** (**JRE**), die neben dem Bytecode-Interpreter (unter Windows mit dem Namen **java.exe** oder **javaw.exe**) auch die Java-Standardbibliothek mit Klassen für alle Routineaufgaben enthält. Diese JRE oder eine äquivalente Software muss auf einem Rechner installiert werden, damit dort Java-Programme ablaufen können.

Mittlerweile kommen bei der Ausführung von Java-Programmen leistungssteigernde Techniken (**J**ust-**i**n-**T**ime – Compiler, **HotSpot** – Compiler mit Analyse des Laufzeitverhaltens) zum Einsatz, welche die Bezeichnung *Interpreter* fraglich erscheinen lassen. Allerdings ändert sich nichts an der Aufgabe, aus dem plattformunabhängigen Bytecode den zur aktuellen Hardware passenden Ma-

[1] Siehe: http://en.wikipedia.org/wiki/Jazelle

schinencode zu erzeugen. So wird wohl keine Verwirrung gestiftet, wenn in diesem Manuskript weiterhin vom *Interpreter* die Rede ist.

In der folgenden Abbildung sind die beiden Übersetzungen auf dem Weg vom Quell- zum Maschinencode durch den Compiler **javac.exe** (aus dem JDK) und den Interpreter **java.exe** (aus der JRE) am Beispiel des Bruchrechnungsprojekts (vgl. Abschnitt 1.1) im Überblick zu sehen:



1.2.3 Die Standardklassenbibliothek der Java-Plattform

Damit die Programmierer nicht das Rad (und ähnliche Dinge) ständig neu erfinden müssen, bietet die Java-Plattform eine Standardbibliothek mit fertigen Klassen für nahezu alle Routineaufgaben, die oft als **API** (***A**pplication **P**rogram **I**nterface*) bezeichnet wird. Im Manuskript werden Sie zahlreiche API-Klassen kennen lernen, und im Kapitel über Pakete werden die wichtigsten API-Bestandteile grob skizziert. Eine vollständige Behandlung ist wegen des enormen Umfangs unmöglich und auch nicht erforderlich.

Wir halten fest, dass die Java-Technologie einerseits auf einer Programmiersprache mit einer bestimmten Syntax und Semantik basiert, dass andererseits aber die Funktionalität im Wesentlichen von einer umfangreichen Standardbibliothek beigesteuert wird, deren Klassen in jeder virtuellen Java-Maschine zur Verfügung stehen.

Die Java-Designer waren bestrebt, sich auf möglichst wenige, elementare Sprachelemente zu beschränken und alle damit bereits formulierbaren Konstrukte in der Standardbibliothek unterzubringen. Es resultierte eine sehr kompakte Sprache (siehe Gosling et al. 2011), die nach ihrer Veröffentlichung im Jahr 1995 lange Zeit nahezu unverändert blieb.

Neue Funktionalitäten werden in der Regel durch eine Erweiterung der Java-Klassenbibliothek realisiert, so dass hier erhebliche Änderungen stattfinden. Einige Klassen sind mittlerweile schon als *deprecated* (überholt, zurückgestuft, nicht mehr zu benutzen) eingestuft worden. Gelegentlich stehen für eine Aufgabe verschiedene Lösungen aus unterschiedlichen Entwicklungsstadien zur Verfügung.

Mit der 2004 erschienenen Version 1.5 hat auch die Programmiersprache Java substantielle Veränderungen erfahren (z.B. generische Typen, Auto-Boxing), so dass sich die Firma Sun (mittlerweile in der Firma Oracle aufgegangen) entschied, die an vielen signifikanten Stellen (z.B. im Namen der Datei mit dem JDK) präsente Versionsnummer 1.5 durch die „fortschrittliche“ Nummer 5 zu ergänzen. Derzeit ist bei der Java Standard Edition (JSE) die Version 7 bzw. 1.7.0 im Einsatz.

Neben der sehr umfangreichen Standardbibliothek, die integraler Bestandteil der Java-Plattform ist, sind aus diversen Quellen unzählige Java-Klassen für diverse Problemstellungen verfügbar.

In Manuskript steht zunächst die Programmiersprache Java im Vordergrund. Mit wachsender Kapitelnummer geht es aber vor allem darum, wichtige Pakete der Standardbibliothek mit Lösungen für Routineaufgaben kennen zu lernen (z.B. GUI-Programmierung, Ein-/Ausgabe, Multithreading, Netzwerkprogrammierung, Datenbankzugriff, Multimedianwendungen, Applets).

1.2.4 Java-Editionen für verschiede Einsatzszenarien

Weil die Java-Plattform so mächtig und vielgestaltig geworden ist, hat die Firma Oracle drei Editionen für spezielle Einsatzfelder definiert, wobei sich vor allem die jeweiligen Standardklassenbibliotheken unterscheiden:

- **Java Standard Edition (JSE)** zur Entwicklung von Anwendersoftware
  Darauf wird sich das Manuskript beschränken.
- **Java Enterprise Edition (JEE)** für unternehmensweite oder serverorientierte Lösungen
  Bei der Java Enterprise Edition (JEE) kommt exakt dieselbe Programmiersprache wie bei der Java Standard Edition (JSE) zum Einsatz. Für die erweiterte Funktionalität sorgt eine entsprechende Variante der Standardklassenbibliothek. Beide Editionen verfügen über eine eigenständige Versionierung, wobei die JSE meist eine etwas höhere Versionsnummer (aktuell: 7) besitzt als die JEE (aktuell: 6).
- **Java Micro Edition (JME)** für Kommunikationsgeräte (z.B. Mobiltelefone)
  Diese Edition wurde für Mobiltelefone mit beschränkter Leistung konzipiert und ist auf ca. 2-3 Milliarden Geräten im Einsatz.

Wir werden uns im Manuskript weder mit der JEE noch mit der JME beschäftigen, doch sind erworbene Java-Programmierkenntnisse natürlich hier uneingeschränkt verwendbar, und elementare Klassen der JSE-Standardbibliothek sind auch für die anderen Editionen relevant.

Weil sich die Standardklassenbibliotheken der Editionen stark unterschieden, muss man z.B. vom *Java SE - API* oder vom *JSE-API* sprechen, wenn man die JSE-Standardbibliothek meint. Im Manuskript wird gelegentlich die Bezeichnung *Java-API* in Aussagen verwendet, die für jede Java-Edition gelten.

Im Marktsegment der Mobiltelefone sind Entwicklungen im Gang, welche die ursprüngliche Konzeption der Java-Editionen etwas durcheinander wirbeln. Allmählich werden einfache Mobiltelefone von Smartphones mit GHz-Prozessoren verdrängt, die genügend Leistung für die Java Standard Edition bieten. Während die Firma Apple bisher in ihrem **iPhone** - Betriebssystem **iOS** *keine* Java-Unterstützung bietet, setzt der Konkurrent Google in seinem Smartphone - Betriebssystem **Android** Java als Standardsprache zur Anwendungsentwicklung ein. Man verwendet jedoch eine alternative Bytecode-Technik mit einer virtuellen Maschine namens **Dalvik**. Seit der Android-Version 2.2 kommt ein JIT-Compiler zum Einsatz (vgl. Abschnitt 1.2.2). Die in Smartphone-CPUs mit ARM-Design vorhandene reale Java-Maschine namens Jazelle wird bisher von Android ignoriert.

Als Entwicklungswerkzeug wird üblicherweise eine angepasste Version der auch in unserem Manuskript bevorzugten Umgebung Eclipse verwendet, so dass Sie mit den Lernerfahrungen aus dem Manuskript bei Bedarf zügig in die Software-Entwicklung für Android einsteigen können.

1.2.5 Zentrale Merkmale der Java-Plattform

1.2.5.1 Objektorientierung

Java wurde als objektorientierte Sprache konzipiert und erlaubt im Unterschied zu hybriden Sprachen wie C++ und Delphi außerhalb von Klassendefinitionen keine Anweisungen. Der objektorientierten Programmierung geht eine objektorientierte *Analyse* voraus, die alle bei einer Problemstellung involvierten Objekte und ihre Beziehungen identifizieren soll. Unter einem Objekt kann man

sich grob einen *Akteur* mit *Eigenschaften* (auf internen, meist vor direkten Zugriffen geschützten Feldern basierend) und *Handlungskompetenzen* (Methoden) vorstellen. Auf dem Weg der Abstraktion fasst man identische oder zumindest sehr ähnliche Objekte zu Klassen zusammen. Java ist sehr gut dazu geeignet, das Ergebnis einer objektorientierten Analyse in ein Programm umzusetzen. Dazu definiert man die beteiligten Klassen und erzeugt aus diesen Bauplänen die benötigten Objekte. Dabei können sich verschiedene Objekte durch unterschiedliche Ausprägungen der gemeinsamen Eigenschaften durchaus unterscheiden.

Im Programmablauf interagieren Objekte durch den gegenseitigen Aufruf von Methoden miteinander, wobei man im objektorientierten Paradigma einen Methodenaufruf als das Zustellen einer Nachricht auffasst. Ist bei dieser freundlichen und kompetenten Kommunikation eine Rolle nur *einfach* zu besetzen, kann eine passend definierte Klasse den Job erledigen, und es wird kein Objekt dieses Typs kreiert. Bei den meisten Programmen für Arbeitsplatz-Computer darf auch der Anwender mitmischen.

In unserem Einleitungsbeispiel wurde einiger Aufwand in Kauf genommen, um einen realistischen Eindruck von objektorientierter Programmierung (OOP) zu vermitteln. Oft trifft man auf Einleitungsbeispiele, die zwar angenehm einfach aufgebaut sind, aber außer gewissen Formalitäten kaum Merkmale der objektorientierten Programmierung aufweisen. Im Abschnitt 3 werden auch wir solche pseudo-objektorientierten (POO-) Programme benutzen, um elementare Sprachelemente in möglichst einfacher Umgebung kennen zu lernen. Aus den letzten Ausführungen ergibt sich u.a., dass Java zwar eine objektorientierte Programmierweise nahe legen und unterstützen, aber nicht erzwingen kann.

1.2.5.2 Portabilität

Die in Abschnitt 1.2.2 beschriebene Übersetzungsprozedur führt zusammen mit der Tatsache, dass sich Bytecode-Interpreter für aktuelle EDV-Plattformen relativ leicht implementieren lassen, zur guten Portabilität von Java. Man mag einwenden, dass sich der Quellcode vieler Programmiersprachen (z.B. C++) ebenfalls auf verschiedenen Rechnerplattformen kompilieren lässt. Diese Quellcode-Portabilität aufgrund weitgehend genormter Sprachdefinitionen und verfügbarer Compiler ist jedoch auf einfache Anwendungen mit textorientierter Benutzerschnittstelle beschränkt und stößt selbst dort auf manche Detailprobleme (z.B. durch verschiedenen Zeichensätze). C++ wird zwar auf vielen verschiedenen Plattformen eingesetzt, doch kommen dabei in der Regel plattformabhängige Funktions- bzw. Klassenbibliotheken zum Einsatz (z.B. GTK unter Linux, MFC unter Windows).[1] Bei Java besitzt hingegen bereits die zuverlässig verfügbare Standardbibliothek mit ihren insgesamt ca. 4000 Klassen weit reichende Fähigkeiten für die Gestaltung graphischer Benutzerschnittstellen, für Datenbank- und Netzwerkzugriffe usw., so dass sich plattformunabhängige Anwendungen mit modernem Funktionsumfang und Design realisieren lassen.

Weil der von einem Java-Compiler erzeugte Bytecode von jeder JVM (mit passender Version) ausgeführt werden kann, bietet Java nicht nur Quellcode- sondern auch Binärportabilität. Ein Programm ist also ohne erneute Übersetzung auf verschiedenen Plattformen einsetzbar.

Wie unserer Entwicklungsumgebung Eclipse zeigt, werden gelegentlich bei Java-basierten Software-Projekten Plattform-spezifische Bestandteile in Kauf genommen, um z.B. eine 100-rozentige GUI-Konformität mit dem lokalen Betriebssystem zu erreichen. In diesem Fall ist die Binärportabilität eingeschränkt.

---

[1] Dass es grundsätzlich möglich ist, eine C++ - Klassenbibliothek mit umfassender Funktionalität (z.B. auch für die Gestaltung graphischer Bedienoberflächen) für verschiedene Plattformen herzustellen und so für Quellcode-Kompatibilität bei modernen, kompletten Anwendungen zu sorgen, beweist die Firma Trolltech mit ihrem Produkt Qt.

1.2.5.3 Sicherheit

Auch der Sicherheit dient die oben beschriebene Übersetzungsprozedur, weil ein als Bytecode übergebenes Programm durch die beim Empfänger installierte virtuelle Maschine vor der Ausführung recht effektiv auf unerwünschte Aktivitäten geprüft werden kann.

1.2.5.4 Robustheit

Zur Robustheit von Java trägt u.a. der Verzicht auf Merkmale von C++ bei, die erfahrungsgemäß zu Fehlern verleiten, z.B.:

- Pointerarithmetik
- Benutzerdefiniertes Überladen von Operatoren
- Mehrfachvererbung

Außerdem wird der Programmierer zu einer systematischen Behandlung der bei einem Methodenaufruf potentiell zu erwartenden **Ausnahmefehler** gezwungen. Von den sonstigen Maßnahmen zur Förderung der Stabilität ist vor allem noch die generell aktive Feldgrenzenüberwachung bei Arrays (siehe unten) zu erwähnen.

1.2.5.5 Einfachheit

Schon im Zusammenhang mit der Robustheit wurden einige komplizierte und damit fehleranfällige C++ - Bestandteile erwähnt, auf die Java bewusst verzichtet. Zur Vereinfachung trägt auch bei, dass Java keine Header-Dateien benötigt, weil die Bytecodedatei einer Klasse alle erforderlichen Metadaten enthält. Im Normalfall kommt Java ohne Präprozessor-Anweisungen aus, die in C++ den Quellcode vor der Übersetzung modifizieren oder Anweisungen an die Arbeitsweise des Compilers enthalten können. Der Gerüchten zufolge im früher verbreiteten Textverarbeitungsprogramm *StarOffice* über eine Präprozessor-Anweisung realisierte Unfug, im Quellcode den Zugriffsmodifikator **private** vor der Übergabe an den Compiler durch die schutzlose Alternative **public** zu ersetzen, ist also in Java ausgeschlossen.

Wenn man dem Programmierer eine Aufgabe komplett abnimmt, kann er dabei keine Fehler machen. In diesem Sinn wurde in Java der so genannte **Garbage Collector** (*Müllsammler*) implementiert, der den Speicher nicht mehr benötigter Objekte automatisch frei gibt. Im Unterschied zu C++, wo die Freigabe durch den Programmierer zu erfolgen hat, sind damit typische Fehler bei der Speicherverwaltung ausgeschlossen:

- Ressourcenverschwendung durch überflüssige Objekte (Speicherlöcher)
- Programmabstürze beim Zugriff auf voreilig entsorgte Objekte

Insgesamt ist Java im Vergleich zu C++ deutlich einfacher zu beherrschen und damit für Einsteiger eher zu empfehlen.

Längst gibt es etliche **Java-Entwicklungsumgebungen**, die bei vielen Routineaufgaben (z.B. Gestaltung von Bedienoberflächen, Datenbankzugriffe, Web-Anwendungen) das Erstellen des Quellcodes erleichtern. Wir verwenden im Manuskript die Entwicklungsumgebung *Eclipse* mit dem Plugin *WindowBuilder* und verfügen daher über ein gutes Werkzeug zur Gestaltung visueller Klassen (mit Auftritt auf dem Bildschirm). Einen ähnlichen Funktionsumfang wie Eclipse bieten auch andere Entwicklungsumgebungen, die (wie z.B. Oracles's *NetBeans*) meist kostenlos verfügbar sind.

1.2.5.6 Multithreaded-Architektur

Java unterstützt Anwendungen mit mehreren, parallel laufenden Ausführungsfäden (Threads). Solche Anwendungen bringen erhebliche Vorteile für den Benutzer, der z.B. mit einem Programm interagieren kann, während es im Hintergrund aufwändige Berechnungen ausführt oder auf die Antwort eines Netzwerk-Servers wartet. Durch die zunehmende Verbreitung von Mehrkern- bzw. Mehrprozessor-Systemen wird für Programmierer die Beherrschung der Multithreaded-Architektur immer wichtiger.

1.2.5.7 Verteilte Anwendungen

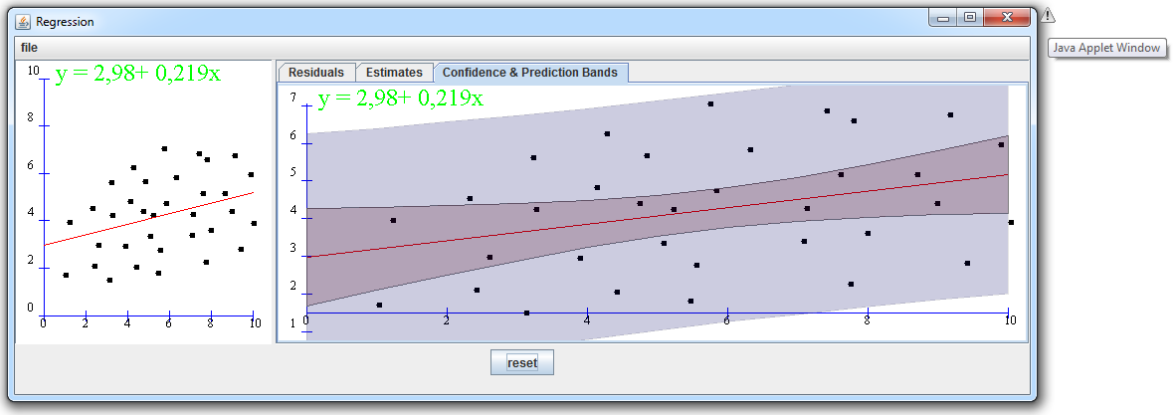
Java ist besonders kommunikationsfreudig. Neben den zum Herunterladen via Internet bestimmten Applets gibt es weitere Möglichkeiten, verteilte Anwendungen auf Basis des TCP/IP – Protokolls zu realisieren. Die Kommunikation kann über Sockets oder über höhere Protokolle wie z.B. **RMI** (*Remote Method Invocation*) oder **SOAP** (*Simple Object Access Protocol*) laufen. Selbstverständlich unterstützt Java moderne Internet-Techniken wie **Webservices** und **AJAX**. Wer die genannten Begriffe noch nicht (alle) kennt, muss keinesfalls besorgt sein. Wenn ein Begriff später im Manuskript relevant wird, folgt eine Erklärung.

1.2.5.8 Java-Applets

Java-Applets sind kleine Programme, die durch einen WWW-Browser von einem Server geholt und dann von der JVM in einem vom Browser verwalteten Fenster ausgeführt werden. Auf der folgenden Webseite:

http://www.math.csusb.edu/faculty/stanton/m262/index.html

finden sich attraktive Applets, die als E-Learning - Angebote wichtige Themen aus Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik über Interaktionsmöglichkeiten und informative Grafiken erschließen, z.B. ein Applet zur linearen Regression:



Dieses Applet startet in einem eigenen Fenster, wobei der Browser (hier: Firefox 7) einen Warnhinweis anbringt, weil aus dem Internet geladene Programme grundsätzlich eine Portion Misstrauen verdienen.

Am Anfang der Java-Entwicklung spielten Applets eine große Rolle, weil mit ihnen erstmals interaktive und multimediale Internet-Anwendungen möglich waren. Mittlerweile ist diese frühe RIA-Lösung (***R**ich **I**nternet **A**pplications*) in der Gunst der Anwender und Entwickler von anderen Technologien abgelöst worden:

- **JavaScript, Ajax**
  Die Programmiersprache JavaScript ist in jedem Browser anzutreffen, aber nicht unbedingt kompatibel (z.B. uneinheitliche Verfügbarkeit von Methoden), so dass es nicht einfach ist, für verschiedene Browser eine einheitliche Bedienoberfläche zu realisieren.

- **Flash/Flex**
  Die Firma Adobe hat den RIA-Markt in den letzten Jahren mit dem Flex-Framework dominiert. Über eine XML-basierte Deklarationssprache und die an JavaScript angelehnte Programmiersprache *ActionScript* entstehen Anwendungen, die den kostenlos bei Adobe erhältlichen *Flash-Player* als Laufzeitumgebung benötigen. Im Vergleich zu Java-Applets sind als Vorteile zu nennen:
  - einfachere Entwicklung einer Flash-Lösung, speziell bei geringen Programmierkenntnissen
  - bessere Multimedia-Fähigkeiten (z.B. unterstützte Formate, animierte Übergänge)
  - kleinere Runtime mit höherem Verbreitungsgrad
    Wie gleich mit aktuellen Zahlen belegt wir, kommt die Verbreitung des Flash-Players der idealen 100% - Marke recht nahe. Die Firma Apple hat ihn allerdings mit der Begründung unzureichender Stabilität von seinen Produkten *iPhone* und *iPad* ausgesperrt.
- **Silverlight**
  Microsoft hat mit Silverlight einen Internet-Ableger seiner .NET - Plattform geschaffen. So können .NET - Entwickler mit vertrauten Werkzeugen (z.B. Programmiersprache C#, Windows Presentation Framework mit der Deklarationssprache XAML) den RIA-Markt bedienen. Microsoft liefert Plugins für etliche Web-Browser (z.B. Internet-Explorer, Firefox, Safari) und hat und einen relativ hohen Verbreitungsgrad der Laufzeitumgebung erzielt (siehe unten). Kunden der Online-Videothek *MaxDome* kommen nicht um die Silverlight-Installation herum.
- **HTML5, CSS**
  HTML5 hat im Vergleich zu den Vorversionen erweiterte Programmierschnittstellen erhalten, was die Erstellung von RIA-Anwendungen erleichtert. Nach Meinung vieler Experten geht der Trend hin zu einem Plugin-freien Browser, der dank HTML5 viele Aufgaben (z.B. im Bereich Multimedia) erledigen kann, die früher ein Plugin erforderten. Als Programmiersprache dient JavaScript mit einer erweiterten Klassenbibliothek.

Einige Webseiten widmen sich der Frage, welche Anteile der Internet-Teilnehmer über verschiedene RIA-Lösungen erreichbar sind, weil entsprechende Laufzeitumgebungen vorhanden sind. Die Webseite

http://www.statowl.com/custom_ria_market_penetration.php

nennt für den Januar 2012 folgende Zahlen (über alle Browser und Betriebssysteme ermittelt)

Plattform	Anteil der Systeme mit Unterstützung
Flash	95,74%
Java	75,63%
Silverlight	68,37%

Auf der Webseite

http://www.riastats.com/

finden sich am 20.03.2012 folgende Anteilsschätzungen bezogen auf die letzten 30 Tage:

Plattform	Anteil der Systeme mit Unterstützung
Flash	95,69%
Java	62,72%
Silverlight	75,02%
HTML5	85,38%

Als Gründe für die zurück gegangene Bedeutung von Java-Applets sind zu nennen:

- Startverhalten
  Beim Start des ersten Applets muss erst die JVM geladen werden, was früher zu inakzeptablen Wartezeiten geführt hat. Bei Tests auf einem aktuellen Rechner mit der Intel-CPU Core i3 (3,2 GHz) unter Windows 6 (64 Bit) habe ich eine Wartezeit von 7 Sekunden beobachtet. Wenn anschließend ein Programm mit nützlichen Funktionen läuft, das nicht installiert werden musste, ist diese Wartezeit akzeptabel. Wenn lediglich ein Formular erscheint, das auch in HTML hätte realisiert werden können, ist die Wartezeit eine Zumutung für die Benutzer.
- Unzureichende multimediale Attraktivität
  In Java-Applets fehlt die Unterstützung für moderne Medienformate, und die Realisation schicker Effekte (wie Überblendungen) erfordert einen hohen Programmieraufwand.
- Verfügbarkeit der Laufzeitumgebung
  Potentielle Benutzer eines Applets benötigen auf ihrem Rechner eine JVM mit passender Version. Je aktueller (attraktiver) die von einem Applet genutzte Java-Version ist, desto mehr Klientensysteme scheitern an den Voraussetzungen. Zwar ist die aktuelle JRE kostenlos zu haben und muss nur einmal für beliebige Applets zu installiert werden, doch ist nicht jeder Internet-Teilnehmer zur Installation bereit oder scheitert z.B. an fehlenden Rechten. In einem Unternehmenskontext kann die passende Ausstattung aller Klientensysteme aber problemlos sichergestellt werden.

Aus den geschilderten Trends und Fakten zu schließen, dass Java bei der Software-Entwicklung für das Internet derzeit keine Rolle spiele, wäre grundverkehrt. Auf dem Arbeitsmarkt werden viele „Java Web Programmierer“ gesucht, wobei allerdings in der Regel Kompetenzen bei der serverorientierten Programmierung verlangt werden.

Um die Position von Java auf dem RIA-Markt zu stärken, hat die Firma Sun mit eher mäßigem Erfolg die Programmiersprache **JavaFX Script** auf den Markt gebracht, um die Entwicklung von graphischen Bedienoberflächen zu vereinfachen. Im Jahr 2011 hat die Firma Oracle (nach Übernahme der Firma Sun) unter der Bezeichnung **JavaFX 2.0** ein deutlich attraktiveres Angebot vorgestellt:

- Java-Klassenbibliotheken statt einer separaten Programmiersprache
  Die separate Programmiersprache JavaFX Script wird aufgegeben, was insbesondere Java-Entwickler freuen wird. Die Entwicklung für JavaFX erfolgt in Java mit den gewohnten Werkzeugen (z.B. Eclipse oder NetBeans). Was aber bleibt, sind Konzepte wie *Stage* und *Timeline* sowie die einfache Realisation von Übergängen, Animationen etc.
- XML-basierte GUI-Deklaration
- Durch die Klassenbibliotheken von JavaFX 2.0 werden u.a. realisiert:
  - Eine Steuerelementfamilie namens *Glass*
  - Eine Grafikausgabetechnik namens *Prism* mit Hardware-Beschleunigung
  - *Java Media Components* (JMC)
    In JavaFX 2.0 (leider nicht im JDK 7) bessert sich mit den Java Media Components die Medienwiedergabe, so dass ein gravierender Kritikpunkt an den bisherigen Applets beseitigt sein sollte.

Außerdem hat Oracle konkrete Pläne bekannt gegeben, das RIA-Framework als Open-Source - Projekt mit dem Namen *OpenJFX* weiterzuführen.[1]

Vermutlich bleiben die neuen Techniken nicht auf Applets beschränkt, so dass sich für Klienten-Software in Java eine Weiterentwicklung abzeichnet, wie sie das .NET - Framework der Firma Microsoft mit der Windows Presentation Foundation und der Deklarationssprache XAML erlebt hat (siehe z.B. Baltes-Götz 2011).

Nach diesem Ausblick auf die nähere Zukunft kehren wir zur gegenwärtigen Applet-Technik zurück, die in vielen Situationen sinnvolle Anwendungen erlaubt:

- Die Java-Standardklassenbibliothek und unzählige weitere Java-Klassen bieten eine sehr große Funktionalität (z.B. im Vergleich zu Flash).
- Java-Applets werden in einer für enorm viele Entwickler vertrauten Programmiersprache erstellt.
- Es ist von Vorteil, wenn bei einer Internet-basierten Lösung Server- und Klientensoftware in derselben Programmiersprache erstellt werden können.

Für eine JRE-Installation auf den Klientenrechnern zu sorgen, stellt zumindest in Unternehmensnetzen kein Problem dar, und bei vielen Anwendungen (z.B. im kommerziellen oder wissenschaftlichen Bereich) spielen Medienwiedergabe, Animationen, Überblendeffekte etc. keine Rolle.

1.2.5.9 Performanz

Der durch Sicherheit (Bytecode-Verifikation), Stabilität (z.B. Garbage Collector) und Portabilität verursachte Performanznachteil von Java-Programmen (z.B. gegenüber C++) ist durch die Entwicklung leistungsfähiger virtueller Java-Maschinen mittlerweile weitgehend irrelevant geworden, wenn es nicht gerade um performanz-kritische Anwendungen (z.B. Spiele) geht. Mit unserer Entwicklungsumgebung Eclipse werden Sie eine (fast) komplett in Java erstellte, recht komplexe und dabei flott agierende Anwendung kennen lernen.

1.2.5.10 Beschränkungen

Wie beim Designziel der Plattformunabhängigkeit nicht anders zu erwarten, lassen sich in Java-Programmen sehr spezielle Eigenschaften eines Betriebssystems schlecht verwenden (z.B. die Windows-Registrierungsdatenbank). Wegen der Einschränkungen beim freien Speicher- bzw. Hardwarezugriffs eignet sich Java außerdem kaum zur Entwicklung von Treiber-Software (z.B. für eine Grafikkarte). Für System- bzw. Hardware-nahe Programme ist z.B. C (bzw. C++) besser geeignet.

1.3 Übungsaufgaben zu Kapitel 1

1) Warum steigt die Produktivität der Softwareentwicklung durch objektorientiertes Programmieren?

2) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. In der objektorientierten Programmierung dient eine Klasse entweder als Bauplan für Objekte oder kann selbst aktiv werden (Methoden ausführen und aufrufen).

---

[1] Dies berichtet der IT-Informationsdienst des Heise-Verlags am 03.11.2011 auf der Webseite http://www.heise.de/newsticker/meldung/JavaFX-soll-als-quelloffenes-OpenJFX-Projekt-weitergefuehrt-werden-1371310.html

2. Die Programmiersprache Java ist relativ leicht zu erlernen, weil beim Design Einfachheit angestrebt wurde.
3. In Java muss jede Klasse eine Methode namens **main()** enthalten.
4. Die meisten aktuellen CPUs können Java-Bytecode direkt ausführen.
5. Java eignet sich für eine sehr breite Palette von Anwendungen, vom Handy-Spiel über Anwendungsprogramme für Arbeitsplatzrechner bis zur unternehmenswichtigen Server-Software.

2 Werkzeuge zum Entwickeln von Java-Programmen

In diesem Abschnitt werden kostenlose Werkzeuge zum Entwickeln von Java-Applikationen bzw. -Applets beschrieben. Zunächst beschränken wir uns puristisch auf einen Texteditor und das **Java Development Kit (Standard Edition)** der Firma Oracle. In dieser sehr übersichtlichen „Entwicklungsumgebung“ werden die grundsätzlichen Arbeitsschritte und einige Randbedingungen besonders deutlich.

Anschließend gönnen wir uns aber doch erheblich mehr Luxus in Form der kostenlos verfügbaren Open Source - Entwicklungsumgebung **Eclipse**, die neben einem guten Editor (z.B. mit farblicher Unterscheidung verschiedener Syntaxbestandteile, Unterschlängeln von Fehlern, Syntaxvervollständigung) sehr viele Arbeitserleichterungen bietet (z.B. automatisches Erstellen von Quellcode zu Routineaufgaben) und sich vielfältig erweitern lässt, z.B. durch einen visuellen Designer zur Gestaltung der Bedienoberfläche. Eclipse hat unter den zahlreich vorhandenen Java-Entwicklungsumgebungen den größten Verbreitungsgrad gefunden, obwohl es mit NetBeans eine ebenfalls kostenlose und leistungsfähige Alternative gibt.

2.1 JDK 7 installieren

Anschließend werden die für Leser empfohlenen Installationen beschrieben. Alle Pakete sind auf den unten genannten Web-Seiten kostenlos für alle relevanten Betriebssysteme verfügbar.

2.1.1 JDK 7 (alias 1.7.0)

Das JDK der Firma Oracle enthält u.a. …

- den Java-Compiler **javac.exe**
- zahlreiche Werkzeuge (z.B. den Dokumentationsgenerator **javadoc.exe** und den Archivgenerator **jar.exe**)
- etliche Demos
- den Quellcode der Klassen im Kern-API
- eine „interne“ Java Runtime Environment, z.B. für die Verwendung durch die Entwicklungswerkzeuge

Das JDK-Installationsprogramm kann auch eine öffentliche, durch beliebige Java-Programme und -Applets zu verwendende Java Runtime Environment einrichten.

Gleich werden wir noch ein separat von Oracle angebotenes Dokumentationspaket zum JDK auf den Rechner befördern.

Das später zu installierende Eclipse 3.7.1 setzt eine JRE (ab Version 5) voraus, bringt aber einen eigenen Compiler mit, der kompatibel ist mit der Sprachdefinition von Java 7. Zur Entwicklung von Java-Software mit Eclipse 3.7.1 muss sich auf Ihrem Rechner also grundsätzlich nur eine JRE befinden. Es ist aber trotzdem sinnvoll, das JDK zu installieren, damit die zusätzlichen Entwicklungswerkzeuge und der Quellcode zu den API-Klassen verfügbar sind.

Voraussetzungen:

- Aus der Windows-Familie werden alle Versionen ab XP unterstützt.
- Ca. 230 MB Festplattenspeicher (je nach Installationsumfang, ohne Dokumentation)

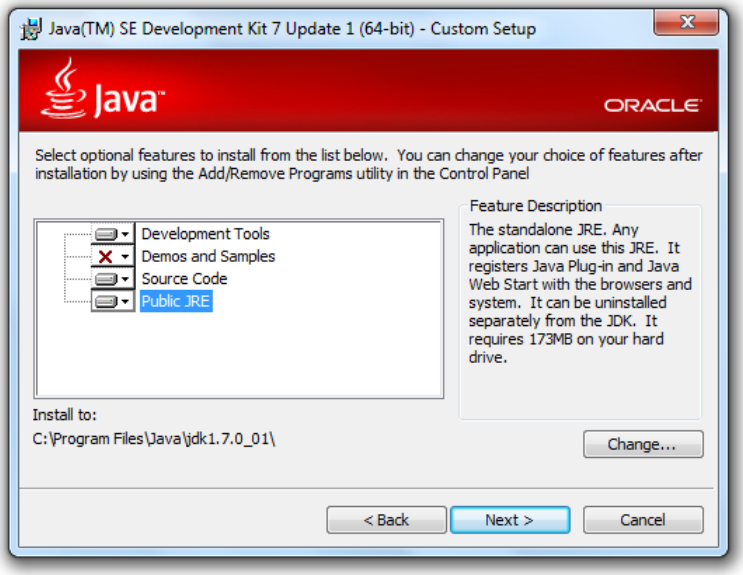
URL zum Herunterladen:

http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html

Anschließend wird exemplarisch die mit Administratorrechten durchzuführende Installation des Versionsstands Update 1 zum JDK 7 unter Windows 7 (64 Bit) beschrieben:[1]

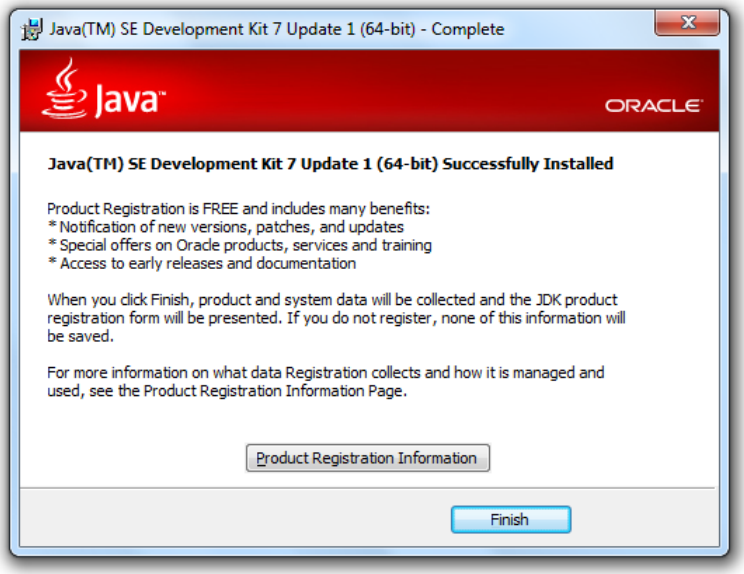
- Doppelklick auf **jdk-7u1-windows-x64.exe**
- Im Dialog **Custom Setup** können Sie über den Schalter **Change** einen alternativen Installationsordner wählen (statt **C:\Program Files\Java\jdk1.7.0_01**).

  Per Voreinstellung



  verzichtet das Installationsprogramm auf die **Demos and Samples** (im Umfang von 46 MB), richtet hingegen eine öffentliche JRE (Java Runtime Environment) auf Ihrem Rechner ein (per Voreinstellung im Ordner **C:\Program Files\Java\jre7**). Während die im JDK vorhandene (interne) JRE normalerweise nur zur Softwareentwicklung dient und dabei durch den enthaltenen Quellcode glänzt, ist die separate öffentliche JRE für *alle* Java-Anwendungen und -Applets sichtbar durch eine Registrierung beim Betriebssystem und bei den WWW-Browsern. Wer noch keine öffentliche 64-Bit - JRE mit Version 7 auf seinem Rechner hat, sollte die Installation zulassen (zusätzlicher Festplattenspeicherbedarf ca. 170 MB). Auf die Installation des Source Codes sollten Sie auf keinen Fall verzichten.

Erfolgsmeldung nach Abschluss aller Installationsarbeiten:



[1] Wenn Sie diesen Text lesen, ist mit Sicherheit (und nicht zuletzt wegen der Sicherheit) ein höherer Update-Stand aktuell.

Wer auf einem Rechner mit 64-Bit - Betriebssystem zusammen mit dem 64-Bit - JDK sowohl die **Demos and Samples** als auch die öffentliche JRE 7 installiert hat, muss eventuell anschließend frustriert feststellen, dass die nach einer Standardinstallation über die HTML-Datei

C:\Program Files\Java\jdk1.7.0_01\demo\applets.html

zu startenden Beispiel-Applets trotzdem nicht laufen, z.B. mit der folgenden Fehlermeldung:

```
java.lang.UnsupportedClassVersionError: Clock : Unsupported major.minor version 51.0
  at java.lang.ClassLoader.defineClass1(Native Method)
  at java.lang.ClassLoader.defineClassCond(Unknown Source)
  at java.lang.ClassLoader.defineClass(Unknown Source)
  at java.security.SecureClassLoader.defineClass(Unknown Source)
  at sun.plugin2.applet.Applet2ClassLoader.findClass(Unknown Source)
  at sun.plugin2.applet.Plugin2ClassLoader.loadClass0(Unknown Source)
  at sun.plugin2.applet.Plugin2ClassLoader.loadClass(Unknown Source)
  at sun.plugin2.applet.Plugin2ClassLoader.loadClass(Unknown Source)
  at java.lang.ClassLoader.loadClass(Unknown Source)
  at sun.plugin2.applet.Plugin2ClassLoader.loadCode(Unknown Source)
  at sun.plugin2.applet.Plugin2Manager.createApplet(Unknown Source)
  at sun.plugin2.applet.Plugin2Manager$AppletExecutionRunnable.run(Unknown Source)
  at java.lang.Thread.run(Unknown Source)
Ausnahme: java.lang.UnsupportedClassVersionError: Clock : Unsupported major.minor version 51.0
```

Ursache:

- Die Beispiel-Applets (und vermutlich auch andere Beispielprogramme im Paket **Demos and Samples**) benötigen eine JRE mit Version 7.
- Es wurde ein 32-Bit - WWW-Browser benutzt (z.B. Firefox).
- Der Browser verwendet eine 32-Bit - JRE, und die ist auf Ihrem Rechner noch auf einem älteren Versionsstand, z.B. Java 6.
- Der Klassenlader der JRE 6 stellt eine Versionsunverträglichkeit fest.

Um das Problem zu lösen, müssen Sie auf Ihrem 64-Bit - Rechner auch die 32-Bit - Version der JRE 7 installieren. URL zum Herunterladen:

http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html

Es wird wohl noch einige Zeit dauern, bis sich auf einem typischen Windows-Rechner mit 64-Bit - System kein WWW-Browser mit 32-Bit - Technik mehr befindet. Genauso lange wird es sinnvoll bleiben, auf einem solchen Rechner sowohl eine 64-Bit- als auch eine 32-Bit-JRE zu installieren.

Wie viele andere Softwaresysteme mit reger Netzwerkaktivität (z.B. Betriebssysteme, WWW-Browser) benötigen auch die Java-Laufzeitumgebungen häufig Sicherheits-Updates. Über Verfahren und Tücken beim Aktualisieren der Java-Laufzeitumgebungen informiert Anhang C.

2.1.2 7-Zip

Bei Bedarf können Sie dieses Hilfsprogramm zum Erstellen und Auspacken von Archiven installieren und für die anschließend auftauchenden ZIP-Dateien verwenden. Nach meiner Erfahrung ist 7-Zip bedienungsfreundlicher und schneller als die in Windows integrierte ZIP-Funktionalität.

URL zum Herunterladen:

http://www.7-zip.org/download.html

Unter Windows 7 (64 Bit) wird die Installation durch einen Doppelklick auf die Datei **7z920-x64.msi** gestartet. 7-Zip steht nach der Installation ohne Neustart samt Integration in den Windows-Explorer zur Verfügung.

2.1.3 Dokumentation zum JDK 7 (alias 1.7.0)

Die systematische Dokumentation zu allen Klassen im JSE-API und zu den JDK-Werkzeugen ist bei der Erstellung von Java-Software unverzichtbar. Natürlich ist die Dokumentation auch im Internet verfügbar und wird z.B. von Eclipse spontan dort gesucht. Man kann also auf die lokale Installation verzichten kann, wenn eine schnelle und zuverlässige Internet-Anbindung verfügbar ist.

Auf der Festplatte belegt die Dokumentation im ausgepackten Zustand (siehe unten) ca. 300 MB.

URL zum Herunterladen:

http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html#docs

Um die Dateien und Ordner der Dokumentation aus dem Archiv **jdk-7-fcs-bin-b147-apidocs-27_jun_2011.zip** zu extrahieren, können Sie z.B. das Programm 7-Zip benutzen (vgl. Abschnitt 2.1.2):

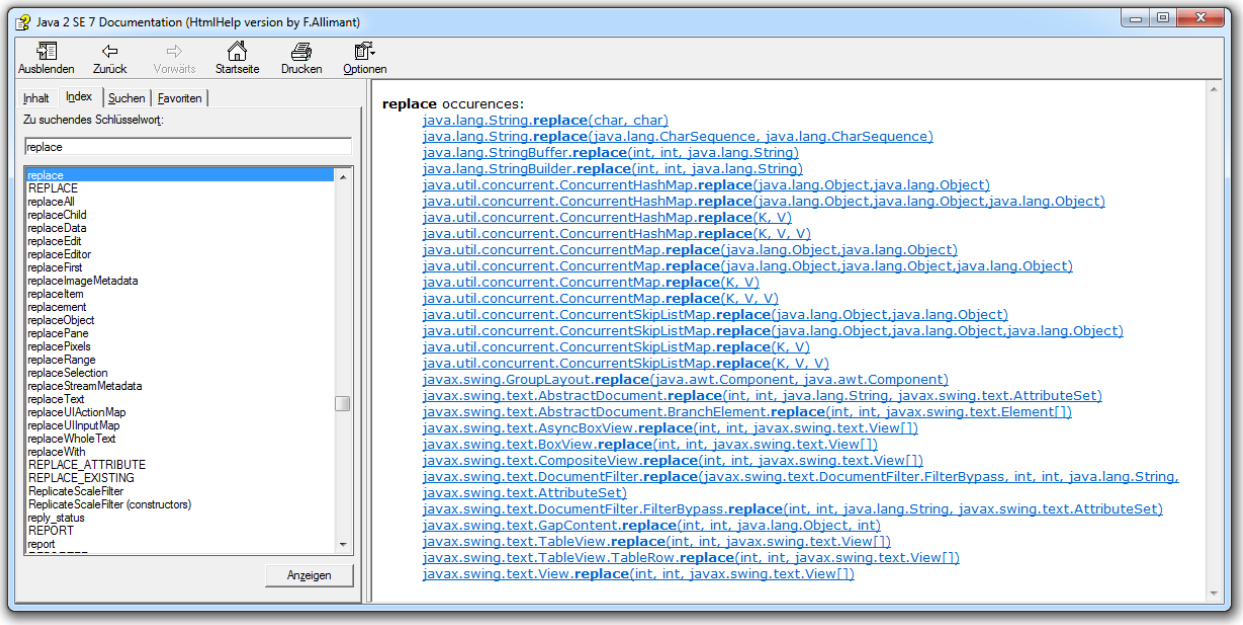
- Kontextmenü zur ZIP-Datei öffnen
- **7-Zip > Extract files**
- Ein geeignetes Ziel ist der JDK-Installationsordner (z.B. **C:\Program Files\Java\jdk1.7.0_01**), so dass dort der Unterordner **docs** entsteht.

Weil wir gelegentlich einen neugierigen Blick auf den Quellcode einer Klasse aus dem JSE-API (also aus der Standardbibliothek von Java) werfen, sollten Sie die zum JDK gehörige Quellcodedatei **src.zip** analog zur JDK-Dokumentation behandeln und in den JDK-Unterordner **src** auspacken. Übrigens nutzt Eclipse den API-Quellcode zur Unterstützung der Fehlersuche und kommt dabei mit dem ZIP-Archiv zurecht. Wer den Quellcode unabhängig von Eclipse durchstöbern will, packt das ZIP-Archiv aber besser aus.

Im Vergleich zum HTML-Format der von Oracle gelieferten API-Dokumentation erleichtert die von Franck Allimant gepflegte und auf der folgenden Webseite

http://www.allimant.org/javadoc/index.php

angebotene Version im CHM-Format der Windows-Hilfedateien das Suchen, z.B.:



2.2 Java-Entwicklung mit JDK und Texteditor

2.2.1 Editieren

Um das Erstellen, Übersetzen und Ausführen von Java-Programmen ohne großen Aufwand üben zu können, erstellen wir das unvermeidliche **Hallo**-Programm, das vom oben beschriebenen POO-Typ ist (*pseudo*-objektorientiert):

Quellcode	Ausgabe
`class Hallo {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("Hallo Allerseits!");` `  }` `}`	`Hallo Allerseits!`

Im Unterschied zu *hybriden* Programmiersprachen wie C++ und Delphi, die neben der objektorientierten auch die rein prozedurale Programmiertechnik erlauben, verlangt Java auch für solche Trivialprogramme eine **Klassendefinition**. Die mit dem Starten der Anwendung beauftragte Klasse `Hallo` erzeugt allerdings in ihrer Methode **main()** keine Objekte, wie es die Startklasse `Bruch-Addition` im Einstiegsbeispiel tat, sondern beschränkt sich auf eine Bildschirmausgabe.

Immerhin kommt dabei ein vordefiniertes Objekt (**System.out**) zum Einsatz, das durch Aufruf seiner **println()**-Methode mit der Ausgabe betraut wird. Durch einen Parameter vom Zeichenfolgentyp wird der Auftrag näher beschrieben. Es ist typisch für die objektorientierte Programmierung in Java, dass hier ein konkretes Objekt mit der Ausgabe beauftragt wird. Anonyme Funktionsaufrufe, die „der Computer“ auszuführen hat, gibt es nicht.

Das POO-Programm ist zwar nicht „vorbildlich“, eignet sich aber aufgrund seiner Kürze zum Erläutern wichtiger Regeln, an die Sie sich so langsam gewöhnen sollten. Alle Themen werden aber später noch einmal systematisch und ausführlich behandelt:

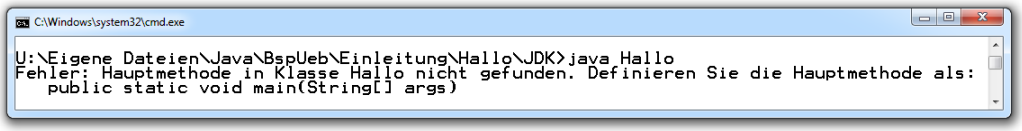
- Nach dem Schlüsselwort **class** folgt der frei wählbare Klassenname. Hier ist wie bei allen Bezeichnern zu beachten, dass Java streng zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterscheidet.

  Weil bei den Klassen der POO-Übungsprogramme im Unterschied zur eingangs vorgestellten `Bruch`-Klasse eine Nutzung durch andere Klassen *nicht* in Frage kommt, wird in der Klassendefinition auf den Modifikator **public** verzichtet. Viele Autoren von Java-Beschreibungen entscheiden sich für die systematische Verwendung des **public**–Modifikators, z.B.:

  ```
  public class Hallo {
      public static void main(String[] args) {
         System.out.println("Hallo Allerseits!");
      }
  }
  ```

  Bei der Wahl einer Regel für das vorliegende Manuskript habe ich mich am Verhalten der Java-Urheber orientiert: Gosling et at. (2011) lassen bei Startklassen (, die nur von der JRE angesprochen werden,) den Modifikator **public** systematisch weg. Sie werden später klare und unvermeidbare Gründe für die Verwendung des Klassen-Modifikators **public** kennen lernen.
- Dem Kopf der Klassendefinition folgt der mit geschweiften Klammern eingerahmte Rumpf.
- Weil die Klasse `Hallo` startfähig sein soll, muss sie eine Methode namens **main()** besitzen. Diese wird von der JRE beim Programmstart ausgeführt und dient bei OOP-Programmen (direkt oder indirekt) dazu, Objekte zu erzeugen.
- Die Definition der Methode **main()** wird von drei *obligatorischen* Schlüsselwörtern eingeleitet, deren Bedeutung Sie auch jetzt schon (zumindest teilweise) verstehen können:

- **public**
  Wie eben erwähnt, wird die Methode **main()** beim Programmstart von der JRE gesucht und ausgeführt. Sie muss (zumindest ab Java 1.4.x) die Methode **main()** den Zugriffsmodifikator **public** erhalten. Anderenfalls reklamiert die JRE beim Startversuch:



- **static**
  Mit diesem Modifikator wird **main()** als **Klassenmethode** gekennzeichnet. Im Unterschied zu den *Instanz*methoden der *Objekte* werden die Klassenmethoden, oft auch als *statische Methoden* bezeichnet, von der Klasse selbst ausgeführt. Die beim Programmstart automatisch ausgeführte **main()**–Methode der Startklasse muss auf jeden Fall durch den Modifikator **static** als Klassenmethode gekennzeichnet werden. In einem objektorientierten Programm hat sie insbesondere die Aufgabe, die ersten Objekte zu erzeugen (siehe unsere Klasse `BruchAddition` auf Seite 9).
- **void**
  Die Methode **main()** erhält den Typ **void**, weil sie keinen Rückgabewert liefert.

- In der **Parameterliste** einer Methode, die ihrem Namen zwischen runden Klammern folgt, kann die gewünschte Arbeitsweise näher spezifiziert werden. Wir werden uns später ausführlich mit diesem wichtigen Thema beschäftigen und beschränken uns hier auf zwei Hinweise:
  - *Für Neugierige und/oder Vorgebildete*
    Der **main()**-Methode werden über einen Array mit **String**-Elementen die Spezifikationen übergeben, die der Anwender in der Kommandozeile beim Programmstart angegeben hat. In unserem Beispiel kümmert sich die Methode **main()** allerdings nicht um solche Anwenderwünsche.
  - *Für Alle*
    Bei einer **main()**-Methode ist die im Beispiel verwendete Parameterliste obligatorisch, weil die JRE ansonsten die Methode beim Programmstart nicht erkennt mit derselben Fehlermeldung wie bei einem fehlenden **public**-Modifikator reagiert (siehe oben). Den Parameter*namen* (im Beispiel: `args`) darf man allerdings beliebig wählen.
- Dem Kopf einer Methodendefinition folgt der mit geschweiften Klammern eingerahmte Rumpf mit Variablendeklarationen und Anweisungen. Das minimalistische Beispielprogramm beschränkt sich auf eine einzige Anweisung, die einen Methodenaufruf enthält.
- In der **main()**-Methode unserer `Hallo`-Klasse wird die **println()**-Methode des vordefinierten Objekts **System.out** dazu benutzt, einen Text an die Standardausgabe zu senden. Zwischen dem Objekt- und dem Methodennamen steht ein Punkt. Bei einem Methodenaufruf handelt sich um eine Anweisung, die folglich mit einem Semikolon abzuschließen ist.

Es dient der Übersichtlichkeit, zusammengehörige Programmteile durch eine **gemeinsame Einrücktiefe** zu kennzeichnen. Man realisiert die Einrückungen am einfachsten mit der Tabulatortaste, aber auch Leerzeichen sind erlaubt. Für den Compiler sind die Einrückungen irrelevant.

Schreiben Sie den Quellcode mit einem beliebigen Texteditor, unter Windows z.B. mit **Notepad** (**Editor**), und speichern Sie Ihr Quellprogramm unter dem Namen **Hallo.java** in einem geeigneten Verzeichnis, z.B. in

U:\Eigene Dateien\Java\Kurs\BspUeb\Einleitung\Hallo\JDK

Beachten Sie bitte:

- Der Dateinamensstamm (vor dem Punkt) sollte unbedingt mit dem Klassennamen übereinstimmen. Ansonsten resultiert eine Namensabweichung zwischen Quellcode- und Bytecode-Datei, denn die vom Compiler erzeugte Bytecode-Datei übernimmt den Namen der *Klasse*. Bei einer Klasse mit dem Zugriffsmodifikator **public** (siehe unten) besteht der Compiler darauf, dass der Dateinamensstamm mit dem Klassennamen übereinstimmt.
- Die Dateinamenserweiterung muss **.java** lauten.
- Unter Windows ist beim Dateinamen die Groß-/Kleinschreibung zwar irrelevant, doch sollte auch hier auf exakte Übereinstimmung mit dem Klassennamen geachtet werden.

2.2.2 Kompilieren

Öffnen Sie ein Konsolenfenster, und wechseln Sie in das Verzeichnis mit dem neu erstellten Quellprogramm **Hallo.java**.

Lassen Sie das Programm vom JDK-Compiler **javac** übersetzen:

```
"C:\Program Files\Java\JDK 7\bin\javac" Hallo.java
```

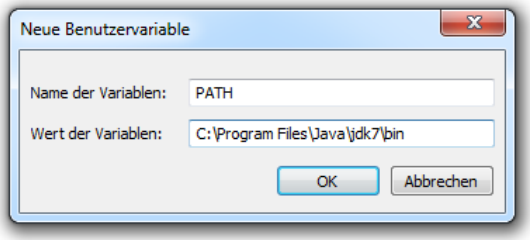
Damit der Compiler ohne Pfadangabe von jedem Verzeichnis aus gestartet werden kann,

```
javac Hallo.java
```

muss das **bin**-Unterverzeichnis (mit dem Compiler **javac.exe**) in die Definition der Umgebungsvariablen PATH aufgenommen werden. Diese Maßnahme wirkt sich auch auf andere Werkzeuge im selben Ordner aus, die wir gelegentlich verwenden werden (z.B. **appletviewer.exe** als Ausführungsumgebung für Applets). Bei der Software-Entwicklung mit Eclipse spielt der Compiler **javac.exe** keine Rolle, und ein Verzicht auf den PATH-Eintrag wird sich im Kurs kaum auswirken.

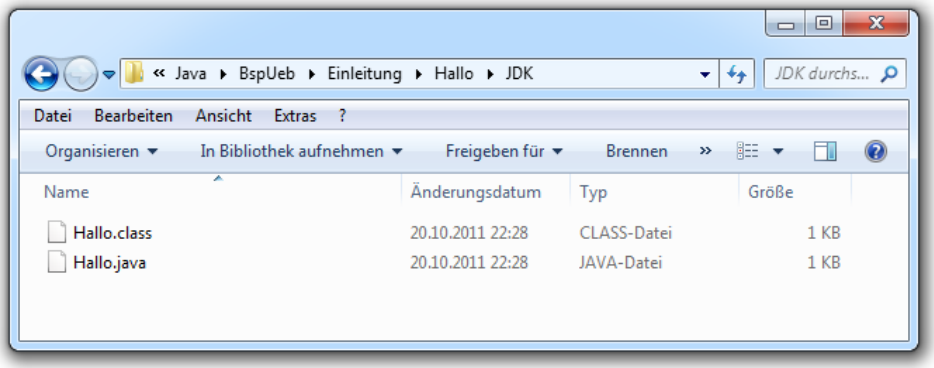
Unter Windows 7 lässt sich der PATH-Eintrag z.B. so realisieren:

- Öffnen Sie über das Startmenü die **Systemsteuerung**.
- Ändern Sie als **Anzeige** über das Bedienelement oben rechts die Option **Kleine Symbole**.
- Wählen Setzen Sie im Startmenü einen Rechtsklick auf den Eintrag **Arbeitsplatz**, um sein Kontextmenü zu öffnen, und wählen Sie daraus den Eintrag **Eigenschaften**.
- Wählen Sie im renovierten Fenster per Mausklick die Option **Benutzerkonten**.
- Klicken Sie im Seitenmenü des nächsten Dialogs auf den Link **Eigene Umgebungsvariablen ändern**.
- Nun können Sie in der Dialogbox **Umgebungsvariablen** die **Benutzervariable** PATH anlegen oder erweitern. Mit Administratorrechten lässt sich auch die Definition der regelmäßig vorhandenen **Systemvariablen** gleichen Namens erweitern.
- Im folgenden Dialog wird eine **neue Benutzervariable** angelegt:



Beim Erweitern einer PATH-Definition trennt man zwei Einträge durch ein Semikolon.

Falls beim Übersetzen keine Probleme auftreten, meldet sich der Rechner nach kurzer Bedenkzeit mit einem neuer Kommandoaufforderung zurück, und die Quellcodedatei **Hallo.java** erhält Gesellschaft durch die Bytecode-Datei **Hallo.class**, z.B.:



Beim Kompilieren einer Quellcodedatei wird auch jede darin benutzte fremde Klasse neu übersetzt, falls deren Bytecode-Datei fehlt oder älter als die zugehörige Quellcodedatei. Sind etwa im Bruchadditionsbeispiel die Quellcodedateien **Bruch.java** *und* **BruchAddition.java** geändert worden, dann genügt folgender Compileraufruf, um beide neu zu übersetzen:

```
javac BruchAddition.java
```

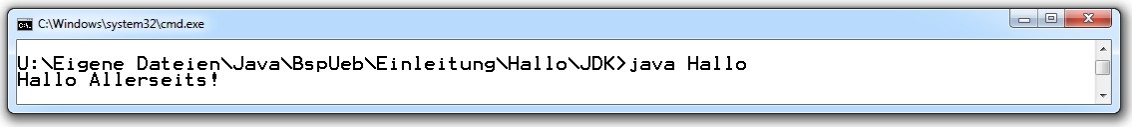
Die benötigten Quellcode-Dateinamen (z.B. **Bruch.java**) konstruiert der Compiler aus den ihm bekannten Klassenbezeichnungen (z.B. `Bruch`). Bei Missachtung der Quellcodedatei-Benennungsregeln (siehe Abschnitt 2.2.1) muss der Compiler bei seiner Suche natürlich scheitern.

2.2.3 Ausführen

Lassen Sie das Programm (bzw. die Klasse) **Hallo.class** von der JVM ausführen. Der Aufruf

```
java Hallo
```

sollte zum folgenden Ergebnis führen:



In der Regel müssen Sie keinen PATH-Eintrag vornehmen, um **java.exe** bequem starten zu können, weil dies bereits bei der JRE-Installation geschehen ist.

Beim Programmstart ist zu beachten:

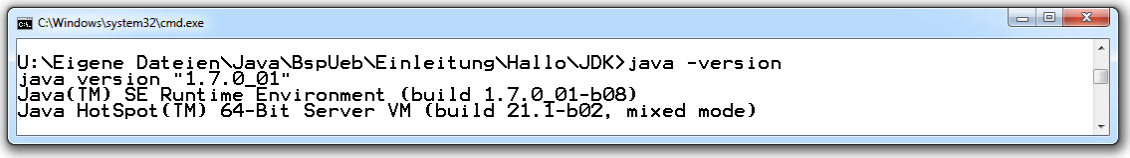
- Die Namenserweiterung **.class** wird **nicht** angegeben. Wer es doch tut, erhält keinen Fleißpunkt, sondern eine Fehlermeldung:

- Beim Aufruf des Interpreters wird der Name der auszuführenden Klasse als Argument angegeben. Weil es sich dabei um einen Java-Bezeichner handelt, muss die Groß-/Kleinschreibung mit der Klassendeklaration (in der Datei **Hallo.java**) übereinstimmen (auch unter Windows!). Java-Klassennamen beginnen meist mit großem Anfangsbuchstaben, und genau so müssen die Namen auch beim Programmstart geschrieben werden.

Die Version der installierten JRE kann mit dem Kommando

```
java -version
```

ermittelt werden. In diesem Beispiel



ist neben der Versionsangabe 1.7.0_01 (alias 7 Update 1) zu erfahren, dass die **HotSpot - 64-Bit Server VM** im Einsatz ist. Sie stellt sich beim Übersetzen des Java-Bytecodes in Maschinencode besonders geschickt an (Analyse des Laufzeitverhaltens) und ist älteren JVMs, die mit einem **JIT**-Compiler (***J**ust-**i**n-**T**ime*) arbeiten, deutlich überlegen.

In Abschnitt 2.1.1 wurde begründet, dass auf einem Rechner mit 64-Bit - Windows die JRE sowohl in 64- als auch in 32-Bit - Ausführung installiert werden sollte. Um die Version der 32-Bit-Ausführung zu ermitteln, können sie z.B. in einem Konsolenfenster den zugehörigen Pfad ansteuern und dann die Versionsangabe anfordern, z.B.

Diesmal wird neben der Versionsangabe die **HotSpot Client VM** gemeldet, und es stellt sich die Frage nach den Unterschieden zwischen den beiden JVM-Varianten. Auf der Oracle-Webseite

http://www.oracle.com/technetwork/java/whitepaper-135217.html

ist zu erfahren:

> These two solutions share the Java HotSpot runtime environment code base, but use different compilers that are suited to the distinctly unique performance characteristics of clients and servers. These differences include the compilation inlining policy and heap defaults.

Interessierte finden auf der Webseite vertiefende Erläuterungen.

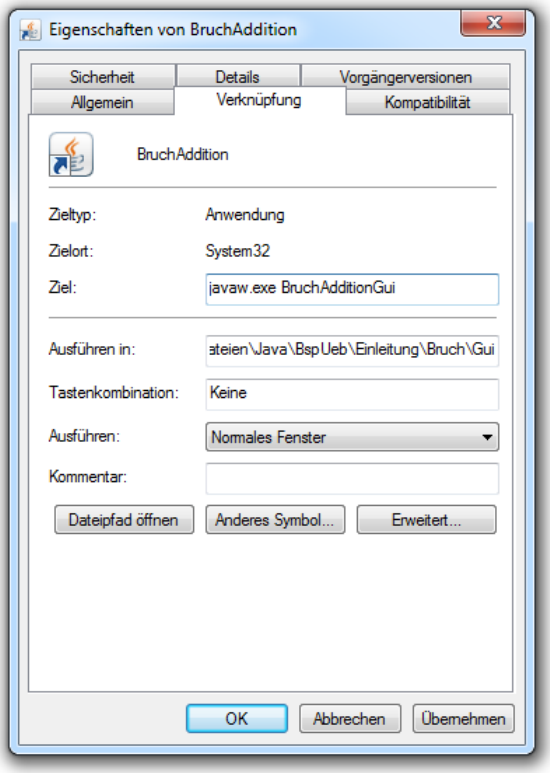
Wie Sie inzwischen wissen, wird zum *Ausführen* von Java-Programmen *nicht* das JDK (mit Entwicklerwerkzeugen, Dokumentation etc.) benötigt, sondern lediglich die **Java Runtime Environment** (JRE) mit dem Interpreter **java.exe** und der Standardklassenbibliothek. Dieses Produkt ist bei Oracle über die folgende Adresse erhältlich:

http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html

Man darf die JRE zusammen mit eigenen Programmen weitergeben, um diese auf beliebigen Rechnern lauffähig zu machen.

Das beim Einsatz von **java.exe** unvermeidliche Konsolenfenster kann beim Starten einer Java-Anwendung mit graphischer Bedienoberfläche störend wirken. Unter Windows bietet sich als Alternative der Starter **javaw.exe** an, der auf ein Konsolenfenster verzichtet, z.B.:

Über eine Verknüpfung mit den folgenden Eigenschaften

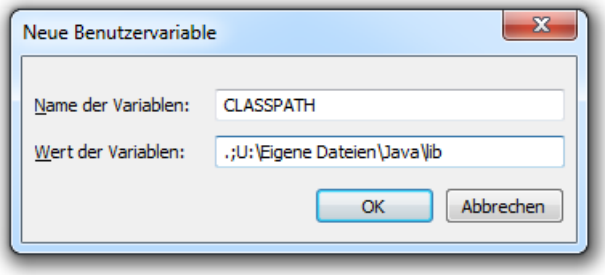


kann das in Abschnitt 1.1 vorgestellte graphische Bruchadditionsprogramm per Doppelklick gestartet werden (ohne Auftritt eines Konsolenfensters).

Java-Programme, die in der Regel aus mehreren Dateien bestehen, werden oft als *eine* Java-Archivdatei (mit der Namenserweiterung **.jar**, siehe Abschnitt 9.4) ausgeliefert und sind dann bequem über einen Doppelklick auf diese Datei zu starten.

2.2.4 Suchpfad für class-Dateien setzen

Compiler und Interpreter benötigen Zugriff auf die Bytecode-Dateien der Klassen, die im zu übersetzenden Quellcode bzw. im auszuführenden Programm angesprochen werden. Mit Hilfe der Umgebungsvariablen CLASSPATH kann man eine Liste von Verzeichnissen, JAR-Archiven (siehe Abschnitt 9.4) oder ZIP-Archiven spezifizieren, die nach **class**-Dateien durchsucht werden sollen, z.B.:

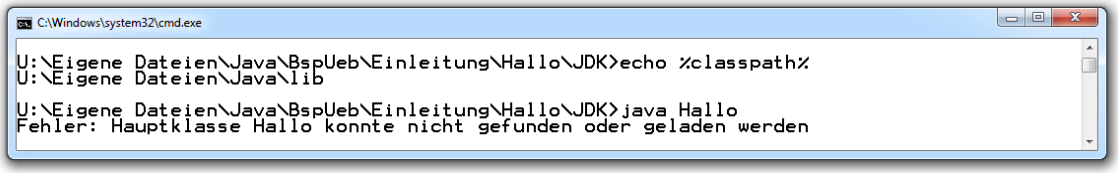


Bei einer Verzeichnisangabe sind Unterverzeichnisse *nicht* einbezogen. Sollten sich z.B. für einen Compiler- oder Interpreter-Aufruf benötigte Dateien im Ordner **U:\Eigene Dateien\Java\lib\sub** befinden, werden sie aufgrund der CLASSPATH-Definition in obiger Dialogbox nicht gefunden.

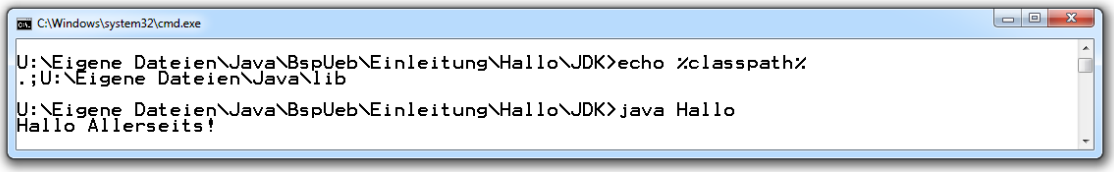
Wie man unter Windows 7 eine Umgebungsvariable setzen kann, wird in Abschnitt 2.2.2 beschrieben.

Befinden sich alle benötigten Klassen entweder in der JSE - Standardbibliothek (vgl. Abschnitt 1.2.3) oder im aktuellen Verzeichnis, dann wird *keine* CLASSPATH-Umgebungsvariable benötigt.

Ist sie jedoch vorhanden (z.B. von irgendeinem Installationsprogramm unbemerkt angelegt), dann werden außer der Standardbibliothek nur die angegebenen Pfade berücksichtigt. Dies führt zu Problemen bei CLASSPATH-Variablen, die das aktuelle Verzeichnis *nicht* enthalten, z.B.:



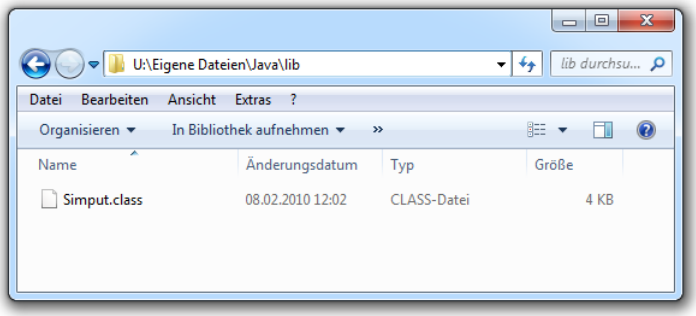
In diesem Fall muss das aktuelle Verzeichnis (z.B. dargestellt durch einen einzelnen Punkt, s. o.) in die CLASSPATH-Pfadliste aufgenommen werden, z.B.:



Weil in vielen konsolenorientierten Beispielprogrammen des Manuskripts die nicht zum JSE-API gehörige Klasse **Simput.class** (siehe unten) zum Einsatz kommt, sollte die Umgebungsvariable CLASSPATH so gesetzt werden, dass der Compiler und der Interpreter die Klasse **Simput.class** finden. Dies gelingt z.B. unter Windows 7 mit der oben abgebildeten Dialogbox **Neue Benutzervariable**, wenn Sie die Datei

...\BspUeb\Simput\Simput.class

in den Ordner **U:\Eigene Dateien\Java\lib** kopiert haben:



Achten Sie unbedingt darauf, den aktuellen Pfad über einen Punkt in die CLASSPATH-Definition aufzunehmen.

Unsere Entwicklungsumgebung Eclipse ignoriert die CLASSPATH-Umgebungsvariable, bietet aber eine alternative Möglichkeit zur Definition eines Klassenpfads (siehe Abschnitt 3.4.2).

Wenn sich nicht alle bei einem Compiler- oder Interpreter-Aufruf benötigten **class**-Dateien im aktuellen Verzeichnis befinden, und auch nicht auf die CLASSPATH-Variable vertraut werden soll, können die nach **class**-Dateien zu durchsuchenden Pfade auch in den Startkommandos über die **classpath**-Option (abzukürzen durch **cp**) angegeben werden, z.B.:

```
javac -cp ".;U:\Eigene Dateien\java\lib" Bruch.java
java -cp ".;U:\Eigene Dateien\java\lib" BruchAddition
```

Auch hier muss das aktuelle Verzeichnis ausdrücklich (z.B. durch einen Punkt) aufgelistet werden, wenn es in die Suche einbezogen werden soll.

Ein Vorteil der **cp**-Kommandozeilenoption gegenüber der Umgebungsvariablen CLASSPATH besteht darin, dass für jede Anwendung eine eigene Suchliste eingestellt werden kann.

Mit dem Verwenden der **cp**-Kommandozeilenoption wird eine eventuell vorhandene CLASSPATH-Umgebungsvariable für den gestarteten Compiler- oder Interpreterlauf deaktiviert.

2.2.5 Programmfehler beheben

Die vielfältigen Fehler, die wir mit naturgesetzlicher Unvermeidlichkeit beim Programmieren machen, kann man einteilen in:

- **Syntaxfehler**
  Diese verstoßen gegen eine Syntaxregel der verwendeten Programmiersprache, werden vom Compiler gemeldet und sind daher relativ leicht zu beseitigen.
- **Semantikfehler**
  Hier liegt kein Syntaxfehler vor, aber das Programm verhält sich anders als erwartet, wiederholt z.B. ständig eine nutzlose Aktion („Endlosschleife“).

Die Java-Urheber haben dafür gesorgt (z.B. durch strenge Typisierung, Beschränkung der impliziten Typanpassung, Zwang zur Behandlung von Ausnahmen), dass möglichst viele Fehler vom Compiler aufgedeckt werden können.

Wir wollen am Beispiel eines provozierten Syntaxfehlers überprüfen, ob der JDK-Compiler hilfreiche Fehlermeldungen produziert. Wenn im `Hallo`-Programm der Klassenname **System** fälschlicherweise mit kleinem Anfangsbuchstaben geschrieben wird,

```
class Hallo {
    public static void main(String[] args) {
          system.out.println("Hallo Allerseits!");
    }
}
```

führt ein Übersetzungsversuch zu folgender Reaktion:

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
U:\Eigene Dateien\Java\BspUeb\Einleitung\Hallo\JDK>javac Hallo.java
Hallo.java:3: error: package system does not exist
              system.out.println("Hallo Allerseits!");
                     ^
1 error
```

Weil sich der Compiler bereits unmittelbar hinter dem betroffenen Wort sicher ist, dass ein Fehler vorliegt, kann er die Schadstelle genau lokalisieren:

- In der ersten Fehlermeldungszeile liefert der Compiler den Namen der betroffenen Quellcodedatei, die Zeilennummer und eine Fehlerbeschreibung.
- Anschließend protokolliert der Compiler die betroffene Zeile und markiert die Stelle, an der die Übersetzung abgebrochen wurde.

Manchmal wird dem Compiler aber erst in einiger Distanz zur Schadstelle klar, dass ein Regelverstoß vorliegt, so dass statt der kritisierten Stelle eine frühere Passage zu korrigieren ist.

Im Beispiel fällt auch die Fehlerbeschreibung brauchbar aus, obwohl der Compiler falsch vermutet, dass mit dem verunglückten Bezeichner ein Paket (siehe unten) gemeint sei.

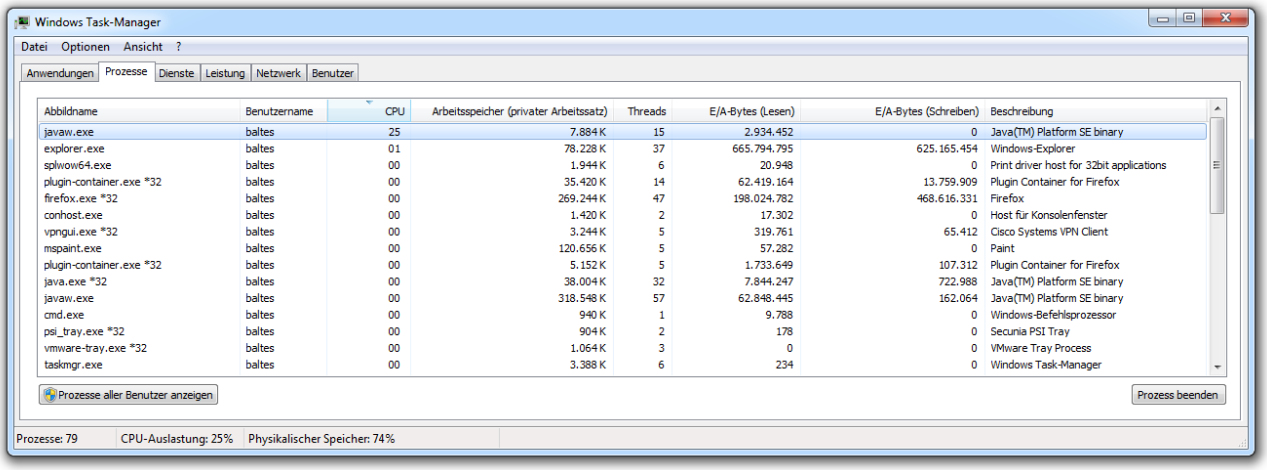
Weil sich in das simple Hallo-Beispielprogramm kaum ein *Semantikfehler* einbauen lässt, betrachten wir die in Abschnitt 1.1 vorgestellte Klasse `Bruch`. Wird z.B. in der Methode `setzeNenner()` bei der Absicherung gegen Nullwerte das Ungleich-Operatorzeichen (!=) durch sein Gegenteil (==) ersetzt, ist keine Java-Syntaxregel verletzt:

```
public boolean setzeNenner(int n) {
 if (n == 0) {
  nenner = n;
  return true;
 } else
  return false;
}
```

In der **main()**-Methode der folgenden Klasse `UnBruch` erhält ein „Bruch“ aufgrund der untauglichen Absicherung den kritischen Nennerwert Null und wird anschließend zum Kürzen aufgefordert:

```
class UnBruch {
 public static void main(String[] args) {
  Bruch b = new Bruch();
  b.setzeZaehler(1);
  b.setzeNenner(0);
  b.kuerze();
 }
}
```

Daraufhin zeigt das Programm ein unerwünschtes Verhalten. Es gerät in eine Endlosschleife (siehe unten) und verbraucht dabei reichlich Rechenzeit, wie der Windows-Taskmanager (auf einem PC mit dem Intel-Prozessor Core i3 mit Dual-Core - Hyper-Threading-CPU, also mit vier logischen Kernen) belegt:



Ein derart außer Kontrolle geratenes Konsolenprogramm kann man unter Windows z.B. mit der Tastenkombination **Strg+C** beenden.

2.3 Eclipse 3.7.1 JEE installieren

Zur (im Oktober 2011 aktuellen) Eclipse-Version 3.7 (*Indigo*) werden auf der Webseite

http://www.eclipse.org/downloads/

etliche Pakete angeboten. Weil wir uns auch mit Datenbankprogrammierung beschäftigen wollen, entscheiden wir uns für das (212 MB große) Paket **Eclipse IDE for Java EE Developers**.

Eventuell sind Sie irritiert, weil die Pakete in einer 64- und eine 32-Bit - Variante erhältlich sind, obwohl Eclipse oben als Java-Anwendung bezeichnet wurde und daher perfekt portabel sein sollte. Vermutlich ist die mit Eclipse eingeführte GUI-Bibliothek SWT (mit Klassen zur Gestaltung einer graphischen Bedienoberfläche), dafür verantwortlich, dass die ein oder andere Datei mit Maschinen-Code bei Eclipse beteiligt ist, so dass sich die Versionen für x86 und x64 unterscheiden. Wir werden zwar mit Eclipse arbeiten, bei unseren GUI-Anwendungen aber die komplett in Java realisierte Swing-Bibliothek verwenden und somit eine uneingeschränkte Binärportabilität erhalten.

Im Manuskript wird eine Eclipse-Zusammenstellung verwendet, die folgende Bestandteile enthält:

- **Eclipse 3.7.1 IDE for Java EE Developers**
- **GUI-Designer WindowBuilder 1.1**
  Der WindowBuilder ist im Eclipse-Paket für die JSE enthalten, muss aber im JEE-Paket nachinstalliert werden.
- **Deutsche Sprachpakete (Babel-Projekt, R0.9.0)**

Voraussetzungen:

- Java Runtime Environment ab 1.5 (5.0)
  Als Java-Anwendung benötigt Eclipse zur Ausführung eine JRE. Weil wir bereits das JDK 7 (alias 1.7.0) installiert haben, ist auf jeden Fall eine passende JRE vorhanden.
- ca. 320 MB Festplattenspeicher

Von der oben angegebenen Download-Adresse erhält eine ZIP-Datei (z.B. mit dem Namen **eclipse-jee-indigo-SR1-win32-x86_64.zip** bei der 64-Bit - Version), die z.B. mit dem Hilfsprogramm 7-Zip (siehe Abschnitt 2.1.2) ausgepackt werden kann.

Um den WindowBuilder und/oder die deutschen Sprachpakete aus dem Babel-Projekt zu installieren, kann man bei vorhandener Internetverbindung so vorgehen:

- Eclipse starten
- Menübefehl **Help > Install new Software**
- Im Textfeld **Work With** für den WindowBuilder den folgenden Link eintragen:
  http://download.eclipse.org/windowbuilder/WB/release/R201106211200/3.7/
- Für die weiteren Schritte benötigen Sie sicher keine Anleitung

Für die Babel-Sprachpakete ist der folgende Link einzutragen:

http://download.eclipse.org/technology/babel/update-site/R0.9.0/indigo

Anschließend sollten Sie noch über den folgenden Menübefehl

Hilfe > Auf Updates prüfen

dafür sorgen, dass ggf. vorhandene Updates installiert werden.

Wenn Sie auf Ihrem Heim-PC Schreibrechte im Programmordner besitzen, wird Eclipse seine **Konfiguration** dort verwalten, z.B. in

C:\Users\<*user*>\Documents\Eclipse JEE 3.7.1\configuration)

Anderenfalls legt Eclipse seinen **configuration**-Ordner im Benutzprofil an, z.B. auf einem PC unter Windows 7 hier:

C:\Users\<*user*>\.eclipse\org.eclipse.platform_3.7.0_1505462084\configuration

2.4 Java-Entwicklung mit Eclipse

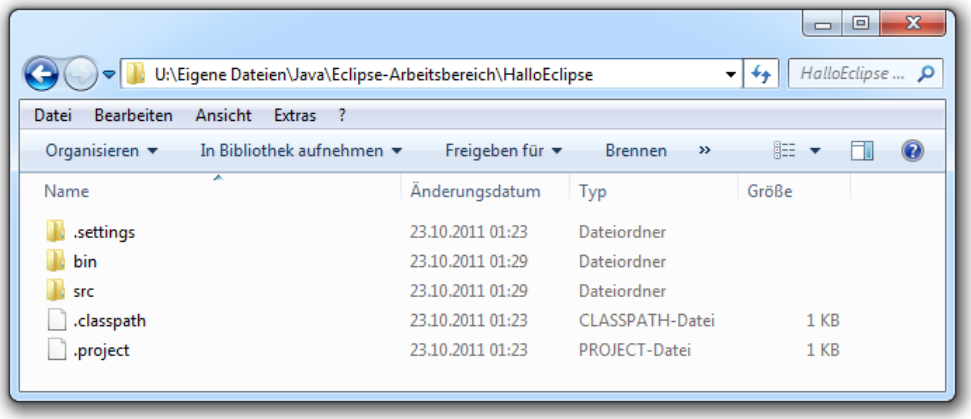
Zu Eclipse sind umfangreiche Bücher entstanden mit einer Beschreibung der zahlreichen Profiwerkzeuge zur Softwareentwicklung (z.B. Künneth 2009, RRZN 2005). Wir beschränken uns anschließend auf elementare Informationen für Einsteiger, die später nach Bedarf ergänzt werden.

Eclipse taugt nicht nur als Java-Entwicklungsumgebung, sondern kann über entsprechende Erweiterung auch für andere Programmiersprachen genutzt werden (z.B. PHP, C++, Fortran). Außerdem lässt sich Eclipse aufgrund seiner modularen Struktur als Basis für eigene Java-Anwendungen verwenden. Ein Beispiel für den Einsatz von Eclipse als **Rich Client Platform** (RCP) ist das Statistikprogramm **SmartPLS**.[1]

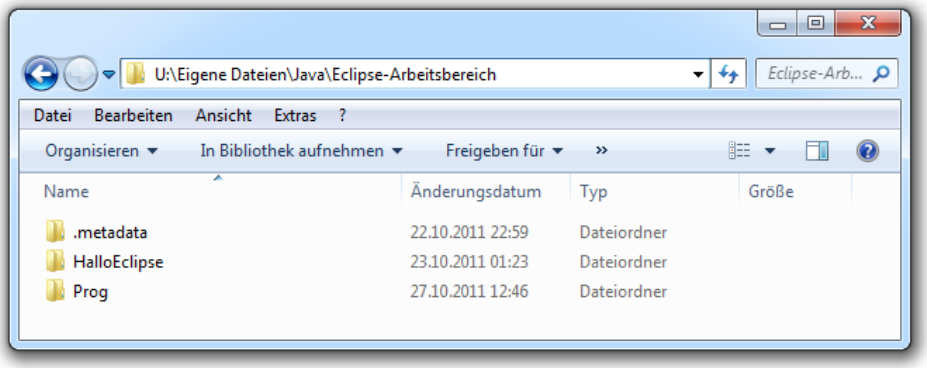
[1] URL: http://www.smartpls.de/forum/

2.4.1 Arbeitsbereich und Projekte

Eclipse legt für jedes Projekt einen Ordner an, der Quellcode-, Bytecode-, Konfigurations- und Hilfsdateien aufnimmt, z.B.:



Jedes Projekt gehört zu einem **Arbeitsbereich**, der auf einen Ordner abgebildet wird. Bei jedem Eclipse-Start ist ein Arbeitsbereichsordner anzugeben, der neben einen recht umfangreichen Konfigurationsordner namens **.metadata** (mit einleitendem Punkt) die Ordner der Projekte des Arbeitsbereichs enthält, z.B.:



Allerdings können die Projekte auch unabhängig vom Arbeitsbereichsordner aufbewahrt werden.

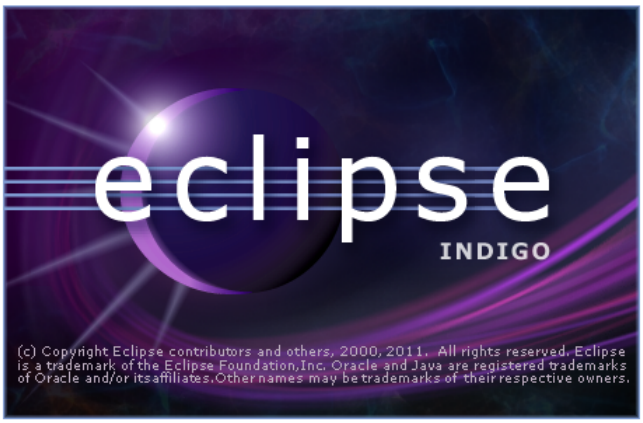
2.4.2 Eclipse starten

Auf den Pool-PCs an der Universität Trier können Sie die Version 3.7 der **Eclipse IDE for Java EE Developers** (vgl. Abschnitt 2.3) folgendermaßen starten:

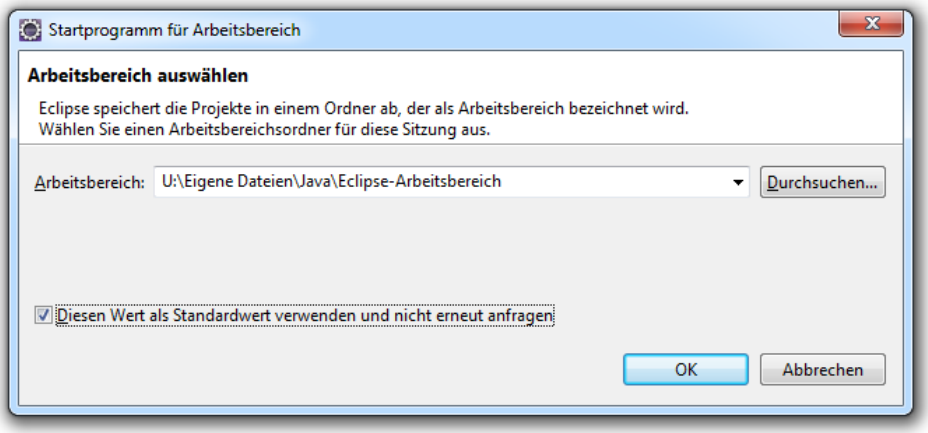
Start > Alle Programme > Programmentwicklung > Java > Eclipse 3.7> Eclipse JEE 3.7

Auf Ihrem eigenen Rechner starten Sie Eclipse über die Datei **eclipse.exe** im Installationsordner oder eine zugehörige Verknüpfung (vgl. Abschnitt 2.1).

Eclipse erkundigt sich beim imposant eingeleiteten Start



nach dem gewünschten Arbeitsbereich, wobei Sie an einem Pool-PC der Universität Trier einen Ordner auf dem Laufwerk U: wählen sollten, z.B.:



Wenn Sie Eclipse veranlasst haben, einen **Standardwert** ohne Anfrage zu verwenden, können Sie Ihre Festlegung später so modifizieren:

- Für einen spontanen Wechsel steht in Eclipse der Menübefehl

  Datei > Arbeitsbereich wechseln > Andere

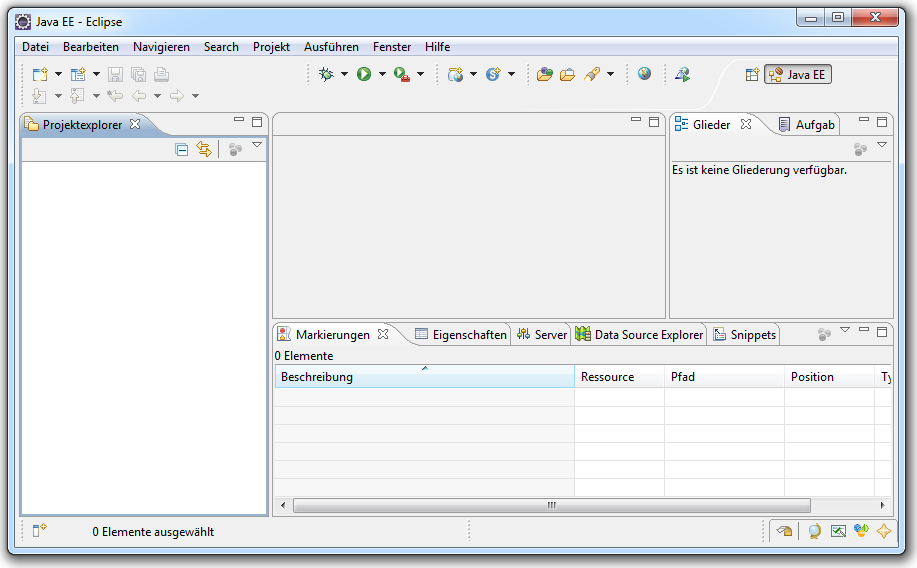
  zur Verfügung. Dabei wird Eclipse beendet und mit dem gewählten Arbeitsbereich neu gestartet.
- Mit

  Fenster > Benutzervorgaben > Allgemein > Start und Beendigung > Arbeitsbereiche > Arbeitsbereich bei Start anfordern

  reaktivieren Sie die routinemäßige Arbeitsbereichsanfrage beim Start.

Beim ersten Eclipse-Start werden Sie recht eindrucksvoll begrüßt, hier von der Version für JEE-Entwickler:

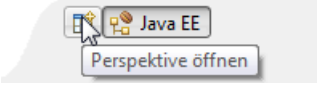
Nach einem Mausklick auf das mit **Arbeitsbereich** beschriftete Symbol erscheint ein Arbeitsplatz mit zahlreichen Werkzeugen für die komfortable und erfolgreiche Software-Entwicklung in Java:



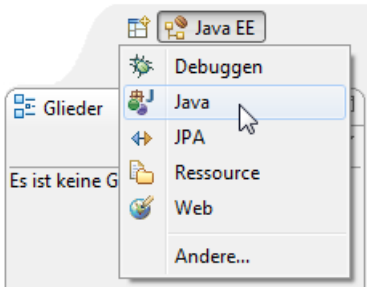
2.4.3 Eine Frage der Perspektive

Die im Eclipse-Fenster enthaltenen Werkzeuge lassen sich in **Sichten** (z.B. zur Anzeige von Projektinhalten oder Übersetzungsfehler) sowie **Editoren** (z.B. für Quellcode oder XML-Dateien) unterteilen. Unter einer **Perspektive** versteht Eclipse eine Zusammenstellung von Sichten und Editoren.

Beim Eclipse-Paket für JEE-Entwickler ist die Perspektive **Java EE** voreingestellt. Wir wählen stattdessen nach einem Klick auf den Schalter **Perspektive öffnen** (oben rechts)



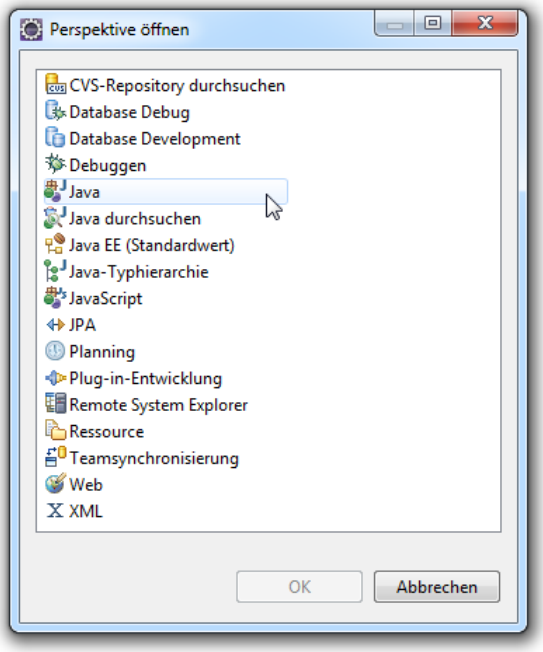
die momentan besser geeignete Perspektive **Java**:



Bei Bedarf erhält man über den Menübefehl

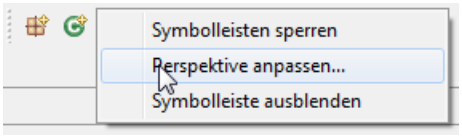
Fenster > Perspektive öffnen > Andere

eine besonders große Auswahl an Perspektiven:

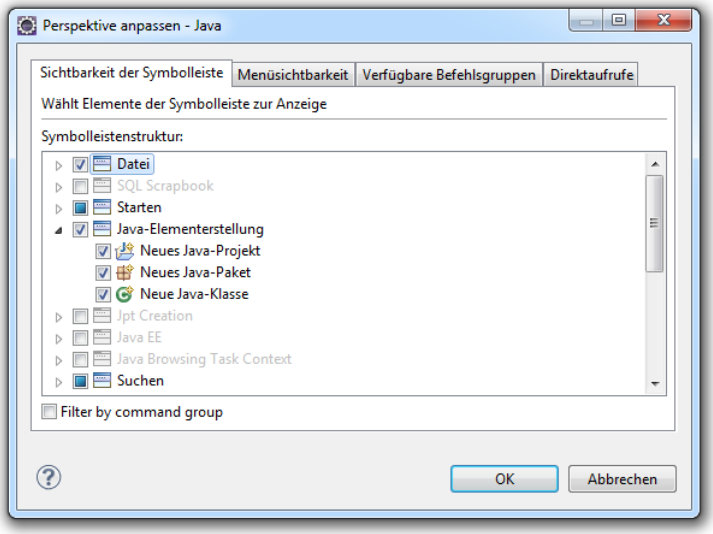


Die Sichten und Editoren einer Perspektive lassen sich flexibel in der Größe ändern, konfigurieren, verschieben oder löschen. Wir nehmen bei der Java-Perspektive zwei Veränderungen vor:

- Symbolschalter **Neues Java-Projekt** nachrüsten
  Um das Anlegen eines neuen Java-Projekts bequem per Symbolschalter veranlassen zu können, modifizieren wir die Symbolleiste **Java-Elementerstellung**. Dazu wählen wir im Kontextmenü zur Symbolleiste das Item **Perspektive anpassen**

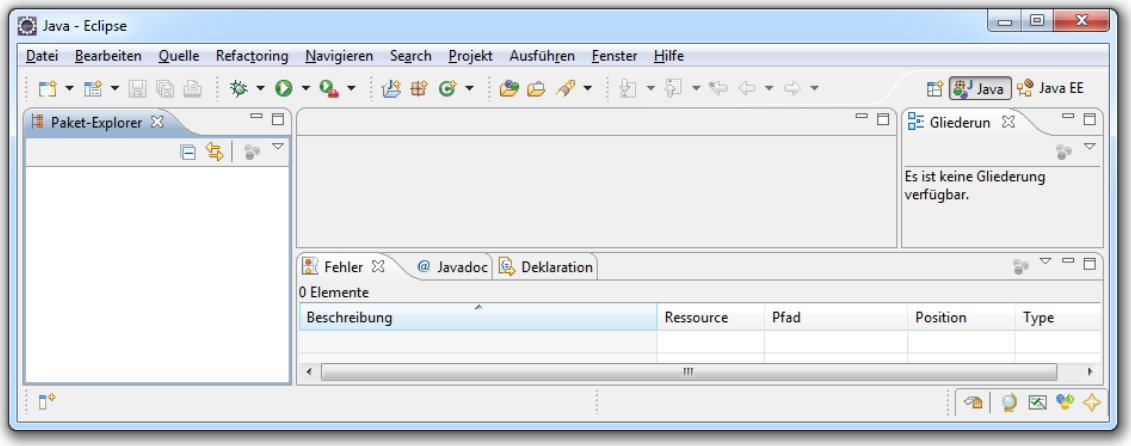
  und markieren im folgenden Dialog



das Kontrollkästchen **Neues Java-Projekt**.

- **Aufgabenliste** schließen
  Wir schließen die bei kleinen Projekten weniger wichtige **Aufgabenliste** (realisiert von der Eclipse-Erweiterung **Mylyn**). Sie erleichtert bei großen Projekten die Konzentration auf die aktuelle Teilaufgabe, indem irrelevante Informationen ausgeblendet werden.

So erhalten wir eine funktionale und doch aufgeräumte Perspektive zur Java-Entwicklung:



Nach einer verunglückten Konfiguration kann man den Originalzustand einer Perspektive über den Menübefehl

Fenster > Perspektive zurücksetzen

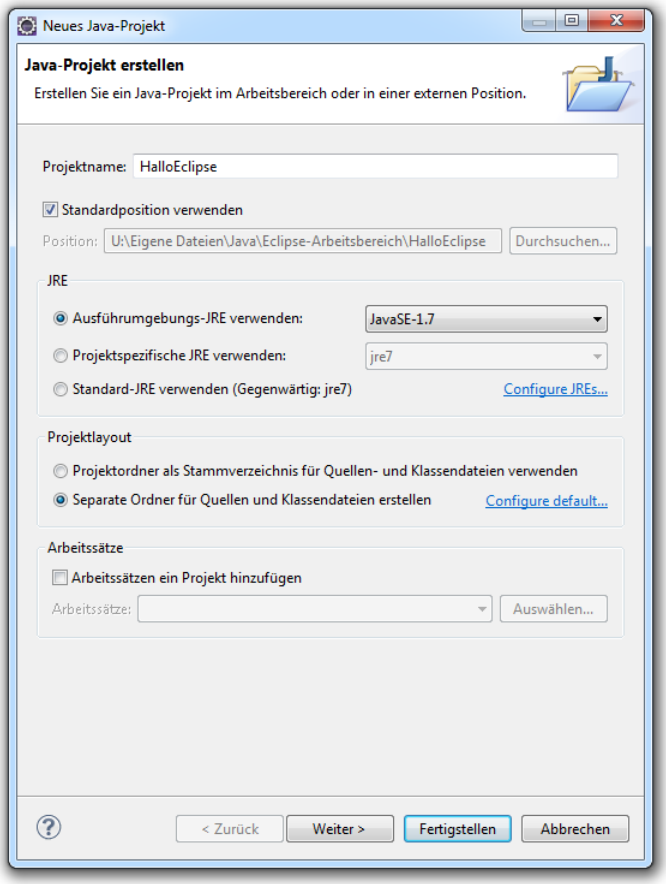
restaurieren.

2.4.4 Neues Projekt anlegen

Wir starten mit dem Symbolschalter oder dem Menübefehl

Datei > Neu > Java-Projekt

den Assistenten für neue Java-Projekte und legen im folgenden Dialog den **Projektnamen** fest, z.B.:



Mit der **Ausführungsumgebungs-JRE** wählt man auch eine Voreinstellung für das Compiler-Niveau, so dass Eclipse im Beispiel den Sprachumfang von Java 7 (alias 1.7) unterstützt, wobei die entstehenden Programme bei der ausführenden JRE auf dem Computern der Anwender mindestens dieses Niveau benötigen.

Es sind keine ernsthaften Probleme mit der JRE-Version auf den Rechnern Ihrer Kunden zu erwarten, denn …

- die Anwender können kostenlos die passende JRE-Version installieren,
- Sie können speziell für Ihr Programm (ohne Nebenwirkungen auf andere Java-Programme auf demselben Rechner) eine JRE mitliefern.

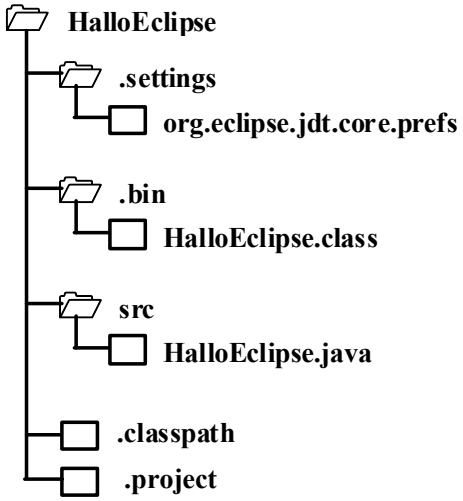
Im Rahmen **Projektlayout** geht es um die Struktur des Projektordners, der im Arbeitsbereichsordner angelegt wird, im Beispiel also in:

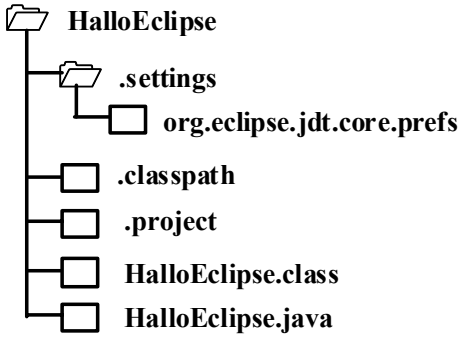
U:\Eigene Dateien\Java\Kurs\Eclipse-Arbeitsbereich

Aus der Voreinstellung

Separate Ordner für Quellen- und Klassendateien erstellen

resultiert das linke Projektlayout:





Aus der alternativen Option

Projektordner als Stammverzeichnis für Quellen- und Klassendateien verwenden

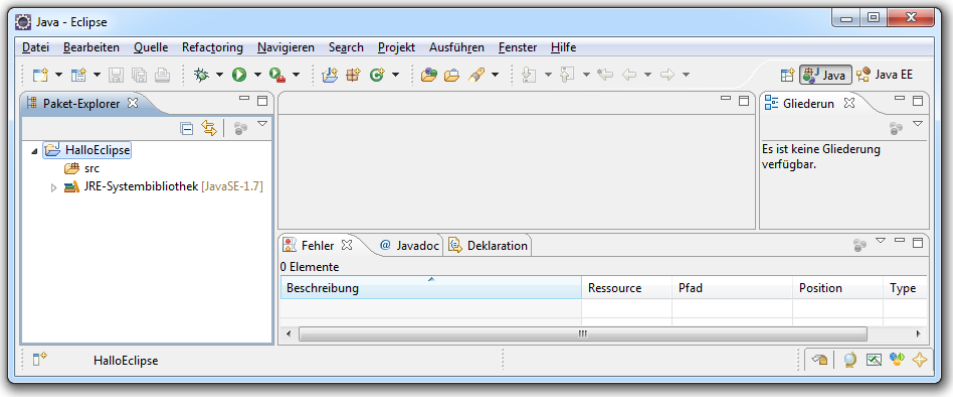
resultiert das rechte Projektlayout. Beim aktuell entstehenden Projekt verwenden wir das voreingestellte Layout mit Unterordnern für die Quellcode- und Klassendateien, das aufgrund der insgesamt sehr geringen Anzahl von Dateien etwas übertrieben zergliedert wirkt. Bei vielen anderen, ähnlich simplem Beispielprojekten zum Manuskript wird das flachere Projektlayout verwendet.

Für das Einstiegsprojekt können Sie den Assistenten jetzt mit **Fertigstellen** beenden und damit alle weiteren Dialoge ignorieren. Viele Einstellungen eines Projektes (z.B. das Compiler-Niveau) sind später über den Menübefehl

Projekt > Eigenschaften

zu ändern.

Das neue Projekt erscheint im **Paket-Explorer**:



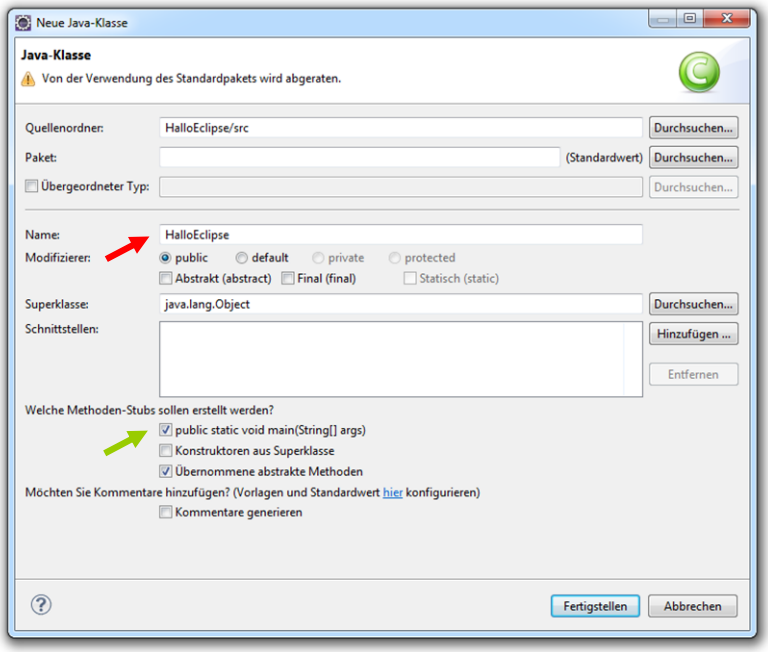
2.4.5 Klasse hinzufügen

Wir starten über den Symbolschalter oder den Menübefehl

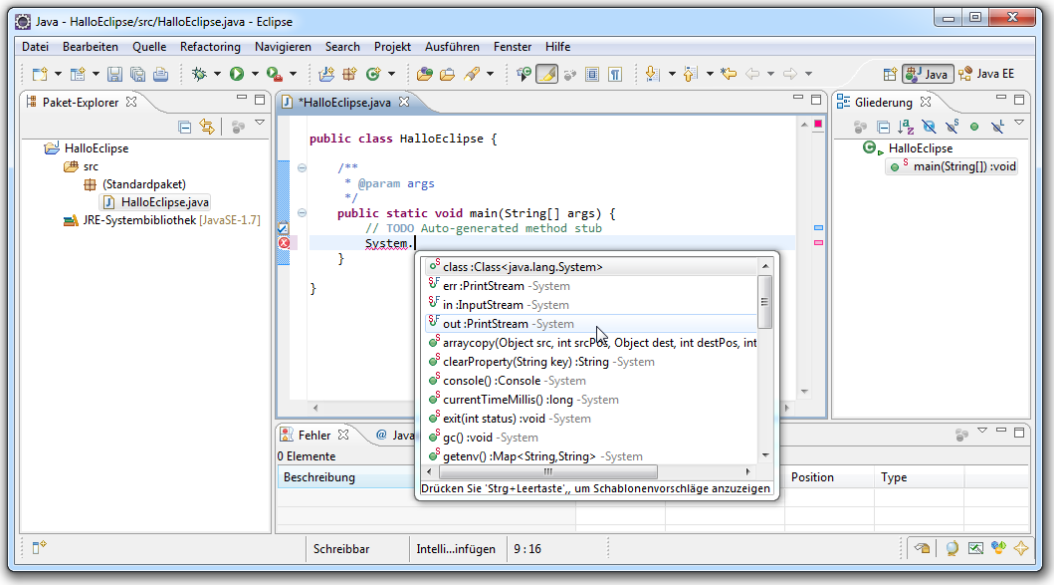
Datei > Neu > Klasse

die Definition einer neuen Klasse, legen im folgenden Dialog deren Namen fest (roter Pfeil), lassen einen **main()**-Methodenrohling automatisch anlegen (grüner Pfeil) und ignorieren die (bei großen Projekten sehr berechtigte) Kritik an der Verwendung des Standardpakets:[1]

[1] Mit Paketen werden wir uns später ausführlich beschäftigen.



Nach dem **Fertigstellen** befindet sich auf der Werkbank ein fast komplettes POO - Hallo-Programm, und wir müssen im Editor nur noch die unvermeidliche Ausgabeanweisung verfassen, wobei die Syntaxvervollständigung eine große Hilfe ist:

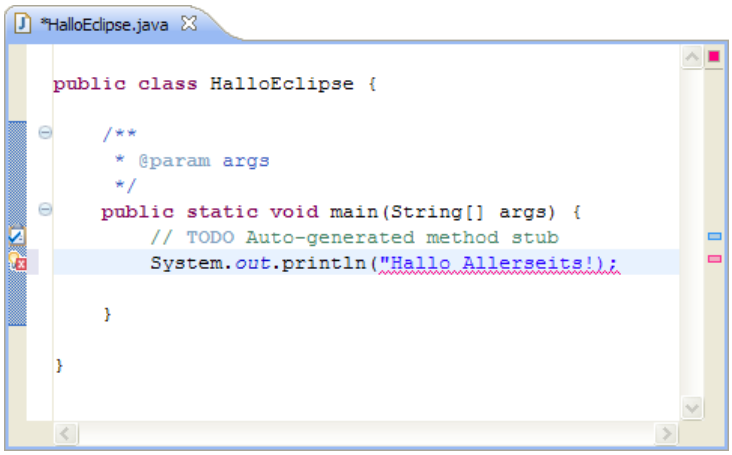


Sobald wir einen Punkt hinter den Klassennamen **System** setzen, erscheint eine Liste mit allen zulässigen Fortsetzungen, wobei wir uns im Beispiel für die Klassenvariable **out** entscheiden, die auf ein Objekt der Klasse **PrintStream** zeigt. Wir übernehmen das Ausgabeobjekt per Doppelklick in den Quellcode und setzen einen Punkt hinter seinen Namen. Jetzt werden u.a. die Instanzmethoden der Klasse **PrintStream** aufgelistet, und wir wählen per Doppelklick die Variante der Methode **println()** mit einem Parameter vom Typ **String**. Ein durch doppelte Hochkommata begrenzter Text und ein Semikolon hinter der Parameterliste komplettieren den Methodenaufruf, den wir objektorientiert als Nachricht an das Objekt **System.out** auffassen:

```
System.out.println("Hallo Allerseits!");
```

2.4.6 Übersetzen und Ausführen

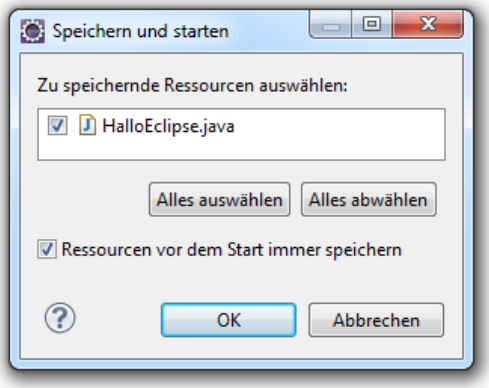
Analog zu einem Textverarbeitungsprogramm mit Rechtschreibungskontrolle während der Eingabe informiert Eclipse über Syntaxfehler, z.B.:



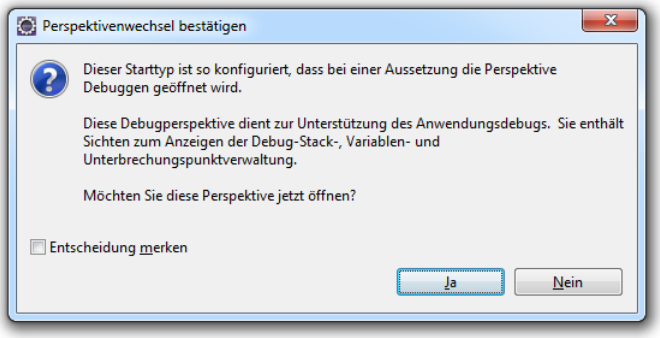
Hier ist ein inkrementeller Compiler am Werk.

Den Start unserer (möglichst fehlerfrei kodierten) Anwendung veranlassen wir mit Schalter oder die Tastenkombination **Strg+F11**.[1]

Falls Sie Ihr Projekt noch nicht gespeichert haben, können Sie dies jetzt tun und auch über ein Kontrollkästchen veranlassen, dass in Zukunft geänderter Quellecode grundsätzlich vor dem Programmstart gesichert wird:

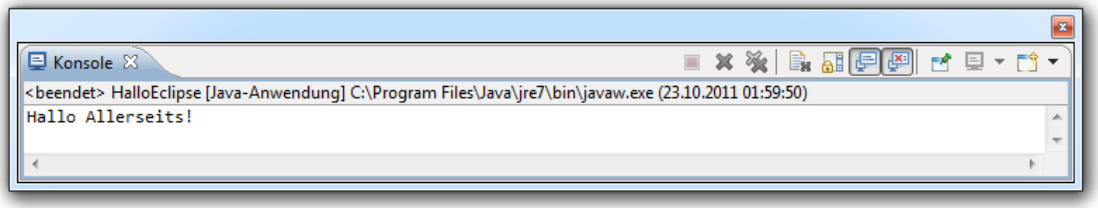


[1] Beim Starten per Tastatur kann man auf die Vorschalttaste **Strg** verzichten, also nur **F11** drücken. Dies bewirkt einen Start im so genannten Debug - Modus, der zur Fehlersuche konzipiert ist (vgl. Abschnitt 4.3.3). Eclipse muss in diesem Modus einigen Zusatzaufwand betreiben, um beim Auftreten eines Problems nützliche Informationen anbieten zu können. Bei unseren Programmen ist von diesem Zusatzaufwand nichts zu spüren, so dass wir uns den bequemeren Start über die Solo-Taste **F11** erlauben können. Wenn allerdings nach einem, **F11**-Start ein Fehler auftritt, bietet Eclipse den Wechsel zu einer für die Fehlersuche optimierten Perspektive (Werkzeugausstattung) an, was auf unserem Ausbildungsstand mehr irritiert als nutzt:



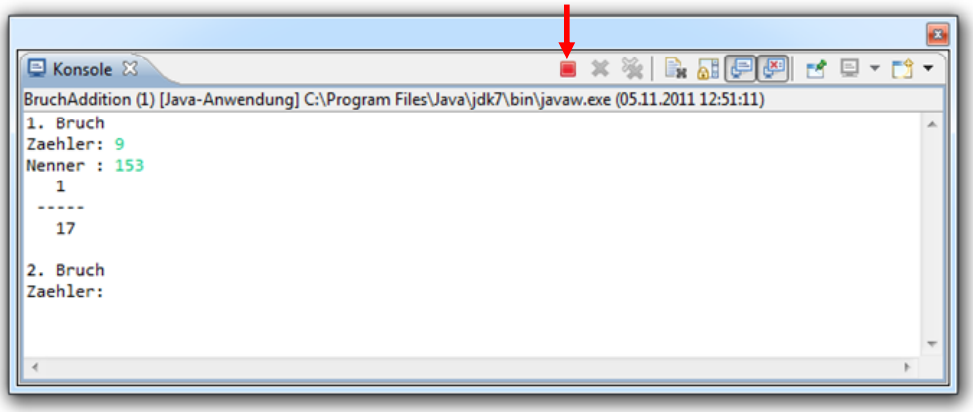
Daher ist vorläufig zum Starten per Tastatur die Kombination **Strg+F11** besser geeignet.

Die Ausgabe des Programms erscheint in der Sicht **Konsole**, die sich wie viele andere Werkbankbestandteile verschieben oder abtrennen lässt, z.B.:



Um das Konsolenfenster wieder zu verankern, packt man seine Beschriftung (**Konsole**) mit der linken Maustaste und zieht diese an den gewünschten Ankerplatz.

Ein im Rahmen von Eclipse gestartetes Programm (mit Konsolen und/oder GUI-Bedienoberfläche) lässt sich über den roten Stopp-Schalter in der Symbolleistenzone der Konsole beenden, z.B.:



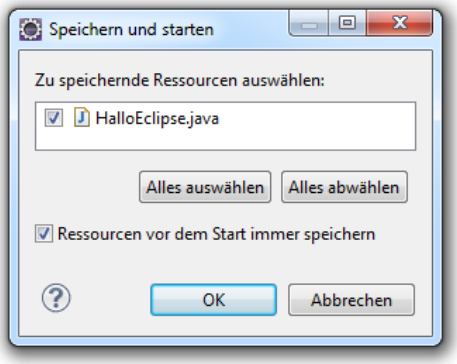
Wenn die Konsole (in der Eclipse-Terminologie eine so genannte *Sicht*) abhanden gekommen ist, kann sie mit folgenden Menübefehl reaktiviert werden:

Fenster > Sicht anzeigen > Konsole

2.4.7 Einstellungen ändern

2.4.7.1 Automatische Quellcodesicherung beim Ausführen

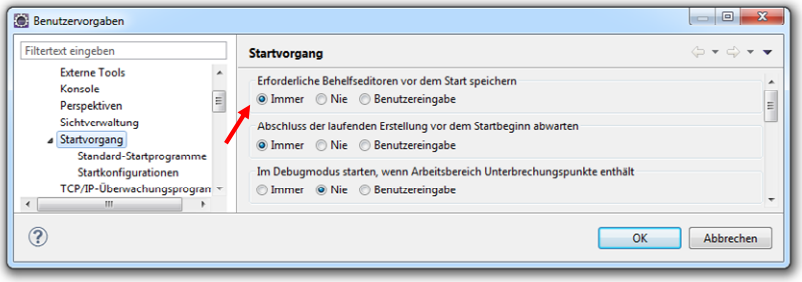
Wie Sie eben im Zusammenhang mit einem Übungsprojekt festgestellt haben, bietet Eclipse beim Starten eines geänderten Quellcodes die vorherige Sicherung an, z.B.:



Wenn Sie bei einer solchen Gelegenheit das regelmäßige Sichern veranlasst haben, können Sie diese Einstellung folgendermaßen widerrufen:

- **Fenster > Benutzervorgaben > Ausführen/Debug > Startvorgang**

- Wählen Sie im Optionsfeld **Erforderliche Befehlseditoren vor dem Starten speichern** den gewünschten Wert:

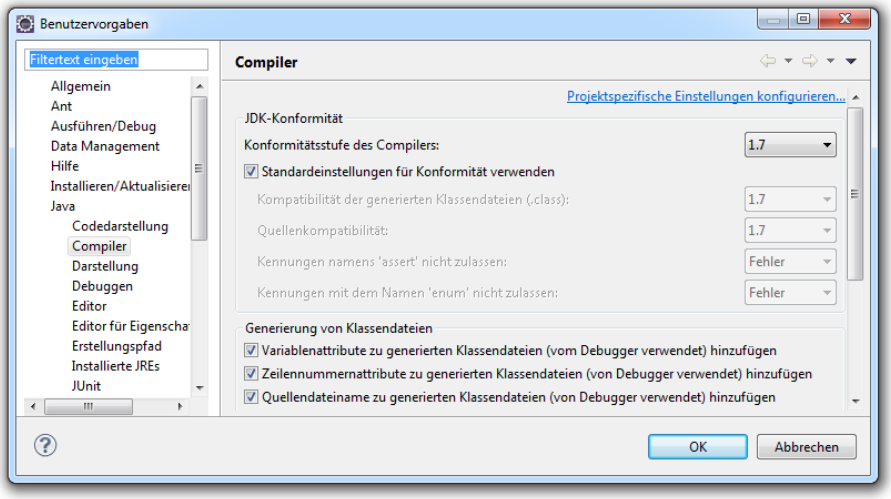


2.4.7.2 Konformitätsstufe des Compilers

Der in Eclipse 3.7.1 enthaltene Compiler unterstützt das aktuelle Niveau 7 (bzw. 1.7) der Programmiersprache Java, lässt sich aber auch auf frühere Versionen einstellen. Über

Fenster > Benutzervorgaben > Java > Compiler

wählt man eine globale Einstellung mit Gültigkeit für alle Projekte, für die kein spezielles Compiler-Niveau angeordnet wird:

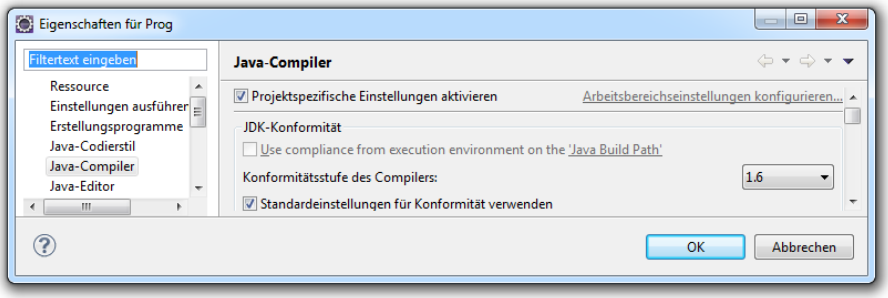


In unserer Lernsituation ist es empfehlenswert, zukunftsorientiert mit der aktuellen Java-Version zu arbeiten.

Wenn viele Kundenrechner zu versorgen sind und die dort vorhandene JVM zu verwenden ist, sollte man vor dem Einsatz einer neuen Version einige Monate verstreichen lassen. Für ein konkretes Projekt kann man über

Projekt > Eigenschaften > Java-Compiler

die **projektspezifischen Einstellungen aktivieren** und dann eine **Konformitätsstufe des Compilers** wählen, z.B.:

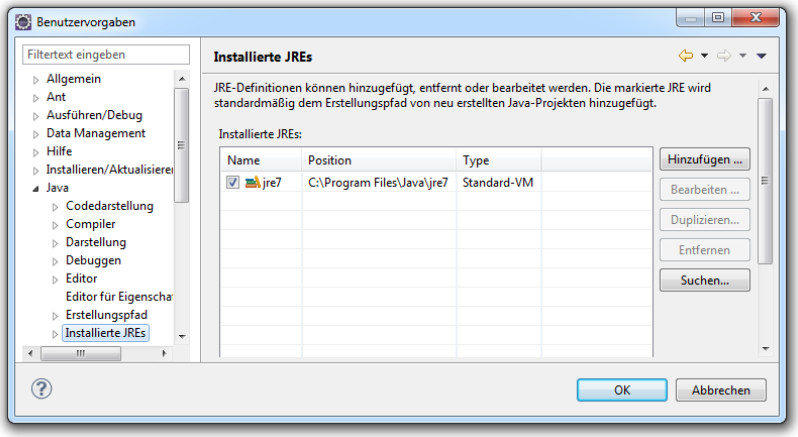


2.4.7.3 JRE wählen

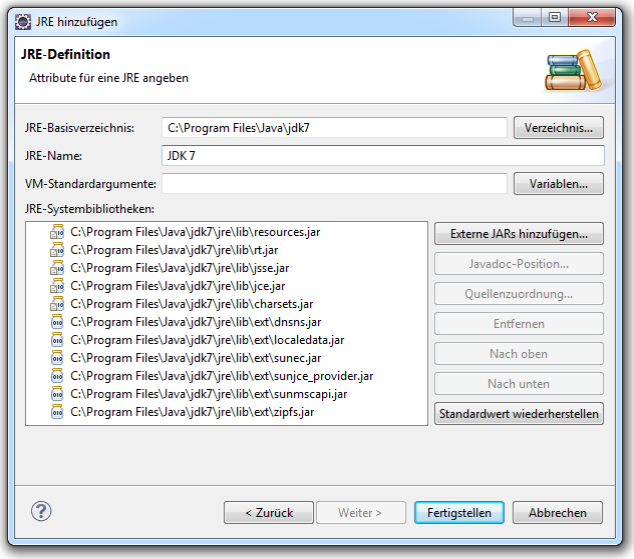
Sind auf Ihrem Rechner mehrere Java Runtime Environments (JREs) vorhanden, können Sie nach

Fenster > Benutzervorgaben > Java > Installierte JREs

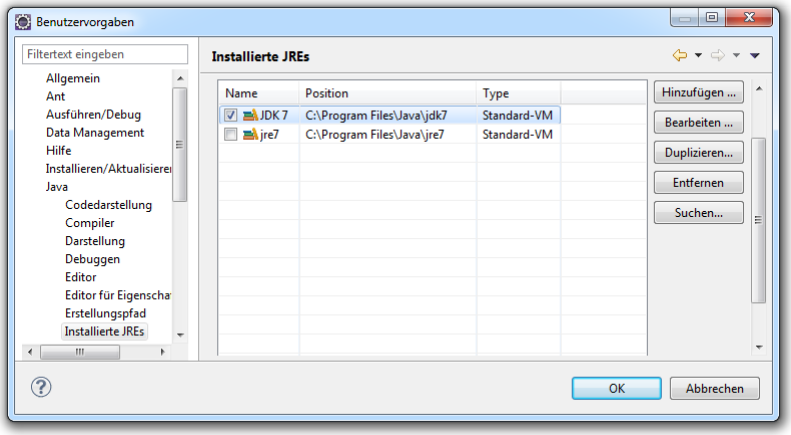
der von Eclipse automatisch erkannten Auswahl



weitere Exemplare **hinzufügen**



und festlegen, welche JRE bei neuen Projekten per Voreinstellung verwendet werden soll, z.B.:



Wenn Sie ein JDK als **Standard-VM** angeben, kann bei einem Laufzeitfehler die Unfallstelle auch im API-Quellcode lokalisiert werden, z.B.:

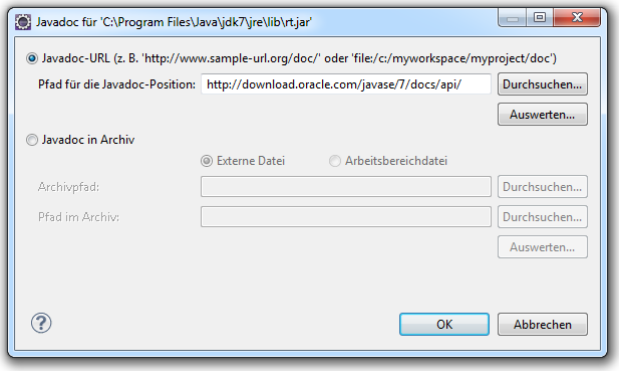
```
Exception in thread "main" java.lang.NumberFormatException: For input string: "vier"
  at java.lang.NumberFormatException.forInputString(NumberFormatException.java:65)
  at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:492)
  at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:527)
  at HalloEclipse.main(HalloEclipse.java:10)
```

Ist eine JRE *ohne* begleitenden Quellcode im Einsatz, erscheint bei API-Methoden in der Aufrufersequenz **Unknown Source** statt einer Ortsangabe (aus Dateinamen und Zeilennummer), z.B.:

```
Exception in thread "main" java.lang.NumberFormatException: For input string: "vier"
  at java.lang.NumberFormatException.forInputString(Unknown Source)
  at java.lang.Integer.parseInt(Unknown Source)
  at java.lang.Integer.parseInt(Unknown Source)
  at HalloEclipse.main(HalloEclipse.java:10)
```

2.4.7.4 Alternative Javadoc-Quelle zu den API-Klassen wählen

Per Voreinstellung bezieht Eclipse die Dokumentation zu den in Ihrem Programm verwendeten API-Klassen aus dem Internet:

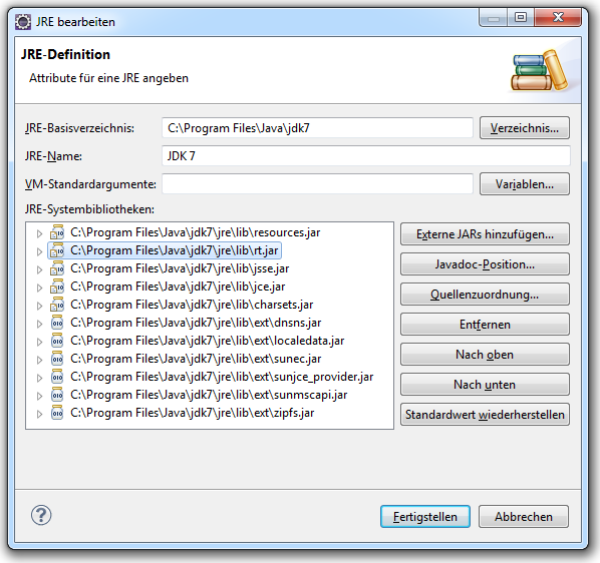


So lässt sich zu einer **JRE-Systembibliothek** (d.h. zu einer JAR-Datei mit API-Klassen) eine alternative Dokumentationsquelle eintragen:

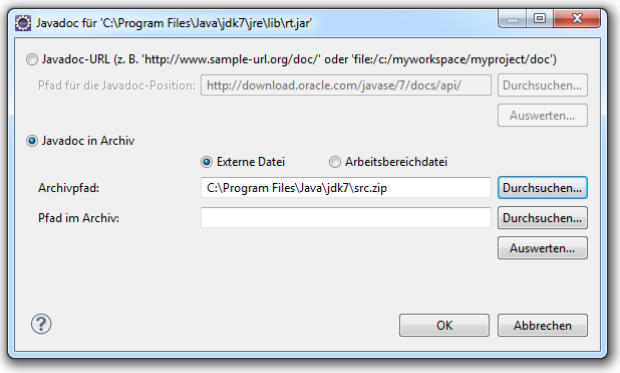
- Öffnen Sie die Liste der installierten JREs über den Menübefehl

  Fenster > Benutzervorgaben > Java > Installierte JREs

  und markieren Sie die zu versorgende JRE (siehe Abschnitt 2.4.7.3)
- Nach einem Klick auf **Bearbeiten** erscheint der Dialog, den Sie schon beim Hinzufügen einer JRE kennen gelernt haben, z.B.



- **JRE-Systembibliothek** wählen
  Es genügt, eine Installationsquelle für die Datei **rt.jar** festzulegen, weil sich die meisten wichtigen Klassen hier befinden.
- Klick auf **Javdoc-Position**
- ZIP-Archiv als Quelle wählen, z.B.:



2.4.8 Projekte importieren

Die Beispiele im Manuskript und Lösungsvorschläge zu vielen Übungsaufgaben sind als Eclipse-Projekte an der im Vorwort beschriebenen Stelle zu finden, wobei aber aus folgenden Gründen keine Arbeitsbereichsordner angeboten werden:

- Diese erreichen (insbesondere durch den Unterordner **.metadata**) eine beträchtliche Größe, so dass die erwünschte Strukturierung der recht umfangreichen Projektsammlung durch mehrere Arbeitsbereiche unökonomisch ist.
- Arbeitsbereiche sind aufgrund absoluter Pfadangaben schlecht portabel.

Erfreulicherweise sind die Projektordner klein, nicht durch absolute Pfadangeben belastet und außerdem sehr flott in einen Arbeitsbereich zu importieren. Wir üben den Import am Beispiel des Bruchadditionsprojekts mit graphischer Bedienoberfläche, das sich im folgenden Ordner befindet:

…\BspUeb\Einleitung\Bruch\Gui

Kopieren Sie den Projektordner auf einen eigenen Datenträger, z.B. als

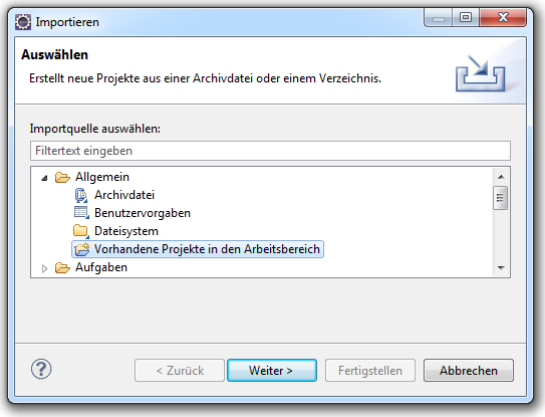
U:\Eigene Dateien\Java\Kurs\BspUeb\Einleitung\Bruch\Gui

Starten Sie Eclipse mit Ihrem persönlichen Arbeitsbereich, z.B. in

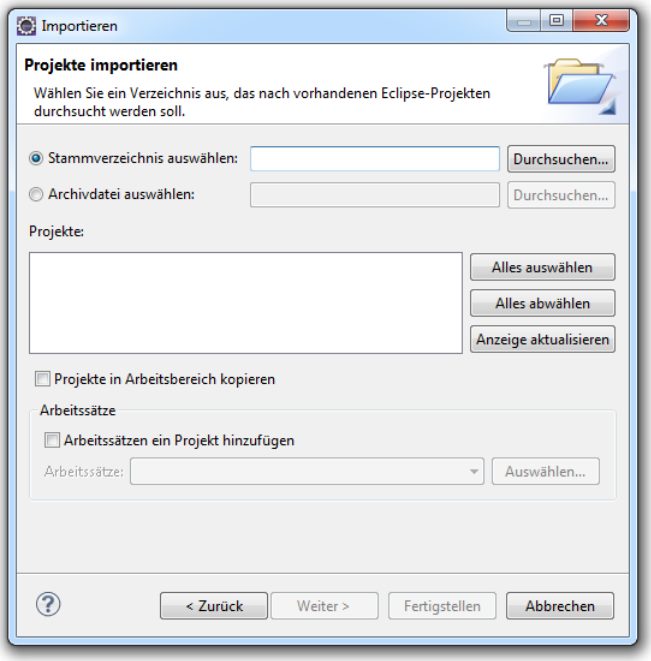
U:\Eigene Dateien\Java\Kurs\Eclipse-Arbeitsbereich

Initiieren Sie den Import mit

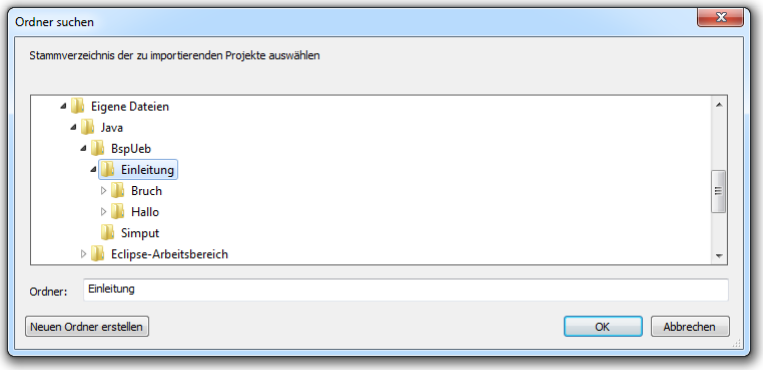
Datei > Importieren > Allgemein > Vorhandene Projekte in den Arbeitsbereich



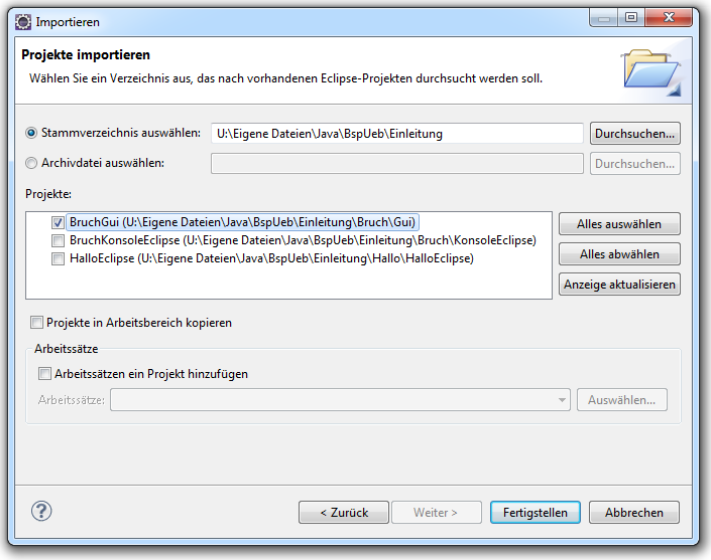
Machen Sie **weiter**, klicken Sie im folgenden Dialog auf den Schalter **Durchsuchen**,



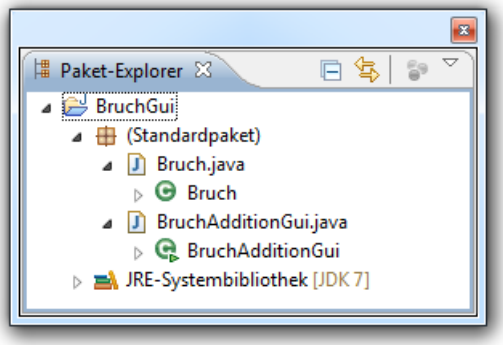
und wählen Sie im Verzeichnisbaum einen Knoten oberhalb des zu importierenden Projektordners, z.B.:



Nach der Bestätigung mit **OK** müssen Sie eventuell in der Dialogbox **Importieren** aus mehreren importfähigen Projekten eine Teilmenge bestimmen und mit **Fertigstellen** Ihre Wahl quittieren:



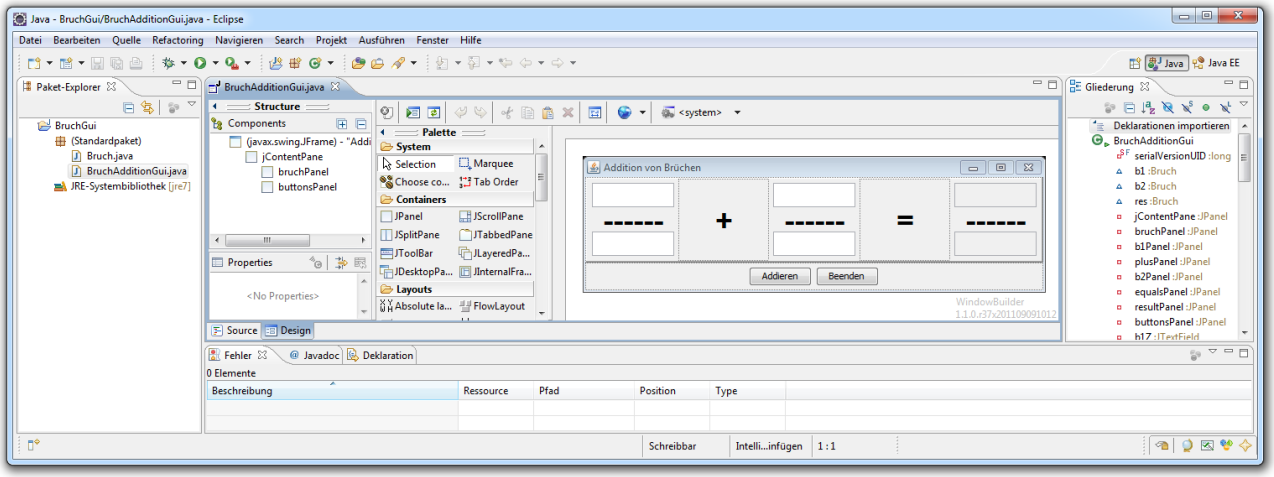
Anschließend tauchen die importierten Projekte im Paket-Explorer auf, z.B.:



Wenn Sie das Projekt mit der graphischen Variante des Bruchadditionsprogramms (vgl. Abschnitt 1.1.5) importiert haben, können Sie über die Kontextmenüoption

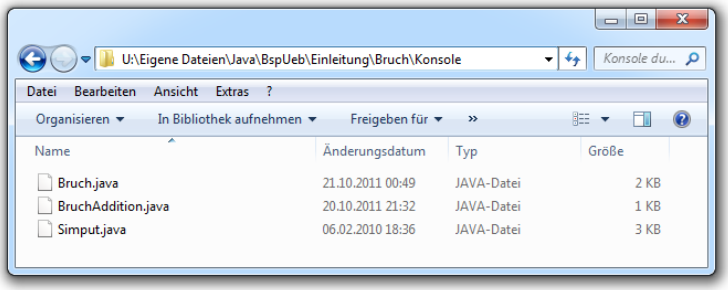
Öffnen mit > WindowBuilder Editor

zur Datei **BruchAdditionGui.java** das Anwendungsfenster des Programms im Editor des WindowBuilders öffnen. Dass es sich um einen visuellen Editor handelt, wird spätestens nach dem Wechsel zur Registerkarte **Design** klar:



2.4.9 Projekt aus vorhandenen Quellen erstellen

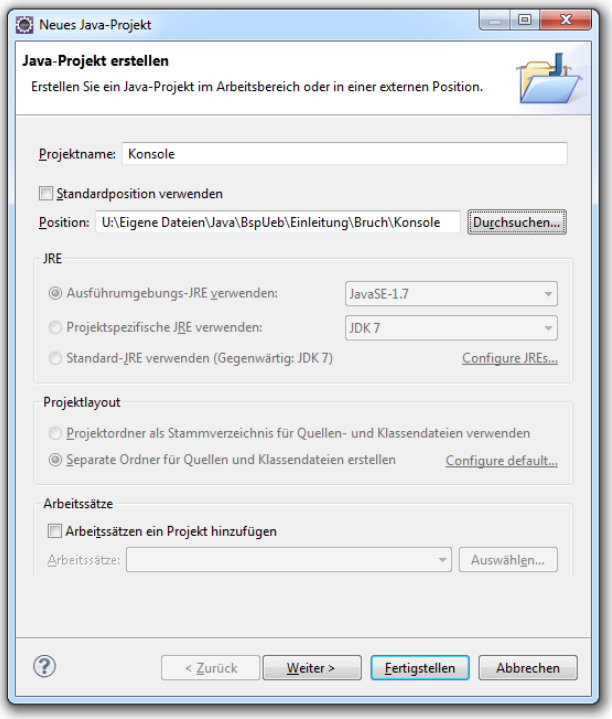
Gelegentlich soll ein neues Projekt unter Verwendung bereits existierender Quelldateien erstellt werden, z.B.:



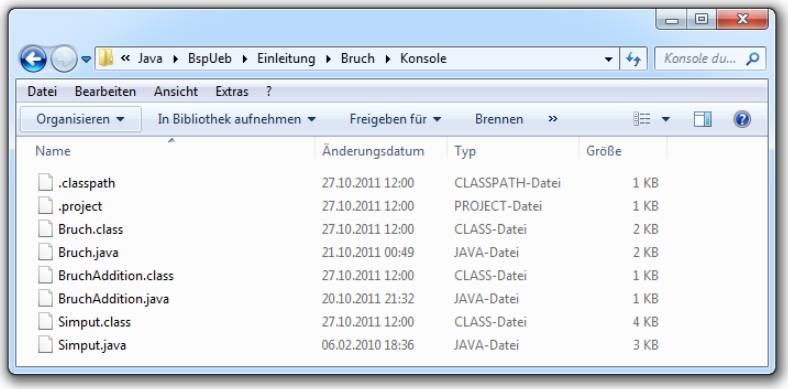
In diesem Fall trägt man in Eclipse nach

Datei > Neu > Java-Projekt

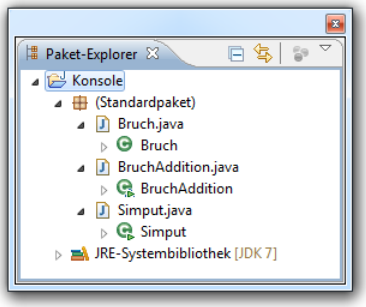
einen Projektnamen ein, entfernt die Markierung beim Kontrollkästchen **Standardposition verwenden** und wählt über den Schalter **Durchsuchen** den Ordner mit den vorhandenen Quellcodedateien, z.B.:



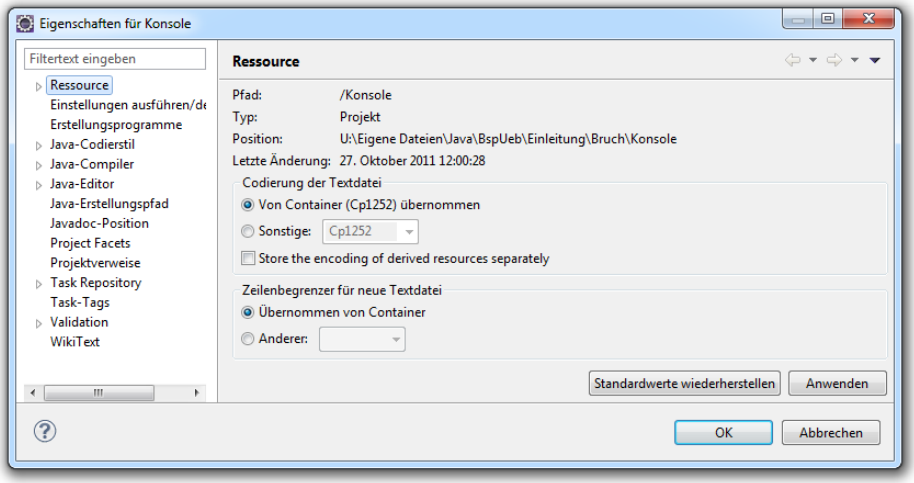
Nach dem **Fertigstellen** übernimmt Eclipse den Ordner, übersetzt automatisch die Klassen und ergänzt seine Projektdateien, z.B.:



Im Paket-Explorer von Eclipse zeigt sich das erwartete Bild:



Über das Item **Eigenschaften** aus dem Kontextmenü zum Projekt können Sie den Standort des Projekts einsehen:



2.5 Übungsaufgaben zu Kapitel 2

1) Experimentieren Sie mit dem `Hallo`-Beispielprogramm aus Abschnitt 2.2.1, z.B. indem Sie weitere Ausgabeanweisungen ergänzen.

2) Beseitigen Sie die Fehler in folgender Variante des `Hallo`-Programms:

```
class Hallo {
   static void mein(String[] args) {
     System.out.println("Hallo Allerseits!);
   }
```

3) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Beim Übersetzen einer Java-Quellcodedatei mit dem JDK-Compiler **javac.exe** muss man den Dateinamen samt Extension (**.java**) angeben.
2. Beim Starten eines Java-Programms muss man den Namen der auszuführenden Klasse samt Extension (**.class**) angeben.
3. Damit der Aufruf des JDK-Compilers von jedem Verzeichnis aus klappt, muss das **bin**-Unterverzeichnis der JDK-Installation in die Definition der Umgebungsvariablen PATH aufgenommen werden.
4. Damit der JDK-Compiler die Klassen der Standardbibliothek findet, müssen die zugehörigen Java-Archivdateien der JRE-Installation in die Definition der Umgebungsvariablen CLASSPATH aufgenommen werden (z.B.: **C:\Program Files\Java\jre7\lib\rt.jar**).
5. Die **main()**-Methode der Startklasse eines Java-Programms muss einen Parameter mit dem Datentyp **String[]** und dem Namen `args` besitzen, damit sie von der JRE erkannt wird.

4) Führen Sie nach Möglichkeit auf Ihrem eigenen PC die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Installationen aus.

5) Kopieren Sie die Klasse …**BspUeb\Simput\Simput.class** auf Ihren heimischen PC, und tragen Sie das Zielverzeichnis in den CLASSPATH ein (siehe Abschnitt 2.2.4). Testen Sie den Zugriff auf die **class**-Datei z.B. mit der Konsolenvariante des Bruchadditionsprogramms. Alternativ können Sie auch die Java-Archivdatei **Simput.jar** kopieren und in den Klassenpfad aufnehmen. Mit Java-Archivdateien werden wir uns später noch ausführlich beschäftigen.

3 Elementare Sprachelemente

In Kapitel 1 wurde anhand eines halbwegs realistischen Beispiels versucht, einen ersten Eindruck von der objektorientierten Softwareentwicklung mit Java zu vermitteln. Nun erarbeiten wir uns die Details der Programmiersprache Java und beginnen dabei mit elementaren Sprachelementen. Diese dienen zur Realisation von Algorithmen innerhalb von Methoden und sehen bei Java nicht wesentlich anders aus als bei älteren, *nicht* objektorientierten Sprachen (z.B. C).

3.1 Einstieg

3.1.1 Aufbau einer Java-Applikation

Bevor wir im Rahmen von möglichst einfachen Beispielprogrammen elementare Sprachelemente kennen lernen, soll unser bisheriges Wissen über die Struktur von Java-Programmen[1] zusammengefasst werden:

- Ein Java-Programm besteht aus **Klassen**.
  Unser Bruchrechnungsbeispiel in Abschnitt 1.1 besteht aus den beiden Klassen `Bruch` und `BruchAddition`. Meist verwendet man für den Quellcode einer Klasse jeweils eine eigene Datei. Der Compiler erzeugt auf jeden Fall für jede Klasse eine eigene Bytecodedatei.
- Eine **Klassendefinition** besteht aus …
  - dem **Kopf** mit dem einleitenden Schlüsselwort **class** und dem Namen der Klasse
    Soll eine Klasse für beliebige andere Klassen (aus fremden Paketen, siehe unten) nutzbar sein, muss bei der Definition zusätzlich der Zugriffsmodifikator **public** angegeben werden, z.B.:
    ```
    public class Bruch {
      ...
    }
    ```
  - und dem **Rumpf**
    Begrenzt durch ein Paar geschweifter Klammern befinden sich hier …
    - die Deklarationen der **Instanz-** und **Klassenvariablen** (Eigenschaften)
    - und die Definitionen der **Methoden** (Handlungskompetenzen).
- Auch eine **Methodendefinition** besteht aus …
  - dem **Kopf**
    Hier werden vereinbart: Name der Methode, Parameterliste, Rückgabetyp und Modifikatoren (siehe Beispiele in Abschnitt 2.2.1). All diese Bestandteile werden noch ausführlich erläutert.
  - und dem **Rumpf**
    Begrenzt durch ein Paar geschweifter Klammern befinden sich hier beliebig viele **Anweisungen**, mit denen z.B. lokale Variablen deklariert oder verändert werden.
    Der Unterschied zwischen Instanzvariablen (Eigenschaften von Objekten), statischen Variablen (Eigenschaften von Klassen) und lokalen Variablen von Methoden wird in Abschnitt 3.3 erläutert.
- Von den Klassen eines Programms muss mindestens eine **startfähig** sein.
  Dazu benötigt sie eine **Methode** mit dem Namen **main(),** dem Rückgabetyp **void**, einer bestimmten Parameterliste (**String[] args**) sowie den Modifikatoren **public** und **static**. Beim Bruchrechnungsbeispiel in Abschnitt 1.1 ist die Klasse `BruchAddition` startfähig. In den

[1] Hier ist ausdrücklich von Java-*Programmen* (alias -*Applikationen*) die Rede. Bei den später vorzustellenden Java-*Applets* ergeben sich einige Abweichungen.

POO-Beispielen (kursinterne Abkürzung für *pseudo-objektorientiert*) von Abschnitt 3 existiert jeweils nur *eine* Klasse, die infolgedessen startfähig sein muss.

- Eine **Anweisung** ist die kleinste ausführbare Einheit eines Programms.
  In Java sind bis auf wenige Ausnahmen alle Anweisungen mit einem **Semikolon** abzuschließen.

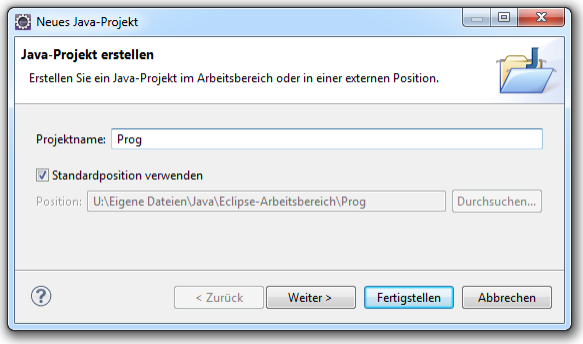
3.1.2 Projektrahmen zum Üben von elementaren Sprachelementen

Während der Beschäftigung mit elementaren Java-Sprachelementen werden wir der Einfachheit halber mit einer relativ untypischen, jedenfalls nicht sonderlich objektorientierten Programmstruktur arbeiten, die Sie schon aus dem `Hallo`-Beispiel kennen. Es wird nur *eine* Klasse definiert, und diese erhält nur eine einzige Methodendefinition. Weil die Klasse startfähig sein muss, liegt **main()** als Name der Methode fest, und wir erhalten die folgende Programmstruktur:

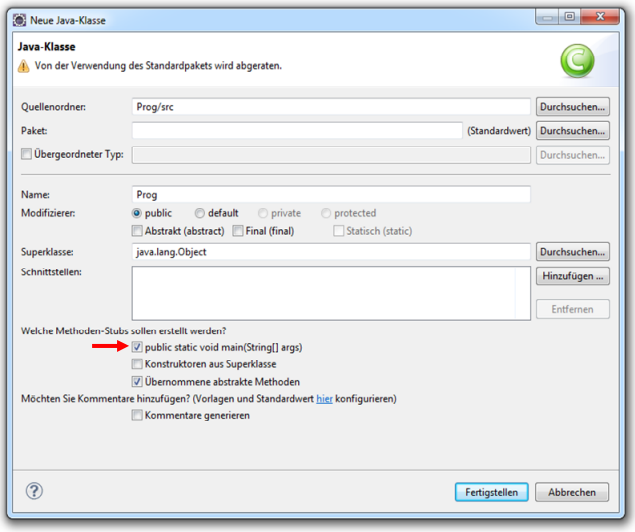
```
class Prog {
  public static void main(String[] args) {
    //Platz für elementare Sprachelemente
  }
}
```

Damit die pseudo-objektorientierten (POO-) Programme Ihrem Programmierstil nicht prägen, wurde an den Beginn des Kurses ein Beispiel gestellt (Bruchrechnung), das bereits etliche OOP-Prinzipien realisiert.

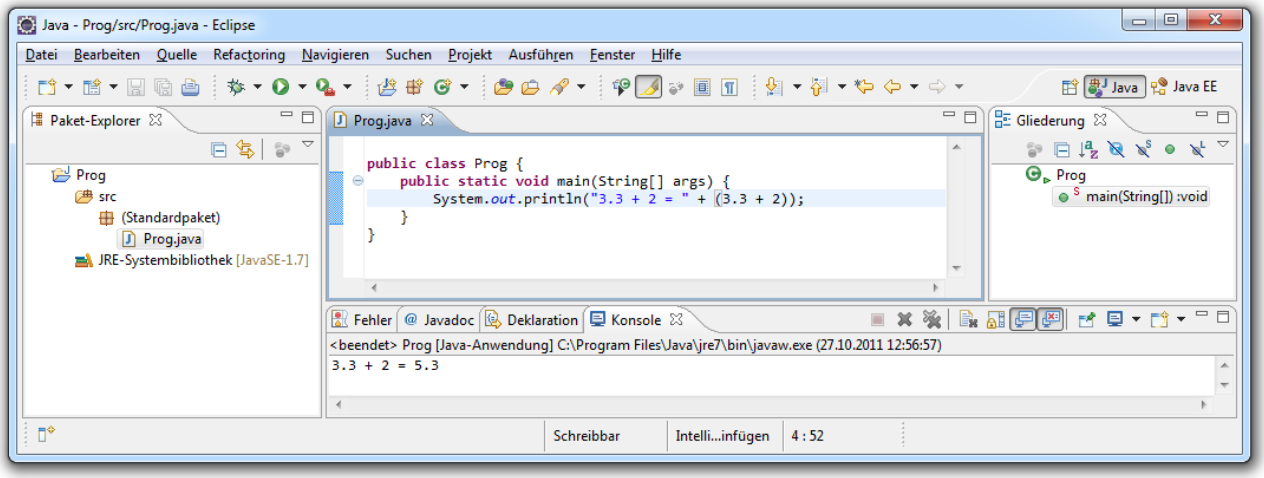
Für die meist kurzzeitige Beschäftigung mit bestimmten elementaren Sprachelementen lohnt sich selten ein spezielles Eclipse-Projekt. Legen Sie für solche Zwecke ein Projekt namens `Prog`



mit gleichnamiger Startklasse an,



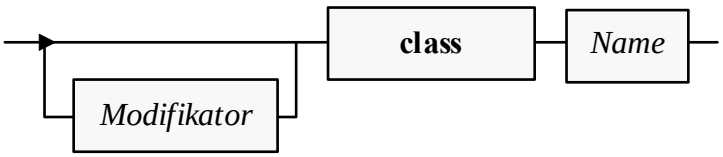
und tauschen Sie den Inhalt der **main()**-Methode nach Bedarf aus, z.B.:



3.1.3 Syntaxdiagramme

Um für Java-Sprachbestandteile (z.B. Definitionen oder Anweisungen) die Bildungsvorschriften kompakt und genau zu beschreiben, werden wir im Manuskript u.a. so genannte **Syntaxdiagramme** einsetzen, für die folgende Vereinbarungen gelten:

- Man bewegt sich vorwärts in Pfeilrichtung durch das Syntaxdiagramm und gelangt dabei zu Rechtecken, welche die an der jeweiligen Stelle zulässigen Sprachbestandteile angeben, z.B.:



- Bei einer Verzweigung kann man sich für eine Richtung entscheiden, wenn nicht per Pfeil eine Bewegungsrichtung vorgeschrieben ist. Zulässige Realisationen zum obigen Segment sind also z.B.:
  - **class BruchAddition**
  - **public class Bruch**

  Verboten sind hingegen z.B. folgende Formulierungen:
  - **class public BruchAddition**
  - **BruchAddition public class**
- Für **konstante** (**terminale**) Sprachbestandteile, die aus einem Rechteck exakt in der angegebenen Form in konkreten Quellcode zu übernehmen sind, wird **fette** Schrift verwendet.
- *Platzhalter* sind durch *kursive* Schrift gekennzeichnet. Im konkreten Quellcode muss anstelle des Platzhalters eine zulässige Realisation stehen, und die zugehörigen Regeln sind an anderer Stelle (z.B. in einem anderen Syntaxdiagramm) erklärt.
- Bisher kennen Sie nur den Klassenmodifikator **public**, welcher die allgemeine Verfügbarkeit einer Klasse anordnet. Später werden Sie weitere Klassenmodifikatoren kennen lernen. Sicher kommt niemand auf die Idee, z.B. den Modifikator **public** mehrfach zu vergeben und damit eine Syntaxregel zu verstoßen. Das obige (möglichst einfach gehaltene) Syntaxdiagrammsegment lässt diese offenbar sinnlose Praxis zu. Es bieten sich zwei Lösungen an:
  - Das Syntaxdiagramm mit einem gesteigerten Aufwand an Formalismus präzisieren.
  - Durch eine generelle Zusatzregel die Mehrfachverwendung eines Modifikators verbieten.

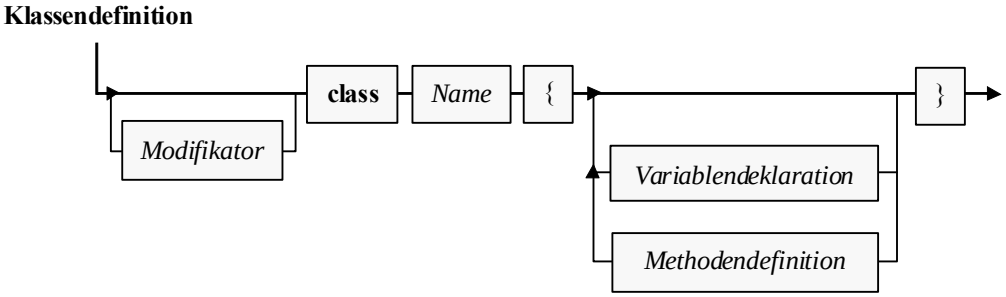
  Im Manuskript wird die zweite Lösung verwendet.

Als Beispiele betrachten wir die Syntaxdiagramme zur Definition von Klassen und Methoden. Aus didaktischen Gründen zeigen die Diagramme nur solche Sprachbestandteile, die im Beispielprogramm von Abschnitt 1.1 (mit der Klasse `Bruch`) verwendet wurden. Durch den engen Bezug zum Beispiel sollte es in diesem Abschnitt gelingen, …

- Syntaxdiagramme als metasprachliche Hilfsmittel einzuführen
- und gleichzeitig zur allmählichen Klärung der wichtigen Begriffe *Klasse* und *Methode* in der Programmiersprache Java beizutragen.

3.1.3.1 Klassendefinition

Wir arbeiten vorerst mit dem folgenden, leicht vereinfachten Klassenbegriff:



Solange man sich auf zulässigen Pfaden bewegt (immer in Pfeilrichtung, eventuell auch in Schleifen), an den Stationen (Rechtecken) entweder den terminalen Sprachbestandteil exakt übernimmt oder den Platzhalter auf zulässige (an anderer Stelle erläuterte) Weise ersetzt, sollte eine syntaktisch korrekte Klassendefinition entstehen.

Als Beispiel betrachten wir die Klasse `Bruch` aus Abschnitt 1.1:

Modifikator Name

Variablen-deklarationen

Methoden-definitionen

```
public class Bruch {

   int zaehler;
   int nenner = 1;

   public void setzeZaehler(int zpar) {zaehler = zpar;}

   public boolean setzeNenner(int n) {
      if (n != 0) {
         nenner = n;
         return true;
      } else
         return false;
   }

   public int gibZaehler() {return zaehler;}

   public int gibNenner() {return nenner;}

   public void kuerze() {
      . . .
   }

   public void addiere(Bruch b) {
      . . .
   }

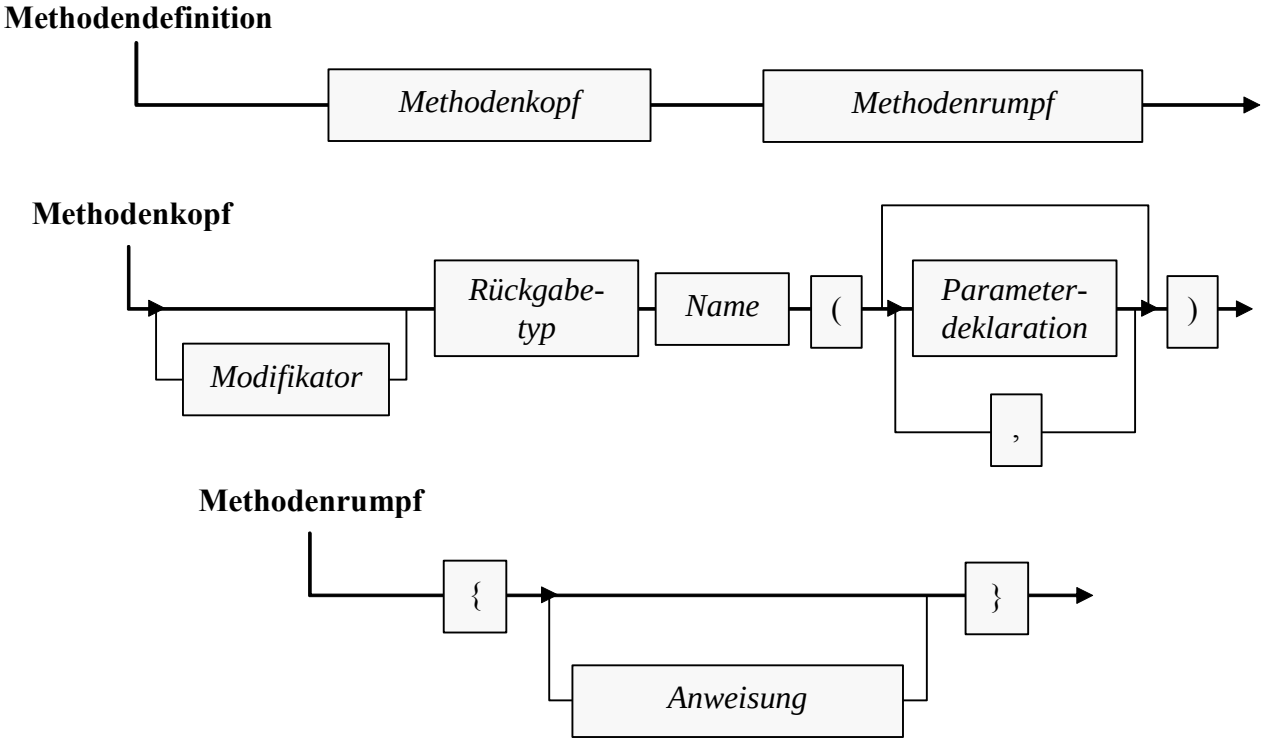
   public void frage() {
      . . .
   }

   public void zeige() {
      . . .
   }

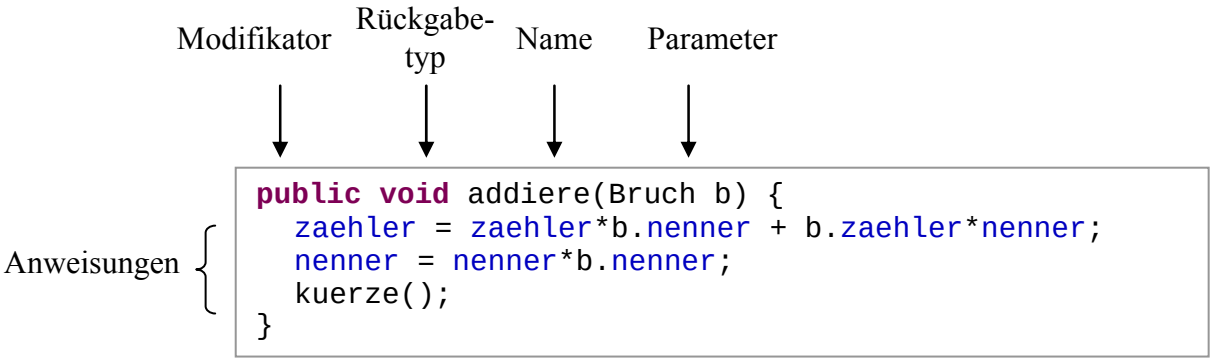
}
```

3.1.3.2 Methodendefinition

Weil *ein* Syntaxdiagramm für die komplette Methodendefinition etwas unübersichtlich wäre, betrachten wir separate Diagramme für die Begriffe *Methodenkopf* und *Methodenrumpf*:



Als Beispiel betrachten wir die Definition der `Bruch`-Methode `addiere()`:



In vielen Methoden werden so genannte *lokale Variablen* (siehe unten) deklariert, z.B. in der `Bruch`-Methode `kuerze()`:

```
public void kuerze() {
 if (zaehler != 0) {
  int ggt = 0;
  int az = Math.abs(zaehler);
  int an = Math.abs(nenner);
    ...
 }
}
```

Weil wir bald u.a. von einer Variablendeklarations*anweisung* sprechen werden, benötigt das Syntaxdiagramm zum Methodenrumpf jedoch (im Unterschied zum Klassendefinitionsdiagramm) *kein* separates Rechteck für die Variablendeklaration.

3.1.4 Hinweise zur Gestaltung des Quellcodes

Zur Formatierung von Java-Programmen haben sich Konventionen entwickelt, die wir bei passender Gelegenheit besprechen werden. Der Compiler ist hinsichtlich der Formatierung sehr tolerant und beschränkt sich auf folgende Regeln:

- Die einzelnen Bestandteile einer Definition oder Anweisung müssen in der richtigen Reihenfolge stehen.
- Zwischen zwei Sprachbestandteilen muss im Prinzip ein **Trennzeichen** stehen, wobei das Leerzeichen, das Tabulatorzeichen und der Zeilenumbruch erlaubt sind. Diese Trennzeichen dürfen sogar in beliebigen Anzahlen und Kombinationen auftreten. *Innerhalb* eines Sprachbestandteils (z.B. Namens) sind Trennzeichen (z.B. Zeilenumbruch) natürlich sehr unerwünscht.
- Zeichen mit festgelegter Bedeutung wie z.B. ";", "(", "+", ">" sind *selbst begrenzend*, d.h. davor und danach sind keine Trennzeichen nötig (aber erlaubt).

Wer dieses Manuskript am Bildschirm liest oder an einen Farbdrucker geschickt hat, profitiert hoffentlich von der Syntaxgestaltung durch Farben und Textattribute, die von Eclipse stammt.

Ob man beim Rumpf einer Klassen- oder Methodendefinition die öffnende geschweifte Klammer an das Ende der Kopfzeile setzt oder an den Anfang der Folgezeile, ist Geschmacksache, z.B.:

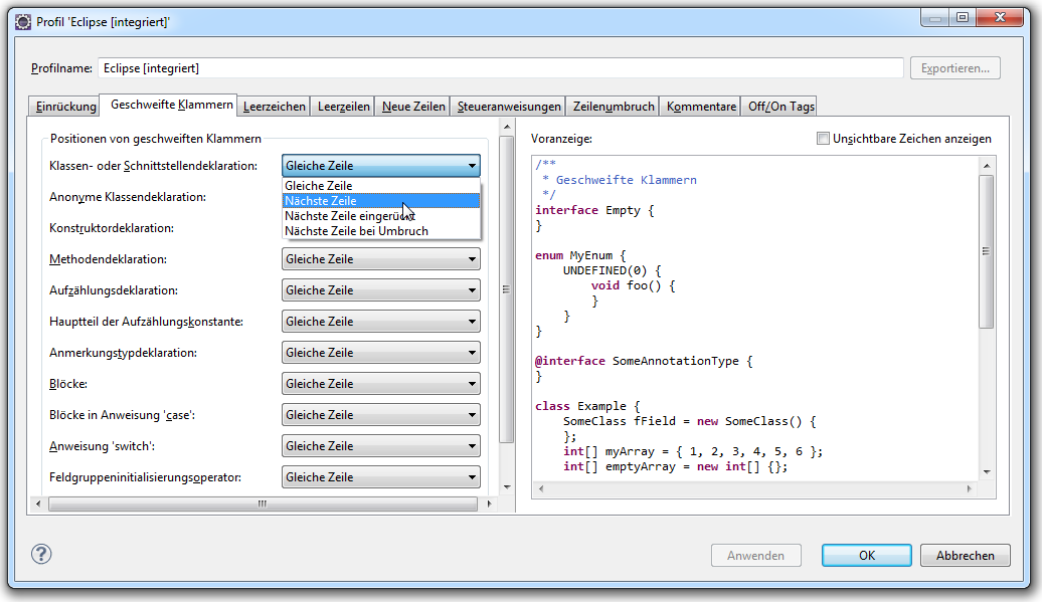
```
class Hallo {
  public static void main(String[] par) {
    System.out.print("Hallo");
  }
}
```

```
class Hallo
{
  public static void main(String[] par)
  {
    System.out.print("Hallo");
  }
}
```

Eclipse bevorzugt die linke Variante, könnte aber nach

Fenster > Benutzervorgaben > Java > Codedarstellung > Formatierungsprogramm > Aktives Profil = Eclipse [integriert] > Bearbeiten

in der folgenden Dialogbox umgestimmt werden:



3.1.5 Kommentare

Java bietet drei Möglichkeiten, den Quelltext zu kommentieren:

- **Zeilenrestkommentar**
  Alle Zeichen von // bis zum Ende der Zeile gelten als Kommentar, wobei kein Terminierungszeichen erforderlich ist, z.B.:

```
private int zaehler; // wird automatisch mit 0 initialisiert
```

  Hier wird eine Variablendeklarationsanweisung in derselben Zeile kommentiert.

- **Mehrzeilenkommentar**
  Zwischen einer Einleitung durch /* und einer Terminierung durch */ kann sich ein ausführlicher Kommentar auch über mehrere Zeilen erstrecken, z.B.:

```
/*
Ein Bruch-Objekt verhindert, dass sein Nenner auf Null
gesetzt wird, und hat daher stets einen definierten Wert.
*/
public boolean setzeNenner(int n) {
  ...
}
```

  Ein mehrzeiliger Kommentar eignet sich u.a. auch dazu, einen Programmteil (vorübergehend) zu deaktivieren, ohne ihn löschen zu müssen.

  Weil der Mehrzeilenkommentar (jedenfalls ohne farbliche Hervorhebung der auskommentierten Passage) unübersichtlich ist, wird er selten verwendet.

  Wenn Sie in Eclipse mehrere markierte Quellcodezeilen mit dem Menübefehl

  Quelle > Kommentar umschalten

  bzw. mit der Tastenkombination

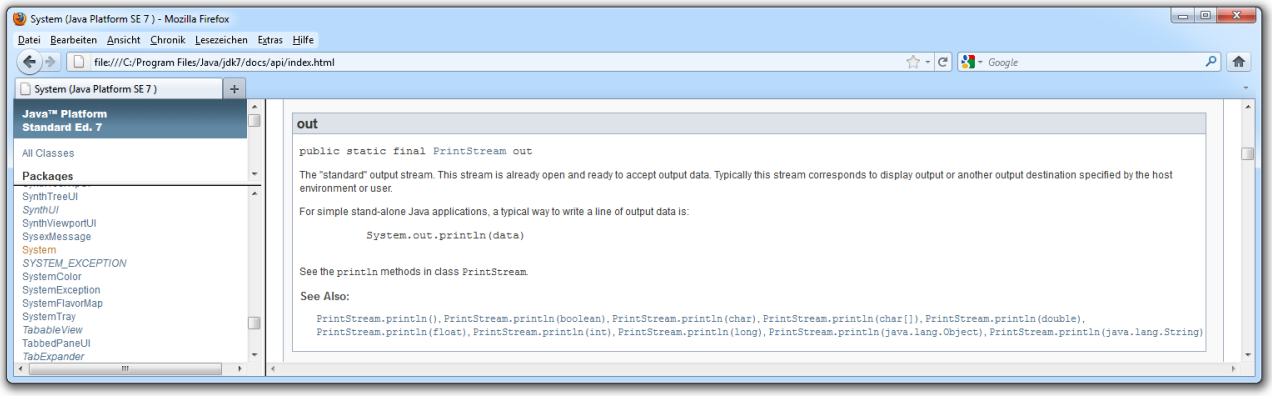
  Strg+/ also Strg + ⇧ +7

  gemeinsam als Kommentar deklarieren, werden doppelte Schrägstriche vor jede Zeile gesetzt. Bei Anwendung des Menübefehls auf einen zuvor mit Doppelschrägstrichen auskommentierten Block entfernt Eclipse die Kommentar-Schrägstriche.

- **Dokumentationskommentar**
  Vor der Definition bzw. Deklaration von Klassen, Interfaces (siehe unten), Methoden oder Variablen darf ein Dokumentationskommentar stehen, eingeleitet mit /** und beendet mit */. Er kann mit dem JDK-Werkzeug **javadoc** in eine HTML-Datei extrahiert werden. Die systematische Dokumentation wird über Tags für Methodenparameter, Rückgabewerte etc. unterstützt. Nähere Informationen finden Sie z.B. in der JDK 7 - Dokumentation über den link **javadoc**. Die HTML-Startseite der JDK-Dokumentation ist je nach JDK-Installationsordner z.B. über einen Doppelklick auf die folgende Datei zu öffnen:

  C:\Program Files\Java\jdk7\docs\index.html

  Hinter der folgenden API-Dokumentation



zum Ausgabeobjekt **out** in der Klasse **System**, das Sie schon kennen gelernt haben, steckt der folgende Dokumentationskommentar:

```
/**
 * The "standard" output stream. This stream is already
 * open and ready to accept output data. Typically this stream
 * corresponds to display output or another output destination
 * specified by the host environment or user.
 * <p>
 * For simple stand-alone Java applications, a typical way to write
 * a line of output data is:
 * <blockquote><pre>
 *     System.out.println(data)
 * </pre></blockquote>
 * <p>
 * See the <code>println</code> methods in class <code>PrintStream</code>.
 *
 * @see     java.io.PrintStream#println()
 * @see     java.io.PrintStream#println(boolean)
 * @see     java.io.PrintStream#println(char)
 * @see     java.io.PrintStream#println(char[])
 * @see     java.io.PrintStream#println(double)
 * @see     java.io.PrintStream#println(float)
 * @see     java.io.PrintStream#println(int)
 * @see     java.io.PrintStream#println(long)
 * @see     java.io.PrintStream#println(java.lang.Object)
 * @see     java.io.PrintStream#println(java.lang.String)
 */
public final static PrintStream out = null;
```

Man findet ihn in der Quellcodedatei **System.java** zur Klasse **System**, die Bestandteil des API-Quellcodearchivs **src.zip** ist. In Abschnitt 2.1 wurde empfohlen, das Quellcodearchiv als JDK-Bestandteil zu installieren und anschließend in den Unterordner **src** der JDK-Installation auszupacken.

3.1.6 Namen

Für Klassen, Methoden, Felder, Parameter und sonstige Elemente eines Java-Programms benötigen wir Namen, wobei folgende Regeln zu beachten sind:

- Die Länge eines Namens ist nicht begrenzt.
- Das erste Zeichen muss ein Buchstabe, Unterstrich oder Dollar-Zeichen sein, danach dürfen außerdem auch Ziffern auftreten. Damit ist insbesondere das Leerzeichen als Namensbestandteil verboten.
- Java-Programme werden intern im **Unicode**-Zeichensatz dargestellt. Daher erlaubt Java im Unterschied zu vielen anderen Programmiersprachen in Namen auch Umlaute oder sonstige nationale Sonderzeichen, die als Buchstaben gelten.
- Die Groß-/Kleinschreibung ist signifikant. Für den Java-Compiler sind also z.B.

  ```
  Anz   anz   ANZ
  ```

  grundverschiedene Namen.
- Die folgenden **reservierten Wörter** (*Schlüsselwörter*, engl.: *keywords*) dürfen nicht als Namen verwendet werden:

abstract	assert	boolean	break	byte	case	catch
char	class	const	continue	default	do	double
else	enum	extends	false	final	finally	float
for	goto	if	implements	import	instanceof	int
interface	long	native	new	null	package	private
protected	public	return	short	static	strictfp	super
switch	synchronized	this	throw	throws	transient	true
try	void	volatile	while			

Die Schlüsselwörter **const** und **goto** sind reserviert, werden aber derzeit nicht unterstützt. Im Falle von **goto** wird sich an diesem Zustand wohl auch nichts ändern.

- Namen müssen innerhalb ihres Kontexts (s. u.) eindeutig sein.

3.1.7 Vollständige Klassennamen und Paket-Import

Jede Java-Klasse gehört zu einem sogenannten **Paket** (siehe Abschnitt 9), und dem Namen der Klasse ist grundsätzlich der jeweilige Paketname voranzustellen. Dies gilt natürlich auch für die Klassen aus dem JSE-API, die wir häufig verwenden, z.B. die Klasse **Random** aus dem Paket **java.util** zum Erzeugen von Pseudozufallszahlen:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  java.util.Random zuf = new java.util.Random();` `  System.out.println(zuf.nextInt());` `  }` `}`	`1053985008`

Keine Mühe mit Paketnamen hat man …

- bei den Klassen des so genannten **Standardpakets**, zu dem alle keinem Paket explizit zugeordneten Klassen gehören, weil dieses Paket unbenannt bleibt,
- bei den Klassen aus dem API-Paket **java.lang** (z.B. **Math**), weil die Klassen dieses Pakets automatisch in jede Quellcodedatei importiert werden.

Um bei Klassen aus anderen API-Paketen die lästige Angabe von Paketnamen zu vermeiden, kann man einzelne Klassen und/oder komplette Pakete in eine Quellcodedatei *importieren*. Anschließend sind alle importierten Klassen ohne Paket-Präfix ansprechbar. Die zuständigen **import**-Anweisungen sind an den Anfang der Quellcodedatei zu setzen, z.B. zum Importieren der Klasse **java.util.Random**:

Quellcode	Ausgabe
`import java.util.Random;` `class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  Random zuf = new Random();` `  System.out.println(zuf.nextInt());` `  }` `}`	`1053985008`

Um *alle* Klassen in einem Paket zu importieren, gibt man einen Stern an Stelle des Klassennamens an, z.B.:

```
import java.util.*;
```

Mit der Anzahl importierter Bezeichner steigt das Risiko für eine Namenskollision, wobei der lokalste Bezeichner gewinnt.

3.2 Ausgabe bei Konsolenanwendungen

In diesem Abschnitt beschäftigen wir uns mit der Ausgabe von Zeichen in einem Konsolenfenster. Eine einfache Möglichkeit zur Tastatur*ein*gabe wird in Abschnitt 3.4 vorgestellt.

3.2.1 Ausgabe einer (zusammengesetzten) Zeichenfolge

Um eine einfache Konsolenausgabe in Java zu realisieren, bittet man das Objekt **System.out**, seine **print()** - oder seine **println()** - Methode auszuführen.[1] Im Unterschied zu **print()** schließt **println()** die Ausgabe automatisch mit einer Zeilenschaltung ab, so dass die nächsten Aus- oder Eingabe in einer neuen Zeile erfolgt. Folglich ist **print()** zu bevorzugen, …

- wenn eine Benutzereingabe unmittelbar hinter einer Ausgabe in derselben Zeile ermöglicht werden soll (s. u.),
- wenn mehrere Ausgaben in einer Zeile hintereinander erscheinen sollen.
  Allerdings ist es durchaus möglich, eine zusammengesetzte Ausgabe mit *einer* **print()**- oder **println()**-Anweisung zu erzeugen (s. u.).

Beide Methoden erwarten ein einziges Argument, wobei erlaubt sind:

- eine Zeichenfolge, in doppelte Anführungszeichen eingeschlossen
  Beispiel: `System.out.print("Hallo Allerseits!");`
- ein sonstiger Ausdruck (siehe Abschnitt 3.5)
  Dessen Wert wird automatisch in eine Zeichenfolge gewandelt.
  Beispiele:
  - `System.out.println(ivar);`
    Hier wird der Wert der Variablen `ivar` ausgegeben.
  - `System.out.println(i==13);`
    An die Möglichkeit, als **println()**-Parameter, nahezu beliebige Ausdrücke anzugeben, müssen sich Einsteiger erst gewöhnen. Hier wird der Wert eines *Vergleichs* (der Variablen `i` mit der Zahl 13) ausgegeben. Bei Identität erscheint auf der Konsole das Schlüsselwort **true**, sonst **false**.

Besonders angenehm ist die Möglichkeit, mehrere Teilausgaben mit dem Plusoperator zu verketten, z.B.:

```
System.out.println("Ergebnis: " + netto*MWST);
```

Im Beispiel wird der numerische Wert von `netto*MWST` in eine Zeichenfolge gewandelt und dann mit `"Ergebnis: "` verknüpft.

---

[1] Für eine genauere Erläuterung reichen unsere bisherigen OOP-Kenntnisse noch nicht ganz aus. Wer aus anderen Quellen Vorkenntnisse besitzt, kann die folgenden Sätze vielleicht jetzt schon verdauen: Wir benutzen bei der Konsolenausgabe die im Paket **java.lang** definierte und damit automatisch in jedem Java-Programm verfügbare Klasse **System**. Deren Felder sind statisch (klassenbezogen), können also verwendet werden, ohne ein Objekt aus der Klasse **System** zu erzeugen. U.a. befindet sich unter den **System** - Membern ein Objekt namens **out** aus der Klasse **PrintStream**. Es beherrscht u.a. die Methoden **print()** und **println()**, die jeweils ein einziges Argument von beliebigem Datentyp erwarten und zur Standardausgabe befördern.

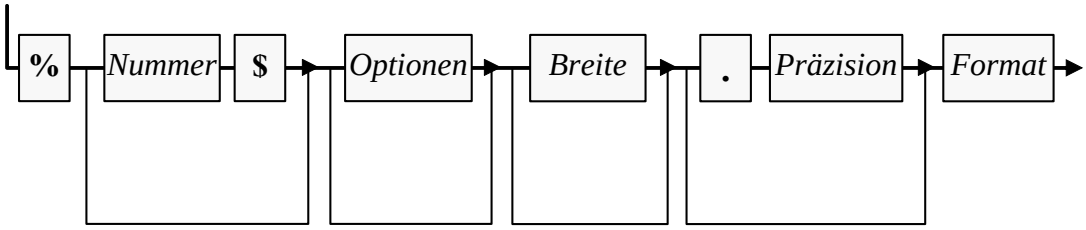
3.2.2 Formatierte Ausgabe

Der Methodenaufruf **System.out.printf()**[1] erlaubt eine formatierte Ausgabe von mehreren Ausdrücken, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.printf("Pi = %5.2f  e = %12.7f",` `  Math.PI, Math.E);` `  }` `}`	`Pi =  3,14  e =  2,7182818`

Als erster Parameter wird eine Zeichenfolge übergeben, die Platzhalter mit Formatierungsangaben für die restlichen Parameter enthält. Für einen Platzhalter kann folgende Syntax verwendet werden:

Platzhalter für die formatierte Ausgabe



Darin bedeuten:

Nummer	Fortlaufende Nummer des auszugebenden Arguments, bei 1$ beginnend
Optionen	Formatierungsoptionen, u.a. sind erlaubt - bewirkt eine linksbündige Ausgabe , ist nur für Zahlen erlaubt und bewirkt eine Zifferngruppierung (z.B. Ausgabe von 12.123,33 statt 12123,33)
Breite	Ausgabebreite für das zugehörige Argument
Präzision	Anzahl der Nachkommastellen oder sonstige Präzisionsangabe (abhängig vom Format)
Format	Formatspezifikation gemäß anschließender Tabelle

Es werden u.a. folgende Formate unterstützt:

Format	**Beschreibung**	**Beispiele**	
		printf()-Parameterliste	**Ausgabe**
c	für Zeichen	`// x ist eine char-` `// Variable (s.u.)` `("Inhalt von x %c", x)`	`h`
d	für ganze Zahlen im Dezimalsystem	`("%7d", 4711)` `("%-7d", 4711)` `("%1$d %1$,d", 4711)`	`  4711` `4711` `4711 4.711`
f	für Dezimalzahlen Präzision: Anzahl der Nachkommastellen	`("%5.2f", 4.711)`	` 4,71`
e	für Dezimalzahlen in wissenschaftlicher Notation Präzision: Anzahl Stellen in der Mantisse	`("%e", 47.11)` `("%.2e", 47.11)` `("%12.2e", 47.11)`	`4,711000e+01` `4,71e+01` `  4.71e+01`

[1] Es handelt sich um eine Instanzmethode der Klasse **PrintStream** (siehe Fußnote in Abschnitt 3.2.1).

Format	Beschreibung	Beispiele	
		printf()-Parameterliste	Ausgabe
g	für Dezimalzahlen in variabler Notation Präzision: Anzahl der Ziffern nach dem Runden	("%.4g", 47.11) ("%.4g", 44444447.11)	47.11 4.444e+07

Eben wurde nur eine kleine Teilmenge der Syntax einer Java-Formatierungszeichenfolge vorgestellt. Die komplette Information findet sich in der JDK-Dokumentation zur Klasse **Formatter** (im Paket **java.util**[1]), die folgendermaßen zu erreichen ist:

- Öffnen Sie die HTML-Startseite der JDK-Dokumentation, je nach Installationsort z.B. über die Datei

  C:\Program Files\Java\jdk7\docs\index.html

- Wechseln Sie durch einen per Mausklick auf den Link **Java SE API** zur **Java Platform, Standard Edition 7 API Specification**.
- Klicken Sie im linken oberen Frame auf **All Classes** oder (zur Verkürzung der Liste im linken unteren Frame) auf das Paket **java.util**.
- Klicken Sie im linken unteren Frame auf den Klassennamen **Formatter**. Anschließend erscheinen im rechten Frame detaillierte Informationen über die Klasse **Formatter**.

3.2.3 Schönheitsfehler bei der Konsolenausgabe unter Windows

Java-Konsolenanwendungen haben unter Windows einen Schönheitsfehler, von dem die erheblich relevanteren GUI-Anwendungen *nicht* betroffen sind, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("Übler Ärger macht böse!");` `  }` `}`	■bler ─rger macht b÷se!

Die schlechte Behandlung von Umlauten bei Konsolenanwendungen unter Windows geht auf folgende Ursachen zurück:

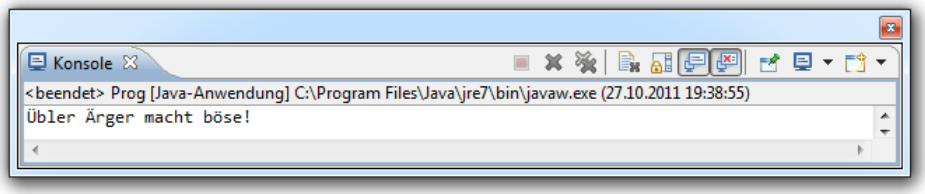
- Windows arbeitet in Konsolenfenstern mit dem ASCII-Zeichensatz, in grafikorientierten Anwendungen hingegen mit dem ANSI-Zeichensatz.
- Die virtuelle Java-Maschine arbeitet unter Windows grundsätzlich mit dem ANSI-Zeichensatz.

Java bietet durchaus eine Lösung für das Problem, die im Wesentlichen aus einer Ausgabestromkonvertierungsklasse besteht und später im passenden Kontext dargestellt wird. Da wir Konsolenanwendungen nur als relativ einfache Umgebung zum Erlernen grundlegender Techniken und Konzepte verwenden und letztlich Grafikorientierte Anwendungen anstreben, ignorieren wir den Schönheitsfehler in der Regel.

Außerdem tritt das Problem *nicht* auf, wenn eine Konsolenanwendung innerhalb von Eclipse abläuft:

---

[1] Mit den Paketen der Standardklassenbibliothek werden wir uns später ausführlich beschäftigen. An dieser Stelle dient die Angabe der Paketzugehörigkeit dazu, das Lokalisieren der Informationen zu einer Klasse in der API-Dokumentation zu erleichtern.



3.3 Variablen und Datentypen

Während ein Programm läuft, müssen zahlreiche Informationen mehr oder weniger lange im Arbeitsspeicher des Rechners aufbewahrt und natürlich auch modifiziert werden, z.B.:

- Die Eigenschaftsausprägungen eines Objekts werden aufbewahrt, solange das Objekt existiert.
- Die zur Ausführung einer Methode benötigten Daten werden bis zum Ende des Methodenaufrufs gespeichert.

Zum Speichern eines Werts (z.B. einer Zahl) wird eine so genannte **Variable** verwendet, worunter Sie sich einen **benannten Speicherplatz von bestimmtem Datentyp** (z.B. Ganzzahl) vorstellen können.

Eine Variable erlaubt über ihren Namen den lesenden oder schreibenden Zugriff auf die zugehörige Stelle im Arbeitsspeicher, z.B.:

```
class Prog {
  public static void main(String[] args) {
    int ivar = 4711;          //schreibender Zugriff auf ivar
    System.out.println(ivar); //lesender Zugriff auf ivar
  }
}
```

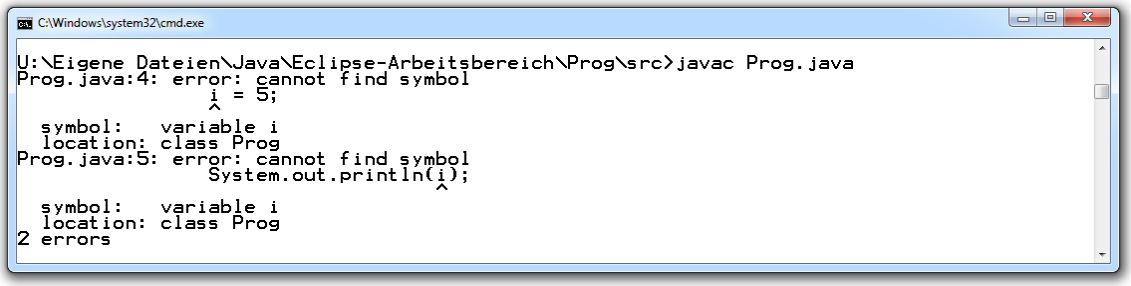
3.3.1 Strenge Compiler-Überwachung bei Java - Variablen

Um die Details bei der Verwaltung der Variablen im Arbeitsspeicher müssen wir uns nicht kümmern, da wir schließlich mit einer problemorientierten, „höheren“ Programmiersprache arbeiten. Allerdings verlangt Java beim Umgang mit Variablen im Vergleich zu anderen Programmier- oder Skriptsprachen einige Sorgfalt, letztlich mit dem Ziel, Fehler zu vermeiden:

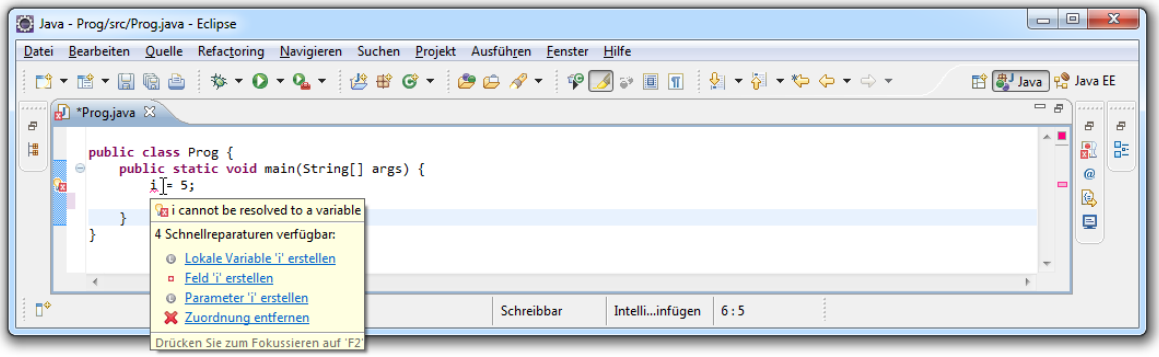
- Variablen müssen **explizit deklariert** werden, z.B.:

  ```
  int ivar = 4711;
  ```

  Wenn Sie versuchen, eine nicht deklarierte Variable zu verwenden, wird beim Übersetzen ein Fehler gemeldet, z.B. vom Compiler **javac.exe** aus dem JDK:



  Der inkrementelle Compiler in Eclipse erkennt und dokumentiert das Problem unmittelbar nach der Eingabe im Editor:



Durch den Deklarationszwang werden z.B. Programmfehler wegen falsch geschriebener Variablennamen verhindert.

- Java ist **streng und statisch typisiert**.[1]
  Für jede Variable ist bei der Deklaration ein fester (später nicht mehr änderbarer) **Datentyp** anzugeben. Er legt fest, …
  - o welche Informationen (z.B. ganze Zahlen, Zeichen, Adressen von `Bruch`-Objekten) in der Variablen gespeichert werden können,
  - o welche Operationen auf die Variable angewendet werden dürfen.

  Der Compiler kennt zu jeder Variablen den Datentyp und kann daher **Typsicherheit** garantieren, d.h. die Zuweisung von Werten mit ungeeignetem Datentyp verhindern. Außerdem kann auf (zeitaufwendige) Typprüfungen zur Laufzeit verzichtet werden. In der folgenden Anweisung

  ```
  int ivar = 4711;
  ```

  wird die Variable `ivar` vom Typ **int** deklariert, der sich für ganze Zahlen im Bereich von -2147483648 bis 2147483647 eignet.

  Im Unterschied zu manchen Skriptsprachen arbeitet Java mit einer *statischen* Typisierung, so dass der einer Variablen zugewiesene Typ nicht mehr geändert werden kann.

In der obigen Anweidung erhält die Variable `ivar` beim Deklarieren gleich den **Initialisierungswert** 4711. Auf diese oder andere Weise müssen Sie jeder *lokalen*, d.h. innerhalb einer Methode deklarierten, Variablen einen Wert zuweisen, bevor Sie zum ersten Mal lesend darauf zugreifen (vgl. Abschnitt 3.3.8).

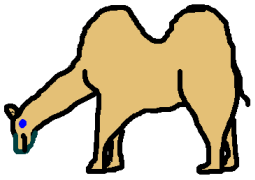
3.3.2 Variablennamen

Es sind beliebige Bezeichner gemäß Abschnitt 3.1.6 erlaubt. Eine Beachtung der folgenden Konventionen verbessert die Lesbarkeit des Quellcodes, insbesondere auch für *andere* Programmierer:

- Variablennamen beginnen mit einem Kleinbuchstaben (siehe z.B. Gosling et al. 2011, S. 126).
- Besteht ein Name aus mehreren Wörtern (z.B. `numberOfObjects`), schreibt man ab dem zweiten Wort die Anfangsbuchstaben groß (*Camel Casing*). Das zur Vermeidung von Urheberrechtsproblemen handgemalte Tier kann hoffentlich trotz ästhetischer Mängel zur Begriffsklärung beitragen:

---

[1] Halten Sie bitte die eben erläuterte *statische Typisierung* (im Sinn von *unveränderlicher* Typfestlegung) in begrifflicher Distanz zu den bereits erwähnten *statischen Variablen* (im Sinn von *klassenbezogenen* Variablen). Das Wort *statisch* ist eingeführter Bestandteil bei beiden Begriffen, so dass es mir nicht sinnvoll erschien, eine andere Bezeichnung vorzunehmen, um die Doppelbedeutung zu vermeiden.



3.3.3 Primitive Typen und Referenztypen

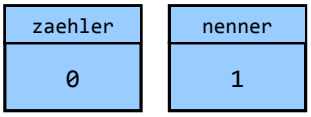
Bei der objektorientierten Programmierung werden neben den traditionellen (elementaren, primitiven) Variablen zur Aufbewahrung von Zahlen, Zeichen oder Wahrheitswerten auch Variablen benötigt, welche die Adresse eines Objekts aufnehmen und so die Kommunikation mit dem Objekt ermöglichen. Wir unterscheiden also bei den Datentypen von Variablen zwei übergeordnete Kategorien:

- **Primitive Datentypen**
  Die Variablen mit primitivem Datentyp sind auch in Java unverzichtbar (z.B. als Felder von Klassen oder lokale Variablen), obwohl sie „nur“ zur Verwaltung ihres Inhalts dienen und keine Rolle bei Kommunikation mit Objekten spielen.

  In der `Bruch`-Klassendefinition (siehe Abschnitt 1.1) haben die Felder für Zähler und Nenner eines Objekts den Werttyp **int**, können also eine Ganzzahl im Bereich von –2147483648 bis 2147483647 aufnehmen. Sie werden in den folgenden Anweisungen deklariert, wobei `nenner` auch noch einen Initialisierungswert erhält:

  ```
  int zaehler;
  int nenner = 1;
  ```

  Beim Feld `zaehler` wird auf die explizite Initialisierung verzichtet, so dass die automatische Null-Initialisierung von **int**-Feldern greift. Für ein frisch erzeugtes `Bruch`-Objekt befinden sich im programmeigenen Speicher folgende Instanzvariablen (Felder):

  In der `Bruch`-Methode `kuerze()` tritt u.a. die lokale Variable `ggt` auf, die ebenfalls den primitiven Typ **int** besitzt:

  ```
  int ggt = 0;
  ```

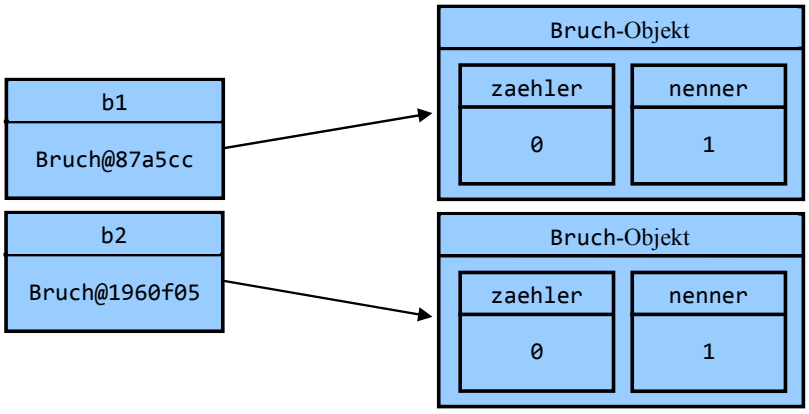
  In Abschnitt 3.3.6 werden zahlreiche weitere primitive Datentypen vorgestellt.

- **Referenztypen**
  Besitzt eine Variable einen Referenztyp, dann kann ihr Speicherplatz die **Adresse eines Objekts** aus einer bestimmten Klasse aufnehmen. Sobald ein solches Objekt erzeugt und seine Adresse der Referenzvariablen zugewiesen worden ist, kann das Objekt über die Referenzvariable angesprochen werden. Von den Variablen mit primitivem Typ unterscheidet sich eine Referenzvariable also …
    - durch ihren speziellen Inhalt (Objektadresse)
    - und durch ihre Rolle bei Kommunikation mit Objekten.

  Man kann jede Klasse (aus der Java-Standardbibliothek übernommen oder selbst definiert) als Referenzdatentyp verwenden, also Referenzvariablen dieses Typs deklarieren. In der **main()**-Methode der Klasse `BruchAddition` (siehe Abschnitt 1.1) werden z.B. die Referenzvariablen `b1` und `b2` mit dem Datentyp `Bruch` deklariert:

  ```
  Bruch b1 = new Bruch(), b2 = new Bruch();
  ```

Sie erhalten als Initialisierungswert jeweils eine Referenz auf ein (per **new**-Operator, siehe unten) neu erzeugtes `Bruch`-Objekt. Daraus resultiert im programmeigenen Speicher folgende Situation:



Das von `b1` referenzierte `Bruch`-Objekt wurde bei einem konkreten Programmlauf von der JVM an der Speicheradresse 0x87a5cc (ganze Zahl, ausgedrückt im Hexadezimalsystem) untergebracht. Wir plagen uns nicht mit solchen Adressen, sondern sprechen die dort abgelegten Objekte über Referenzvariablen an, wie z.B. in der folgenden Anweisung aus der **main()**-Methode der Klasse `BruchAddition`:

```
b1.frage();
```

Jedes `Bruch`-Objekt enthält die Felder (Instanzvariablen) `zaehler` und `nenner` vom primitiven Typ **int**.

Zur Beziehung der Begriffe *Objekt* und *Variable* halten wir fest:

- Ein Objekt enthält im Allgemeinen mehrere Instanzvariablen (Felder) von beliebigem Datentyp. So enthält z.B. ein `Bruch`-Objekt die Felder `zaehler` und `nenner` vom primitiven Typ **int** (zur Aufnahme einer Ganzzahl). Bei einer späteren Erweiterung der `Bruch`-Klassendefinition werden ihre Objekte auch eine Instanzvariable mit Referenztyp erhalten.
- Eine Referenzvariable dient zur Aufnahme einer Objektadresse. So kann z.B. eine Variable vom Datentyp `Bruch` die Adresse eines `Bruch`-Objekts aufnehmen und zur Kommunikation mit diesem Objekt dienen. Es ist ohne weiteres möglich und oft sinnvoll, dass mehrere Referenzvariablen die Adresse *desselben* Objekts enthalten. Das Objekt existiert unabhängig vom Schicksal einer konkreten Referenzvariablen, wird jedoch überflüssig, wenn im gesamten Programm keine einzige Referenz (Kommunikationsmöglichkeit) mehr vorhanden ist.

Wir werden im Abschnitt 3 überwiegend mit Variablen von primitivem Typ arbeiten, können und wollen dabei aber den Referenzvariablen (z.B. zur Ansprache des Objekts **System.out** bei der Konsolenausgabe, siehe Abschnitt 3.2) nicht aus dem Weg gehen.

3.3.4 Klassifikation der Variablen nach Zuordnung

In Java unterscheiden sich Variablen nicht nur hinsichtlich des Datentyps, sondern auch hinsichtlich der Zuordnung zu einer *Methode*, zu einem *Objekt* oder zu einer *Klasse*:

- **Lokale Variablen**
  Sie werden innerhalb einer Methode deklariert. Ihre Gültigkeit beschränkt sich auf die Methode bzw. auf einen Block innerhalb der Methode (siehe Abschnitt 3.3.9).

  Solange eine Methode ausgeführt wird, befinden sich ihre Variablen in einem Speicherbereich, den man als **Stack** (deutsch: *Stapel*, *Keller*) bezeichnet.

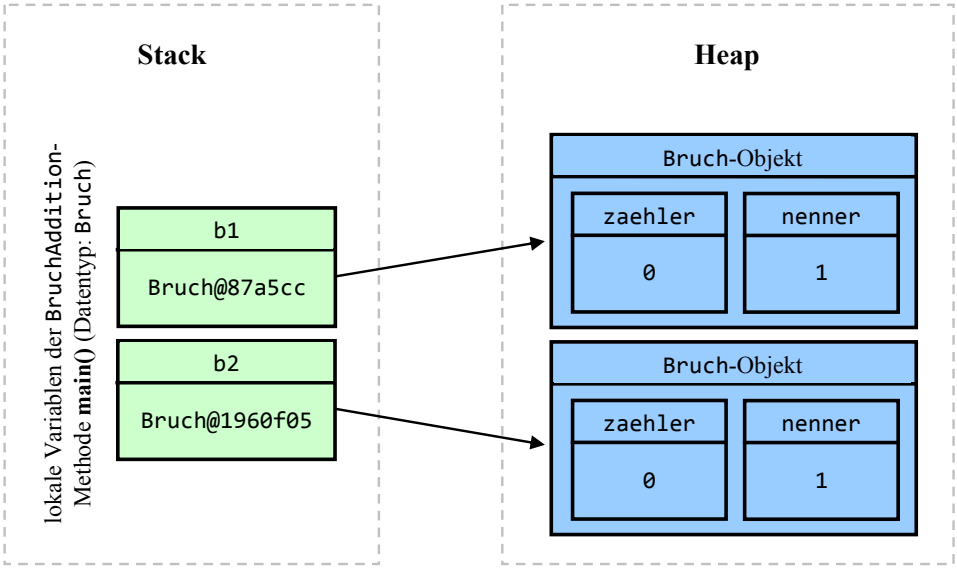
- **Instanzvariablen (nicht-statische Felder)**
  Jedes Objekt (synonym: jede *Instanz*) einer Klasse verfügt über einen vollständigen Satz der Instanzvariablen der Klasse. So besitzt z.B. jedes Objekt der Klasse `Bruch` einen `zaehler` und einen `nenner`.

  Solange ein Objekt existiert, befinden es sich mit all seine Instanzvariablen in einem Speicherbereich, den man als **Heap** (deutsch: *Haufen*) bezeichnet.

- **Klassenvariablen (statische Felder)**
  Diese Variablen beziehen sich auf eine Klasse insgesamt, nicht auf einzelne Instanzen der Klasse. Z.B. hält man oft in einer Klassenvariablen fest, wie viele Objekte der Klasse bereits bei einem Programmeinsatz erzeugt worden sind. In unserem Bruchrechnungs-Beispielprojekt haben wir der Einfachheit halber bisher auf statische Felder verzichtet, allerdings sind uns schon statische Felder aus anderen Klassen begegnet:
  - Aus der Klasse **System** kennen wir schon die statische Variable **out**. Sie zeigt auf ein Objekt, das wir häufig mit Konsolenausgaben beauftragen.
  - In einem Beispielprogramm von Abschnitt 3.2.2 über die formatierte Ausgabe haben wir die Zahl π aus der statischen Variablen **PI** der Klasse **Math** entnommen.

  Während jedes Objekt einer Klasse über einen eigenen Satz mit allen Instanzvariablen verfügt, die beim Erzeugen des Objekts auf dem Heap angelegt werden, existieren Klassenvariablen nur *einmal*. Sie werden beim Laden der Klasse in der so genannten **Method Area** des programmeigenen Speichers abgelegt.

Die im Wesentlichen schon aus Abschnitt 3.3.3 bekannte Abbildung zur Lage im Hauptspeicher bei Ausführung der **main()**-Methode der Klasse `BruchAddition` aus unserem OOP-Standardbeispiel (vgl. Abschnitt 1.1) wird anschließend ein wenig präzisiert. Durch Farben und Ortsangaben wird für die beteiligten lokalen Variablen bzw. Instanzvariablen die Zuordnung zu einer Methode bzw. zu einem Objekt und die damit verbundene Speicherablage verdeutlicht:



Die lokalen Referenzvariablen `b1` und `b2` der Methode **main()** befinden sich im Stack-Bereich des programmeigenen Speichers und enthalten jeweils die Adresse eines `Bruch`-Objekts. Jedes `Bruch`-Objekt besitzt die Felder (Instanzvariablen) `zaehler` und `nenner` vom primitiven Typ **int** und befindet sich im Heap-Bereich des programmeigenen Speichers.

Auf Instanz- und Klassenvariablen kann in allen Methoden der eigenen Klasse zugegriffen werden. Wenn (als gut begründete Ausnahme vom Prinzip der Datenkapselung) entsprechende Rechte eingeräumt wurden, ist dies auch in Methoden fremder Klassen möglich.

In Abschnitt 3 werden wir überwiegend mit *lokalen* Variablen arbeiten, aber z.B. auch das statische Feld **out** der Klasse **System** benutzen (, das auf ein Objekt der Klasse **PrintStream** zeigt). Im Zusammenhang mit der systematischen Behandlung der objektorientierten Programmierung werden die Instanz- und Klassenvariablen ausführlich erläutert.

Im Unterschied zu anderen Programmiersprachen (z.B. C++) ist es in Java *nicht* möglich, so genannte *globale* Variablen außerhalb von Klassen zu definieren.

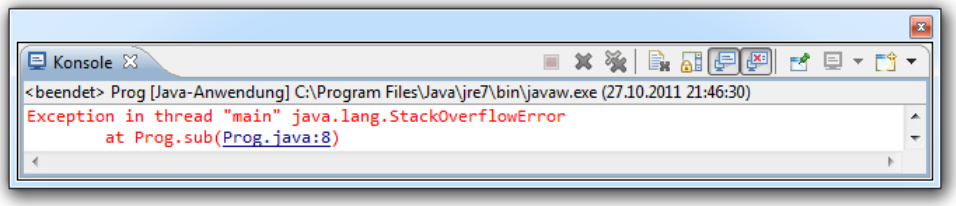
3.3.5 Eigenschaften einer Variablen

Als wichtige Eigenschaften einer Java-Variablen haben Sie nun kennen gelernt:

- **Zuordnung**
  Eine Variable gehört entweder zu einer Methode, zu einem Objekt oder zu einer Klasse.
- **Datentyp**
  Damit sind festgelegt: Wertebereich, Speicherplatzbedarf und zulässige Operationen. Besonders wichtig ist die Unterscheidung zwischen primitiven Datentypen und Referenztypen.
- **Name**
  Es sind beliebige Bezeichner gemäß Abschnitt 3.1.6 erlaubt.
- **Aktueller Wert**
  Im folgenden Beispiel taucht eine Variable auf, die zur Methode **main()** gehört, vom primitiven Typ **int** ist, den Namen `ivar` besitzt und den Wert 5 hat:

```
public class Prog {
public static void main(String[] args) {
 int ivar = 5;
}
}
```

- **Ort im Hauptspeicher**
  Im Unterschied zu anderen Programmiersprachen (z.B. C++) belastet Java die Programmierer *nicht* mit der Verwaltung von Speicher*adressen*. Wir unterscheiden jedoch (nicht nur zur Förderung unserer EDV-Allgemeinbildung) zwei wichtige Speicher*regionen* (*Stack* und *Heap*), in denen Java-Programme ihre Variablen bzw. Objekte ablegen. Dieses Hintergrundwissen hilft z.B., wenn vom Laufzeitsystem (von der virtuellen Java-Maschine) ein **StackOverflowError** gemeldet wird:



3.3.6 Primitive Datentypen

Als *primitiv* bezeichnet man in Java die auch in älteren Programmiersprachen bekannten Datentypen zur Aufnahme von einzelnen Zahlen, Zeichen oder Wahrheitswerten. Speziell für Zahlen existieren diverse Datentypen, die sich hinsichtlich Wertebereich und Speicherplatzbedarf unterscheiden. Von der folgenden Tabelle sollte man sich vor allem merken, wo sie im Bedarfsfall zu finden ist. Eventuell sind Sie aber auch jetzt schon neugierig auf einige Details:

Typ	Beschreibung	Werte	Speicher-bedarf in Bit
byte	Diese Variablentypen speichern ganze Zahlen. Beispiel: `int alter = 31;`	–128 … 127	8
short		–32768 … 32767	16
int		–2147483648 ... 2147483647	32
long		–9223372036854775808 … 9223372036854775807	64
float	Variablen vom Typ **float** speichern Gleitkommazahlen nach der Norm IEEE-754 mit einer Genauigkeit von mindestens 7 Dezimalstellen. Beispiel: `float pi = 3.141593f;` **float**-Literale (s. u.) benötigen den Suffix **f** (oder **F**).	Minimum: $-3{,}4028235 \cdot 10^{38}$ Maximum: $3{,}4028235 \cdot 10^{38}$ Kleinster Betrag > 0: $1{,}4 \cdot 10^{-45}$	32 1 für das Vorz., 8 für den Expon., 23 für die Mantisse
double	Variablen vom Typ **double** speichern Gleitkommazahlen nach der Norm IEEE-754 mit einer Genauigkeit von mindestens 15 Dezimalstellen. Beispiel: `double pi = 3.1415926535898;`	Minimum: $-1{,}7976931348623157 \cdot 10^{308}$ Maximum: $1{,}7976931348623157 \cdot 10^{308}$ Kleinster Betrag > 0: $4{,}9406564584124654 \cdot 10^{-324}$	64 1 für das Vorz., 11 für den Expon., 52 für die Mantisse
char	Variablen vom Typ **char** dienen zum Speichern *eines* Unicode-Zeichens. Im Speicher landet aber nicht die Gestalt eines Zeichens, sondern seine Nummer im Unicode-Zeichensatz. Daher zählt **char** zu den integralen (ganzzahligen) Datentypen. Beispiel: `char zeichen = 'j';` **char**-Literale (s. u.) sind durch *einfache* Anführungszeichen zu begrenzen.	Unicode-Zeichen Tabellen mit allen Unicode-Zeichen sind z.B. auf der Webseite http://www.unicode.org/charts/ des Unicode-Konsortiums verfügbar.	16
boolean	Variablen vom Typ **boolean** können Wahrheitswerte aufnehmen. Beispiel: `boolean cond = false;`	**true**, **false**	1

Als *Gleitkommazahl* (synonym: *Gleitpunkt-* oder *Fließkommazahl*, englisch: *floating point number* bezeichnet man ein Tripel aus

(Vorzeichen, Mantisse, Exponent)

zur approximativen Darstellung einer reellen Zahl in der EDV. Bei der präzisen Ausgestaltung des Verfahrens kommt meist die Norm IEEE 754 zum Einsatz.[1] Die drei Komponenten werden separat

[1] Veröffentlicht vom ***I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronics **E**ngineers* (IEEE)

gespeichert und ergeben nach folgender Formel den dargestellten Wert, wobei ***b*** für die Basis eines Zahlensystems steht (meist verwendet: 2 oder 10):

$$\textbf{Wert} = \textbf{Vorzeichen} \cdot \textbf{Mantisse} \cdot b^{\textbf{Exponent}}$$

Bei dieser von Konrad Zuse entwickelten Darstellungstechnik[1] resultiert im Vergleich zur Festkommadarstellung bei gleichem Speicherplatzbedarf ein erheblich größerer Wertebereich. Während die Mantisse für die Genauigkeit sorgt, speichert der Exponentialfaktor die Größenordnung, z.B.:[2]

$$-0{,}0000001252612 = (-1) \cdot 1{,}252612 \cdot 10^{-7}$$
$$1252612000000000 = (1) \cdot 1{,}252612 \cdot 10^{15}$$

Durch eine Änderung des Exponenten könnte man das Dezimalkomma durch die Mantisse „gleiten“ lassen. Allerdings wird in der Regel durch eine Restriktion der Mantisse (z.B. auf das Intervall [1; 2)) für Eindeutigkeit gesorgt.

Weil der verfügbare Speicher für Mantisse und Exponent begrenzt ist (siehe obige Tabelle), bilden die Gleitkommazahlen nur eine endliche (aber für praktische Zwecke ausreichende) Teilmenge der reellen Zahlen. Zur Verarbeitung von Gleitkommazahlen wurde die *Gleitkommaarithmetik* entwickelt, normiert und zur Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit teilweise sogar in Computer-Hardware realisiert. Nähere Informationen über die Darstellung von Gleitkommazahlen im Arbeitsspeicher eines Computers folgen für speziell interessierte Leser im Abschnitt 3.3.7.

Ein Vorteil von Java besteht darin, dass die Wertebereiche der elementaren Datentypen auf allen Plattformen identisch sind, worauf man sich bei anderen Programmiersprachen (z.B. C/C++) nicht verlassen kann.

Im Vergleich zu den Programmiersprachen C, C++ und C# fällt auf, dass der Einfachheit halber auf *vorzeichenfreie* Datentypen verzichtet wurde.

Die abwertend klingende Bezeichnung *primitiv* darf keinesfalls so verstanden werden, dass elementare Datentypen nach Möglichkeit in Java-Programmen zu vermeiden wären. Sie sind als Bausteine für Klassen und als lokale Variablen in Methoden unverzichtbar.

3.3.7 Vertiefung: Darstellung von Gleitkommazahlen im Arbeitsspeicher des Computers

Die als *Vertiefung* bezeichneten Abschnitte können beim ersten Lesen des Manuskripts gefahrlos übersprungen werden. Sie enthalten interessante Details, über die man sich irgendwann im Verlauf der Programmierkarriere informieren sollte.

3.3.7.1 Binäre Gleitkommadarstellung

Bei den binären Gleitkommatypen **float** und **double** werden auch „relativ glatte“ Zahlen im Allgemeinen nur approximativ gespeichert, wie das folgende Programm zeigt:

---

[1] Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Konrad_Zuse

[2] Diese Beispiele orientieren sich der Einfachheit halber nur sinngemäß an der Norm IEEE 754. Dort wird beim Exponenten die Basis 2 verwendet (siehe Abschnitt 3.3.7.1).

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  float f130 = 1.3f;` `  float f125 = 1.25f;` `  System.out.printf("%9.7f", f130);` `  System.out.println();` `  System.out.printf("%10.8f", f130);` `  System.out.println();` `  System.out.printf("%20.18f", f125);` `  }` `}`	`1,3000000` `1,29999995` `1,250000000000000000`

Bei einer Ausgabe mit mehr als sieben Nachkommastellen zeigt sich, dass die **float**-Zahl 1,3 nicht exakt abgespeichert worden ist. Demgegenüber tritt bei der **float**-Zahl 1,25 *keine* Ungenauigkeit auf.

Diese Ergebnisse sind durch das Speichern der Zahlen im **binären Gleitkommaformat** nach der Norm **IEEE-754** zu erklären, wobei jede Zahl als Produkt aus drei getrennt zu speichernden Faktoren dargestellt wird:

$$\textbf{Vorzeichen} \cdot \textbf{Mantisse} \cdot 2^{\textbf{Exponent}}$$

Im ersten Bit einer **float**- und **double** - Variablen wird das Vorzeichen gespeichert (0: positiv, 1: negativ).

Für die Ablage des Exponenten (zur Basis 2) als Ganzzahl stehen 8 (**float**) bzw. 11 (**double**) Bits zur Verfügung. Allerdings sind im Exponenten die Werte 0 und 255 (**float**) bzw. 0 und 2047 (**double**) für Spezialfälle (z.B. denormalisierte Darstellung, +/-Unendlich) reserviert (siehe Abschnitt 3.6.2). Um auch die für Zahlen mit einem Betrag kleiner Eins benötigten *negativen* Exponenten darstellen zu können, werden Exponenten mit einer Verschiebung (*Bias*) um den Wert 127 (**float**) bzw. 1023 (**double**) abgespeichert und interpretiert. Besitzt z.B. eine **float**-Zahl den Exponenten Null, landet der Wert

$$01111111_2 = 127$$

im Speicher, und bei negativen Exponenten resultieren dort Werte kleiner als 127.

Abgesehen von betragsmäßig sehr kleinen Zahlen (siehe unten) werden die **float**- und **double**-Werte **normalisiert**, d.h. auf eine Mantisse im Intervall [1; 2) gebracht, z.B.:

$$24{,}48 = 1{,}53 \cdot 2^4$$

$$0{,}2448 = 1{,}9584 \cdot 2^{-3}$$

Zur Speicherung der Mantisse werden 23 (**float**) bzw. 52 (**double**) Bits verwendet. Weil die führende Eins der normalisierten Mantisse *nicht* abgespeichert wird (*hidden bit*), stehen alle Bits für die Restmantisse (die Nachkommastellen) zur Verfügung mit dem Effekt einer verbesserten Genauigkeit. Oft wird daher die Anzahl der Mantissen-Bits mit 24 (**float**) bzw. 53 (**double**) angegeben. Das *i*-te Mantissen-Bit (von links nach rechts mit *Eins* beginnend nummeriert) hat die Wertigkeit 2^{-i}, so dass sich der *dezimale* Mantissenwert folgendermaßen ergibt:

$$1+m \quad \text{mit} \quad m = \sum_{i=1}^{23 \text{ bzw. } 52} b_i 2^{-i}, \;\; b_i \in \{0,1\}$$

Eine **float**- bzw. **double**-Variable mit dem Vorzeichen *v* (Null oder Eins), dem Exponenten *e* und dem dezimalen Mantissenwert (1+ *m*) speichert also bei normalisierter Darstellung den Wert:

$$\textbf{(-1)}^{v} \cdot \textbf{(1 + m)} \cdot \textbf{2}^{e-127} \quad \text{bzw.} \quad \textbf{(-1)}^{v} \cdot \textbf{(1 + m)} \cdot \textbf{2}^{e-1023}$$

In der folgenden Tabelle finden Sie einige normalisierte **float**-Werte:

Wert	float-Darstellung (normalisiert)		
	Vorz.	Exponent	Mantisse
0,75 = $(-1)^0 \cdot 2^{(126-127)} \cdot (1+0{,}5)$	0	01111110	10000000000000000000000
1,0 = $(-1)^0 \cdot 2^{(127-127)} \cdot (1+0{,}0)$	0	01111111	00000000000000000000000
1,25 = $(-1)^0 \cdot 2^{(127-127)} \cdot (1+0{,}25)$	0	01111111	01000000000000000000000
-2,0 = $(-1)^1 \cdot 2^{(128-127)} \cdot (1+0{,}0)$	1	10000000	00000000000000000000000
2,75 = $(-1)^0 \cdot 2^{(128-127)} \cdot (1+0{,}25+0{,}125)$	0	10000000	01100000000000000000000
-3,5 = $(-1)^1 \cdot 2^{(128-127)} \cdot (1+0{,}5+0{,}25)$	1	10000000	11000000000000000000000

Nun kommen wir endlich zur Erklärung der eingangs dargestellten Genauigkeitsunterschiede beim Speichern der Zahlen 1,25 und 1,3. Während die Restmantisse

$$0{,}25 = 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2}$$
$$= 0 \cdot \frac{1}{2} + 1 \cdot \frac{1}{4}$$

perfekt dargestellt werden kann, gelingt dies bei der Restmantisse 0,3 nur approximativ:

$$0{,}3 = 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 0 \cdot 2^{-3} + 0 \cdot 2^{-4} + 1 \cdot 2^{-5} + \ldots$$
$$= 0 \cdot \frac{1}{2} + 1 \cdot \frac{1}{4} + 0 \cdot \frac{1}{8} + 0 \cdot \frac{1}{16} + 1 \cdot \frac{1}{32} + \ldots$$

Sehr aufmerksame Leser werden sich darüber wundern, wieso die Tabelle mit den elementaren Datentypen in Abschnitt 3.3.6 z.B.

$$1{,}4 \cdot 10^{-45}$$

als betragsmäßig kleinsten **float**-Wert nennt, obwohl der minimale Exponent nach obigen Überlegungen -126 beträgt, was zum (gerundeten) dezimalen Exponentialfaktor

$$1{,}2 \cdot 10^{-38}$$

führt. Dahinter steckt die *denormalisierte* Gleitkommadarstellung, die als Ergänzung zur bisher beschriebenen normalisierten Darstellung eingeführt wurde, um eine bessere Annäherung an die Zahl Null zu erreichen. Alle Exponenten-Bits sind auf Null gesetzt, und dem Exponentialfaktor wird der feste Wert 2^{-126} (**float**) bzw. 2^{-1022} (**double**) zugeordnet. Die Mantissen-Bits haben dieselbe Wertigkeiten (2^{-i}) wie bei der normalisierten Darstellung (siehe oben). Weil es kein *hidden bit* gibt, stellen sie aber nun einen dezimalen Wert im Intervall [0, 1) dar. Eine **float**- bzw. **double**-Variable mit dem Vorzeichen *v* (Null oder Eins), mit komplett auf Null gesetzten Exponenten-Bits und dem dezimalen Mantissenwert *m* speichert also bei denormalisierter Darstellung die Zahl:

$$\mathbf{(-1)^v \cdot 2^{-126} \cdot m} \quad \text{bzw.} \quad \mathbf{(-1)^v \cdot 2^{-1022} \cdot m}$$

In der folgenden Tabelle finden Sie einige denormalisierte **float**-Werte:

Wert	float-Darstellung (denormalisiert)		
	Vorz.	Exponent	Mantisse
0,0 = $(-1)^0 \cdot 2^{-126} \cdot 0$	0	00000000	00000000000000000000000
$-5{,}877472 \cdot 10^{-39} \approx (-1)^1 \cdot 2^{-126} \cdot 2^{-1}$	1	00000000	10000000000000000000000
$1{,}401298 \cdot 10^{-45} \approx (-1)^0 \cdot 2^{-126} \cdot 2^{-23}$	0	00000000	00000000000000000000001

Weil die Mantissen-Bits auch zur Darstellung der Größenordnung verwendet werden, schwindet die relative Genauigkeit mit der Annäherung an die Null.

Eclipse- Projekte mit Java-Programmen zur Anzeige der Bits einer (de)normalisierten **float**- bzw. **double**-Zahl finden Sie in den Ordnern

…\BspUeb\Elementare Sprachelemente\Bits\FloatBits
…\BspUeb\Elementare Sprachelemente\Bits\DoubleBits

Weil im Quellcode der Programme mehrere noch unbekannte Sprachelemente auftreten, wird hier auf eine Wiedergabe verzichtet. Einer Nutzung der Programme steht aber nichts im Wege. Hier wird z.B. mit dem Programm **DoubleBits** das Speicherabbild der **double**-Zahl -3,5 ermittelt:

```
double: -3,5

Bits:
1 12345678901 1234567890123456789012345678901234567890123456789012
1 10000000000 1100000000000000000000000000000000000000000000000000
```

3.3.7.2 Dezimale Gleitkommadarstellung

Wenn die Speicher- und Rechengenauigkeit der binären Gleitkommatypen nicht reicht, kommt die Klasse **BigDecimal** aus dem Paket **java.math** in Frage (siehe JDK-Dokumentation). Objekte dieser Klasse können Dezimalzahlen mit beliebiger Genauigkeit speichern und verwenden eine dezimale Gleitkommaarithmetik mit einstellbarer Rechengenauigkeit.

Gespeichert werden:

- Eine Ganzzahl beliebiger Größe für den unskalierten Wert (*uv*)
- Eine Ganzzahl mit 32 Bit für die Anzahl der Nachkommastellen (*scale*)

Bei der Zahl

$$1{,}3 = 13 \cdot 10^{-1}$$

gelingt eine verlustfreie Speicherung mit:

$$uv = 13,\ scale = 1$$

Die Ausgabe des folgenden Programms

```
import java.math.*;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
     BigDecimal bdd = new BigDecimal(1.3);
     System.out.println(bdd);
     BigDecimal bd13 = new BigDecimal("1.3");
     System.out.println(bd13);
 }
}
```

belegt zunächst als Nachtrag zum Abschnitt 3.3.7.1, dass auch eine **double**-Variable den Wert 1,3 nur approximativ speichern kann:

```
1.3000000000000000444089209850062616169452667236328125
1.3
```

Diese Folge der binären Gleitkommadarstellung tritt bei einem Objekt der Klasse **BigDecimal** nicht auf, wie die zweite Ausgabezeile belegt.

Allerdings hat der Typ **BigDecimal** auch Nachteile im Vergleich zu den binären Gleitkommatypen **float** und **double**:

- Höherer Speicherbedarf
- Höherer Zeitaufwand bei arithmetischen Operationen
- Aufwändigere Syntax, speziell bei arithmetischen Operationen

Möglicherweise bietet Java irgendwann einen dezimalen Gleitkommatyp als elementaren Datentyp, was zu einer vereinfachten Syntax führen würde.

Bei der Aufgabe,

$$1700000000 \; - \sum_{i=1}^{1000000000} 1{,}7$$

zu berechnen, ergeben sich für die Datentypen **double** und **BigDecimal** folgende Genauigkeits- und Laufzeitunterschiede (gemessen auf einem PC mit der Intel-CPU Core i3 mit 3,2 GHz):

```
double:
 Abweichung:            -29.96745276451111
 Zeit in Millisekunden: 1079

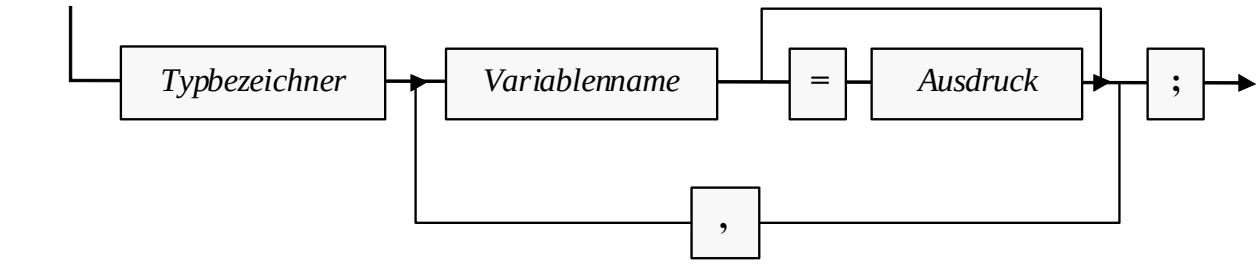
BigDecimal:
 Abweichung:            0.0
 Zeit in Millisekunden: 18389
```

Die gut bezahlten Verantwortlichen bei den deutschen Landesbanken und anderen Instituten, die sich gerne als „Global Player" betätigen und dabei den vollen Sinn der beiden Worte ausschöpfen (mit Niederlassungen in Schanghai, New York, Mumbai etc. und einem Verhalten wie im Sielcasino) wären heilfroh, wenn nach einem Spiel mit 1,7 Milliarden Euro Einsatz nur 30 Euro in der Kasse fehlen würden. Generell sind im Finanzsektor solche Fehlbeträge aber unerwünscht, so dass man bei finanzmathematischen Aufgaben trotz des erhöhten Zeitaufwands (im Beispiel: Faktor > 17) die Klasse **BigDecimal** verwenden sollte.

3.3.8 Variablendeklaration, Initialisierung und Wertzuweisung

In Java-Programmen muss jede Variable vor ihrer ersten Verwendung deklariert[1] werden. Dabei sind auf jeden Fall der Name und der Datentyp anzugeben, wie das Syntaxdiagramm zur **Variablendeklarationsanweisung** zeigt:

Deklaration einer lokalen Variablen



Als Datentypen kommen in Frage (vgl. Abschnitt 3.3.3):

- Primitive Datentypen, z.B.
  ```
  int i;
  ```
- Referenztypen, also Klassen (aus dem Java-API oder selbst definiert), z.B.
  ```
  Bruch b;
  ```

Wir betrachten vorläufig nur *lokale* Variablen, die innerhalb einer Methode existieren. Ihre Deklaration darf im Methodenquellcode an beliebiger Stelle *vor* der ersten Verwendung erscheinen.

Neu deklarierte Variablen kann man optional auch gleich **initialisieren**, also auf einen gewünschten Wert bringen, z.B.:

```
int i = 4711;
```

---

[1] Während in der Programmiersprache C++ die beiden Begriffe *Deklaration* und *Definition* verschiedene Bedeutungen haben, werden sie im Zusammenhang mit den meisten anderen Programmiersprachen (so auch bei Java) synonym verwendet. In diesem Manuskript wird im Zusammenhang mit Variablen bevorzugt von *Deklarationen*, im Zusammenhang mit Klassen und Methoden hingegen von *Definitionen* gesprochen.

```
Bruch b = new Bruch();
```

Im zweiten Beispiel wird per **new**-Operator ein `Bruch`-Objekt erzeugt und dessen Adresse in die neue Referenzvariable `b` geschrieben. Mit der Objektkreation und auch mit der Konstruktion von gültigen *Ausdrücken*, die einen Wert von passendem Datentyp liefern müssen, werden wir uns noch ausführlich beschäftigen.

Es ist üblich, Variablennamen mit einem Kleinbuchstaben beginnen zu lassen (vgl. Abschnitt 3.3.2), so dass man sie im Quelltext gut von den Bezeichnern für Klassen oder Konstanten (s. u.) unterscheiden kann.

Weil *lokale* Variablen *nicht* automatisch initialisiert werden, muss man ihnen unbedingt vor dem ersten lesenden Zugriff einen Wert zuweisen. Auch im Umgang mit uninitialisierten lokalen Variablen zeigt sich das Bemühen der Java-Designer um robuste Programme. Während C++ - Compiler in der Regel nur warnen, produzieren Java-Compiler eine Fehlermeldung und erstellen *keinen* Bytecode. Dieses Verhalten wird durch folgendes Programm demonstriert:

```
class Prog {
   public static void main(String[] args) {
      int argument;
      System.out.print("Argument =  " + argument);
   }
}
```

Der JDK-Compiler meint dazu:

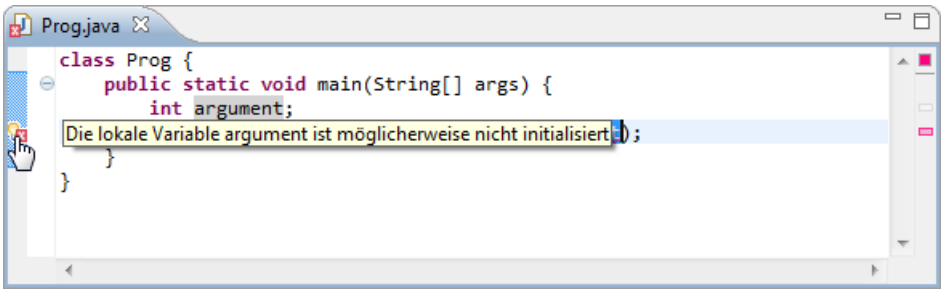
```
Prog.java:4: variable argument might not have been initialized
                System.out.print("Argument =  " + argument);
                                                  ^
1 error
```

Ähnlich äußert sich auch der Eclipse-Compiler:

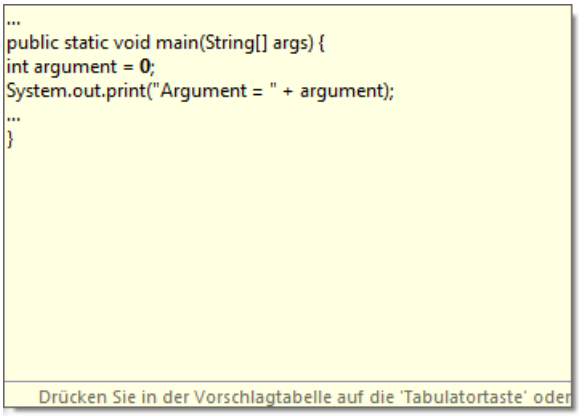
```
Exception in thread "main" java.lang.Error: Unaufgelöstes Kompilierungsproblem:
 Die lokale Variable argument ist möglicherweise nicht initialisiert

 at Prog.main(Prog.java:4)
```

Eclipse gibt nach einem Mausklick auf das Fehlersymbol neben der betroffenen Zeile

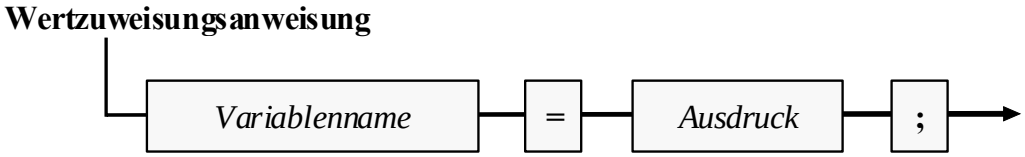


sogar konkrete Hinweise zur Verbesserung des Quellcodes:



Weil Instanz- und Klassenvariablen automatisch mit dem typspezifischen Nullwert initialisiert werden (s. u.), kann in Java-Programmen kein Zugriff auf undefinierte Werte stattfinden.

Um den Wert einer Variablen im weiteren Pogrammablauf zu verändern, verwendet man eine **Wertzuweisung**, die zu den einfachsten und am häufigsten benötigten Anweisungen gehört:



Beispiel: `ggt = az;`

Durch diese Wertzuweisungsanweisung aus der `kuerze()`-Methode unserer `Bruch`-Klasse (siehe Abschnitt 1.1) erhält die **int**-Variable `ggt` den Wert der **int**-Variablen `az`.

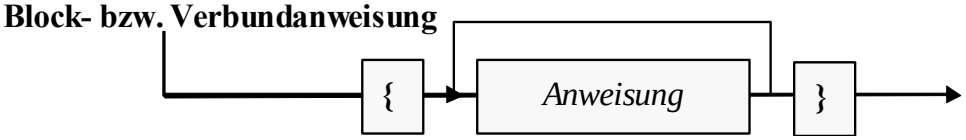
Es wird sich bald herausstellen, dass auch ein Ausdruck stets einen Datentyp hat. Bei der Wertzuweisung muss dieser Typ natürlich kompatibel zum Datentyp der Variablen sein.

U.a. haben Sie mittlerweile zwei Sorten von Java-Anweisungen kennen gelernt:

- Variablendeklaration
- Wertzuweisung

3.3.9 Blöcke und Gültigkeitsbereiche für lokale Variablen

Wie Sie bereits wissen, besteht der Rumpf einer Methodendefinition aus einem Block mit beliebig vielen Anweisungen, abgegrenzt durch geschweifte Klammern. Innerhalb des Methodenrumpfes können weitere Anweisungsblöcke gebildet werden, wiederum durch geschweifte Klammen begrenzt:



Man spricht hier auch von einer **Block- bzw. Verbundanweisung,** und diese kann überall stehen, wo eine einzelne Anweisung erlaubt ist.

Unter den Anweisungen innerhalb eines Blocks dürfen sich selbstverständlich auch wiederum Blockanweisungen befinden. Einfacher ausgedrückt: Blöcke dürfen geschachtelt werden.

Oft treten Blöcke als Bestandteil von Bedingungen oder Schleifen (s. u.) auf, z.B. in der Methode `setzeNenner()` der Klasse `Bruch`:

```
public boolean setzeNenner(int n) {
 if (n != 0) {
  nenner = n;
  return true;
 } else
  return false;
}
```

Anweisungsblöcke haben einen wichtigen Effekt auf die Gültigkeit der darin deklarierten Variablen: Eine lokale Variable ist verfügbar von der deklarierenden Zeile bis zur schließenden Klammer des lokalsten Blocks. Nur in diesem **Gültigkeitsbereich** (engl. *scope*) kann sie über ihren Namen angesprochen werden. Beim Versuch, das folgende (weitgehend sinnfreie) Beispielprogramm

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  int wert1 = 1;
  System.out.println("Wert1 = " + wert1);
  if (wert1 == 1) {
   int wert2 = 2;
   System.out.println("Wert2 = " + wert2);
  }
 System.out.println("Wert2 = " + wert2);
 }
}
```

zu übersetzen, erhält man vom Eclipse-Compiler die Fehlermeldung:

```
Exception in thread "main" java.lang.Error: Unaufgelöstes Kompilierungsproblem:
 wert2 cannot be resolved to a variable

 at Prog.main(Prog.java:11)
```

Bei hierarchisch geschachtelten Blöcken ist es in Java *nicht* erlaubt, auf mehreren Stufen Variablen mit identischem Namen zu deklarieren. Diese kaum sinnvolle Option ist in der Programmiersprache C++ vorhanden und erlaubt dort Fehler, die schwer aufzuspüren sind. In Java gehören die eingeschachtelten Blöcke zum Gültigkeitsbereich der umgebenden Blocks.

Bei der übersichtlichen Gestaltung von Java-Programmen ist das Einrücken von Anweisungsblöcken sehr zu empfehlen, wobei Sie die Position der einleitenden Blockklammer und die Einrücktiefe nach persönlichem Geschmack wählen können, z.B.:

```
if (wert1 == 1) {
   int wert2 = 2;
   System.out.println("Wert2 = "+wert2);
}
```

```
if (wert1 == 1)
{
   int wert2 = 2;
   System.out.println("Wert2 = "+wert2);
}
```

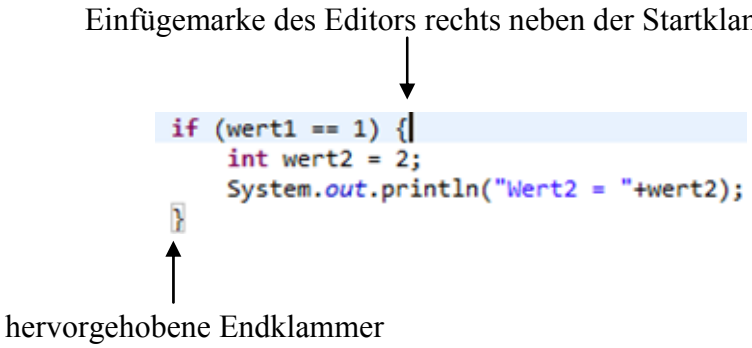
Bei Eclipse kann ein markierter Block aus mehreren Zeilen mit

Tab komplett nach rechts eingerückt

und mit

Umschalt + Tab komplett nach links ausgerückt

werden. Außerdem kann man sich zu einer Blockklammer das Gegenstück anzeigen lassen:



3.3.10 Finalisierte Variablen (Konstanten)

In der Regel sollten auch die im Programm benötigten konstanten Werte (z.B. für den Mehrwertsteuersatz) in einer Variablen abgelegt und im Quellcode über ihren Variablennamen angesprochen werden, denn:

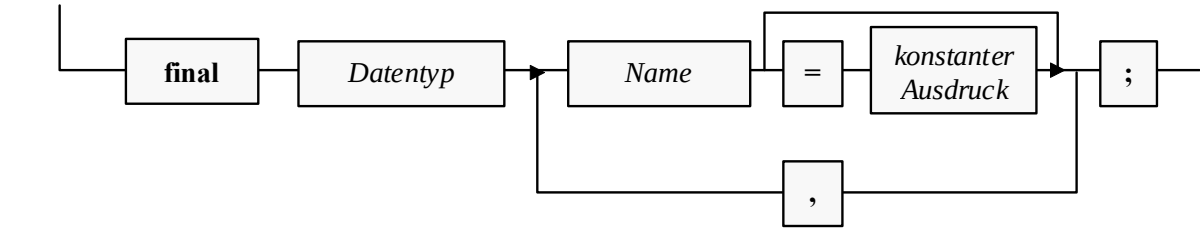
- Bei einer späteren Änderung des Wertes ist nur die Quellcodezeile mit der Variablendeklaration und -initialisierung betroffen.
- Der Quellcode ist leichter zu lesen.

Beispiel:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  final double mwst = 1.19;` `  double netto = 100.0, brutto;` `  brutto = netto * mwst;` `  System.out.println("Brutto: " + brutto);` `  }` `}`	`Brutto: 119.0`

Variablen, die nach ihrer Initialisierung im gesamten Programmverlauf auf denselben Wert fixiert bleiben sollen, deklariert man als **final**. Für finalisierte lokale (in einer Methode deklarierte) Variablen erhalten wir folgendes Syntaxdiagramm:

Deklaration einer finalisierten lokalen Variablen



Im Unterschied zur gewöhnlichen Variablendeklaration ist einleitend der Modifikator **final** zu setzen. Das Initialisieren einer finalisierten Variablen kann bei der Deklaration oder in einer späteren Wertzuweisung erfolgen. Dabei ist ein *konstanter* Ausdruck zu verwenden, zu dessen Berechnung bereits der Compiler alle benötigten Informationen besitzt. Danach ist keine weitere Wertänderung mehr erlaubt.

Neben lokalen Variablen können auch (statische) Felder einer Klasse finalisiert werden (siehe Abschnitte 4.2.5 und 4.5.1).

3.3.11 Literale

Die im Quellcode auftauchenden expliziten Werte bezeichnet man als *Literale*. Wie Sie aus dem Abschnitt 3.3.10 wissen, sollten Literale vorzugsweise bei der Initialisierung von finalen Variablen (Konstanten) verwendet werden, z.B.:

```
final double mwst = 1.19;
```

Auch die Literale besitzen in Java stets einen **Datentyp**, wobei einige Regeln zu beachten sind, die gleich erläutert werden.

In diesem Abschnitt haben manche Passagen Nachschlage-Charakter, so dass man beim ersten Lesen nicht jedes Detail aufnehmen muss bzw. kann.

3.3.11.1 Ganzzahlliterale

Für ein Ganzzahlliteral wird meist das **dezimale** Zahlensystem verwendet, z.B.:

```
final int kw = 4711;
```

Java unterstützt aber auch alternative Zahlensysteme:

- das **binäre** (mit der Basis 2 und den Ziffern 0, 1),

- das **oktale** (mit der Basis 8 und den Ziffern 0, 1, 2, …, 7)
- und das **hexadezimale** (mit der Basis 16 und den Ziffern 0, 1, …, 9, A, B, C, D, E, F)

Bei den alternativen Zahlensystemen ist ein Präfix zu setzen:

Zahlensystem	**Präfix**	**Beispiele**	
		println()-Aufruf	**Ausgabe**
dezimal		`System.out.println(11);`	`11`
binär	0b, 0B	`System.out.println(0b11);`	`3`
oktal	0	`System.out.println(011);`	`9`
hexedezimal	0x, 0X	`System.out.println(0x11);`	`17`

Für das Ganzzahlliteral `0x11` ergibt sich der dezimale Wert 17 aufgrund der Stellenwertigkeiten im Hexadezimalsystem folgendermaßen:

$$11_{\text{Hex}} = 1 \cdot 16^1 + 1 \cdot 16^0 = 1 \cdot 16 + 1 \cdot 1 = 17$$

Vermutlich fragen Sie sich, wozu man sich mit dem Hexadezimalsystem plagen sollte. Gelegentlich ist ein ganzzahliger Wert (z.B. als Methodenparameter) anzugeben, den man (z.B. aus einer Tabelle) nur in hexadezimler Darstellung kennt. In diesem Fall spart man sich durch Verwendung dieser Darstellung die Wandlung in das Dezimalsystem.

Etwas tückisch ist der Präfix für die (selten benötigten) Literale im Oktalsystem. Die führende Null im Ganzzahlliteral `011` ist keinesfalls irrelevant, sondern bewirkt eine oktale Interpretation:

$$11_{\text{Oktal}} = 1 \cdot 8 + 1 \cdot 1 = 9$$

Unabhängig vom verwendeten Zahlensystem haben Ganzzahlliterale in Java den Datentyp **int**, wenn nicht durch das Suffix **L** oder **l** der Datentyp **long** erzwungen wird. Das ist im folgenden Beispiel

```
final long betrag = 2147483648L;
```

erforderlich, weil anderenfalls ein **int**- Literal mit Wert außerhalb des zulässigen Bereichs resultiert, so dass der Eclipse-Compiler meldet:

```
Das Literal 2147483648 des Typs int liegt außerhalb des gültigen Bereichs
```

Der Kleinbuchstabe **l** ist leicht mit der Ziffer **1** zu verwechseln und daher als Suffix wenig geeignet.

Seit Java 7 dürfen bei Ganzzahlliteralen zwischen zwei Ziffern Unterstriche zur optischen Gruppierung gesetzt werden, z.B.:

```
final int kw = 4_711;
```

Weil **int**-Literale als Bestandteile der im nächsten Abschnitt behandelten Gleitkommaliterale auftreten, lässt sich die Zifferngruppierung durch Unterstriche auch dort verwenden.

3.3.11.2 Gleitkommaliterale

Zahlen mit Dezimalpunkt oder Exponent sind in Java vom Typ **double**, wenn nicht durch das Suffix **F** oder **f** der Datentyp **float** erzwungen wird, z.B.:

```
final double mwst = 1.19;
final float ff = 9.78f;
```

Mit dem (kaum jemals erforderlichen) Suffix **D** oder **d** wird der Datentyp **double** „optisch betont“.

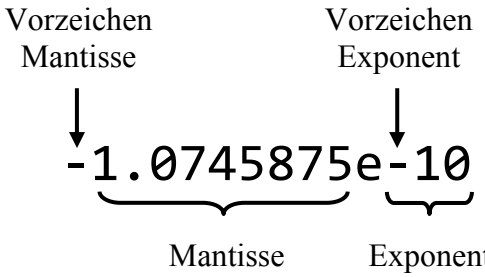
Die Java-Compiler achten bei Wertzuweisungen streng auf die Typkompatibilität. Z.B. führt die folgende Zeile:

```
final float mwst = 1.19;
```

zur folgenden Fehlermeldung des Eclipse-Compilers:

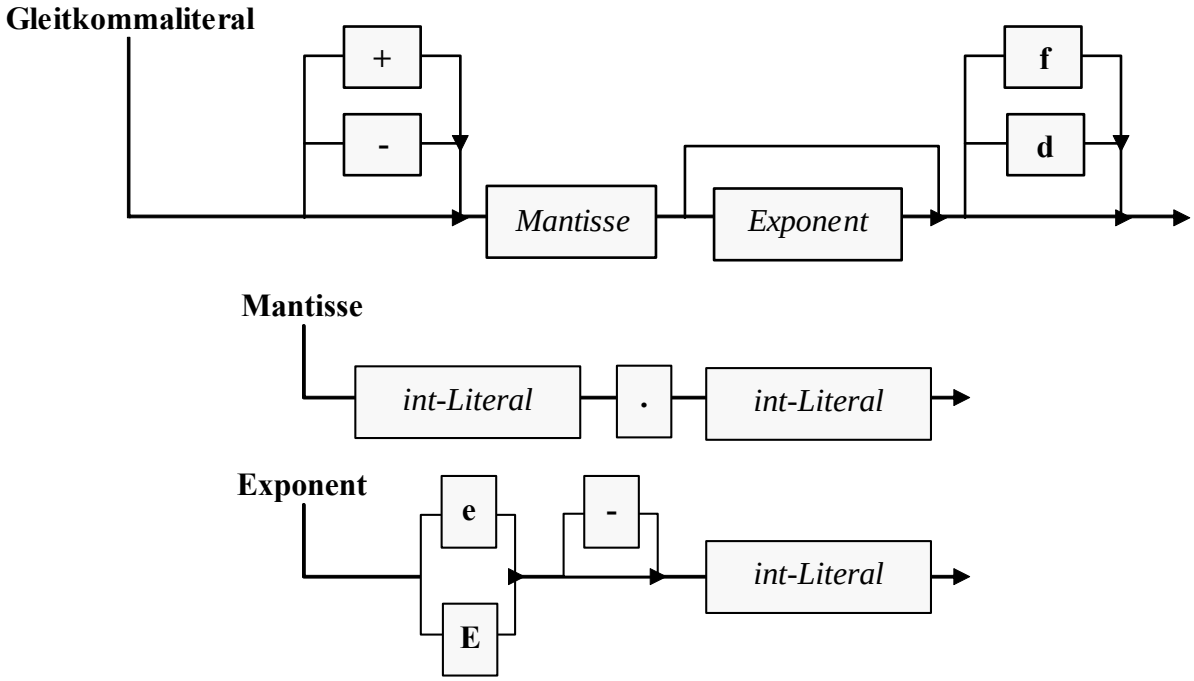
```
Typabweichung: Konvertierung von double auf float nicht möglich
```

Neben der alltagsüblichen Schreibeweise erlaubt Java bei Gleitkommaliteralen auch die Exponentialnotation (mit der Basis 10), z.B. bei der Zahl -0,00000000010745875):



Erste diese wissenschaftliche Notation erlaubt das Gleiten des Dezimaltrennzeichens, das die Bezeichnung *Gleitkommaliteral* (engl.: *floating-point literal*) begründet.

In den folgenden Syntaxdiagrammen werden die die wichtigsten Regeln für Gleitkommaliterale beschrieben:



Die in der Mantisse und im Exponenten auftretenden Ganzzahlliterale müssen das dezimale Zahlensystem verwenden und den Datentyp **int** besitzen, so dass die in Abschnitt 3.3.11.1 beschriebenen Präfixe (0, 0b, 0B, 0x, 0X) und Suffixe (L, l) verboten sind. Die Exponenten werden zur Basis Zehn verstanden.

3.3.11.3 boolean-Literale

Als Literale vom Typ **boolean** sind nur die beiden reservierten Wörter **true** und **false** erlaubt, z.B.:

```
boolean cond = true;
```

3.3.11.4 char-Literale

char-Literale werden in Java durch *einfache* Hochkommata begrenzt. Es sind erlaubt:

- **Einfache Zeichen**
  Beispiel:
  ```
  char bst = 'a';
  ```
  Das einfache Hochkomma kann allerdings auf diese Weise ebenso wenig zum **char**-Literal werden wie der Rückwärts-Schrägstrich (\). In diesen Fällen benötigt man eine so genannte *Escape-Sequenz*:

- **Escape-Sequenzen**
  Hier dürfen einem einleitenden Rückwärts-Schrägstrich u.a. folgen:
  - Ein Steuerzeichen, z.B.:
    Neue Zeile `\n`
    Horizontaler Tabulator `\t`
  - Einfaches oder doppeltes Hochkomma sowie der Rückwärts-Schrägstrich:
    `\'`
    `\"`
    `\\`

  Beispiel:
  ```
  final char rs = '\\';
  ```

- **Unicode-Escape-Sequenzen**
  Eine Unicode-Escape-Sequenz enthält eine Unicode-Zeichennummer (vorzeichenlose Ganzzahl mit 16 Bits, also im Bereich von 0 bis 2^{16}-1 = 65535) in hexadezimaler, vierstelliger Schreibeweise (ggf. links mit Nullen aufgefüllt) nach der Einleitung durch **u** oder **x**. So lassen sich Zeichen ansprechen, die per Tastatur nicht einzugeben sind.
  Beispiel:
  ```
  final char alpha = '\u03b1';
  ```
  Im Konsolenfenster werden die Unicode-Zeichen oberhalb von `\u00ff` in der Regel als Fragezeichen dargestellt. In einem GUI-Fenster erscheinen sie jedoch in voller Pracht (siehe nächsten Abschnitt).

3.3.11.5 Zeichenfolgenliterale

Zeichenkettenliterale werden (im Unterschied zu **char**-Literalen) durch *doppelte* Hochkommata begrenzt. Hinsichtlich der erlaubten Zeichen und der Escape-Sequenzen gelten die Regeln für **char**-Literale analog, wobei das einfache und das doppelte Hochkomma ihre Rollen tauschen, z.B.:

```
System.out.println("Otto's Welt");
```

Zeichenkettenliterale sind vom Datentyp **String**, und später wird sich herausstellen, dass es sich bei diesem Typ um eine Klasse aus dem JSE-API handelt.

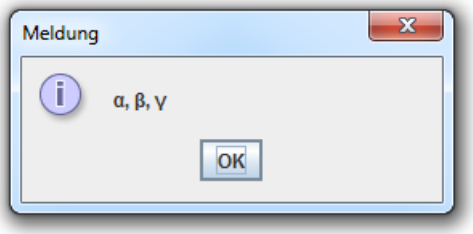
Während ein **char**-Literal stets *genau ein* Zeichen enthält, kann ein Zeichenkettenliteral aus beliebig vielen Zeichen bestehen oder auch leer sein, z.B.:

```
String name = "";
```

Das folgende Programm enthält einen Aufruf der statischen Methode **showMessageDialog()** der Klasse **JOptionPane** aus dem Paket **javax.swing** zur Anzeige eines Zeichenkettenliterals, das drei Unicode-Escape-Sequenzen enthält:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  javax.swing.JOptionPane.showMessageDialog(null, "\u03b1, \u03b2, \u03b3");
 }
}
```

Beim Programmstart erscheint das folgende Meldungsfenster:



3.3.11.6 Referenzliteral null

Einer Referenzvariablen kann das Referenzliteral **null** zugewiesen werden, z.B.:

```
Bruch b1 = null;
```

Damit ist sie nicht undefiniert, sondern zeigt explizit auf nichts.

Zeigt eine Referenzvariable aktuell auf ein existentes Objekt, kann man diese Referenz per **null**-Zuweisung aufheben. Sofern im Programm keine andere Referenz auf dasselbe Objekt vorliegt, ist es zum Abräumen durch den Garbage Collector frei gegeben.

Da Java eine streng typisierte Programmiersprache ist, und das Literal **null** einen Ausdruck darstellt (vgl. Abschnitt 3.5), muss es einen Datentyp besitzen. Es ist der **Nulltyp** (engl.: *null type*). Weil es in Java keinen Bezeichner für den Nulltyp gibt, kann man keine Variable von diesem Typ deklarieren. Wie das folgende Zitat aus der aktuellen Java-Sprachspezifikation (Gosling et al. 2011, S. 42) belegt, müssen Sie sich um den Nulltyp keine großen Gedanken machen:

> In practice, the programmer can ignore the null type and just pretend that null is merely a special literal that can be of any reference type.

3.4 Eingabe bei Konsolenanwendungen

3.4.1 Die Klassen Scanner und `Simput`

Für die Übernahme von Tastatureingaben ist kann die API-Klasse **Scanner** (aus dem Paket **java.util**) verwendet werden.[1] Im folgenden Beispielprogramm zur Berechnung der Fakultät wird ein **Scanner**-Objekt per **nextInt()**-Methodenaufruf gebeten, vom Benutzer eine **int**-Ganzzahl entgegen zu nehmen:

[1] Mit den Paketen der Standardbibliothek werden wir uns später ausführlich beschäftigen. An dieser Stelle dient die Angabe der Paketzugehörigkeit dazu, das Lokalisieren der Informationen zu einer Klasse in der API-Dokumentation zu erleichtern.

```
import java.util.*;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  int i, argument;
  double fakul = 1.0;
  Scanner input = new Scanner(System.in);
  System.out.print("Argument:  ");
  argument = input.nextInt();
  for (i = 1; i <= argument; i++)
   fakul = fakul * i;
  System.out.println("Fakultaet: " + fakul);
 }
}
```

Zwei Hinweise zum Quellcode:

- Weil sich die Klasse **Scanner** im API-Paket **java.util** befindet, wird dieses Paket importiert.
- Die im Programm verwendete **for**-Wiederholungsanweisung wird in Abschnitt 3.7.3 behandelt.

Bei einer gültigen Eingabe arbeitet das Programm wunschgemäß, z.B.:

```
Argument:  4
Fakultaet: 24.0
```

Auf ungültige Benutzereingaben reagiert **nextInt()** mit einer so genannten Ausnahme, und das Programm „stürzt ab“, z.B.:

```
Argument:  vier
Exception in thread "main" java.util.InputMismatchException
 at java.util.Scanner.throwFor(Scanner.java:909)
 at java.util.Scanner.next(Scanner.java:1530)
 at java.util.Scanner.nextInt(Scanner.java:2160)
 at java.util.Scanner.nextInt(Scanner.java:2119)
 at Prog.main(Prog.java:8)
```

Es wäre nicht allzu aufwändig, in der Fakultätsanwendung ungültige Eingaben abzufangen. Allerdings stehen uns die erforderlichen Programmiertechniken (der Ausnahmebehandlung) noch nicht zur Verfügung, und außerdem ist bei den möglichst kurzen Demonstrations- und Übungsprogrammen jeder Zusatzaufwand störend.

Um Tastatureingaben bequem und sicher bewerkstelligen können, wurde für das Manuskript eine Klasse namens **`Simput`** erstellt. Die zugehörige Bytecode-Datei **Simput.class** findet sich bei den Übungs- und Beispielprogrammen zum Manuskript (Verzeichnis **…\BspUeb\Simput**, weitere Ortsangaben im Vorwort) sowie im folgenden Ordner auf dem Laufwerk P: im Campusnetz der Universität Trier:

P:\Prog\JavaSoft\JDK\Erg\class

Mit Hilfe der Klassenmethode `Simput.gint()` lässt sich das Fakultätsprogramm einfacher und zugleich robust gegenüber Eingabefehlern realisieren:

```
class Prog {
   public static void main(String[] args) {
      int i, argument;
      double fakul = 1.0;
      System.out.print("Argument:  ");
      argument = Simput.gint();
      for (i = 1; i <= argument; i++)
         fakul = fakul * i;
      System.out.println("Fakultaet: " + fakul);
   }
}
```

Weil die Klasse `Simput` keinem Paket zugeordnet wurde, gehört sie zum Standardpaket und kann daher *in anderen Klassen des Standardpakets* bequem ohne Paket-Präfix bzw. Paket-Import angesprochen werden (vgl. Abschnitt 3.1.7). In Klassen anderer Pakete steht `Simput` (wie alle anderen Klassen des Standardpakets) jedoch *nicht* zur Verfügung. Im Manuskript verwenden wir in der Regel der Einfachheit halber das Standardpaket, so dass die Klasse `Simput` als bequemes Hilfsmittel zur Verfügung steht. Bei ernsthaften Projekten werden Sie jedoch eigene Pakete benutzen (siehe Kapitel 9), so dass die Klasse `Simput` dort nicht verwendbar ist. Mit Hilfe des Quellcodes in der Datei **Simput.java** (Verzeichnis **…\BspUeb\Simput**, weitere Ortsangaben im Vorwort) lässt sich die Klasse aber leicht in ein Paket aufnehmen.

Die statische `Simput`-Methode `gint()` erwartet vom Benutzer eine per **Enter**-Taste quittierte Eingabe und versucht, diese als **int**-Wert zu interpretieren. Im Erfolgsfall erhält die aufrufende Methode das Ergebnis als `gint()`-Rückgabewert. Anderenfalls sieht der Benutzer eine Fehlermeldung, und der Aufrufer erhält den (Verlegenheits-)Rückgabewert 0, z.B.

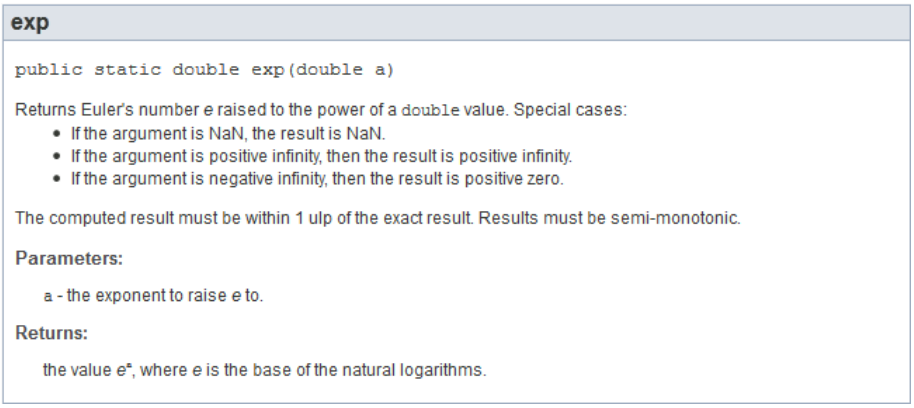
```
Argument:  vier
Falsche Eingabe!

Fakultaet: 1.0
```

Die `Simput`-Klassenmethode `gint()` liefert also eine Rückgabe vom Typ **int**, und ihre Verwendung kann so beschrieben werden:

```
static public int gint()
```

Hier wird eine Technik zur Beschreibung von *vorhandenen Bibliotheksmethoden* (im Unterschied zur Beschreibung von Java-Syntaxregeln) im Manuskript erstmals benutzt, die auch in der API-Dokumentation in ähnlicher Form Verwendung findet, z.B. bei der statischen Methode **exp()** der Klasse **Math** im Paket **java.lang**:



exp

`public static double exp(double a)`

Returns Euler's number *e* raised to the power of a `double` value. Special cases:

- If the argument is NaN, the result is NaN.
- If the argument is positive infinity, then the result is positive infinity.
- If the argument is negative infinity, then the result is positive zero.

The computed result must be within 1 ulp of the exact result. Results must be semi-monotonic.

Parameters:

a - the exponent to raise *e* to.

Returns:

the value e^a, where *e* is the base of the natural logarithms.

Dabei wird die Benutzung einer vorhandenen Methode erläutert durch Angabe von:

- Modifikatoren (z.B. für den Zugriffsschutz)
- Rückgabetyp
- Methodenname
- Parameterliste (mit Angabe der Parametertypen)

Bei `gint()` oder anderen `Simput`-Methoden, die auf Eingabefehler *nicht* mit einer Ausnahme reagieren (vgl. Abschnitt 1), kann man sich durch einen Aufruf der `Simput`-Klassenmethode `checkError()` mit Rückgabetyp **boolean** darüber informieren, ob ein Fehler aufgetreten ist (Rückgabewert **true**) oder nicht (Rückgabewert **false**). Die `Simput`-Klassenmethode `getErrorDescription()` hält im Fehlerfall darüber hinaus eine Erläuterung bereit. In obigem Beispielprogramm ignoriert die aufrufende Methode **main()** allerdings die diagnostischen Informationen und liefert ggf. eine leicht irreführende Ausgabe. Wir werden in vielen weiteren Beispielprogrammen den `gint()`-Rückgabewert der Kürze halber ohne Fehlerstatuskontrolle benutzen. Bei

Anwendungen für den praktischen Einsatz sollte aber wie in folgender Variante des Fakultätsprogramms eine Überprüfung stattfinden. Die dazu erforderliche **if**-Anweisung wird in Abschnitt 3.7.2 behandelt.

Quellcode	Ein- und Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String args[]) {` `  int i, argument;` `  double fakul = 1.0;` `  System.out.print("Argument:  ");` `  argument = Simput.gint();` `  if (!Simput.checkError()) {` `  for (i = 1; i <= argument; i += 1)` `  fakul = fakul * i;` `  System.out.println("Fakultaet: " + fakul);` `  }` `  else` `  System.out.println(` `  Simput.getErrorDescription());` `  }` `}`	`Argument:  vier` `Falsche Eingabe!` `Eingabe konnte nicht konvertiert werden.`

Neben `gint()` besitzt die Klasse `Simput` noch analoge Methoden für andere Datentypen, u.a.:

- `static public char gchar()`
  Liest ein Zeichen von der Konsole
- `static public double gdouble()`
  Liest eine Gleitkommazahl vom Typ **double** von der Konsole, wobei das erwartete Dezimaltrenneichen vom eingestellten Gebietsschema des Benutzers abhängt. Bei der Einstellung `de_DE` wird ein Dezimalkomma erwartet.

Außerdem sind Methoden mit einer Fehlerbehandlung über die Ausnahmetechnik (vgl. Kapitel 1) vorhanden (wie bei der Klasse **Scanner**).

3.4.2 Simput-Installation für die JRE, den JDK-Compiler und Eclipse

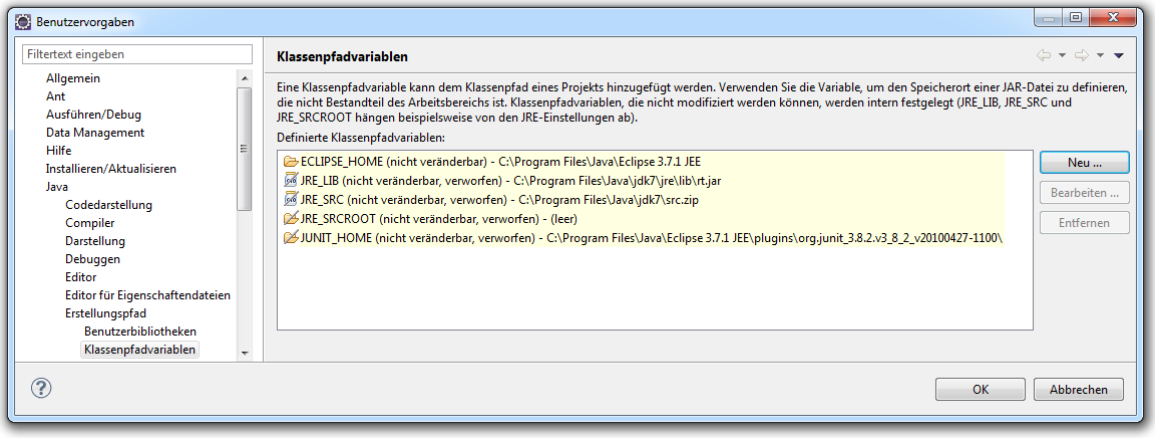
Damit beim Übersetzen durch den JDK-Compiler (**javac.exe**) und/oder beim Ausführen durch die JRE (**java.exe**) die `Simput`-Klasse mit ihren Methoden verfügbar ist, muss die Datei **Simput.class** entweder im aktuellen Verzeichnis liegen oder über die CLASSPATH-Umgebungsvariable (vgl. Abschnitt 2.2.4) auffindbar sein, wenn sie nicht bei jedem Compiler- oder Interpreteraufruf per **classpath**-Kommandozeilenoption zugänglich gemacht werden soll.

Unsere Entwicklungsumgebung Eclipse ignoriert die CLASSPATH-Umgebungsvariable, bietet aber alternative Möglichkeiten zur Definition eines Klassenpfads. Es hat sich als günstig erwiesen, wenn die benötigten Klassen in einer Java-Archivdatei vorliegen. Im selben Ordner wie die Bytecode-Datei **Simput.class** finden Sie daher auch die Archivdatei **Simput.jar**. Wir werden uns in Kapitel 9 mit Java-Archivdateien ausführlich beschäftigen.

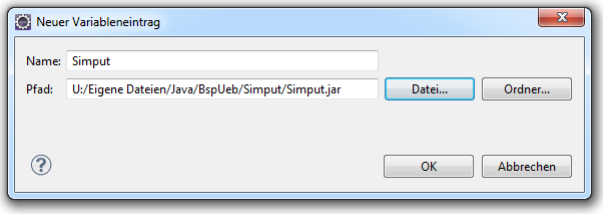
Namen und Pfad einer Archivdatei hinterlegt man am besten in einer **Klassenpfadvariablen** auf Arbeitsbereichsebene, damit das Archiv in einzelnen Projekten ohne Pfadangaben angesprochen werden kann. Nach dem Menübefehl

Fenster > Benutzervorgaben > Java > Erstellungspfad > Klassenpfadvariablen

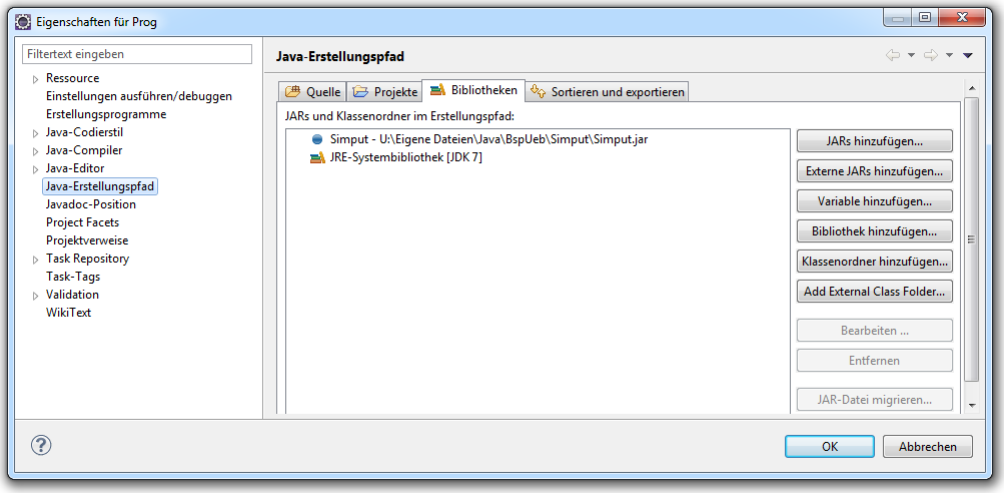
kann man in der folgenden Dialogbox



über den Schalter **Neu** die Definition einleiten, z.B.:



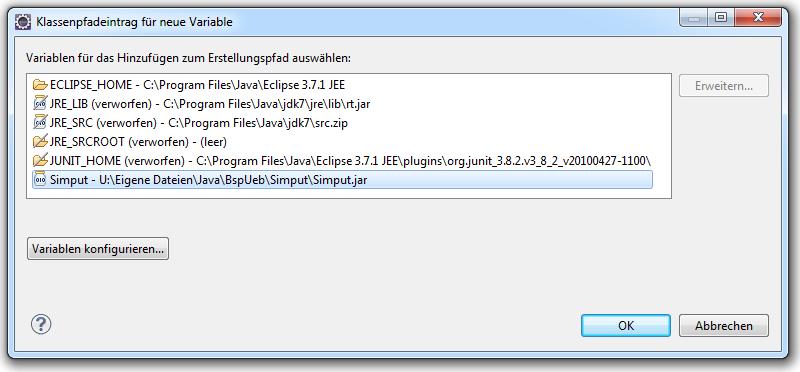
Soll ein konkretes Projekt die Klassenpfadvariable nutzen, muss diese im Eigenschaftsdialog des Projekts (z.B. erreichbar via Kontextmenü zum Projekteintrag im Paket-Explorer)



über

Java-Erstellungspfad > Bibliotheken > Variable hinzufügen

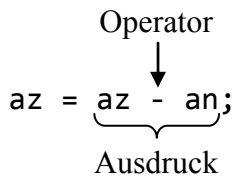
hinzugefügt werden, z.B.:



3.5 Operatoren und Ausdrücke

Im Zusammenhang mit der Variablendeklaration und der Wertzuweisung haben wir das Sprachelement *Ausdruck* ohne Erklärung benutzt, und diese soll nun nachgeliefert werden. Im aktuellen Abschnitt 3.5 werden wir Ausdrücke als wichtige Bestandteile von Java-Anweisungen recht detailliert untersuchen. Dabei lernen Sie elementare Datenverarbeitungsmöglichkeiten kennen, die von so genannten Operatoren mit ihren Argumenten veranstaltet werden, z.B. von den arithmetischen Operatoren (+, -, *, /) für die Grundrechenarten. Am Ende des Abschnitts kann immerhin schon das Programmieren eines Währungskonverters als Übungsaufgabe gestellt werden. Allzu große Begeisterung wird wohl trotzdem nicht aufkommen, doch ein sicherer Umgang mit Operatoren und Ausdrücken ist unabdingbare Voraussetzung für das erfolgreiche Implementieren von Methoden. Hier werden Algorithmen bzw. Handlungskompetenzen von Klassen oder Objekten realisiert.

Während die Variablen zur *Speicherung* von Werten dienen, geht es bei den **Operatoren** darum, aus vorhandenen Variableninhalten und/oder anderen Argumenten neue Werte zu berechnen. Den zur Berechnung eines Werts geeigneten, aus Operatoren und zugehörigen Argumenten aufgebauten Teil einer Anweisung, bezeichnet man als **Ausdruck**, z.B. in folgender Wertzuweisung:



Durch diese Anweisung aus der `kuerze()`-Methode unserer `Bruch`-Klasse (siehe Abschnitt 1.1) wird der lokalen **int**-Variablen `az` der Wert des Ausdrucks `az - an` zugewiesen. Wie in diesem Beispiel landen die Werte von Ausdrücken oft in Variablen, wobei Ausdruck und Variable typkompatibel sein müssen.

Man kann einen Ausdruck als eine *temporäre* Variable mit einem **Datentyp** und einem **Wert** auffassen.

Schon bei einem Literal, einer Variablen oder einem Methodenaufruf haben wir es mit einem Ausdruck zu tun.[1]

Beispiele:

- `1.5`
  Dies ist ein Ausdruck mit dem Typ **double** und dem Wert 1,5.
- `Simput.gint()`
  Dieser Methodenaufruf ist ein Ausdruck mit Typ **int** (= Rückgabetyp der Methode), wobei die Eingabe des Benutzers über den Wert entscheidet (siehe Abschnitt 3.4.1 zur Beschreibung der Klassenmethode `Simput.gint()`, die *nicht* zum JSE-API gehört).

Mit Hilfe diverser Operatoren entsteht ein komplexerer Ausdruck, wobei Typ und Wert von den Argumenten und den Operatoren abhängen.

Beispiele:

- `2 * 1.5`
  Hier resultiert der **double**-Wert 3,0.
- `2 > 1.5`
  Hier resultiert der **boolean**-Wert **true**.

---

[1] Besteht ein Ausdruck aus einem Methodenaufruf mit dem Pseudorückgabetyp **void**, dann liegt allerdings *kein* Wert vor.

In der Regel beschränken sich die Operatoren darauf, aus ihren Argumenten (Operanden) einen Wert zu ermitteln und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung zu stellen. Einige Operatoren haben jedoch zusätzlich einen **Nebeneffekt** auf eine als Argument fungierende *Variable*, z.B. der **Postinkrementoperator**:

```
int i = 12;
int j = i++;
```

In der zweiten Anweisung des Beispiels tritt der **Postinkrementoperator** ++ mit der **int**-Variablen `i` als Argument auf. Der Ausdruck `i++` hat den Typ **int** und den Wert 12, welcher in der Zielvariable `j` landet. Außerdem wird die Argumentvariable `i` beim Auswerten des Ausdrucks durch den Postinkrementoperator auf den neuen Wert 13 gesetzt.

Die meisten Operatoren verarbeiten *zwei* Operanden (Argumente) und heißen daher **zweistellig** oder **binär**. Im folgenden Beispiel ist der **Additionsoperator** zu sehen, der zwei numerische Argumente erwartet:

```
a + b
```

Manche Operatoren begnügen sich mit *einem* Argument und heißen daher **einstellig** oder **unär**. Als Beispiel betrachten wir den **Negationsoperator**, der mit einem „!“ bezeichnet wird und *ein* Argument mit dem Typ **boolean** erwartet:

```
!cond
```

Wir werden auch noch einen *dreistelligen* Operator kennen lernen.

Weil Ausdrücke von passendem Ergebnistyp als Argumente einer Operation erlaubt sind, können beliebig komplexe Ausdrücke aufgebaut werden. Unübersichtliche Exemplare sollten jedoch als potentielle Fehlerquellen vermieden werden.

3.5.1 Arithmetische Operatoren

Weil die arithmetischen Operatoren für die vertrauten Grundrechenarten der Schulmathematik zuständig sind, müssen ihre Operanden (Argumente) einen Ganzzahl- oder Gleitkommatyp haben (**byte**, **short**, **int**, **long**, **char**, **float** oder **double**). Die resultieren Ausdrücke haben wiederum einen numerischen Ergebnistyp und werden oft als **arithmetische Ausdrücke** bezeichnet.

Es hängt von den Datentypen der Operanden ab, ob bei den Berechnungen die **Ganzzahl**- oder die **Gleitkommaarithmetik** zum Einsatz kommt. Besonders auffällig sind die Unterschiede im Verhalten des Divisionsoperators, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int i = 2, j = 3;` `  double a = 2.0;` `  System.out.printf("%10d\n", i/j);` `  System.out.printf("%10.5f", a/j);` `  }` `}`	`0` `0,66667`

Bei der Ganzzahldivision werden die Nachkommastellen abgeschnitten, was gelegentlich durchaus erwünscht ist. Im Zusammenhang mit dem Über- bzw. Unterlauf (siehe Abschnitt 3.6) werden Sie noch weitere Unterschiede zwischen Ganzzahl- und Gleitkommaarithmetik kennen lernen.

Trifft ein arithmetischer Operator auf Argumente mit *unterschiedlichen* Datentypen, dann findet vor der Berechnung automatisch eine **erweiternde Typanpassung** statt, bei der z.B. ein ganzzahliges Argument in einen Gleitkommatyp gewandelt wird (vgl. Abschnitt 3.5.7).

Wie der vom Compiler gewählte Arithmetiktyp und der Ergebnisdatentyp von den Datentypen der Argumente abhängen, ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Datentypen der Operanden	Verwendete Arithmetik	Datentyp des Ergebniswertes
Beide Operanden haben den Typ **byte**, **short**, **char** oder **int**.	**Ganzzahlarithmetik**	**int**
Beide Operanden haben einen integralen Typ, und mind. ein Operand hat den Datentyp **long**.		**long**
Mindestens ein Operand hat den Typ **float**, keiner hat den Typ **double**.	**Gleitkomma-arithmetik**	**float**
Mindestens ein Operand hat den Datentyp **double**.		**double**

In der nächsten Tabelle sind alle arithmetischen Operatoren beschrieben, wobei die Platzhalter *Num*, *Num1* und *Num2* für Ausdrücke mit einem numerischen Typ stehen, und *Var* eine numerische *Variable* vertritt:

Operator	Bedeutung	Beispiel	
		Programmfragment	**Ausgabe**
-Num	**Vorzeichenumkehr**	`int i = 2, j = -3;` `System.out.printf("%d %d",-i,-j);`	`-2 3`
Num1 + *Num2*	**Addition**	`System.out.println(2 + 3);`	`5`
Num1 – *Num2*	**Subtraktion**	`System.out.println(2.6 - 1.1);`	`1.5`
Num1 * *Num2*	**Multiplikation**	`System.out.println(4 * 5);`	`20`
Num1 / *Num2*	**Division**	`System.out.println(8.0 / 5);` `System.out.println(8 / 5);`	`1.6` `1`
Num1 % *Num2*	**Modulo (Divisionsrest)** Sei *GAD* der ganzzahlige Anteil aus dem Ergebnis der Division (*Num1* / *Num2*). Dann ist *Num1* % *Num2* def. durch *Num1* - *GAD* · *Num2*	`System.out.println(19 % 5);` `System.out.println(-19 % 5.25);`	`4` `-3.25`
++*Var* --*Var*	**Präinkrement bzw. -dekrement** Als Argumente sind hier nur Variablen erlaubt. ++*Var* liefert *Var* + 1 und erhöht *Var* um 1 --*Var* liefert *Var* - 1 und reduziert *Var* um 1	`int i = 4;` `double a = 0.2;` `System.out.println(++i +"\n"+` `--a);`	`5` `-0.8`
Var++ *Var*--	**Postinkrement bzw. -dekrement** Als Argumente sind hier nur Variablen erlaubt. *Var*++ liefert *Var* und erhöht *Var* um 1 *Var*-- liefert *Var* und reduziert *Var* um 1	`int i = 4;` `System.out.println(i++ +"\n"+` `i);`	`4` `5`

Bei den Inkrement- bzw. Dekrementoperatoren ist zu beachten, dass sie *zwei* Effekte haben:

- Das Argument wird ausgelesen, um den Wert des Ausdrucks zu ermitteln.
- Die als Argument fungierende numerische Variable wird verändert (vor oder nach dem Auslesen). Wegen dieses **Nebeneffekts** sind Inkrement- bzw. Dekrementausdrücke im Unterschied zu den sonstigen arithmetischen Ausdrücken bereits vollständige *Anweisungen* (vgl. Abschnitt 3.7.1), wenn man ein Semikolon dahinter setzt, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int i = 12;` `  i++;` `  System.out.println(i);` `  }` `}`	`13`

Ein (De)inkrementoperator bietet keine eigenständige mathematische Funktion, sondern eine vereinfachte Schreibweise. So ist z.B. die folgende Anweisung

```
j = ++i;
```

mit den beiden **int**-Variablen `i` und `j` äquivalent zu

```
i = i+1;
j = i;
```

Für den eventuell bei manchen Lesern noch wenig bekannten Modulo-Operator gibt es viele sinnvolle Anwendungen, z.B.:

- Man kann für eine ganze Zahl bequem feststellen, ob sie gerade (durch Zwei teilbar) ist. Dazu prüft man, ob der Rest aus der Division durch Zwei gleich Null ist:

Quellcode-Fragment	Ausgabe
`int i = 19;` `System.out.println(i % 2 == 0);`	`false`

- Man kann bei einer Gleitkommazahl den gebrochenen Anteil ermitteln bzw. abspalten:

Quellcode-Fragment	Ausgabe
`double a = 7.1248239;` `double ganz = a - a % 1.0;` `double rest = a - ganz;` `System.out.printf("%f = %1.0f + %f", a, ganz, rest);`	`7,124824 = 7 + 0,124824`

3.5.2 Methodenaufrufe

Obwohl Ihnen eine gründliche Behandlung der Methoden noch bevorsteht, haben Sie doch schon einige Erfahrung mit diesen Handlungskompetenzen von Klassen bzw. Objekten gewonnen:

- Die Arbeitsweise einer Methode kann von Argumenten (Parametern) abhängen.
- Viele Methoden liefern ein Ergebnis an den Aufrufer. Die in Abschnitt 3.4.1 vorgestellte Methode `Simput.gint()` liefert z.B. einen **int**-Wert. Bei der Methodendefinition ist der Datentyp der Rückgabe anzugeben (siehe Syntaxdiagramm in Abschnitt 3.1.3.2).
- Liefert eine Methode dem Aufrufer *kein* Ergebnis, ist in der Definition der Pseudo-Rückgabetyp **void** anzugeben.
- Neben der Wertrückgabe hat ein Methodenaufruf oft weitere Effekte, z.B. auf die Merkmalsausprägungen des handelnden Objekts oder auf die Konsolenausgabe.

In syntaktischer Hinsicht stellen wir fest, dass ein Methodenaufruf einen **Ausdruck** darstellt, wobei seine Rückgabe den Datentyp und den Wert des Ausdrucks bestimmt. Wir nehmen auch zur Kenntnis, dass es sich bei dem die Parameterliste begrenzenden Paar runder Klammern um den **() - Operator** handelt. Jedenfalls sollten Sie sich nicht darüber wundern, dass der Methodenaufruf in Tabellen mit den Java - Operatoren auftaucht und dort eine (eine ziemlich hohe) Auswertungspriorität erhält (vgl. Abschnitt 3.5.10).

Bei passendem Rückgabetyp darf ein Methodenaufruf auch als Argument für komplexere Ausdrücke oder für Methodenaufrufe verwendet werden (siehe Abschnitt 4.3.1.2). Bei einer Methode ohne Rückgabewert resultiert ein Ausdruck vom Typ **void**, der nicht als Argument für Operatoren oder andere Methoden taugt.

Ein Methodenaufruf mit angehängtem Semikolon stellt eine **Anweisung** dar (vgl. Abschnitt 3.7), wie Sie aus den zahlreichen Einsätzen der Methode **println()** in unseren Beispielprogrammen bereits wissen.

Mit den in Abschnitt 3.5.1 beschriebenen arithmetischen Operatoren lassen sich nur elementare mathematische Probleme lösen. Darüber hinaus stellt Java eine große Zahl mathematischer Standardfunktionen (z.B. Potenzfunktion, Logarithmus, Wurzel, trigonometrische und hyperbolische Funktionen) über Methoden der Klasse **Math** im API-Paket **java.lang** zur Verfügung. Im folgenden Programm wird die Methode **pow()** zur Potenzberechnung genutzt:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println(4 * Math.pow(2, 3));` `  }` `}`	`32.0`

Alle Methoden der Klasse **Math** sind als **static** deklariert, werden also von der Klasse selbst ausgeführt. Später werden wir uns ausführlich mit der Verwendung von Klassen aus den API-Paketen befassen.[1]

3.5.3 Vergleichsoperatoren

Durch Anwendung eines *Vergleichsoperators* auf zwei komparable (miteinander vergleichbare) Argumentausdrücke entsteht ein **Vergleich**. Dies ist ein einfacher **logischer Ausdruck** (vgl. Abschnitt 3.5.5), kann dementsprechend die booleschen Werte **true** (wahr) und **false** (falsch) annehmen und eignet sich dazu, eine *Bedingung* zu formulieren, z.B.:

```
if (arg > 0)
  System.out.println(Math.log(arg));
```

In der folgenden Tabelle mit den von Java unterstützten Vergleichsoperatoren stehen

- *Expr1* und *Expr2* für komparable Ausdrücke
- *Num1* und *Num2* für numerische Ausdrücke (vom Datentyp **byte**, **short**, **int**, **long**, **char**, **float** oder **double**)

[1] An dieser Stelle dient die Angabe der Paketzugehörigkeit vor allem dazu, das Lokalisieren der Informationen zu einer Klasse in der API-Dokumentation zu erleichtern. Das Paket **java.lang** wird im Unterschied zu allen anderen API-Paketen automatisch in jede Quellcodedatei importiert.

Operator	Bedeutung	Beispiel	
		Programmfragment	Ausgabe
Expr1 == Expr2	**Gleichheit**	`System.out.println(2 == 3);`	`false`
Expr1 != Expr2	**Ungleichheit**	`System.out.println(2 != 3);`	`true`
Num1 > Num2	**größer**	`System.out.println(3 > 2);`	`true`
Num1 < Num2	**kleiner**	`System.out.println(3 < 2);`	`false`
Num1 >= Num2	**größer oder gleich**	`System.out.println(3 >= 3);`	`true`
Num1 <= Num2	**kleiner oder gleich**	`System.out.println(3 <= 2);`	`false`

Achten Sie unbedingt darauf, dass der Identitätsoperator durch **zwei** „="-Zeichen ausgedrückt wird. Ein nicht ganz seltener Java-Programmierfehler besteht darin, beim Identitätsoperator nur *ein* Gleichheitszeichen zu schreiben. Dabei muss nicht unbedingt ein harmloser Syntaxfehler entstehen, der nach dem Studium einer Compiler-Meldung leicht zu beseitigen ist, sondern es kann auch ein mehr oder weniger unangenehmer Semantikfehler resultieren, also ein irreguläres Verhalten des Programms (vgl. Abschnitt 2.2.5 zur Unterscheidung von Syntax- und Semantikfehlern). Im ersten **println()**-Aufruf des folgenden Beispielprogramms wird das Ergebnis eines Vergleichs auf die Konsole geschrieben:[1]

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int i = 1;` `  System.out.println(i == 2);` `  System.out.println(i);` `  }` `}`	`false` `1`

Nach dem Entfernen eines Gleichheitszeichens wird aus dem logischen Ausdruck ein *Wertzuweisungsausdruck* (siehe Abschnitt 3.5.8) mit dem Datentyp **int** und dem Wert 2:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int i = 1;` `  System.out.println(i = 2);` `  System.out.println(i);` `  }` `}`	`2` `2`

Der versehentlich gebildete Ausdruck sorgt nicht nur für eine unerwartete Ausgabe, sondern verändert auch den Wert den Variablen `i`, was im weiteren Verlauf eines größeren Programms recht unangenehm werden kann.

3.5.4 Vertiefung: Gleitkommawerte vergleichen

Bei den *binären* Gleitkommatypen (**float** und **double**) muss man beim Identitätstest unbedingt technisch bedingte Abweichungen von der reinen Mathematik berücksichtigen, z.B.:

[1] Wir wissen schon aus Abschnitt 3.2, dass **println()** einen beliebigen Ausdruck verarbeiten kann, wobei automatisch eine Zeichenfolgen-Repräsentation erstellt wird.

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  final double epsilon = 1.0e-14;` `  double d1 = 10.0 - 9.9;` `  double d2 = 0.1;` `  System.out.println(d1 == d2);` `  System.out.println(Math.abs((d1 - d2)/d1) < epsilon);` `  }` `}`	`false` `true`

Der Vergleich

```
10.0 - 9.9 == 0.1
```

führt trotz Datentyp **double** (mit mindestens 15 signifikanten Dezimalstellen) zum Ergebnis **false**. Wenn man die in Abschnitt 3.3.7.1 beschriebenen Genauigkeitsprobleme bei der Speicherung von binären Gleitkommazahlen berücksichtigt, ist das Vergleichsergebnis durchaus *nicht* überraschend. Im Kern besteht das Problem darin, dass mit der binären Gleitkommatechnik auch relativ „glatte" rationale Zahlen (wie z.B. 9,9) nicht exakt gespeichert werden können. Beim Speichern der Zahlen 9,9 und 0,1 treten verschiedene Abweichungen von den korrekten Werten auf, so dass im Berechnungsergebnis 10,0 – 9,9 ein anderer Fehler steckt als im Speicherabbild der Zahl 0,1. Weil die Vergleichspartner nicht Bit für Bit identisch sind, meldet der Identitätsoperator ein **false**.

Mit den Objekten der in Abschnitt 3.3.7 vorgestellten und insbesondere für Anwendungen im Bereich der Finanzmathematik empfohlenen Klasse **BigDecimal** gibt es *keine* Probleme bei der Speichergenauigkeit und bei Identitätsvergleichen (vgl. Mitran et al. 2008), z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`import java.math.*;` `class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  BigDecimal bd1 = new BigDecimal("10.0");` `  BigDecimal bd2 = new BigDecimal("9.9");` `  BigDecimal bd3 = new BigDecimal("0.1");` `  System.out.println(bd3.equals(bd1.subtract(bd2)));` `  }` `}`	`true`

Allerdings ist mit einem erhöhten Speicher- und Zeitaufwand zu rechnen.

Um eine praxistaugliche Identitätsbeurteilung von **double**-Werten zu erhalten, sollte eine an der Rechen- bzw. Speichergenauigkeit orientierte **Unterschiedlichkeitsschwelle** verwendet werden. Nach diesem Vorschlag werden zwei **normalisierte** (also insbesondere von Null verschiedene) **double**-Werte d_1 und d_2 (vgl. Abschnitt 3.3.7.1) dann als numerisch identisch betrachtet, wenn der relative Abweichungsbetrag kleiner als $1{,}0 \cdot 10^{-14}$ ist:

$$\left|\frac{d_1 - d_2}{d_1}\right| < 1{,}0 \cdot 10^{-14}$$

Die Wahl der Bezugsgröße d_1 oder d_2 für den Nenner ist beliebig. Um das Verfahren vollständig festzulegen, wird jedoch die Verwendung der betragsmäßig größeren Zahl vorgeschlagen.

Ein Vorschlag zur Definition der *numerischen Identität* von zwei **double**-Werten muss die *relative* Differenz zugrunde legen, weil die technisch bedingten Mantissen-Fehler bei zwei **double**-Variablen mit eigentlich identischem Wert in Abhängigkeit vom Exponenten zu sehr unterschiedlichen Gesamtfehlern führen können. Vom häufig anzutreffenden Vorschlag,

$$|d_1 - d_2|$$

mit einer Schwelle zu vergleichen, ist daher abzuraten. Dieses Verfahren ist (bei geeignet gewählter Schwelle) nur tauglich für Zahlen in einem engen Größenbereich. Bei einer Änderung der Größenordnung muss die Schwelle angepasst werden.

Zu einer Schwelle für die relative Abweichung $\left|\frac{d_1 - d_2}{d_1}\right|$ gelangt man durch Betrachtung von zwei **double**-Variablen d_1 und d_2, die bis auf ihre durch begrenzte Speicher- und Rechengenauigkeit bedingten Mantissenfehler e_1 bzw. e_2 denselben Wert $t\ 2^k$ enthalten:

$$d_1 = (1+ t + e_1)\ 2^k \text{ und } d_1 = (1 + t + e_2)\ 2^k$$

Für den Betrag des technisch bedingten relativen Fehlers gilt bei normalisierten Werten (mit einer Mantisse im Intervall [1, 2)) mit der oberen Schranke ε für den absoluten Mantissenfehler einer einzelnen **double**-Zahl die Abschätzung:

$$\left|\frac{d_1 - d_2}{d_1}\right| = \left|\frac{e_1 - e_2}{1 + t + e_1}\right| \le \frac{|e_1| + |e_2|}{|1 + t + e_1|} \le \frac{2 \cdot \varepsilon}{|1 + t + e_1|} \le \varepsilon \quad (\text{wegen } (t + e_1) \in [1, 2))$$

Bei normalisierten **double**-Werten (mit 52 Mantissen-Bits) ist aufgrund der begrenzten Speichergenauigkeit mit Fehlern im Bereich des halben Abstands zwischen zwei benachbarten Mantissenwerten zu rechnen:

$$2^{-51} \approx 1{,}1 \cdot 10^{-16}$$

Die vorgeschlagene Schwelle $1{,}0 \cdot 10^{-14}$ berücksichtigt über den Speicherfehler hinaus auch eingeflossene Rechnungsungenauigkeiten. Mit welcher Fehlerkumulation bzw. -verstärkung zu rechnen ist, hängt vom konkreten Algorithmus ab, so dass die Unterschiedlichkeitsschwelle eventuell angehoben werden muss. Immerhin hängt sie (anders als bei einem Kriterium auf Basis der einfachen Differenz $|d_1 - d_2|$) nicht von der Größenordnung der Zahlen ab.

An der vorgeschlagenen Identitätsbeurteilung mit Hilfe einer Schwelle für den relativen Abweichungsbetrag ist u.a. zu bemängeln, dass eine Verallgemeinerung für die mit geringerer Genauigkeit gespeicherten *denormalisierten* Werte (Betrag kleiner als 2^{-1022} beim Typ **double**, siehe Abschnitt 3.3.7.1) benötigt wird.

Dass die definierte Indifferenzrelation nicht transitiv ist, muss hingenommen werden. Für drei **double**-Werte *a*, *b* und *c* kann also das folgende Ergebnismuster auftreten:

- *a* numerisch identisch mit *b*
- *b* numerisch identisch mit *c*
- *a* **nicht** numerisch identisch mit *c*

Für den Vergleich einer **double**-Zahl *a* mit dem Wert Null ist eine Schwelle für die *absolute* Abweichung (statt der relativen) sinnvoll, z.B.:

$$|a| < 1{,}0 \cdot 10^{-14}$$

Die besprochenen Genauigkeitsprobleme sind auch bei den Grenzfällen von *einseitigen* Vergleichen (<, <=, >, >=) relevant.

Bei vielen naturwissenschaftlichen oder technischen Problemen ist es generell wenig sinnvoll, zwei Größen auf exakte Übereinstimmung zu testen, weil z.B. schon aufgrund von Messungenauigkeiten eine Abweichung von der theoretischen Identität zu erwarten ist. Bei Verwendung einer anwendungslogisch gebotenen Unterschiedschwelle dürften die technischen Beschränkungen der Gleit-

kommatypen keine große Rolle mehr spielen. Präzisere Aussagen zur Computer-Arithmetik finden sich z.B. bei Müller (2004) oder Strey (2003).

3.5.5 Logische Operatoren

Durch Anwendung der logischen Operatoren auf bereits vorhandene logische Ausdrücke kann man neue, komplexere logische Ausdrücke erstellen. Die Wirkungsweise der logischen Operatoren wird in **Wahrheitstafeln** beschrieben (*La1* und *La2* seien logische Ausdrücke):

Argument *La1*	**Negation** **!***La1*
true	**false**
false	**true**

Argument 1 *La1*	**Argument 2** *La2*	**Logisches UND** *La1* **&&** *La2* *La1* **&** *La2*	**Logisches ODER** *La1* || *La2* *La1* | *La2*	**Exklusives ODER** *La1* ^ *La2*
true	**true**	**true**	**true**	**false**
true	**false**	**false**	**true**	**true**
false	**true**	**false**	**true**	**true**
false	**false**	**false**	**false**	**false**

In der folgenden Tabelle gibt es noch wichtige Erläuterungen und Beispiele:

Operator	**Bedeutung**	**Beispiel**	
		Programmfragment	**Ausgabe**
!*La1*	**Negation** Der Wahrheitswert wird umgekehrt.	`boolean erg = true;` `System.out.println(!erg);`	`false`
La1 && La2	**Logisches UND (mit bedingter Auswertung)** *La1 && La2* ist genau dann wahr, wenn beide Argumente wahr sind. Ist *La1* falsch, wird *La2* **nicht** ausgewertet.	`int i = 3;` `boolean erg = false && i++ > 3;` `System.out.println(erg + "\n"+i);` `erg = true && i++ > 3;` `System.out.println(erg + "\n"+i);`	`false` `3` `false` `4`
La1 & La2	**Logisches UND (mit *un*bedingter Auswertung)** *La1 & La2* ist genau dann wahr, wenn beide Argumente wahr sind. Es werden auf jeden Fall **beide** Ausdrücke ausgewertet.	`int i = 3;` `boolean erg = false & i++ > 3;` `System.out.println(erg + "\n"+i);`	`false` `4`
La1 || La2	**Logisches ODER (mit bedingter Auswertung)** *La1 || La2* ist genau dann wahr, wenn mindestens ein Argument wahr ist. Ist *La1* wahr, wird *La2* **nicht** ausgewertet.	`int i = 3;` `boolean erg = true || i++ == 3;` `System.out.println(erg + "\n"+i);` `erg = false || i++ == 3;` `System.out.println(erg + "\n"+i);`	`true` `3` `true` `4`

Operator	Bedeutung	Beispiel	
		Programmfragment	Ausgabe
La1 | *La2*	**Logisches ODER (mit unbedingter Auswertung)** *La1* | *La2* ist genau dann wahr, wenn mindestens ein Argument wahr ist. Es werden auf jeden Fall **beide** Ausdrücke ausgewertet.	`int i = 3;` `boolean erg = true | i++ == 3;` `System.out.println(erg + "\n"+i);`	`true` `4`
La1 ^ *La2*	**Exklusives logisches ODER** *La1* ^ *La2* ist genau dann wahr, wenn genau *ein* Argument wahr ist, wenn also die Argumente verschiedene Wahrheitswerte haben.	`boolean erg = true ^ true;` `System.out.println(erg);`	`false`

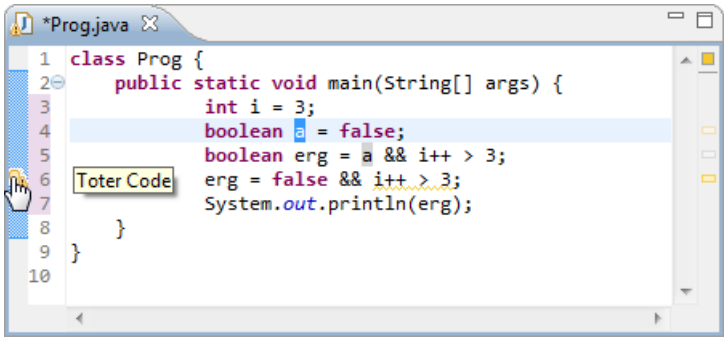
Der Unterschied zwischen den beiden logischen UND-Operatoren **&&** und **&** bzw. zwischen den beiden logischen ODER-Operatoren || und | ist für Einsteiger vielleicht etwas unklar, weil man spontan den nicht ausgewerteten logischen Ausdrücken keine Bedeutung beimisst. Allerdings ist es in Java nicht unüblich, „Nebeneffekte“ in einen logischen Ausdruck einzubauen, z.B.

```
b & i++ > 3
```

Hier erhöht der Postinkrementoperator beim Auswerten des rechten UND-Arguments den Wert der Variablen `i`. Eine solche Auswertung wird jedoch in der folgenden Variante des Beispiels (mit **&&**-Operator) unterlassen, wenn bereits nach Auswertung des linken UND-Arguments das Gesamtergebnis **false** feststeht:

```
b && i++ > 3
```

Das vom Programmierer nicht erwartete Ausbleiben einer Auswertung (z.B. bei „`i++`“) kann erhebliche Auswertungen auf ein Programm haben. Daher warnt Eclipse nach Möglichkeit vor totem Code:



Wie die Quellcodezeile 5 zeigt, sind die Entdeckungsmöglichkeiten der Entwicklungsumgebung allerdings begrenzt.

Mit der Entscheidung, grundsätzlich die unbedingte Operatorvariante zu verwenden, nimmt man (mehr oder weniger relevante) Leistungseinbußen in Kauf. Eher empfehlenswert ist der Verzicht auf Nebeneffekt-Konstruktionen im Zusammenhang mit bedingt arbeitenden Operatoren.

Wie der Tabelle auf Seite 110 zu entnehmen ist, unterscheiden sich die beiden UND-Operatoren **&&** und **&** bzw. die beiden ODER-Operatoren || und | auch hinsichtlich der Auswertungspriorität.

Um die Verwirrung noch ein wenig zu steigern, werden die Zeichen **&** und | auch für *bitorientierte* Operatoren verwendet (siehe Abschnitt 3.5.6). Diese Operatoren erwarten zwei *integrale* Argumente (z.B. Datentyp **int**), während die logischen Operatoren den Datentyp **boolean** voraussetzen. Folglich kann der Compiler mühelos erkennen, ob ein logischer oder ein bitorientierter Operator gemeint ist.

3.5.6 Vertiefung: Bitorientierte Operatoren

Über unseren momentanen Bedarf hinausgehend bietet Java einige Operatoren zur bitweisen Analyse und Manipulation von Variableninhalten. Statt einer systematischen Darstellung der verschiedenen Operatoren (siehe z.B. den Trail *Learning the Java Language* in den *Java Tutorials*, Oracle 2012) beschränken wir uns auf ein Beispielprogramm, das zudem nützliche Einblicke in die Speicherung von **char**-Werten im Computerspeicher vermittelt. Allerdings sind Beispiel und zugehörige Erläuterungen mit einigen technischen Details belastet. Wenn Ihnen der Sinn momentan nicht danach steht, können Sie den aktuellen Abschnitt ohne Sorge um den weiteren Kurserfolg an dieser Stelle verlassen.

Das folgende Programm `CharBits` liefert die Unicode-Kodierung zu einem vom Benutzer erfragten Zeichen Bit für Bit. Dabei kommt die statische Methode `gchar()` aus der in Abschnitt 3.4 beschriebenen Klasse `Simput` zum Einsatz, welche das erste Element einer vom Benutzer eingetippten und mit **Enter** quittierten Zeichenfolge abliefert. Außerdem wird mit der **for**-Schleife eine Wiederholungsanweisung verwendet, die erst in Abschnitt 3.7.3.1 offiziell vorgestellt wird. Im Beispiel startet die Indexvariable `i` mit dem Wert 15, der am Ende jedes Schleifendurchgangs um Eins dekrementiert wird (`i--`). Ob es zum nächsten Schleifendurchgang kommt, hängt von der Fortsetzungsbedingung ab (`i >= 0`):

Quellcode	Ausgabe
`class CharBits {` `  public static void main(String[] args) {` `  char cbit;` `  System.out.print("Zeichen:  ");` `  cbit = Simput.gchar();` `  System.out.print("Unicode:  ");` `  for(int i = 15; i >= 0; i--) {` `  if ((1 << i & cbit) != 0)` `  System.out.print("1");` `  else` `  System.out.print("0");` `  }` `  System.out.println("\nint-Wert: " + (int)cbit);` `  }` `}`	`Zeichen:  x` `Unicode:  0000000001111000` `int-Wert: 120`

Der **Links-Shift-Operator** << im Ausdruck:

```
1 << i
```

verschiebt die Bits in der binären Repräsentation der Ganzzahl Eins um `i` Stellen nach links, wobei am linken Rand `i` Stellen verworfen werden und auf der rechten Seite `i` Nullen nachrücken. Von den 32 Bits, die ein **int**-Wert insgesamt belegt (siehe Abschnitt 3.3.6), interessieren im Augenblick nur die rechten 16. Bei der Eins erhalten wir:

```
0000000000000001
```

Im 10. Schleifendurchgang (`i = 6`) geht dieses Muster z.B. über in:

```
0000000001000000
```

Nach dem Links-Shift- kommt der **bitweise UND-Operator** zum Einsatz:

```
1 << i & cbit
```

Das Operatorzeichen **&** wird leider in doppelter Bedeutung verwendet: Wenn beide Argumente vom Typ **boolean** sind, wird **&** als *logischer* Operator interpretiert (siehe Abschnitt 3.5.5). Sind jedoch (wie im vorliegenden Fall) beide Argumente von integralem Typ, was auch für den Typ **char** zutrifft, dann wird **&** als UND-Operator für Bits aufgefasst. Er erzeugt dann ein Bitmuster, das

genau dann an der Stelle *k* eine Eins enthält, wenn *beide* Argumentmuster an dieser Stelle eine Eins besitzen und anderenfalls eine 0. Bei `cbit = 'x'` ist das Unicode-Bitmuster

```
0000000001111000
```

beteiligt, und `1 << i & cbit` liefert z.B. bei `i = 6` das Muster:

```
0000000001000000
```

Der von `1 << i & cbit` erzeugte Wert hat den Typ **int** und kann daher mit dem **int**-Literal `0` verglichen werden:

```
(1 << i & cbit) != 0
```

Dieser logische Ausdruck wird bei einem Schleifendurchgang genau dann wahr, wenn das zum aktuellen im `i`-Wert korrespondierende Bit in der Binärdarstellung des untersuchten Zeichens den Wert Eins hat.

3.5.7 Typumwandlung (Casting) bei primitiven Datentypen

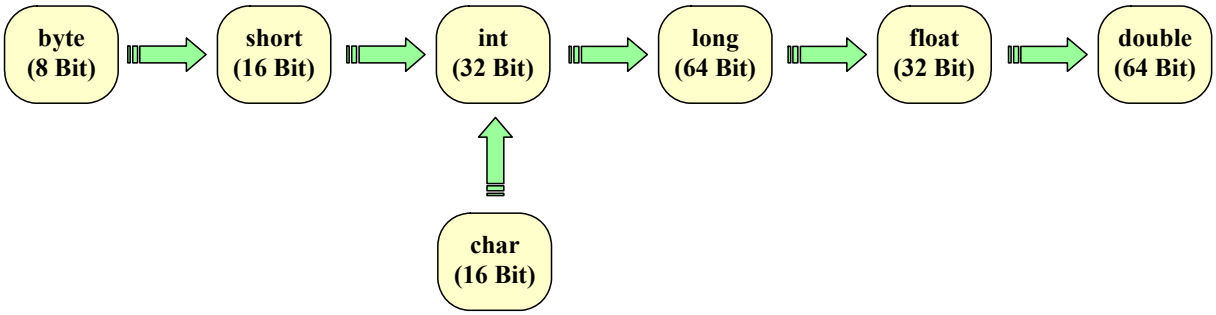
3.5.7.1 Implizite Typanpassung

Beim der Auswertung des Ausdrucks

```
2.0/7
```

trifft der Divisionsoperator auf ein **double**- und ein **int**-Argument, so dass nach der Tabelle in Abschnitt 3.5.1 die Gleitkommaarithmetik zum Einsatz kommt. Dabei wird für das **int**-Argument eine automatische (implizite) Wandlung in den Datentyp **double** vorgenommen.

Java nimmt bei Bedarf für primitive Datentypen die folgenden **erweiternden Typanpassungen** automatisch vor:



Bei den Konvertierungen von **int** oder **long** in **float** sowie von **long** in **double** kann es zu einem Verlust an Genauigkeit kommen, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  long i = 9223372036854775313L;` `  double d = i;` `  System.out.println(i);` `  System.out.printf("%.2f\n", d);` `  }` `}`	`9223372036854775313` `9223372036854776000,00`

Eine Abweichung von 687 (z.B. Euro oder Meter) kann durchaus unerfreuliche Konsequenzen haben.

Weil eine **char**-Variable die Unicode-Nummer eines Zeichens speichert, macht die Konvertierung in numerische Typen kein Problem, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.printf("x/2  = %5d", 'x'/2);` `  System.out.printf("\nx*0,27 = %5.2f", 'x'*0.27);` `  }` `}`	`x/2  =  60` `x*0,27 = 32,40`

Während sich Java-Compiler grundsätzlich weigern, ein **double**-Literal in einer **float**-Variablen zu speichern, erlauben sie z.B. das Speichern eines **int**-Literals in einer Variablen vom Typ **byte** (Ganzzahltyp mit 8 Bits), sofern der Wertebereich dieses Typs nicht verlassen wird, z.B.:

```
float f = 3.14;
byte b = 13;
```

3.5.7.2 Explizite Typkonvertierung

Gelegentlich gibt es gute Gründe, über den **Casting-Operator** eine *explizite* Typumwandlung zu erzwingen. Im nächsten Beispielprogramm wird mit

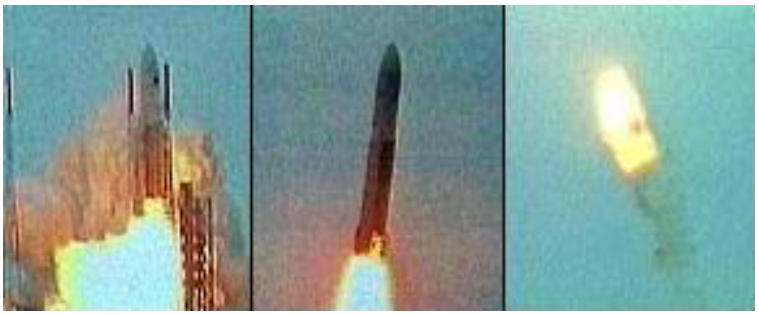
```
(int)'x'
```

die **int**-erpretation des kleinen „x“ ermittelt, damit Sie nachvollziehen können, warum das letzte Programm beim „Halbieren“ dieses Zeichens auf den Wert 60 kam:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  double a = 3.7615926;` `  System.out.println((int)'x');` `  System.out.println((int)a);` `  System.out.println((int)(a + 0.5));` `  a = 7294452388.13;` `  System.out.println((int)a);` `  }` `}`	`120` `3` `4` `2147483647`

Manchmal ist es erforderlich, einen Gleitkommawert in eine Ganzzahl zu wandeln, z.B. weil bei einem Methodenaufruf ein ganzzahliger Datentyp benötigt wird. Dabei werden die Nachkommastellen abgeschnitten. Soll stattdessen ein Runden stattfinden, addiert man vor der Typumwandlung 0,5 zum Gleitkommawert.

Es ist auf jeden Fall zu beachten, dass eine **einschränkende Konvertierung** stattfindet, so dass die zu erwartenden Gleitkommazahlen im Wertebereich des Ganzzahltyps liegen müssen. Wie die letzte Ausgabe zeigt, sind kapitale Programmierfehler möglich, wenn die Wertebereiche der beteiligten Variablen bzw. Datentypen nicht beachtet werden und bei der Zielvariablen ein Überlauf auftritt (vgl. Abschnitt 3.6.1). So soll die Explosion der europäischen Weltraumrakete Ariane-5 am 4. Juni 1996 (Schaden: ca. 500 Millionen Dollar)

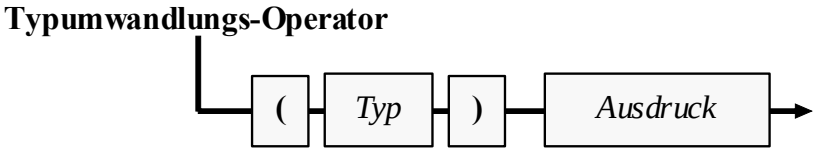


durch die Konvertierung eines **double**-Werts (mögliches Maximum: $1{,}7976931348623157 \cdot 10^{308}$) in einen **short**-Wert (mögliches Maximum: $2^{15}-1 = 32767$) verursacht worden sein.

Später wird sich zeigen, dass auch zwischen Referenztypen gelegentlich eine explizite Wandlung erforderlich ist.

Welche Typkonvertierungen in Java erlaubt sind, ist der Sprachspezifikation zu entnehmen (Gosling et al. 2011, S. 88ff).

Die Java-Syntax zur expliziten Typumwandlung:



Am Rand soll noch erwähnt werden, dass die Wandlung in einen Ganzzahltyp keine sinnvolle Technik ist, um die Nachkommastellen in einem Gleitkommawert zu entfernen oder zu extrahieren. Dazu kann man den Modulo-Operator verwenden (vgl. Abschnitt 3.5.1), ohne ein Wertebereichsproblem befürchten zu müssen, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  double a = 2147483648.13, b;` `  int i = (int) a;` `  b = a - a%1;` `  System.out.printf("%15.2f\n%12d\n%15.2f", a, i, b);` `  }` `}`	`2147483648,13` `2147483647` `2147483648,00`

3.5.8 Zuweisungsoperatoren

Bei den ersten Erläuterungen zu Wertzuweisungen (vgl. Abschnitt 3.3.8) blieb aus didaktischen Gründen unerwähnt, dass in Java eine Wertzuweisung als *Ausdruck* aufgefasst wird, dass wir es also mit dem binären (zweistelligen) Operator „=“ zu tun haben, für den folgende Regeln gelten:

- Auf der linken Seite muss eine Variable stehen.
- Auf der rechten Seite muss ein Ausdruck mit kompatiblem Typ stehen.
- Der zugewiesene Wert stellt auch den Ergebniswert des Ausdrucks dar.

Wie beim Inkrement- bzw. Dekrementoperator sind auch beim Zuweisungsoperator *zwei* Effekte zu unterscheiden:

- Die als linkes Argument fungierende Variable erhält einen neuen Wert.
- Es wird ein Wert für den Ausdruck produziert.

In folgendem Beispiel fungiert ein Zuweisungsausdruck als Parameter für einen **println()**-Methodenaufruf:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int ivar = 13;` `  System.out.println(ivar = 4711);` `  System.out.println(ivar);` `  }` `}`	`4711` `4711`

Beim Auswerten des Ausdrucks `ivar = 4711` entsteht der an **println()** zu übergebende Wert, *und* die Variable `ivar` wird verändert.

Selbstverständlich kann eine Zuweisung auch als Operand in einen übergeordneten Ausdruck integriert werden, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int i = 2, j = 4;` `  i = j = j * i;` `  System.out.println(i + "\n" + j);` `  }` `}`	`8` `8`

Beim mehrfachen Auftreten des Zuweisungsoperators erfolgt eine Abarbeitung von **rechts nach links** (vgl. Tabelle in Abschnitt 3.5.10), so dass die Anweisung

```
i = j = j * i;
```

folgendermaßen ausgeführt wird:

- Weil der Multiplikationsoperator eine höhere Priorität besitzt als der Zuweisungsoperator, wird zuerst der Ausdruck `j * i` ausgewertet, was zum Zwischenergebnis 8 (mit Datentyp **int**) führt.
- Nun wird die *rechte* Zuweisung ausgeführt. Der folgende Ausdruck mit Wert 8 und Typ **int**

  ```
  j = 8
  ```

  verschafft der Variablen `j` einen neuen Wert.
- In der zweiten Zuweisung (bei Betrachtung von rechts nach links) wird der Wert des Ausdrucks `j = 8` an die Variable `i` übergeben.

Anweisungen der Art

```
i = j = k;
```

stammen übrigens *nicht* aus einem Kuriositätenkabinett, sondern sind in Java - Programmen oft anzutreffen, weil im Vergleich zur Alternative

```
j = k;
i = k;
```

Schreibaufwand gespart wird.

Wie wir seit Abschnitt 3.3.8 wissen, stellt ein Zuweisungsausdruck bereits eine vollständige **Anweisung** dar, sobald man ein Semikolon dahinter setzt. Dies gilt auch für die die Prä- und Postin-

krementausdrücke (vgl. Abschnitt 3.5.1) sowie für Methodenaufrufe, jedoch *nicht* für die anderen Ausdrücke, die in Abschnitt 3.5 vorgestellt werden.

Für die häufig benötigten Zuweisungen nach dem Muster

```
j = j * i;
```

(eine Variable erhält einen neuen Wert, an dessen Konstruktion sie selbst mitwirkt) bietet Java spezielle Zuweisungsoperatoren für Schreibfaule, die gelegentlich auch als **Aktualisierungsoperatoren** bezeichnet werden. In der folgenden Tabelle steht *Var* für eine numerische Variable (mit Datentyp **byte**, **short**, **int**, **long**, **char**, **float** oder **double**) und *Expr* für einen typkompatiblen Ausdruck:

Operator	Bedeutung	Beispiel	
		Programmfragment	Neuer Wert von `i`
Var += *Expr*	*Var* erhält den neuen Wert *Var* + *Expr*.	`int i = 2;` `i += 3;`	`5`
Var -= *Expr*	*Var* erhält den neuen Wert *Var* - *Expr*.	`int i = 10, j = 3;` `i -= j * j;`	`1`
Var *= *Expr*	*Var* erhält den neuen Wert *Var* * *Expr*.	`int i = 2;` `i *= 5;`	`10`
Var /= *Expr*	*Var* erhält den neuen Wert *Var* / *Expr*.	`int i = 10;` `i /= 5;`	`2`
Var %= *Expr*	*Var* erhält den neuen Wert *Var* % *Expr*.	`int i = 10;` `i %= 5;`	`0`

Während für eine **byte**-Variable

```
byte b1 = 0;
```

die folgende Zuweisung

```
b1 = b1 + 1;
```

verboten ist, weil der Ausdruck `(b1 + 1)` den Typ **int** besitzt (vgl. Tabelle mit den Ergebnistypen der Ganzzahlarithmetik in Abschnitt 3.5.1), akzeptiert der Compiler den äquivalenten Ausdruck mit Aktualisierungsoperator:

```
b1 += 1;
```

Allerdings soll diese Randbemerkung nicht als Geheimtipp für cleveres Programmieren verstanden werden, weil sich das Überlaufrisiko (vgl. Abschnitt 3.6.1) erhöht:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  byte b1 = 0;` `  b1 += 999;` `  System.out.println(b1);` `  }` `}`	`-25`

3.5.9 Konditionaloperator

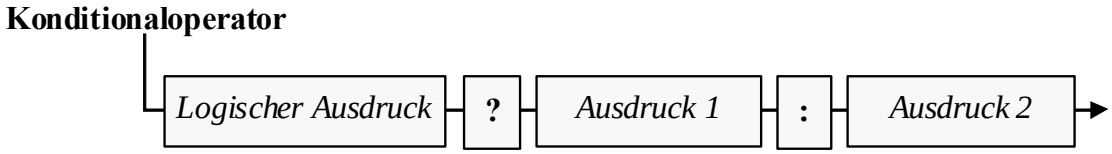
Der **Konditionaloperator** erlaubt eine sehr kompakte Schreibweise, wenn beim neuen Wert einer Zielvariablen bedingungsabhängig zwischen zwei Ausdrücken zu entscheiden ist, z.B.

$$i = \begin{cases} i + j & \text{falls } k > 0 \\ i - j & \text{sonst} \end{cases}$$

In Java ist für diese Zuweisung mit Fallunterscheidung nur eine einzige Zeile erforderlich:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int i = 2, j = 1, k = 7;` `  i = k>0 ? i+j : j-j;` `  System.out.println(i);` `  }` `}`	`3`

Eine Besonderheit des Konditionaloperators besteht darin, dass er *drei* Argumente verarbeitet, welche durch die Zeichen **?** und **:** getrennt werden:



Ist der logische Ausdruck *wahr*, liefert der Konditionaloperator den Wert von *Ausdruck 1*, anderenfalls den Wert von *Ausdruck 2*.

Die Frage nach dem Typ eines Konditionalausdrucks ist etwas knifflig, und in der Java 7 - Sprachspezifikation werden nicht weniger als acht Fälle unterschieden (Gosling et al. 2011, 522f). Es liegt an Ihnen, sich auf den einfachsten und wichtigsten Fall zu beschränken: Wenn der zweite und der dritte Operator denselben Typ haben, ist dies auch der Typ des Konditionalausdrucks.

3.5.10 Auswertungsreihenfolge

Bisher haben wir zusammengesetzte Ausdrücke mit *mehreren* Operatoren und das damit verbundene Problem der Auswertungs*reihenfolge* nach Möglichkeit gemieden. Nun werden die Regeln vorgestellt, nach denen ein Java-Compiler komplexe Ausdrücke mit mehreren Operatoren auswertet:

1) Klammern
Wenn aus den anschließend erläuterten Regeln (Priorität und Assoziativität) nicht die gewünschte Auswertungsfolge resultiert, greift man mit runden Klammern steuernd ein. Die Auswertung von (eventuell mehrstufig) eingeklammerten Teilausdrücken erfolgt von innen nach außen.

2) Priorität
Bei konkurrierenden Operatoren (auf derselben Klammerungsebene) entscheidet zunächst die Priorität (siehe Tabelle unten) darüber, in welcher Reihenfolge die Auswertung vorgenommen wird. Z.B. hält sich Java bei arithmetischen Ausdrücken an die mathematische Regel

Punktrechnung geht vor Strichrechnung.

3) Assoziativität (Auswertungsrichtung)
Stehen mehrere Operatoren gleicher Priorität zur Auswertung an, dann entscheidet die Assoziativität der Operatoren über die Reihenfolge der Auswertung:

- Mit Ausnahme der Zuweisungsoperatoren sind alle binären Operatoren *links*-assoziativ; sie werden also von links nach rechts ausgewertet. Z.B. wird

  `x - y - z`

  ausgewertet als

  `(x - y) - z`

- Die Zuweisungsoperatoren und der Konditionaloperator sind *rechts*-assoziativ; sie werden also von rechts nach links ausgewertet. Z.B. wird

```
a += b -= c = 3
```

ausgewertet als

```
a += (b -= (c = 3))
```

Es ist dafür gesorgt, dass Operatoren mit gleicher Priorität stets auch die gleiche Assoziativität besitzen, z.B. die im letzten Beispiel enthaltenen Operatoren +=, -= und =.

Für manche Operationen gilt das mathematische Assoziativitätsgesetz, so dass die Reihenfolge der Auswertung irrelevant ist, z.B.:

$(3 + 2) + 1 = 6 \quad = \quad 3 + (2 + 1)$

Anderen Operationen fehlt diese Eigenschaft, z.B.:

$(3 - 2) - 1 = 0 \neq 3 - (2 - 1) = 2$

In der folgenden Tabelle sind die bisher behandelten Operatoren in absteigender Priorität aufgelistet. Gruppen von Operatoren mit gleicher Priorität sind durch horizontale Linien voneinander abgegrenzt. In der **Operanden**-Spalte werden die zulässigen Datentypen der Argumentausdrücke mit Hilfe der folgenden Platzhalter beschrieben:

N	Ausdruck mit numerischem Datentyp (**byte**, **short**, **int**, **long**, **char**, **float**, **double**)
I	Ausdruck mit integralem (ganzzahligem) Datentyp (**byte**, **short**, **int**, **long**, **char**)
L	logischer Ausdruck (Typ **boolean**)
K	Ausdruck mit kompatiblem Datentyp
S	**String** (Zeichenfolge)
V	Variable mit kompatiblem Datentyp
V_n	Variable mit numerischem Datentyp (**byte**, **short**, **int**, **long**, **char**, **float**, **double**)

Operator	Bedeutung	Operanden
()	Methodenaufruf	
!	Negation	*L*
++, --	Prä- oder Postinkrement bzw. -dekrement	V_n
-	Vorzeichenumkehr	*N*
(*Typ*)	Typumwandlung	*K*
*, /	Punktrechnung	*N*, *N*
%	Modulo	*N*, *N*
+, -	Strichrechnung	*N*, *N*
+	Stringverkettung	*S*, *K* oder *K*, *S*
<<, >>	Links- bzw. Rechts-Shift	*I*, *I*
>, <, >=, <=	Vergleichsoperatoren	*N*, *N*
==, !=	Gleichheit, Ungleichheit	*K*, *K*
&	Bitweises UND	*I*, *I*
&	Logisches UND (mit unbedingter Auswertung)	*L*, *L*

Operator	Bedeutung	Operanden
^	Exklusives logisches ODER	*L*, *L*
|	Bitweises ODER	*I*, *I*
||	Logisches ODER (mit unbedingter Auswertung)	*L*, *L*
&&	Logisches UND (mit bedingter Auswertung)	*L*, *L*
||	Logisches ODER (mit bedingter Auswertung)	*L*, *L*
? :	Konditionaloperator	*L*, *K*, *K*
=	Wertzuweisung	*V*, *K*
+=, -=, *=, /=, %=	Wertzuweisung mit Aktualisierung	V_n, *N*

Im Anhang A finden Sie eine erweiterte Version dieser Tabelle, die zusätzlich alle Operatoren enthält, die im weiteren Verlauf des Manuskripts noch behandelt werden.

3.6 Über- und Unterlauf bei numerischen Variablen

Wie Sie inzwischen wissen, haben die primitiven Datentypen für Zahlen jeweils einen bestimmten Wertebereich (siehe Tabelle in Abschnitt 3.3.6). Dank strenger Typisierung kann der Compiler verhindern, dass einer Variablen ein Ausdruck mit „zu großem Typ“ zugewiesen wird. So kann z.B. einer **int**-Variablen kein Wert vom Typ **long** zugewiesen werden. Bei der Auswertung eines Ausdrucks kann jedoch „unterwegs“ ein Wertebereichsproblem (z.B. ein Überlauf) auftreten. Im betroffenen Programm ist mit einem mehr oder weniger gravierenden Fehlverhalten zu rechnen, so dass Wertebereichsprobleme unbedingt vermieden bzw. rechtzeitig diagnostiziert werden müssen.

Im Zusammenhang mit Wertebereichsproblemen bieten sich gelegentlich die Klassen **BigDecimal** und **BigInteger** aus dem Paket **java.math** als Alternativen zu den primitiven Datentypen an. Wenn wir gleich auf einen solchen Fall stoßen, verzichten wir nicht auf eine kurze Beschreibung der jeweiligen Vor- und Nachteile, obwohl die beiden Klassen streng genommen nicht zu den elementaren Sprachelementen gehören. In diesem Sinn wurde schon im Abschnitt 3.3.7.2 demonstriert, dass die Klasse **BigDecimal** bei finanzmathematischen Anwendungen wegen ihrer beliebigen Genauigkeit zu bevorzugen ist.

3.6.1 Überlauf bei Ganzzahltypen

Ohne besondere Vorkehrungen stellt ein Java-Programm im Falle eines Ganzzahlüberlaufs keinesfalls seine Tätigkeit (z.B. mit einem Ausnahmefehler) ein, sondern arbeitet munter weiter.[1] Dieses Verhalten ist beim Programmieren von Pseudozufallszahlgeneratoren willkommen, ansonsten aber eher bedenklich. Das folgende Programm

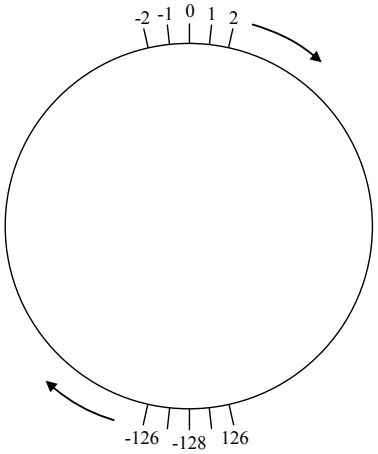
```
class Prog {
   public static void main(String[] args) {
      int i = 2147483647, j = 5, k;
      k = i + j; // Überlauf!
      System.out.println(i + " + " + j + " = " + k);
   }
}
```

[1] Ein Entsprechung zur **checked**-Option in C# (siehe Baltes-Götz 2011) steht in Java leider noch nicht zur Verfügung.

liefert ohne jede Warnung das fragwürdige Ergebnis:

```
2147483647 + 5 = -2147483644
```

Um das Auftreten eines negativen „Ergebniswerts“ zu verstehen, machen wir einen kurzen Ausflug in die Informatik. Die Werte der Ganzzahltypen sind nach dem **Zweierkomplementprinzip** auf einem Zahlenkreis angeordnet, und nach der größten positiven Zahl beginnt der Bereich der negativen Zahlen (mit abnehmendem Betrag), z.B. beim Typ **byte**:



Speziell bei der Steuerung von Raketenmotoren (vgl. Abschnitt 3.5.7) ist also Vorsicht geboten, weil ansonsten das Kommando „Mr. Spock, please push the engine.“ zum heftigen Rückwärtsschub führen könnte.[1]

Oft kann ein Überlauf durch Wahl eines geeigneten Datentyps verhindert werden. Mit den Deklarationen

```
long i = 2147483647, j = 5, k;
```

erhält man das korrekte Ergebnis, weil neben `i`, `j` und `k` nun auch der Ausdruck `i+j` den Typ **long** hat:

```
2147483647 + 5 = 2147483652
```

Im Beispiel genügt es *nicht*, für die Zielvariable `k` den beschränkten Typ **int** durch **long** zu ersetzen, weil der Überlauf beim Berechnen des Ausdrucks („unterwegs“) auftritt. Mit den Deklarationen

```
int i = 2147483647, j = 5;
long k;
```

bleibt das Ergebnis falsch, denn …

- In der Anweisung
  ```
  k = i + j;
  ```
  wird zunächst der Ausdruck `i + j` berechnet.
- Weil beide Operanden vom Typ **int** sind, erhält auch der Ausdruck diesen Typ, und die Summe kann nicht korrekt berechnet bzw. zwischenspeichert werden.
- Schließlich wird der **long**-Variablen `k` das falsche Ergebnis zugewiesen.

Wenn auch der **long**-Wertebereich nicht ausreicht und weiterhin mit ganzen Zahlen gerechnet werden soll, bietet sich die Klasse **BigInteger** aus dem Paket **java.math** an. Das folgende Programm

[1] Mr. Spock arbeitete jahrelang als erster Offizier auf dem Raumschiff Enterprise.

```
import java.math.*;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  BigInteger bigi = new BigInteger("92233720368547758O8");
  bigi = bigi.multiply(bigi);
  System.out.println("2 hoch 126 = "+bigi);
 }
}
```

speichert im **BigInteger**-Objekt `bigi` die knapp außerhalb des **long**-Wertebereichs liegende Zahl 2^{63}, quadriert diese auch noch mutig und findet selbstverständlich das korrekte Ergebnis:

```
2 hoch 126 = 85070591730234615865843651857942052864
```

Im Vergleich zu den primitiven Ganzzahltypen verursacht die Klasse **BigInteger** allerdings höhere Kosten bei Speicher und Rechenzeit.

3.6.2 Unendliche und undefinierte Werte bei den Typen float und double

Auch bei den binären Gleitkommatypen **float** und **double** kann ein Überlauf auftreten, obwohl die unterstützten Wertebereiche hier weit größer sind. Dabei kommt es aber weder zu einem sinnlosen Zufallswert noch zu einem Ausnahmefehler, sondern zu den speziellen Gleitkommawerten **+/- Unendlich**, mit denen anschließend sogar weitergerechnet werden kann. Das folgende Programm:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  double bigd = Double.MAX_VALUE;
  System.out.println("Double.MAX_VALUE =\t" + bigd);
  bigd = Double.MAX_VALUE * 10.0;
  System.out.println("Double.MaxValue * 10 =\t" + bigd);
  System.out.println("Unendlich + 10 =\t" + (bigd + 10));
  System.out.println("Unendlich * (-1) =\t" + (bigd * -1));
  System.out.println("13.0/0.0 =\t\t" + (13.0 / 0.0));
 }
}
```

liefert die Ausgabe:

```
Double.MAX_VALUE =        1.7976931348623157E308
Double.MaxValue * 10 =    Infinity
Unendlich + 10 =          Infinity
Unendlich * (-1) =        -Infinity
13.0/0.0 =                Infinity
```

Mit Hilfe der Unendlich-Werte „gelingt“ offenbar bei der Gleitkommaarithmetik sogar die Division durch Null, während bei der Ganzzahlarithmetik ein solcher Versuch zu einem Laufzeitfehler (aus der Klasse **ArithmeticException**) führt.

Bei den folgenden „Berechnungen“

$$\text{Unendlich} - \text{Unendlich}$$

$$\frac{\text{Unendlich}}{\text{Unendlich}}$$

$$\text{Unendlich} \cdot 0$$

$$\frac{0}{0}$$

resultiert der spezielle Gleitkommawert **NaN** (*Not a Number*), wie das folgende Programm zeigt:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  double bigd = Double.MAX_VALUE * 10.0;
  System.out.println("Unendlich – Unendlich =\t"+(bigd-bigd));
  System.out.println("Unendlich / Unendlich =\t"+(bigd/bigd));
  System.out.println("Unendlich * 0.0 =\t" + (bigd * 0.0));
  System.out.println("0.0 / 0.0 =\t\t" + (0.0/0.0));
 }
}
```

Es liefert die Ausgabe:

```
Unendlich – Unendlich =    NaN
Unendlich / Unendlich =    NaN
Unendlich * 0.0 =          NaN
0.0 / 0.0 =                NaN
```

Zu den letzten Beispielprogrammen ist noch anzumerken, dass man über das öffentliche, statische und finalisierte Feld **MAX_VALUE** der Klasse **Double** aus dem Paket **java.lang** den größten Wert in Erfahrung bringt, der in einer **double**-Variablen gespeichert werden kann.

Über die statischen **Double**-Methoden

- **isInfinite()**
- **isNaN()**

mit Rückgabetyp **boolean** lässt sich für eine **double**-Variable prüfen, ob sie einen unendlichen oder undefinierten Wert besitzt, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println(Double.isInfinite(1.0/0.0));` `  System.out.print(Double.isNaN(0.0/0.0));` `  }` `}`	`true` `true`

Für besonders neugierige Leser sollen abschließend noch die **float**-Darstellungen der speziellen Gleitkommawerte angegeben werden (vgl. Abschnitt 3.3.7.1):

Wert	**float-Darstellung**		
	Vorz.	**Exponent**	**Mantisse**
+unendlich	0	11111111	00000000000000000000000
-unendlich	1	11111111	00000000000000000000000
NaN	0	11111111	10000000000000000000000

Wenn der **double**-Wertebereich längst in Richtung **Infinity** überschritten ist, kann man mit Objekten der Klasse **BigDecimal** aus der Paket **java.math** noch rechnen:

Quellcode	Ausgabe
`import java.math.*;` `class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  BigDecimal bigd = new BigDecimal("1000111");` `  bigd = bigd.pow(500);` `  System.out.printf("Very Big: %e",bigd);` `  }` `}`	`Very Big: 1.057066e+3000`

Ein Überlauf ist bei **BigDecimal**-Objekten nicht zu befürchten. Es sind maximal

$$2^{31} - 1 = 2147483647$$

Dezimalstellen erlaubt, falls der Hauptspeicher des Programms nicht vorher zur Neige geht.

3.6.3 Unterlauf bei den Gleitkommatypen

Bei den Gleitkommatypen **float** und **double** ist auch ein **Unterlauf** möglich, wobei eine Zahl mit sehr kleinem Betrag nicht mehr dargestellt werden kann. In diesem Fall rechnet ein Java-Programm mit dem Wert 0 weiter, was in der Regel akzeptabel ist, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  double smalld = Double.MIN_VALUE;` `  System.out.println(smalld);` `  smalld /= 2.0;` `  System.out.println(smalld);` `  }` `}`	`4.9E-324` `0.0`

Das statische, öffentliche und finalisierte Feld **MIN_VALUE** der Klasse **Double** im Paket **java.lang** enthält den betragsmäßig kleinsten Wert, der in einer **double**-Variablen gespeichert werden kann (vgl. Abschnitt 3.3.7.1 zu denormalisierten Werten bei den binären Gleitkommatypen **float** und **double**).

In unglücklichen Fällen wird aber ein deutlich von Null verschiedenes Endergebnis grob falsch berechnet, weil unterwegs ein Zwischenergebnis der Null zu nahe gekommen ist, z.B.

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  double a = 1E-323;` `  double b = 1E308;` `  double c = 1E16;` `  System.out.println(a * b * c);` `  System.out.print(a * 0.1 * b * 10.0 * c);` `  }` `}`	`9.881312916824932` `0.0`

Das Ergebnis des Ausdrucks

```
a * b * c
```

wird halbwegs korrekt ermittelt (vgl. Abschnitt 3.3.7.1 zu den Genauigkeitsproblemen der Gleitkommatypen). Bei der Berechnung des Ausdrucks

```
a * 0.1 * b * 10.0 * c
```

wird jedoch das Zwischenergebnis

```
a * 0.1 = 1E-324 < 4.9E-324
```

aufgrund eines Unterlaufs auf Null gesetzt, und das korrekte Endergebnis 10 kann nicht mehr erreicht werden.

Mit Objekten der Klasse **BigDecimal** aus dem Paket **java.math** an Stelle von **double**-Variablen kann ein Unterlauf zuverlässig verhindert werden, z.B.:

```
import java.math.*;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  BigDecimal a = new BigDecimal("1E-323");
  BigDecimal b = new BigDecimal("1E308");
  BigDecimal c = new BigDecimal("1E16");
  BigDecimal nk1 = new BigDecimal("0.1");
  BigDecimal zehn = new BigDecimal("10");
  System.out.println(a.multiply(nk1).multiply(b).multiply(zehn).multiply(c));
 }
}
```

Weil **BigDecimal**-Objekte als Argumente der arithmetischen Operatoren nicht zugelassen sind, muss das Multiplizieren per Methodenaufruf erledigt werden. Als Gegenleistung für den Aufwand erhält man das korrekte Ergebnis 10 ohne Unterlauf und ohne Genauigkeitsproblem (siehe oben). Neben dem leicht zu verschmerzenden Schreibaufwand entsteht durch die Verwendung von **BigDecimal**-Objekten aber auch ein erhöhter Speicher- und Rechenaufwand (siehe Abschnitt 3.3.7.2), so dass die binären Gleitkommatypen in vielen Situationen die erste Wahl bleiben.

3.6.4 Vertiefung: Der Modifikator strictfp

In der Norm IEEE-754 für die binären Gleitkommatypen ist neben der strikten Gleitkommaarithmetik auch eine erweiterte Variante erlaubt, die bei Zwischenergebnissen einen größeren Wertebereich und eine höhere Genauigkeit bietet. Eine Nutzung dieser möglicherweise nur auf manchen CPUs verfügbaren Variante durch die JRE kann Über- bzw. Unterlaufprobleme reduzieren. Andererseits geht aber die Plattformunabhängigkeit der Rechenergebnisse verloren.

Nach Gosling et al (2011, S. 421) ist einer JRE bei einem Ausdruck vom Typ **float** oder **double** die Nutzung der optimierten Gleitkommaarithmetik der lokalen Plattform mit folgenden Ausnahmen erlaubt.

- Der Wert des Ausdrucks kann bereits zur Übersetzungszeit berechnet werden.
- Es ist für die betroffene Klasse, für ein implementiertes Interface (siehe unten) oder für die betroffene Methode der Modifikator **strictfp** deklariert, um eine an der strikten IEEE-754 - Norm orientierte und damit plattformunabhängige Gleitkommaarithmetik anzuordnen.

Mit der JRE 7 ist es mir auf einem Rechner mit Intel-CPU (Core i3; 3,2 GHz) unter Windows 7 (64 Bit) *nicht* gelungen, einen Effekt des **strictfp**-Modifikators zu beobachten. Das folgende Beispielprogramm[1]

```
public strictfp class FpDemo3  {
   public static void main(String[] args) {
    double d = 8e+307;
    System.out.println(4.0 * d * 0.5);
    System.out.println(2.0 * d);
   }
}
```

produziert mit und ohne den Modifikator **strictfp** dieselbe Ausgabe:

```
Infinity
1.6E308
```

Offenbar wird die Abwesenheit des Modifikators *nicht* dazu genutzt, durch Verwendung eines größeren Wertebereichs für den Exponenten von Zwischenergebnissen den Überlauf beim Zwischenergebnis

```
4.0 * d
```

[1] Das Programm stammt von einer ehemaligen Webseite der Firma Sun Microsystems, die nicht mehr abrufbar ist.

zu verhindern. Es ist davon auszugehen, dass derzeit *alle* JRE-Implementationen die strikte Gleitkommaarithmetik verwenden, und der Modifikator **strictfp** demzufolge überflüssig ist.

Für die API-Klasse **StrictMath** im Paket **java.lang** wird (im Unterschied zur Klasse **Math** im selben Paket) die strikte IEEE-754 - Gleitkommaarithmetik garantiert. Im Quellcode dieser Klasse findet sich das folgende Beispiel für die Verwendung des Methoden-Modifikators **strictfp**:

```
public static strictfp double toRadians(double angdeg) {
 return angdeg / 180.0 * PI;
}
```

3.7 Anweisungen (zur Ablaufsteuerung)

Wir haben uns im Kapitel 3 über elementare Sprachelemente zunächst mit (lokalen) **Variablen** und primitiven **Datentypen** vertraut gemacht. Dann haben wir gelernt, aus Variablen, Literalen und Methodenaufrufen mit Hilfe von **Operatoren** mehr oder weniger komplexe **Ausdrücke** zu bilden. Diese wurden entweder mit Hilfe des Objekts **System.out** ausgegeben oder in Wertzuweisungen verwendet.

In den meisten Beispielprogrammen traten nur wenige Sorten von Anweisungen auf (Variablendeklarationen, Wertzuweisungen und Methodenaufrufe). Nun werden wir uns systematisch mit dem allgemeinen Begriff einer Java-Anweisung befassen und vor allem die wichtigen Anweisungen zur Ablaufsteuerung (Verzweigungen und Schleifen) kennen lernen.

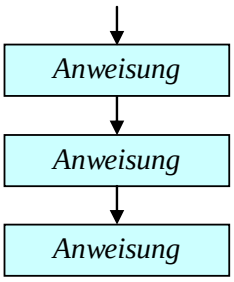
3.7.1 Überblick

Ein ausführbarer Programmteil, also der Rumpf einer Methode, besteht aus *Anweisungen* (engl. *statements*).

Am Ende von Abschnitt 3.7 werden Sie die folgenden Sorten von Anweisungen kennen:

- **Variablendeklarationsanweisung**
  Die Variablendeklarationsanweisung wurde schon in Abschnitt 3.3.8 eingeführt.
  Beispiel: `int i = 1, j = 2, k;`
- **Ausdrucksanweisungen**
  Folgende Ausdrücke werden zu Anweisungen, sobald man ein Semikolon dahinter setzt:
  - **Wertzuweisung** (vgl. Abschnitte 3.3.8 und 3.5.8)
    Beispiel: `k = i + j;`
  - **Prä- bzw. Postinkrement- oder -dekrementoperation**
    Beispiel: `i++;`
    Hier ist nur der „Nebeneffekt“ des Ausdrucks `i++` von Bedeutung. Sein Wert bleibt ungenutzt.
  - **Methodenaufruf**
    Beispiel: `System.out.println(la1);`
    Besitzt die aufgerufene Methode einen Rückgabewert (siehe unten), wird dieser ignoriert.
- **Leere Anweisung**
  Beispiel: `;`
  Die durch ein einsames (nicht anderweitig eingebundenes) Semikolon ausgedrückte *leere* Anweisung hat keinerlei Effekte und kommt gelegentlich zum Einsatz, wenn die Syntax eine Anweisung verlangt, aber nichts geschehen soll.

- **Block- bzw. Verbundanweisung**
  Eine Folge von Anweisungen, die durch geschweifte Klammern zusammengefasst bzw. abgegrenzt werden, bildet eine **Verbund- bzw. Blockanweisung.** Wir haben uns bereits in Abschnitt 3.3.9 im Zusammenhang mit dem Gültigkeitsbereich für lokale Variablen mit der Blockanweisung beschäftigt. Wie gleich näher erläutert wird, fasst man z.B. *dann* mehrere Abweisungen zu einem Block zusammen, wenn diese Anweisungen unter einer gemeinsamen Bedingung ausgeführt werden sollen. Es wäre ja sehr unpraktisch, dieselbe Bedingung für jede betroffene Anweisung wiederholen zu müssen.
- **Anweisungen zur Ablaufsteuerung**
  Die **main()**-Methoden der bisherigen Beispielprogramme in Kapitel 3 bestanden meist aus einer *Sequenz* von Anweisungen, die bei jedem Programmlauf komplett und linear durchlaufen wurde:



  Oft möchte man jedoch z.B.
  - die Ausführung einer Anweisung (eines Anweisungsblocks) von einer *Bedingung* abhängig machen
  - oder eine Anweisung (einen Anweisungsblock) *wiederholt* ausführen lassen.

  Für solche Zwecke stellt Java etliche Anweisungen zur Ablaufsteuerung zur Verfügung, die bald ausführlich behandelt werden (**bedingte Anweisung**, **Fallunterscheidung**, **Schleifen**).

Blockanweisungen sowie Anweisungen zur Ablaufsteuerung enthalten andere Anweisungen und werden daher auch als **zusammengesetzte Anweisungen** bezeichnet.

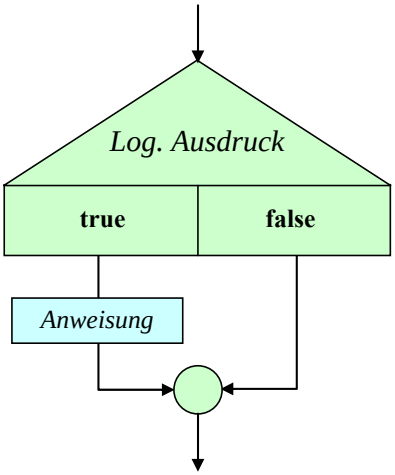
Anweisungen werden durch ein **Semikolon** abgeschlossen, sofern sie nicht mit einer schließenden Blockklammer enden.

3.7.2 Bedingte Anweisung und Fallunterscheidung

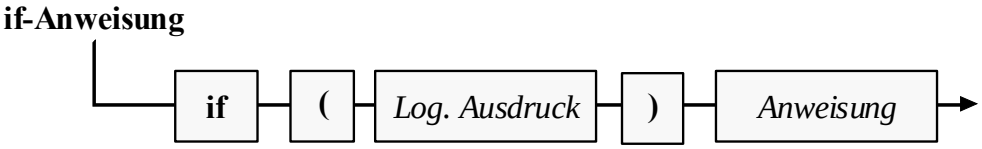
Oft ist es erforderlich, dass eine Anweisung nur unter einer bestimmten Bedingung ausgeführt wird. Etwas allgemeiner formuliert geht es darum, dass viele Algorithmen *Fallunterscheidungen* benötigen, also an bestimmten Stellen in Abhängigkeit vom Wert eines steuernden Ausdrucks in unterschiedliche Pfade verzweigen müssen.

3.7.2.1 if-Anweisung

Nach dem folgenden **Programmablaufplan** (**PAP**) bzw. **Flussdiagramm** soll eine (Block-)Anweisung nur dann ausgeführt werden, wenn ein logischer Ausdruck den Wert **true** besitzt:



Während der hier erstmals als Darstellungstechnik verwendete Programmablaufplan den Zweck (die Semantik) eines Sprachbestandteils erläutert, beschreibt das bereits vertraute Syntaxdiagramm recht präzise, wie zulässige Exemplare des Sprachbestandteils zu bilden sind. Das folgende Syntaxdiagramm beschreibt die zur Realisation einer bedingten Ausführung geeignete **if**-Anweisung:



Um genau zu sein, muss zu diesem Syntaxdiagramm noch angemerkt werden, dass als bedingt auszuführende Anweisung keine Variablendeklaration erlaubt ist. Es ist übrigens nicht vergessen worden, ein Semikolon ans Ende des **if**-Syntaxdiagramms zu setzen. Dort wird eine Anweisung verlangt, wobei konkrete Beispiele oft mit einem Semikolon enden.

Im folgenden Beispiel wird eine Meldung ausgegeben, wenn die Variable `anz` den Wert Null besitzt:

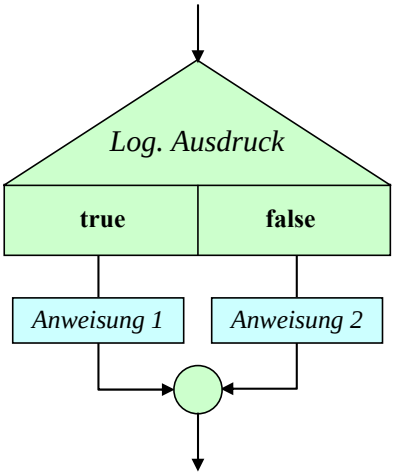
```
if (anz == 0)
  System.out.println("Die Anzahl muss > 0 sein!");
```

Der Zeilenumbruch zwischen dem logischen Ausdruck und der (Unter-)Anweisung dient nur der Übersichtlichkeit und ist für den Compiler irrelevant.

Selbstverständlich kommt als Anweisung auch ein *Block* in Frage.

3.7.2.2 if-else - Anweisung

Soll auch etwas passieren, wenn der steuernde logische Ausdruck den Wert **false** besitzt,



erweitert man die **if**-Anweisung um eine **else**-Klausel.

Zur Beschreibung der **if-else** - Anweisung wird an Stelle eines Syntaxdiagramms eine alternative Darstellungsform gewählt, die sich am typischen Java - Quellcode-Layout orientiert:

if (*Logischer Ausdruck***)**
  Anweisung 1
else
  Anweisung 2

Wie bei den Syntaxdiagrammen gilt auch für diese Form der Syntaxbeschreibung:

- Für **terminale Sprachbestandteile**, die exakt in der angegebenen Form in konkreten Quellcode zu übernehmen sind, wird **fette** Schrift verwendet.
- *Platzhalter* sind durch *kursive* Schrift gekennzeichnet.

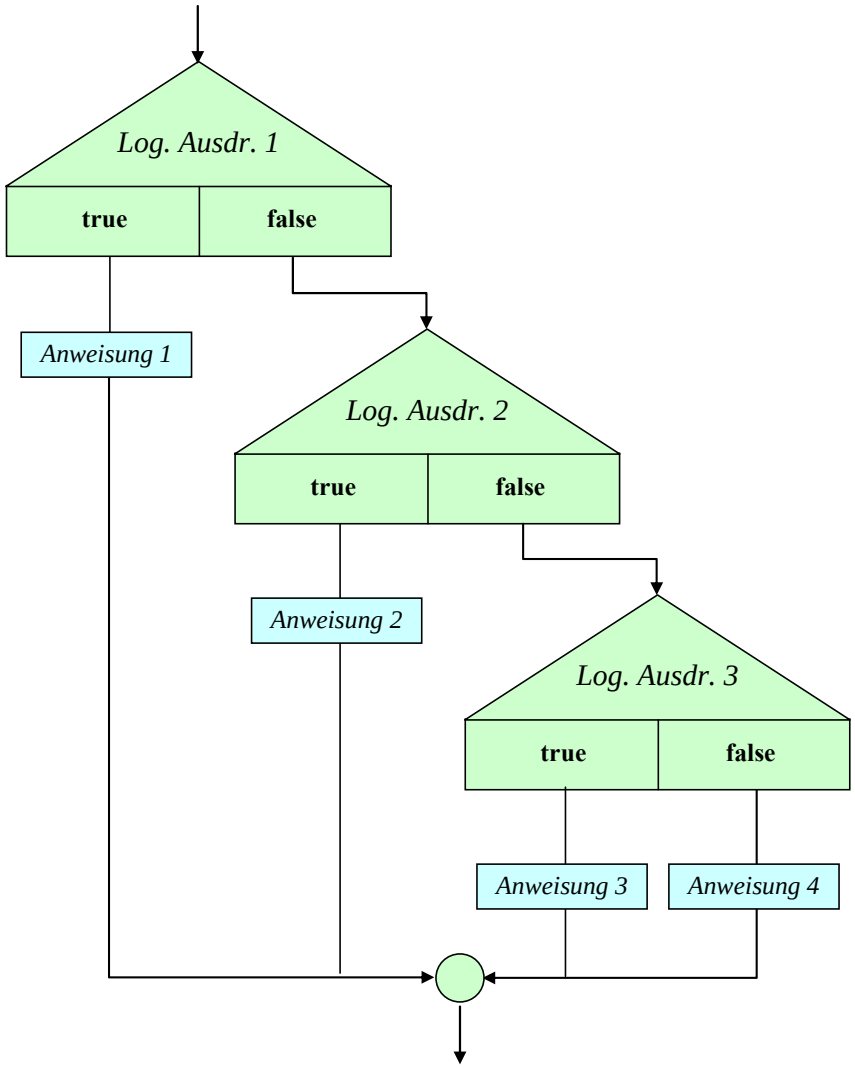
Während die Syntaxbeschreibung im Quellcode-Layout sehr übersichtlich ist, bietet das Syntaxdiagramm den Vorteil, bei komplizierter, variantenreicher Syntax alle zulässigen Formulierungen kompakt und präzise als Pfade durch das Diagramm zu beschreiben.

Wie schon bei der einfachen **if**-Anweisung gilt auch bei der **if-else** - Anweisung, dass Variablendeklarationen nicht als eingebettete Anweisungen erlaubt sind.

Im folgenden **if-else** - Beispiel wird der natürliche Logarithmus zu einer Zahl berechnet, falls diese positiv ist. Anderenfalls erscheint eine Fehlermeldung. Das Argument wird vom Benutzer über die `Simput`-Methode `gdouble()` erfragt (vgl. Abschnitt 3.4).

Quellcode	Ein- und Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.print("Argument: ");` `  double arg = Simput.gdouble();` `  if (arg > 0)` `  System.out.printf("ln(%f) = %f", arg, Math.log(arg));` `  else` `  System.out.println("Argument <= 0!");` `  }` `}`	`Argument: 2` `ln(2,000000) = 0,693147`

Eine bedingt auszuführende Anweisung darf durchaus wiederum vom **if**– bzw. **if-else** – Typ sein, so dass sich mehrere, *hierarchisch geschachtelte* Fälle unterscheiden lassen. Den folgenden Programmablauf mit „sukzessiver Restaufspaltung“



realisiert z.B. eine **if-else** – Konstruktion nach diesem Muster:

```
if (Logischer Ausdruck 1)
  Anweisung 1
else if (Logischer Ausdruck 2)
  Anweisung 2
    .   .   .
    .   .   .
else if (Logischer Ausdruck k)
  Anweisung k
else
  Default-Anweisung
```

Wenn alle logischen Ausdrücke den Wert **false** annehmen, dann wird die **else**-Klausel zur letzten **if**-Anweisung ausgeführt.

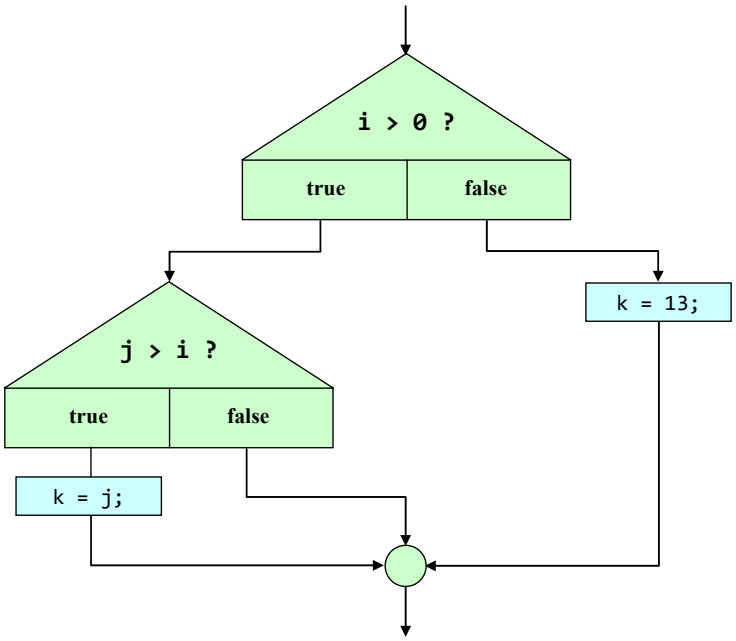
Gerade wurde eine zusammengesetzte Anweisung mit spezieller Bauart als Beispiel vorgeführt. Es ist z.B. keinesfalls allgemein vorgeschrieben, dass alle beteiligten **if**-Anweisungen eine **else**-Klausel haben müssen.

Die Bezeichnung *Default-Anweisung* in der obigen Syntaxdarstellung erfolgte im Hinblick auf die in Abschnitt 3.7.2.3 vorzustellende **switch**-Anweisung, die bei einer Mehrfallunterscheidung gegenüber einer verschachtelten **if-else** – Konstruktion zu bevorzugen ist, wenn die Fallzuordnung über die verschiedenen Werte *eines* Ausdrucks (z.B. vom Typ **int**) erfolgen kann.

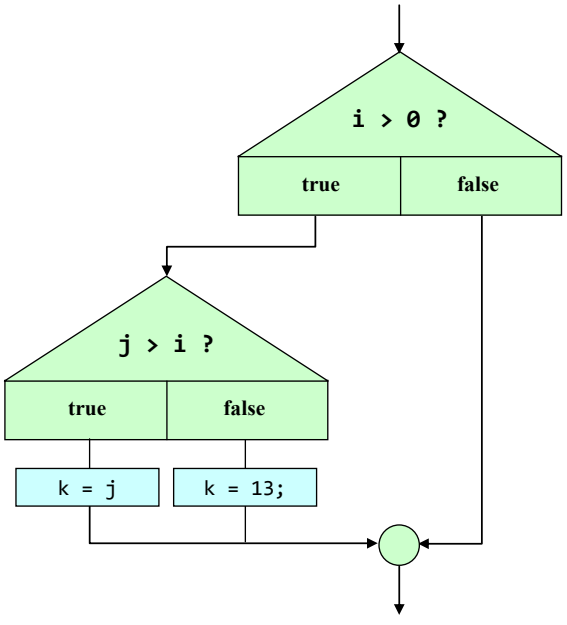
Beim Schachteln von bedingten Anweisungen kann es zum genannten **dangling-else** - Problem[1] kommen, wobei ein Missverständnis zwischen Compiler und Programmierer hinsichtlich der Zuordnung einer **else**-Klausel besteht. Im folgenden Code-Fragment

```
if (i > 0)
  if (j > i)
    k = j;
else
  k = 13;
```

lassen die Einrücktiefen vermuten, dass der Programmierer die **else**-Klausel auf die *erste* **if**-Anweisung bezogen zu haben glaubt:



Der Compiler ordnet eine **else**-Klausel jedoch dem in Aufwärtsrichtung nächstgelegenen **if** zu, das nicht durch Blockklammern abgeschottet ist und noch keine **else**-Klausel besitzt. Im Beispiel bezieht er die **else**-Klausel also auf die *zweite* **if**-Anweisung, so dass de facto folgender Programmablauf resultiert:



[1] Deutsche Übersetzung von *dangling*: *baumelnd*.

Bei `i` ≤ 0 geht der Programmierer fest vom neuen `k`-Wert 13 aus, was beim tatsächliche Programmablauf keinesfalls garantiert ist.

Mit Hilfe von Blockklammern kann man die gewünschte Zuordnung erzwingen:

```
if (i > 0)
  {if (j > i)
    k = j;}
else
  k = 13;
```

Alternativ könnte man auch dem zweiten **if** eine **else**-Klausel spendieren und dabei eine leere Anweisung verwenden:

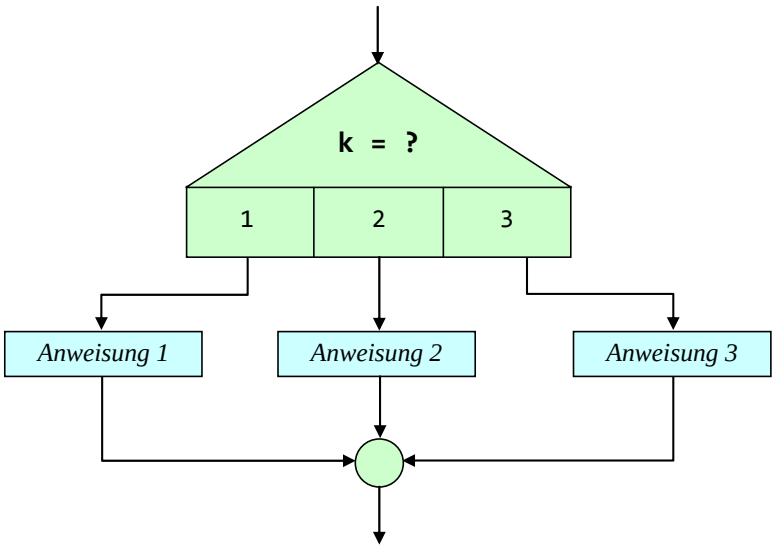
```
if (i > 0)
  if (j > i)
    k = j;
  else
    ;
else
  k = 13;
```

Gelegentlich kommt als Alternative zu einer simplen **if-else**-Anweisung, die zur Berechnung eines Wertes bedingungsabhängig zwei unterschiedliche Ausdrücke benutzt, der Konditionaloperator (vgl. Abschnitt 3.5.9) in Frage, z.B.:

if-else - Anweisung	Konditionaloperator
`double arg = 3.0, d;` `if (arg > 1)` `  d = arg * arg;` `else` `  d = arg;`	`double arg = 3.0, d;` `d = (arg > 1) ? arg * arg : arg;`

3.7.2.3 switch-Anweisung

Wenn eine Fallunterscheidung mit mehr als zwei Alternativen in Abhängigkeit vom Wert *eines* Ausdrucks vorgenommen werden soll,

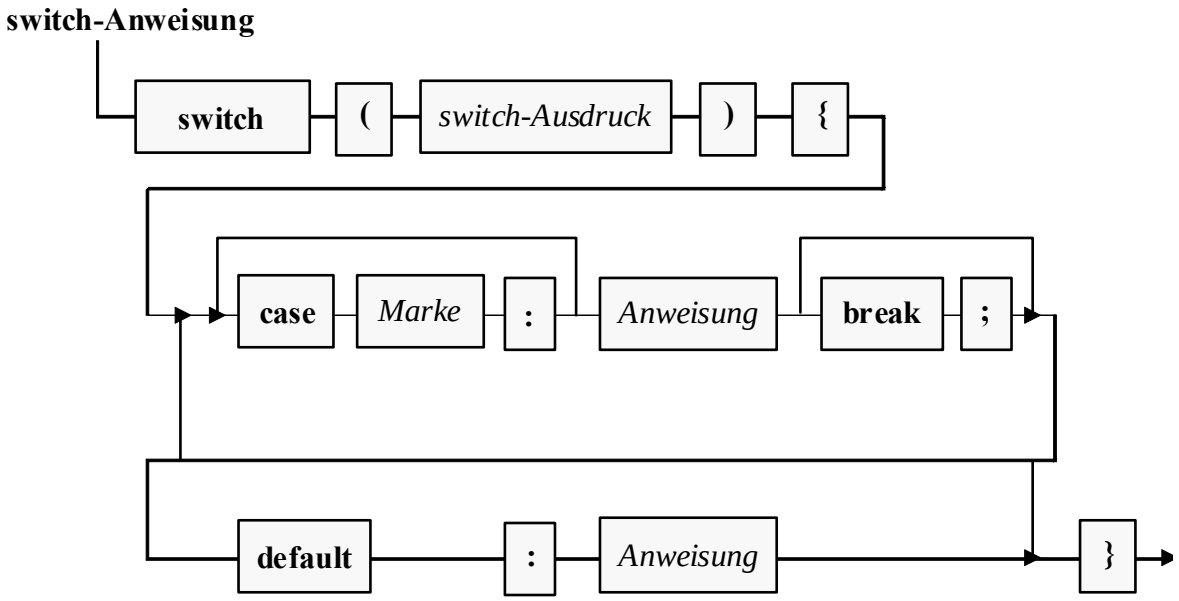


dann ist eine **switch**-Anweisung weitaus handlicher als eine verschachtelte **if-else** - Konstruktion.

In Bezug auf den Datentyp des steuernden Ausdrucks ist Java recht flexibel und erlaubt:

- Integrale primitive Datentypen:
  byte, **short**, **char** oder **int** (nicht **long**!)
- Zeichenfolgen (Objekte der Klasse **String**)
- Aufzählungstypen (siehe unten)
- Verpackungsklassen (siehe unten) für integrale primitive Datentypen:
  Byte, **Short**, **Character** oder **Integer** (nicht **Long**!)

Der Genauigkeit halber wird die **switch**-Anweisung mit einem Syntaxdiagramm beschrieben. Wer die Syntaxbeschreibung im Quellcode-Layout bevorzugt, kann ersatzweise einen Blick auf die gleich folgenden Beispiele werfen.



Weil später noch ein praxisnahes (und damit auch etwas kompliziertes) Beispiel folgt, ist hier ein ebenso einfaches wie sinnfreies Exemplar zur Erläuterung der Syntax angemessen:

Quellcode	Ausgabe

```
class Prog {
  public static void main(String[] args) {
    int zahl = 2;
    final int marke1 = 1;
    switch (zahl) {
      case marke1:
        System.out.println("Fall 1 (mit break-Stopper)");
        break;
      case marke1 + 1:
        System.out.println("Fall 2 (mit Durchfall)");
      case 3:
      case 4:
        System.out.println("Fälle 3, 4");
        break;
      default: System.out.println("Restkategorie");
    }
  }
}
```

```
Fall 2 (mit Durchfall)
Fälle 3, 4
```

Als **case**-Marken sind *konstante* Ausdrücke erlaubt, deren Wert schon der Compiler ermitteln kann (z.B. Literale, Konstanten oder mit konstanten Argumenten gebildete Ausdrücke). Außerdem muss der Datentyp einer Marke kompatibel zum Typ des **switch**-Ausdrucks sein.

Stimmt beim Ablauf des Programms der Wert des **switch**-Ausdrucks mit einer **case**-Marke überein, dann wird die zugehörige Anweisung ausgeführt, ansonsten (falls vorhanden) die **default**-Anweisung.

Nach der Ausführung einer „angesprungenen“ Anweisung wird die **switch**-Konstruktion jedoch nur dann verlassen, wenn der Fall mit einer **break**-Anweisung abgeschlossen wird. Ansonsten werden auch noch die Anweisungen der nächsten Fälle (ggf. inkl. **default**) ausgeführt, bis der „Durchfall“ nach unten entweder durch eine **break**-Anweisung gestoppt wird, oder die **switch**-Anweisung endet. Mit dem etwas gewöhnungsbedürftigen **Durchfall**-Prinzip kann man für geeignet angeordnete Fälle mit wenig Schreibaufwand kumulative Effekte kodieren, aber auch ärgerliche Programmierfehler durch vergessene **break**-Anweisungen produzieren.

Soll für mehrere Werte des **switch**-Ausdrucks dieselbe Anweisung ausgeführt werden, setzt man die zugehörigen **case**-Marken hintereinander und lässt die Anweisung auf die letzte Marke folgen. Leider gibt es keine Möglichkeit, eine *Serie* von Fällen durch Angabe der Randwerte (z.B. von *a* bis *z*) festzulegen.

Im folgenden Beispielprogramm wird die Persönlichkeit des Benutzers mit Hilfe seiner Farb- und Zahlpräferenzen analysiert. Während bei einer Vorliebe für Rot oder Schwarz die Diagnose sofort feststeht, wird bei den restlichen Farben auch die Lieblingszahl berücksichtigt:

```
class PerST {
 public static void main(String[] args) {
  String farbe = args[0].toLowerCase();
  int zahl = Integer.parseInt(args[1]);
  switch (farbe) {
   case "rot":
    System.out.println("Sie sind ein emotionaler Typ.");
    break;
   case "schwarz":
    System.out.println("Nehmen Sie nicht alles so tragisch.");
    break;
   default: {
    System.out.println("Sie scheinen ein sachlicher Typ zu sein");
    if (zahl%2 == 0)
     System.out.println("Sie haben einen geradlinigen Charakter.");
    else
     System.out.println("Sie machen wohl gerne krumme Touren.");
    }
  }
 }
}
```

Das Programm `PerST` demonstriert nicht nur die **switch**-Anweisung, sondern auch den Zugriff auf **Programmargumente** über den **String[]**-Parameter der **main()**-Methode. Benutzer des Programms sollen beim Start ihre bevorzugte Farbe sowie ihre Lieblingszahl über Programmargumente (Kommandozeilenparameter) angeben. Wer z.B. die Farbe Blau und die Zahl 17 bevorzugt, sollte das Programm also z.B. folgendermaßen starten:

```
java PerST blau 17
```

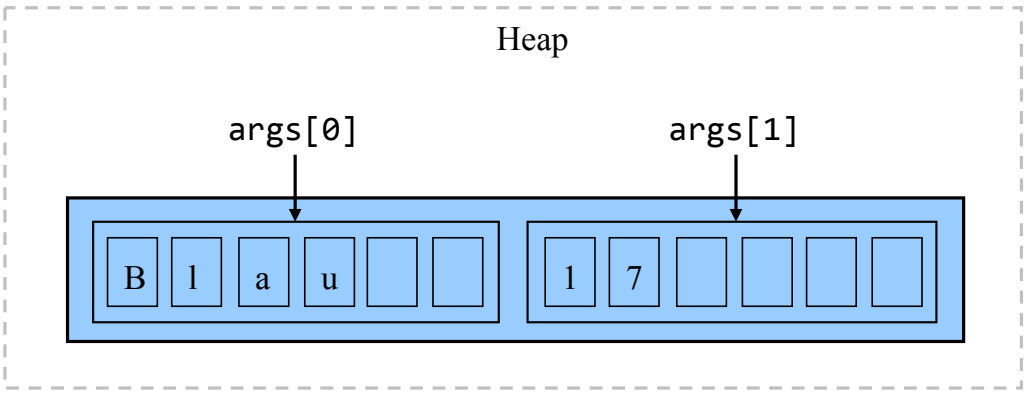
Im Programm wird jeweils nur *eine* Anweisung benötigt, um die Programmargumente in eine **String**- bzw. **int**-Variable zu befördern. Die zugehörigen Erklärungen werden Sie mit Leichtigkeit verstehen, sobald Methodenparameter sowie Arrays und Zeichenfolgen behandelt worden sind. An dieser Stelle greifen wir späteren Erläuterungen mal wieder etwas vor (hoffentlich mit motivierendem Effekt):

- Bei einem **Array** handelt es sich um ein Objekt, das eine Serie von Elementen desselben Typs aufnimmt, auf die man per Index, d.h. durch die mit eckigen Klammern begrenzte Elementnummer, zugreifen kann.
- In unserem Beispiel kommt ein Array mit Elementen vom Datentyp **String** zum Einsatz, wobei es sich um Zeichenfolgen handelt. Literale mit diesem Datentyp sind uns schon öfter begegnet (z.B. `"Hallo"`).
- In der Parameterliste einer Methode kann die gewünschte Arbeitsweise näher spezifiziert werden. Die **main()**-Methode einer Startklasse besitzt einen (ersten und einzigen) Parameter vom Datentyp **String[]** (Array mit **String**-Elementen). Der Datentyp dieses Parameters ist fest vorgegeben, sein Name ist jedoch frei wählbar (im Beispiel: `args`). In der Methode **main()** kann man auf `args` genauso zugreifen wie auf lokale Variablen.
- Beim Programmstart werden der Methode **main()** von der Java Runtime Environment (JRE) als Elemente des **String[]**-Arrays `args` die Programmargumente übergeben, die der Anwender beim Start hinter den Programmnamen, jeweils durch Leerzeichen getrennt, in die Kommandozeile geschrieben hat.
- Das erste Programmargument landet im ersten Element des Zeichenfolgen-Arrays `args` und wird mit `args[0]` angesprochen, weil Array-Elemente mit Null beginnend nummeriert werden. Als Objekt der Klasse **String** wird `args[0]` aufgefordert, die Methode **toLower()** auszuführen. Diese Methode erstellt ein neues **String**-Objekt, das im Unterschied zum angesprochenen Original auf Kleinschreibung normiert ist, was die spätere Verwendung im Rahmen der **switch**-Anweisung sehr erleichtert. Die Adresse dieses Objekts landet als **toLower()**-Rückgabewert in der lokalen **String**-Referenzvariablen `farbe`.
- Das zweite Element des Zeichenfolgen-Arrays `args` (mit der Nummer Eins) enthält das zweite Programmargument. Zumindest bei kooperativen Benutzern des Beispielprogramms kann diese Zeichenfolge mit der statischen Methode **parseInt()** der Klasse **Integer** in eine Zahl vom Datentyp **int** gewandelt und anschließend der lokalen Variablen `zahl` zugewiesen werden.

Nach einem Programmstart mit dem Aufruf

```
java PerST Blau 17
```

kann man sich den **String**-Array `args`, der als Objekt im Heap-Bereich des programmeigenen Speichers abgelegt wird, ungefähr so vorstellen:



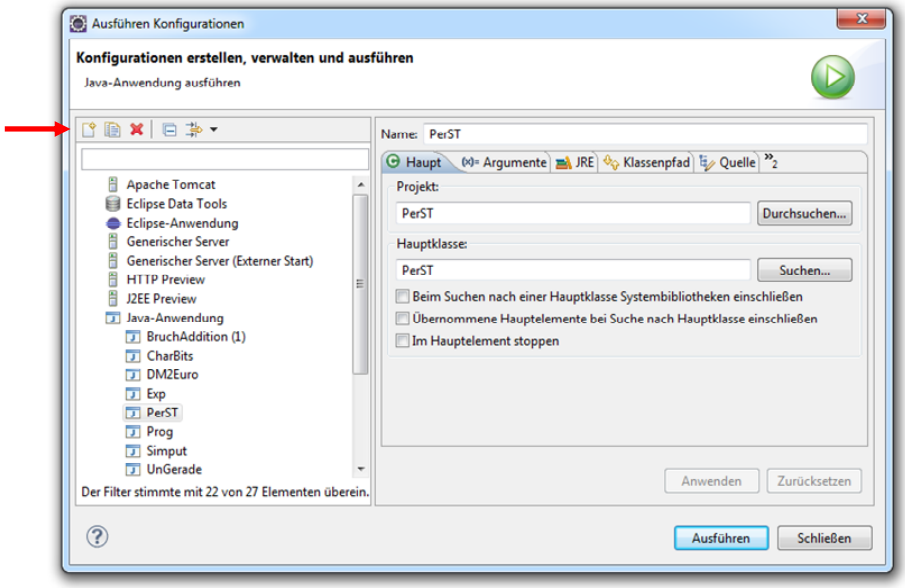
3.7.2.4 Eclipse-Startkonfigurationen

Um das im letzten Abschnitt vorgestellte Programm `PerST` in der Eclipse-Entwicklungsumgebung starten zu können, müssen Sie eine neue **Startkonfiguration** anlegen und dort die benötigten Programmargumente eingetragen. Auch bei unseren früheren Eclipse-Projekten entstand jeweils eine

neue Startkonfiguration, wobei aber lediglich beim ersten Start der Projekttyp **Java-Anwendung** anzugeben war.

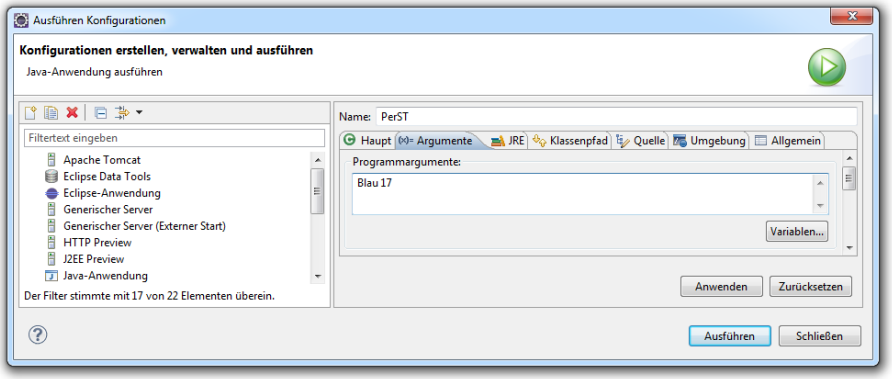
Gehen Sie folgendermaßen vor, nachdem Sie das Java-Projekt `PerST` mit der gleichnamigen Startklasse angelegt (siehe Abschnitt 2.4.4) oder importiert (siehe Abschnitt 2.4.8) haben:

- Öffnen Sie im Editor die Quellcodedatei **PerST.java** (siehe Paket-Explorer, Standardpaket zum Projekt `PerST`).
- Menübefehl **Ausführen > Ausführungs-Konfigurationen**
- In der Dialogbox **Ausführen Konfigurationen** muss zunächst über den Befehlsschalter eine **neue Startkonfiguration** angefordert werden:



Weil das Projekt `PerST` in Bearbeitung ist, nimmt Eclipse passende Eintragungen vor.

- Tragen Sie auf der Registerkarte **Argumente** die benötigten **Programmargumente** ein, z.B.:



- Nun können Sie das Programm `PerST` mit der neuen Startkonfiguration gleich **ausführen** lassen.

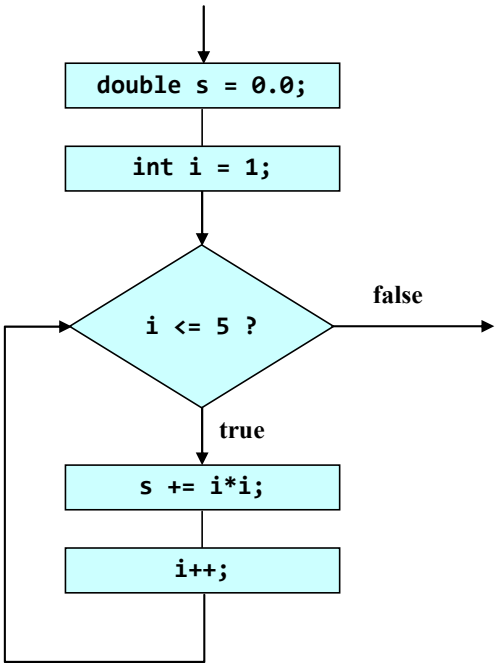
Für spätere Starts genügt bei geöffneter Quellcodedatei **PerST.java** ein Klick auf den Schalter .

Über die Dialogbox **Ausführen Konfigurationen** ist es jederzeit möglich, eine Startkonfiguration zu ändern, zu löschen oder zu duplizieren.

3.7.3 Wiederholungsanweisung

Eine Wiederholungsanweisung (oder schlicht: *Schleife*) kommt zum Einsatz, wenn eine (Verbund-)Anweisung *mehrfach* ausgeführt werden soll, wobei sich in der Regel schon der Gedanke daran verbietet, die Anweisung entsprechend oft in den Quelltext zu schreiben.

Im folgenden Flussdiagramm ist ein iterativer Algorithmus zu sehen, der die Summe der quadrierten natürlichen Zahlen von Eins bis Fünf berechnet: [1]



Java bietet verschiedene Wiederholungsanweisungen, die sich bei der Ablaufsteuerung unterscheiden. Wir werden sie gleich im Detail betrachten und als Beispiel jeweils den Algorithmus aus dem obigen Flussdiagramm implementieren. Zunächst sollen die Optionen zur Schleifensteuerung bei leicht vereinfachender Beschreibung im Überblick präsentiert werden:

- **Zählergesteuerte Schleife** (**for**)
  Die Anzahl der Wiederholungen steht typischerweise schon vor Schleifenbeginn fest. Bei der Ablaufsteuerung kommt eine Zählvariable zum Einsatz, die *vor dem ersten* Schleifendurchgang initialisiert und *nach jedem* Durchlauf aktualisiert (z.B. inkrementiert) wird. Die zur Schleife gehörige (Verbund-)Anweisung wird ausgeführt, solange die Zählvariable einen festgelegten Grenzwert nicht überschritten hat (siehe obige Abbildung).
- **Iterieren über die Elemente einer Kollektion**
  Seit der Java-Version 5 (bzw. 1.5) ist es mit einer Variante der **for**-Schleife möglich, eine Anweisung für jedes Element eines Arrays oder einer anderen Kollektion (siehe unten) ausführen zu lassen.
- **Bedingungsabhängige Schleife** (**while**, **do**)
  Bei jedem Schleifendurchgang wird eine Bedingung überprüft, und das Ergebnis entscheidet über das weitere Vorgehen:
  - **true**: Die zur Schleife gehörige Anweisung wird ein weiteres Mal ausgeführt.
  - **false**: Die Schleife wird beendet.

  Bei der *kopf*gesteuerten **while**-Schleife wird die Bedingung *vor Beginn* eines Durchgangs geprüft, bei der *fuß*gesteuerten **do**-Schleife hingegen *am Ende*. Weil man z.B. *nach* dem 3. Schleifendurchgang in keiner anderen Lage ist wie *vor* dem 4. Schleifendurchgang, geht es

[1] Das Verzweigungssymbol sieht aus darstellungstechnischen Gründen etwas anders aus als in Abschnitt 3.7.2, was aber keine Verwirrung stiften sollte.

bei der Entscheidung zwischen Kopf- und Fußsteuerung lediglich darum, ob auf jeden Fall ein *erster* Schleifendurchgang stattfinden soll oder nicht.

Die gesamte Konstruktion aus Schleifensteuerung und (Verbund-)anweisung stellt in syntaktischer Hinsicht *eine* zusammengesetzte Anweisung dar.

3.7.3.1 Zählergesteuerte Schleife (for)

Die Anweisung einer **for**-Schleife wird ausgeführt, solange eine Bedingung erfüllt ist, die normalerweise auf eine ganzzahlige Laufvariable Bezug nimmt.

Auf das Schlüsselwort **for** folgt die von runden Klammern umgebene Schleifensteuerung, wo die Vorbereitung der Laufvariablen (nötigenfalls samt Deklaration), die Fortsetzungsbedingung und die Aktualisierungsvorschrift untergebracht werden. Danach folgt die wiederholt auszuführende (Block-)Anweisung:

for (*Vorbereitung***;** *Bedingung***;** *Aktualisierung***)**
    Anweisung

Zu den drei Bestandteilen der Schleifensteuerung sind einige Erläuterungen erforderlich, wobei hier etliche weniger typische bzw. sinnvolle Möglichkeiten weggelassen werden:

- ***Vorbereitung***
  In der Regel wird man sich auf *eine* Laufvariable beschränken und dabei einen Ganzzahltyp wählen. Somit kommen im Vorbereitungsteil der **for**-Schleifensteuerung in Frage:
  - eine Wertzuweisung, z.B.:
    ```
    i = 1
    ```
  - eine Variablendeklaration mit Initialisierung, z.B.
    ```
    int i = 1
    ```

  Im folgenden Programm, das die Summe der quadrierten natürlichen Zahlen von Eins bis Fünf berechnet, findet sich die zweite Variante:

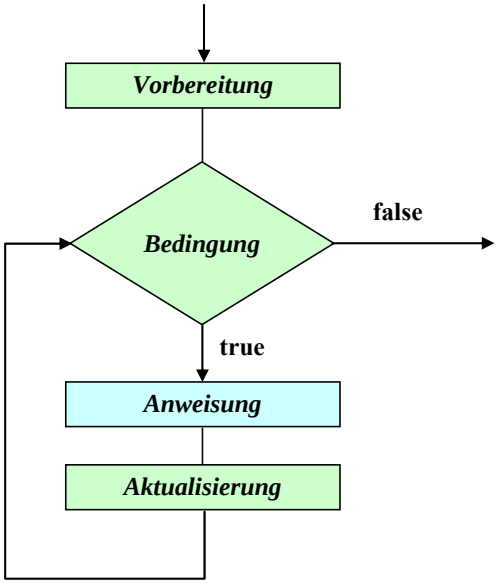
Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  double s = 0.0;` `  for (int i = 1; i <= 5; i++)` `  s += i*i;` `  System.out.println("Quadratsumme = " + s);` `  }` `}`	`Quadratsumme = 55.0`

  Der Vorbereitungsteil wird *vor dem ersten Durchlauf* ausgeführt. Eine hier deklarierte Variable ist *lokal* bzgl. der **for**-Schleife, steht also nur in deren Anweisung(sblock) zur Verfügung.

- ***Bedingung***
  Üblicherweise wird eine Ober- oder Untergrenze für die Laufvariable gesetzt, doch erlaubt Java beliebige logische Ausdrücke. Die Bedingung wird *vor jedem Schleifendurchgang* geprüft. Resultiert der Wert **true**, wird der Anweisungsteil ausgeführt, anderenfalls wird die **for**-Schleife verlassen. Folglich kann es auch passieren, dass überhaupt kein Schleifendurchgang zustande kommt.

- ***Aktualisierung***
  Am Ende jedes Schleifendurchgangs (nach Ausführung der Anweisung) wird der Aktualisierungsteil ausgeführt. Hier wird meist die Laufvariable in- oder dekrementiert.

Im folgenden Flussdiagramm sind die eben geschriebenen semantischen Regeln zur **for**-Schleife dargestellt, wobei die Bestandteile der Schleifensteuerung an der grünen Farbe zu erkennen sind:



Zu den (zumindest stilistisch) bedenklichen Konstruktionen, die der Compiler klaglos umsetzt, gehören **for**-Schleifenköpfe ohne Vorbereitung oder ohne Aktualisierung, wobei die trennenden Strichpunkte trotzdem zu setzen sind. In solchen Fällen ist die Umlaufzahl einer **for**-Schleife natürlich nicht mehr aus der Schleifensteuerung abzulesen. Dies gelingt auch dann nicht, wenn eine Indexvariable in der Schleifenanweisung modifiziert wird.

3.7.3.2 Iterieren über die Elemente einer Kollektion

Obwohl wir uns bisher nur anhand von Beispielen mit Arrays (Objekte, die eine feste Anzahl von Elementen desselben Datentyps enthalten) und mit anderen Kollektionen noch gar nicht beschäftigt haben, soll die mit Java 5 (bzw. 1.5) eingeführte **for**-Schleifen - Variante für Kollektionen doch hier im Kontext mit den übrigen Wiederholungsanweisungen behandelt werden (vgl. Gosling et al. 2011, S. 391ff). Konzentrieren Sie sich also auf das leicht nachvollziehbare Beispiel, und lassen Sie sich durch die Begriffe *Array*, *Kollektion* und *Interface*, die zu später behandelten Themen gehören, nicht beunruhigen.

Das Programm `PerST` in Abschnitt 3.7.2.3 demonstriert, wie man über den **String[]** - Parameter der Methode **main()** auf die Zeichenfolgen zugreifen kann, welche der Benutzer beim Programmstart als Argumente angegeben hat. Im folgenden Programm wird durch eine **for**-Schleife für Kollektionen jedes Element im **String**-Array `args` mit den Programmargumenten ausgegeben:

Quellcode	Ausgabe nach einem Start mit `java Prog eins zwei drei`
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  for (String s : args)` `  System.out.println(s);` `  }` `}`	`eins` `zwei` `drei`

Die Syntax der **for**-Variante für Kollektionen:

for (*Elementtyp Iterationsvariable* **:** *Kollektion***)**
Anweisung

Als Kollektion erlaubt der Compiler:

- einen Array (siehe Abschnitt 5.1)
- ein Objekt einer Klasse, welche das Interface **Iterable<T>** implementiert

Im Schleifenkopf wird eine Iterationsvariable vom Datentyp der Kollektionselemente deklariert. Die Anweisung wird nacheinander für jedes Element der Kollektion ausgeführt, wobei die Iterationsvariable im *i*-ten Schleifendurchgang das *i*-te Element der Kollektion anspricht.

3.7.3.3 Bedingungsabhängige Schleifen

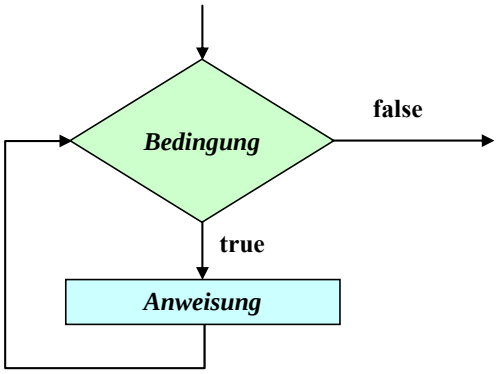
Wie die Erläuterungen zur **for**-Schleife gezeigt haben, ist die Überschrift dieses Abschnitts nicht sehr trennscharf, weil bei der **for**-Schleife ebenfalls eine beliebige Terminierungsbedingung angegeben werden darf. In vielen Fällen ist es eine Frage des persönlichen Geschmacks, welche Wiederholungsanweisung man zur Lösung eines konkreten Iterationsproblems benutzt. Unter der aktuellen Abschnittsüberschrift diskutiert man traditionsgemäß die **while**- und die **do**-Schleife.

3.7.3.3.1 while-Schleife

Die **while**-Anweisung kann als vereinfachte **for**-Anweisung beschreiben kann: Wer im Kopf einer **for**-Schleife auf Vorbereitung und Aktualisierung verzichten möchte, ersetzt besser das Schlüsselwort **for** durch **while** und erhält dann folgende Syntax:

while (*Bedingung***)**
    Anweisung

Wie bei der **for**-Anweisung wird die Bedingung *vor Beginn* eines Schleifendurchgangs geprüft. Resultiert der Wert **true**, so wird die Anweisung ausgeführt, anderenfalls wird die **while**-Anweisung verlassen, eventuell noch vor dem ersten Durchgang:

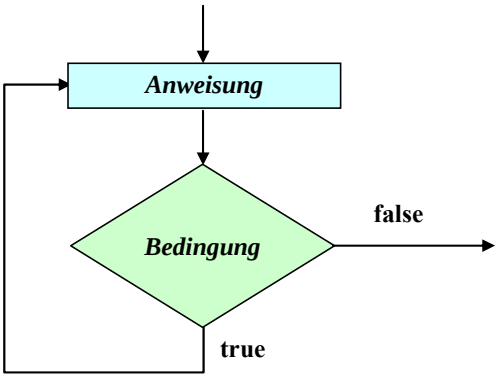


Das in Abschnitt 3.7.3.1 vorgestellte Beispielprogramm zur Quadratsummenberechnung mit Hilfe einer **for**-Schleife kann leicht auf die Verwendung einer **while**-Schleife umgestellt werden:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int i = 1;` `  double s = 0.0;` `  while (i <= 5) {` `  s += i*i;` `  i++;` `  }` `  System.out.println("Quadratsumme = " + s);` `  }` `}`	`Quadratsumme = 55.0`

3.7.3.3.2 do-Schleife

Bei der **do**-Schleife wird die Fortsetzungsbedingung *am Ende* der Schleifendurchläufe geprüft, so dass wenigstens *ein* Durchlauf stattfindet:



Das Schlüsselwort **while** tritt auch in der Syntax zur **do**-Schleife auf:

do
Anweisung
while (*Bedingung***);**

do-Schleifen werden seltener benötigt als **while**-Schleifen, sind aber z.B. dann von Vorteil, wenn man vom Benutzer eine Eingabe mit bestimmten Eigenschaften einfordern möchte. Im folgenden Codesegment kommt die statische Methode `gchar()` aus der Klasse `Simput` zum Einsatz (siehe Abschnitt 3.4), die ein vom Benutzer eingetipptes und mit **Enter** quittiertes Zeichen als **char**-Wert abliefert:

```
char antwort;
do {
   System.out.println("Soll das Programm beendet werden (j/n)? ");
   antwort = Simput.gchar();
} while (antwort != 'j' && antwort != 'n' );
```

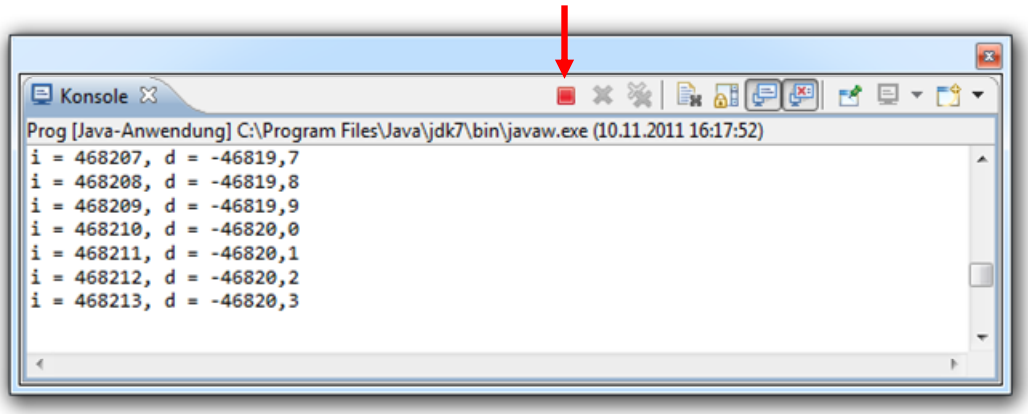
Bei einer **do**-Schleife mit Anweisungs*block* sollte man die **while**-Klausel unmittelbar hinter die schließende Blockklammer setzen (in dieselbe Zeile), um sie optisch von einer selbständigen **while**-Anweisung abzuheben (siehe Beispiel).

3.7.3.4 Endlosschleifen

Bei einer Wiederholungsanweisung (**for**, **while** oder **do**) kann es in Abhängigkeit von der verwendeten Bedingung passieren, dass der Anweisungsteil unendlich oft ausgeführt wird. In folgendem Beispiel resultiert eine Endlosschleife aus einer ungeschickten Identitätsprüfung bei **double**-Werten (vgl. Abschnitt 3.5.4):

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  int i = 0;
  double d = 1.0;
  //besser: while (d > 1.0e-14) {
  while (d != 0.0) {
   i++;
   d -= 0.1;
   System.out.printf("i = %d, d = %.1f\n", i, d);
  }
  System.out.println("Fertig!");
 }
}
```

Endlosschleifen sind als gravierende Programmierfehler unbedingt zu vermeiden. Befindet sich ein Programm in diesem Zustand muss es mit Hilfe des Betriebssystems abgebrochen werden, bei unseren Konsolenanwendungen unter Windows z.B. über die Tastenkombination **Strg+C**. Wurde der Dauerläufer aus Eclipse gestartet, klickt man stattdessen auf den roten Knopf im Konsolenfenster:



3.7.3.5 Schleifen(durchgänge) vorzeitig beenden

Mit der **break**-Anweisung, die uns schon als Bestandteil der **switch**-Anweisung begegnet ist, kann eine **for**-, **while**- oder **do**-Schleife vorzeitig verlassen werden. Mit der **continue**-Anweisung veranlasst man Java, den aktuellen Schleifendurchgang zu beenden und sofort mit dem nächsten zu beginnen (bei **for** und **while** nach Prüfung der Fortsetzungsbedingung). In der Regel kommen **break** und **continue** im Rahmen einer **if**-Anweisung zum Einsatz, z.B. in folgendem Programm zur (relativ primitiven) Primzahlendiagnose:

```
class Primitiv {
 public static void main(String[] args) {
  boolean tg;
  int i, mtk, zahl;
  System.out.println("Einfacher Primzahlendetektor\n");
  while (true) {
   System.out.print("Zu untersuchende ganze Zahl > 1 oder 0 zum Beenden: ");
   zahl = Simput.gint();
   if (Simput.checkError() || (zahl <= 1  &&  zahl != 0)) {
    System.out.println("Keine Zahl oder illegaler Wert!\n");
    continue;
   }
   if (zahl == 0)
    break;
   tg = false;
   mtk = (int) Math.sqrt(zahl);  //maximaler Teiler-Kandidat
   for (i = 2; i <= mtk; i++)
    if (zahl % i == 0) {
     tg = true;
     break;
    }
   if (tg)
    System.out.println(zahl + " ist keine Primzahl (Teiler: " + i + ").\n");
   else
    System.out.println(zahl + " ist eine Primzahl.\n");
  }
 System.out.println("\nVielen Dank fuer den Einsatz dieser Software!");
 }
}
```

Den Primzahlkandidaten erfragt das Programm mit der statischen Methode `gint()` der in Abschnitt 3.4.2 vorgestellten Klasse `Simput`, die eine Rückgabe vom Typ **int** liefert. Eigentlich wäre der Datentyp **long** attraktiver, doch beherrscht `Simput` leider keine passende Methode. Ob die Benutzereingabe in eine **int**-Zahl gewandelt werden konnte, erfährt das Programm durch einen Aufruf der `Simput`-Methode `checkError()`. Ist kein Fehler aufgetreten, liefert `checkError()` den Wert false zurück.

Bei einer irregulären Eingabe erscheint eine Fehlermeldung auf der Konsole, und der aktuelle Durchgang der **while**-Schleife wird per **continue** verlassen. Durch Eingabe der Zahl Null kann das Beispielprogramm beendet werden, wobei die absichtlich konstruierte **while** - „Endlosschleife“ per **break** verlassen wird.

Man hätte die **continue**- und die **break**-Anweisung zwar vermeiden können (siehe Übungsaufgabe auf Seite 144), doch werden bei dem vorgeschlagenen Verfahren lästige Sonderfälle (unzulässige Werte, Null als Terminierungssignal) auf besonders übersichtliche Weise abgehakt, bevor der Kernalgorithmus startet.

Zum Kernalgorithmus der Primzahlendiagnose sollte vielleicht noch erläutert werden, warum die Suche nach einem Teiler des Primzahlkandidaten bei seiner Wurzel enden kann (genauer: bei der größten ganzen Zahl ≤ Wurzel):

Sei d (≥ 2) ein echter Teiler der positiven, ganzen Zahl z, d.h. es gibt eine Zahl k (≥ 2) mit

$$z = k \cdot d$$

Dann ist auch k ein echter Teiler von z, und es gilt:

$$d \leq \sqrt{z} \quad \text{oder} \quad k \leq \sqrt{z}$$

Anderenfalls wäre das Produkt $k \cdot d$ größer als z. Wir haben also folgendes Ergebnis: Wenn eine Zahl z keinen echten Teiler kleiner oder gleich $\sqrt{z}$ hat, kann man auch jenseits dieser Grenze keinen finden, und z ist eine Primzahl.

Zur Berechnung der Quadratwurzel verwendet das Beispielprogramm die statische Methode **sqrt()** aus der Klasse **Math**, über die man sich bei Bedarf in der API-Dokumentation informieren kann.

3.8 Entspannungs- und Motivationseinschub: GUI-Standarddialoge

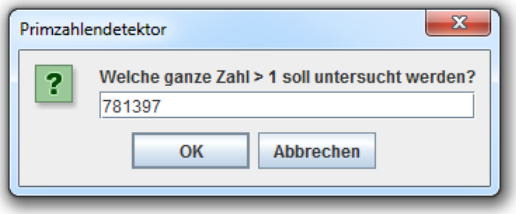
Nach etlichen recht anstrengenden Themen, soll dieser Abschnitt zur Entspannung und zur Regeneration Ihrer Motivation beitragen. Sie lernen die GUI-Standarddialoge zur Abfrage von Werten und zur Präsentation von Meldungen kennen, welche die Klasse **JOptionPane** aus dem Paket **javax.swing** über statische Methoden zur Verfügung stellt. Den Standarddialog zur Meldungsausgabe haben wir in seiner einfachsten Form übrigens schon in Abschnitt 3.3.11.5 verwendet.

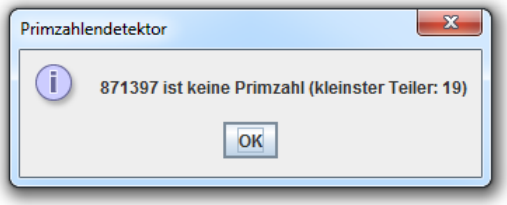
Wir erstellen zum Primzahldiagnoseprogramm aus Abschnitt 3.7.3.5 mit erstaunlich geringem Aufwand die folgende Variante

```
import javax.swing.JOptionPane;
class PrimitivJop {
 public static void main(String[] args) {
  String s;
  boolean tg;
  long i, mtk, zahl;
  while (true) {
   s = JOptionPane.showInputDialog(null,
      "Welche ganze Zahl > 1 soll untersucht werden?",
      "Primzahlendetektor", JOptionPane.QUESTION_MESSAGE);
   zahl = Long.parseLong(s);
```

```
      if (zahl <= 1)
       continue;
      mtk = (long) Math.sqrt(zahl);   //maximaler Teilerkandidat
      tg = false;
      for (i = 2; i <= mtk; i++)
       if (zahl % i == 0) {
         tg = true;
         break;
       }
      if (tg)
       s = String.valueOf(zahl) +
        " ist keine Primzahl (kleinster Teiler: "+String.valueOf(i)+")";
      else
       s = String.valueOf(zahl) + " ist eine Primzahl";
      JOptionPane.showMessageDialog(null,
        s, "Primzahlendetektor", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
    }
  }
}
```

mit graphischer Bedienoberfläche:





Die linke Dialogbox zur Erfassung des Primzahlkandidaten geht auf den Aufruf der statischen **JOptionPane**-Methode **showInputDialog()** zurück. Auf die Disziplin des Benutzers vertrauend lassen wir die als Rückgabewert gelieferte Zeichenfolge ohne Prüfung von der statischen **Long**-Methode **parseLong()** in einen **long**-Wert wandeln.[1]

Die rechte Dialogbox mit dem Ergebnis der Primzahlendiagnose produzieren wir mit Hilfe der statischen **JOptionPane**-Methode **showMessageDialog()**, wobei die auszugebende Zeichenfolge folgendermaßen erstellt wird:

- Von der statischen Methode **valueOf()** der Klasse **String** erhalten wir die Zeichenfolgen-Repräsentationen für darzustellende **long**-Werte.
- Die Möglichkeit, mehrere Zeichenfolgen mit dem Plusoperator zu verketten, kennen wir schon seit Abschnitt 3.2.1, z.B.:

```
s = String.valueOf(argument) + " ist eine Primzahl";
```

Weil der Klassenname **JOptionPane** im Quellcode mehrfach auftaucht, wird er zu Beginn importiert, damit anschließend kein Paketnamenspräfix erforderlich ist (vgl. Abschnitt 3.1.7).

Die statischen **JOptionPane**-Methoden **showInputDialog()** und **showMessageDialog()** kennen etliche Parameter (Argumente zur näheren Bestimmung der Ausführung), die in der folgenden Tabelle beschrieben werden:

[1] Derartige Konvertierungsmethoden werden in Abschnitt 5.3.2 offiziell behandelt.

<table>
<tr><th>Name</th><th>Erläuterung</th></tr>
<tr><td>parentComponent</td><td>Standarddialoge sind oft einem anderen (elterlichen) Fenster zu- oder untergeordnet. Die Angabe eines Fensterobjekts (an Stelle der Alternative null) hat zur Folge, dass der Standarddialog in der Nähe dieses Fensters erscheint.</td></tr>
<tr><td>message</td><td>Dieser Text erscheint in der Dialogbox.</td></tr>
<tr><td>title</td><td>Dieser Text erscheint in der Titelzeile der Dialogbox.</td></tr>
<tr><td>messageType</td><td>Dieser Parameter legt den Typ der Nachricht fest, der auch über das Icon am linken Rand der Dialogbox entscheidet. Als Werte sind die folgenden statischen und finalisierten Felder der Klasse JOptionPane erlaubt, die jeweils für einen int-Wert stehen:
<table>
<tr><th>JOptionPane-Konstante</th><th>int</th></tr>
<tr><td>JOptionPane.PLAIN_MESSAGE</td><td>-1</td></tr>
<tr><td>JOptionPane.ERROR_MESSAGE</td><td>0</td></tr>
<tr><td>JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE</td><td>1</td></tr>
<tr><td>JOptionPane.WARNING_MESSAGE</td><td>2</td></tr>
<tr><td>JOptionPane.QUESTION_MESSAGE</td><td>3</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

In den folgenden Fällen liefert die Methode **showInputDialog()** keine als ganze Zahl im **long**-Wertebereich interpretierbare Rückgabe:

- Der Benutzer hat eine ungültige Zeichenfolge eingetragen (z.B. „3,14“, „92233720368547758O8“).
- Der Benutzer hat den Input-Dialog abgebrochen (auf die Schaltfläche **Abbrechen** geklickt oder die **Esc**-Taste gedrückt).

Unser Programm endet dann mit einer unbehandelten Ausnahme, z.B.:

```
Exception in thread "main" java.lang.NumberFormatException: null
 at java.lang.Long.parseLong(Long.java:404)
 at java.lang.Long.parseLong(Long.java:483)
 at PrimitivGuiJop.main(PrimitivJop.java:8)
```

Im Kapitel 1 werden Sie erfahren, wie man solche Ausnahmen abfangen und behandeln kann.

Wird der Primzahlendetektor konsolenfrei (mit dem JRE-Werkzeug **javaw.exe**) gestartet, bemerkt der Benutzer nichts von der fehlenden Ausnahmebehandlung:

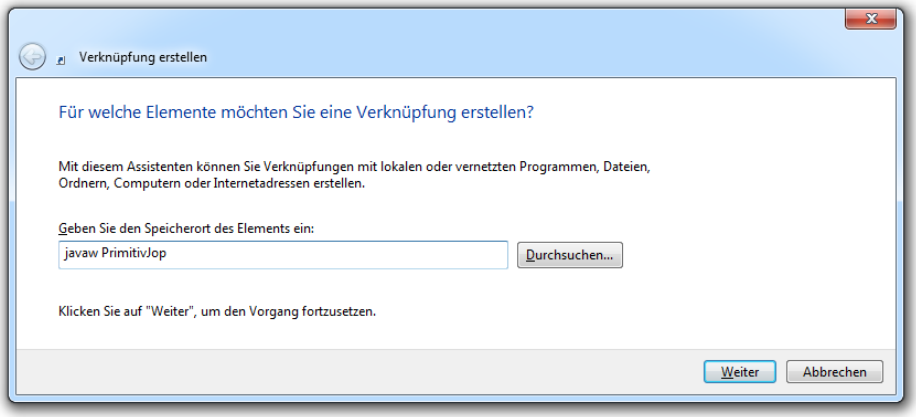
```
javaw PrimitivJop
```

Um ein Starten des Programms per Doppelklick zu ermöglichen, können Sie unter Windows 7 so vorgehen:

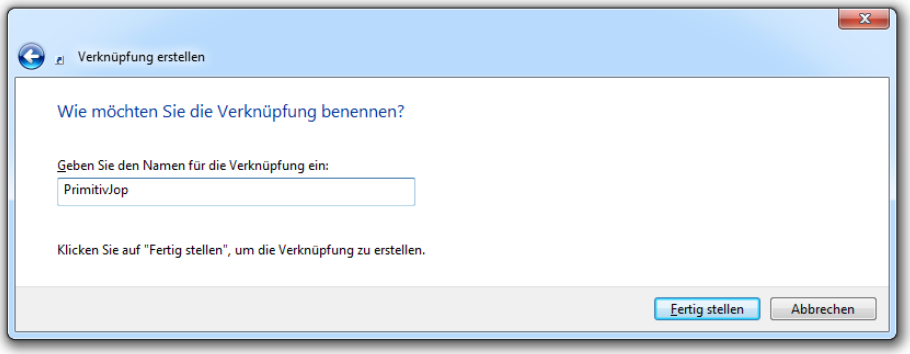
- Öffnen Sie ein Explorer-Fenster mit dem Ordner, in dem sich die Bytecodedatei befindet.
- Legen Sie über den Menübefehl

  Datei > Neu > Verknüpfung

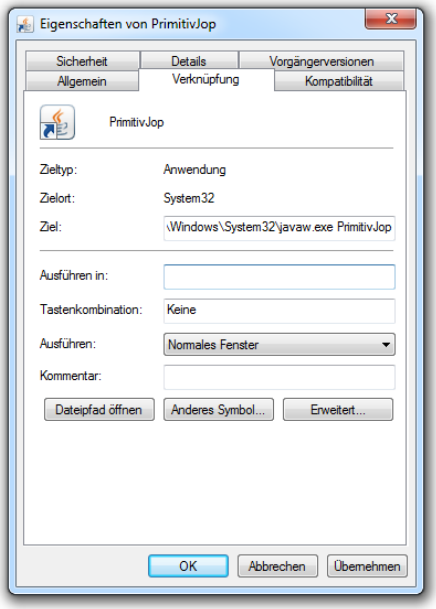
  oder das Kontextmenü zum Ordner eine Verknüpfungsdatei an.
- Tragen Sie im folgenden Dialog das obige Startkommando ein:



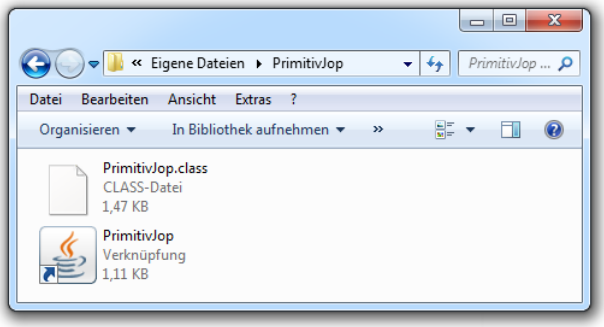
- Wählen Sie einen Namen für die Verknüpfungsdatei:



- Lassen Sie die Verknüpfungsdatei **fertig stellen**, öffnen Sie über das Kontextmenü der neuen Datei ihren **Eigenschaften**-Dialog, und entfernen Sie den Eintrag aus dem Textfeld **Ausführen in**. Damit wird per Doppelklick ein Prozess im aktuellen Verzeichnis gestartet, was zum gewünschten Ergebnis führt, wenn sich die Bytecode- und die Verknüpfungsdatei im selben Ordner befinden.



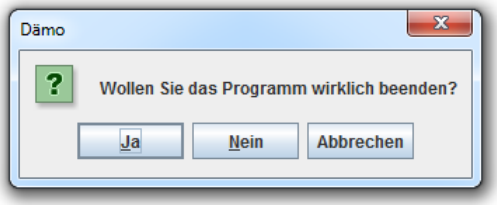
- Nun gelingt der Start per Doppelklick auf die Verknüpfungsdatei:



Von den zahlreichen weiteren Möglichkeiten der Klasse **JOptionPane** (siehe API-Dokumentation) soll noch die statische Methode **showConfirmDialog()** erwähnt werden. Sie eignet sich für Ja/Nein - Fragen an den Benutzer, präsentiert ein konfigurierbares Ensemble von Schaltflächen (**OK**, **Ja**, **Nein**, **Abbrechen**) und teilt per **int**-Rückgabewert mit, über welche Schalfläche der Benutzer den Dialog beendet hat. Das folgende Beispielprogramm wird auf Benutzerwunsch über die statische Methode **exit()** der Klasse **System** beendet, wobei das Betriebssystem per **exit()**-Parameter den Return Code 0 erfährt:

```
import javax.swing.JOptionPane;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  while (true)
   if (JOptionPane.showConfirmDialog(null,
      "Wollen Sie das Programm wirklich beenden?",
      "Dämo", JOptionPane.YES_NO_CANCEL_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
    System.exit(0);
 }
}
```

Neben den drei Parametern aus der obigen Tabelle besitzt **showConfirmDialog()** noch einen vierten Parameter (Typ: **int**, Name: **optionType**) zur Wahl der Schaltflächenausstattung, z.B.:



Über **int**-Werte oder äquivalente statische und finalisierte Felder der Klasse **JOptionPane** sind vier Ausstattungsvarianten ansprechbar:

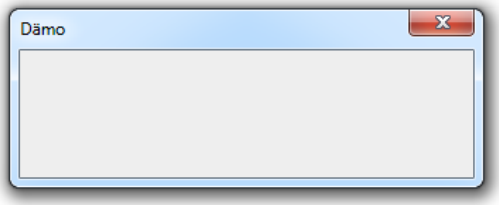
optionType-Wert		Resultierende Schalter
JOptionPane-Konstante	**int**	
JOptionPane.DEFAULT_OPTION	-1	**OK**
JOptionPane.YES_NO_OPTION	0	**Ja**, **Nein**
JOptionPane.YES_NO_CANCEL_OPTION	1	**Ja**, **Nein**, **Abbrechen**
JOptionPane.OK_CANCEL_OPTION	2	**OK**, **Abbrechen**

Durch ihren Rückgabewert informiert die Methode **showConfirmDialog()** darüber, welchen Schalter der Benutzer betätigt hat. Bei der Schalterausstattung wie im obigen Beispiel (**JOptionPane.YES_NO_CANCEL_OPTION**) können die folgenden Rückgabewerte vom Typ **int** auftreten, die auch über statische und finalisierte Felder der Klasse **JOptionPane** ansprechbar sind:

Vom Benutzer gewählter Schalter	**showConfirmDialog()**-Rückgabewerte	
	JOptionPane-Konstante	**int**
Schließkreuz in der Titelzeile	**JOptionPane.CLOSED_OPTION**	-1
Ja	**JOptionPane.YES_OPTION**	0
Nein	**JOptionPane.NO_OPTION**	1
Abbrechen	**JOptionPane.CANCEL_OPTION**	2

Anders als bei der Konsolenausgabe über **System.out** (vgl. Abschnitt 3.2.3) haben wir beim Einsatz von graphischen Bedienoberflächen keine Probleme mit Umlauten (siehe Titelzeile des Beispielprogramms).

Am Ende des Abschnitts muss noch von einem mutmaßlichen Fehler in der JRE 1.7.0_01 berichtet werden, der auf verschiedenen Rechnern (alle mit der 64-Bit - Version von Windows 7) zu beobachten war. Gelegentlich (z.B. nach häufiger Betätigung des Schalters **Abbrechen**) irritierten die **JOptionPane**-Standarddialoge mit einem entleerten Fenster, z.B.:



Mit der JRE 1.6.0_29 konnte dieses Fehlverhalten *nicht* provoziert werden.

3.9 Übungsaufgaben zu Kapitel 3

Abschnitt 3.1 (Einstieg)

1) Welche **main()**-Varianten sind zum Starten einer Applikation geeignet?

```
public static void main(String[] irrelevant) { … }
public void main(String[] argz) { … }
public static void main() { … }
static public void main(String[] argz) { … }
public static void Main(String[] argz) { … }
```

2) Welche von den folgenden Bezeichnern sind unzulässig?

```
4you
main
else
Felsen
Lösung
```

3) Das folgende Programm gibt den Wert der Klassenvariable **PI** aus der API-Klasse **Math** im Paket **java.lang** aus:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  System.out.println("PI = " + Math.PI);
 }
}
```

Warum ist es hier *nicht* erforderlich, den Paketnamen anzugeben bzw. zu importieren?

Abschnitt 3.2 (Ausgabe bei Konsolenanwendungen)

1) Schreiben Sie ein Programm, das die Klassenvariable **PI** aus der API-Klasse **Math** wiederholt mit verschiedener Genauigkeit linksbündig ausgibt:

```
3,1       3,14      3,142
3,1416    3,14159   3,141593
```

2) Wie ist das fehlerhafte „Rechenergebnis“ in folgendem Programm zu erklären?

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("3.3 + 2 = " + 3.3 + 2);` `  }` `}`	`3.3 + 2 = 3.32`

Das zur exakten Beantwortung der Frage benötigte Hintergrundwissen (über die Auswertungsreihenfolge von Operatoren) wurde noch *nicht* vermittelt, so dass Sie nicht allzu viel Zeit investieren sollten. Vielleicht hilft der Tipp, dass ein geschickt positioniertes Paar runder Klammern zur gewünschten Ausgabe führt.

```
3.3 + 2 = 5.3
```

Abschnitt 3.3 (Variablen und Datentypen)

1) Entlarven Sie bitte wieder einmal falsche Behauptungen:

1. Die lokalen Variablen einer Methode haben stets einen primitiven Datentyp.
2. Lokale Variablen befinden sich auf dem Stack.
3. Referenzvariablen werden auf dem Heap abgelegt.
4. Bei der objektorientierten Programmierung sollten möglichst keine primitiven Variablen verwendet werden.

2) In folgendem Programm wird der **char**-Variablen `z` eine *Zahl* zugewiesen, die sie offenbar unbeschädigt an eine **int**-Variable weitergeben kann, wobei der `z`-Inhalt von **println()** aber als Buchstabe ausgegeben wird. Wie erklären sich diese Merkwürdigkeiten?

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String args[]) {` `  char z = 99;` `  int i = z;` `  System.out.println("z = "+z+"\ni = "+i);` `  }` `}`	`z = c` `i = 99`

Wie kann man das Zeichen *c* über eine Unicode-Escapesequenz ansprechen?

3) Warum meldet der JDK-Compiler hier einen möglichen Verlust an Genauigkeit?

Quellcode	Fehlermeldung des JDK-Compilers
`class Prog {` `  public static void main(String args[]) {` `  int i = 7l;` `  System.out.println(i);` `  }` `}`	`possible loss of precision`

Die Aufgabe ist zugegebenermaßen etwas gemein und verlangt vor allem ein gutes Auge.

4) Wieso klagt der Eclipse-Compiler über ein unbekanntes Symbol, obwohl die Variable `i` deklariert worden ist?

Quellcode	Fehlermeldung des Eclipse-Compilers
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {{` `  int i = 2;` `  }` `  System.out.println(i);` `  }` `}`	`i cannot be resolved to a variable`

5) Schreiben Sie bitte ein Java-Programm, das folgende Ausgabe macht:

```
Dies ist ein Java-Zeichenkettenliteral:
   "Hallo"
```

6) Beseitigen Sie bitte alle Fehler in folgendem Programm:

```
class Prog {
  static void main(String[] args) {
    float PI = 3,141593;
    double radius = 2,0;
    System.out.printLine("Der Flaecheninhalt betraegt: +PI*radius*radius);
  }
}
```

Abschnitt 3.4 (Eingabe bei Konsolenanwendungen)

1) Führen Sie die in Abschnitt 3.4.2 beschriebene Eclipse-Konfiguration aus, und lassen Sie das in Abschnitt 3.4.1 beschriebene Fakultätsprogramm mit `Simput.gint()` – Aufruf laufen.

Testen Sie auch die `Simput`-Methoden `gdouble()` und `gchar()`.

Abschnitt 3.5 (Operatoren und Ausdrücke)

1) Welche Werte und Datentypen besitzen die folgenden Ausdrücke?

```
6/4*2.0
(int)6/4.0*3
(int)(6/4.0*3)
3*5+8/3%4*5
```

2) Welche Datentyp resultiert, wenn man eine **byte**- und eine **short**-Variable addiert?

3) Welche Werte haben die **int**-Variablen `erg1` und `erg2` am Ende des folgenden Programms?

```
class Prog {
   public static void main(String[] args) {
      int i = 2, j = 3, erg1, erg2;
      erg1 = (i++ == j ? 7 : 8) % 3;
      erg2 = (++i == j ? 7 : 8) % 2;
      System.out.println("erg1 = "+erg1+"\nerg2 = "+erg2);
   }
}
```

4) Welche Wahrheitsweite erhalten in folgendem Programm die booleschen Variablen `la1` bis `la3`?

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  boolean la1, la2, la3;
  int i = 3;
  char c = 'n';

  la1 = 2 > 3 && 2 == 2 ^ 1 == 1;
  System.out.println(la1);

  la2 = (2 > 3 && 2 == 2) ^ (1 == 1);
  System.out.println(la2);

  la3 = !(i > 0 || c == 'j');
  System.out.println(la3);
 }
}
```

Tipp: Die Negation von zusammengesetzten Ausdrücken ist etwas unangenehm. Mit Hilfe der Regeln von **DeMorgan** kommt man zu äquivalenten Ausdrücken, die leichter zu interpretieren sind:

$!(La1 \;\&\&\; La2) \quad = \quad !La1 \;||\; !La2$
$!(La1 \;||\; La2) \quad = \quad !La1 \;\&\&\; !La2$

5) Erstellen Sie ein Java-Programm, das den Exponentialfunktionswert e^x zu einer vom Benutzer eingegebenen Zahl *x* bestimmt und ausgibt, z.B.:

Eingabe: `Argument: 1`
Ausgabe: `exp(1,000000) = 2,7182818285`

Hinweise:

- Suchen Sie mit Hilfe der Dokumentation zur Klasse **Math** im API-Paket **java.lang** eine passende Methode.
- Zum Einlesen des Arguments können Sie die Methode `gdouble()` aus unserer Eingabeklasse `Simput` verwenden, die eine vom Benutzer (mit Komma als Dezimaltrennzeichen) eingetippte und mit **Enter** quittierte Zahl als **double**-Wert abliefert (vgl. Abschnitt 3.4).
- Über Möglichkeiten zur formatierten Ausgabe informiert der Abschnitt 3.2.2.

6) Erstellen Sie ein Programm, das einen DM-Betrag entgegen nimmt und diesen in Euro konvertiert. In der Ausgabe sollen ganzzahlige, korrekt gerundete Werte für Euro und Cent erscheinen, z.B.:

Eingabe: `DM-Betrag: 321`
Ausgabe: `164 Euro und 12 Cent`

Hinweise:

- Umrechnungsfaktor: 1 Euro = 1,95583 DM
- Zum Einlesen des DM-Betrags können Sie die Methode `gdouble()` aus unserer Eingabeklasse `Simput` verwenden.

7) Erstellen Sie ein Programm, das eine ganze Zahl entgegen nimmt und den Benutzer darüber informiert, ob die Zahl gerade ist oder nicht, z.B.:

Eingabe: `Ganze Zahl: 13`
Ausgabe: `ungerade`

Außer einem Methodenaufruf für die Eingabeaufforderung, z.B.:

```
System.out.print("Ganze Zahl: ");
```

soll das Programm **nur eine einzige** Anweisung enthalten.

Hinweis: Verwenden Sie die Methode `gint()` aus der Klasse `Simput`, um die Eingabe entgegen zu nehmen.

Abschnitt 3.6 (Über- und Unterlauf bei numerischen Variablen)

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Kommt es bei einer Ganzzahlvariablen zum Überlauf, stoppt das Programm mit einem Laufzeitfehler.
2. Bei Objekten der Klasse **BigDecimal** kann weder ein Über- noch ein Unterlauf auftreten.
3. Bei einer versuchten Gleitkommadivision durch Null stoppt das Programm mit einem Laufzeitfehler.
4. Man sollte bei numerischen Aufgaben grundsätzlich Objekte aus den Klassen **BigDecimal** und **BigInteger** verwenden.

Abschnitt 3.7 (Anweisungen (zur Ablaufsteuerung))

1) Bei einer Lotterie soll der folgende Gewinnplan gelten:

- Durch 13 teilbare Losnummern gewinnen 100 Euro.
- Losnummern, die nicht durch 13 teilbar sind, gewinnen immerhin noch einen Euro, wenn sie durch 7 teilbar sind.

Wird in folgendem Codesegment für Losnummern in der Variablen `losNr` der richtige Gewinn ermittelt?

```
if (losNr % 13 != 0)
  if (losNr % 7 == 0)
    System.out.println("Das Los gewinnt einen Euro!");
else
  System.out.println("Das Los gewinnt 100 Euro!");
```

2) Warum liefert dieses Programm widersprüchliche Auskünfte über die boolesche Variable b?

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  boolean b = true;` `  if (b = false)` `  System.out.println("b ist false");` `  else` `  System.out.println("b ist true");` `  System.out.println("\nKontr.ausg.: b ist "+b);` `  }` `}`	`b ist true` `Kontr.ausg.: b ist false`

3) Das folgende Programm soll Buchstaben nummerieren:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  char bst = 'a';` `  byte nr = 0;` `  switch (bst) {` `  case 'a': nr = 1;` `  case 'b': nr = 2;` `  case 'c': nr = 3;` `  }` `  System.out.println("Zu "+bst+` `  " gehoert die Nummer "+nr);` `  }` `}`	`Zu a gehoert die Nummer 3`

Warum liefert es zum Buchstaben *a* die Nummer 3, obwohl für diesen Fall die Anweisung

```
nr = 1
```

vorhanden ist?

4) Erstellen Sie eine Variante des Primzahlen-Diagnoseprogramms aus Abschnitt 3.7.3.5, die ohne **break** und **continue** auskommt.

5) Wie oft wird die folgende **while**-Schleife ausgeführt?

```
class Prog {
  public static void main(String[] args) {
    int i = 0;
    while (i < 100);
    {
      i++;
      System.out.println(i);
    }
  }
}
```

6) Verbessern Sie das als Übungsaufgabe zum Abschnitt 3.5 in Auftrag gegebene Programm zur DM-Euro - Konvertierung so, dass es nicht für jeden Betrag neu gestartet werden muss. Vereinbaren Sie mit dem Benutzer ein geeignetes Verfahren für den Fall, dass er das Programm doch irgendwann einmal beenden möchte.

7) Bei einem **double**-Wert sind mindestens 15 signifikante Dezimalstellen garantiert (siehe Abschnitt 3.3.6). Folglich kann ein Rechner die **double**-Werte 1,0 und $1{,}0 + 2^{-i}$ ab einem bestimmten Exponenten *i* nicht mehr voneinander unterscheiden. Bestimmen Sie mit einem Testprogramm den größten ganzzahligen Exponenten *i*, für den man noch erhält:

$$1{,}0 + 2^{-i} > 1{,}0$$

In dem (zur freiwilligen Lektüre empfohlenen) Vertiefungsabschnitt 3.3.7.1 findet sich eine Erklärung für das Ergebnis.

8) In dieser Aufgabe sollen Sie verschiedene Varianten von Euklids Algorithmus zur Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers (ggT) zweier natürlicher Zahlen *u* und *v* implementieren und die Laufzeitunterschiede messen. Verwenden Sie als ersten Kandidaten den im Einführungsbeispiel zum Kürzen von Brüchen (Methode `kuerze()`) benutzten Algorithmus (siehe Abschnitt 1.1.2). Sein offensichtliches Problem besteht darin, dass bei stark unterschiedlichen Zahlen *u* und *v* sehr viele Subtraktions-Operationen erforderlich werden. In der meist benutzten Variante des Euklidischen Verfahrens wird dieses Problem vermieden, indem an Stelle der Subtraktion die Modulo-Operation zum Einsatz kommt, basierend auf dem folgendem Satz der mathematischen Zahlentheorie:

> Für zwei natürliche Zahlen *u* und *v* (mit $u > v$) ist der ggT gleich dem ggT von *u* und $u \,\%\, v$ (*u* modulo *v*).

Begründung (analog zu Abschnitt 1.1.3): Für natürliche Zahlen *u* und *v* mit $u > v$ gilt:

x ist gemeinsamer Teiler von *u* und *v*

$\Leftrightarrow$

x ist gemeinsamer Teiler von *u* und $u \,\%\, v$

Der ggT-Algorithmus per Modulo-Operation läuft für zwei natürliche Zahlen *u* und *v* ($u \geq v > 0$) folgendermaßen ab:

> Es wird geprüft, ob *u* durch *v* teilbar ist.
> Trifft dies zu, ist *v* der ggT.
> Anderenfalls ersetzt man:
>
> > *u* durch *v*
> > *v* durch $u \,\%\, v$
>
> Das Verfahren startet neu mit den kleineren Zahlen.

Die Voraussetzung $u \geq v$ ist nicht wesentlich, weil beim Start mit $u < v$ der erste Algorithmusschritt die beiden Zahlen vertauscht.

Um den Zeitaufwand für beide Varianten zu messen, eignet sich die statische Methode **currentTimeMillis()** aus der Klasse **System** im Paket **java.lang** (siehe API-Dokumentation). Sie liefert als **long**-Wert die aktuelle Zeit in Millisekunden (seit dem 1. Januar 1970).

Für die Beispielwerte $u = 999000999$ und $v = 36$ liefern beide Euklid-Varianten sehr verschiedene Laufzeiten (CPU: Intel Core i3 mit 3,2 GHz):

```
ggT-Bestimmung mit Euklid (Differenz)

Erste Zahl:   999000999

Zweite Zahl:  36

ggT:          9

Benoetigte Zeit: 52 Millisek.
```

```
ggT-Bestimmung mit Euklid (Modulo)

Erste Zahl:   999000999

Zweite Zahl:  36

ggT:          9

Benoetigte Zeit: 0 Millisek.
```

9) Wer kann ein Programm erstellen, das zur Berechnung der Summe der natürlichen Zahlen von 1 bis (1 Billion + 1)

$$\sum_{i=1}^{1000000000001} i \quad = 1 + 2 + 3 + \ldots + 1000000000001$$

weniger als 1 Millisekunde benötigt?

4 Klassen und Objekte

Softwareentwicklung in Java besteht im Wesentlichen aus der Definition von **Klassen**, die aufgrund einer vorangegangenen objektorientierten Analyse …

- als Baupläne für Objekte
- und/oder als Akteure

konzipiert werden. Wenn ein spezieller Akteur im Programm nur *einfach* benötigt wird, kann eine handelnde Klasse diese Rolle übernehmen. Sind hingegen mehrere Individuen einer Gattung erforderlich (z.B. mehrere Brüche in einem Bruchrechnungsprogramm oder mehrere Fahrzeuge in der Speditionsverwaltung), dann ist eine Klasse mit Bauplancharakter gefragt.

Für eine Klasse und/oder ihre Objekte werden Eigenschaften (Felder) und Handlungskompetenzen (Methoden) deklariert bzw. definiert. Diese werden als **Member** der Klasse bezeichnet (dt.: *Mitglieder*).

In den Methoden eines Programms werden vordefinierte (z.B. der Standardbibliothek entstammende) oder selbst erstellte Klassen zur Erledigung von Aufgaben verwendet. Meist werden dabei Objekte aus Klassen mit Bauplancharakter erzeugt und mit Aufträgen versorgt. Für ein gerade agierendes (eine Methode ausführendes) Objekt bzw. eine agierende Klasse kommen als Ansprechpartner zur Erledigung eines Auftrags in Frage:

- eine Klasse mit passenden Handlungskompetenzen, z.B.:
  ```
  Math.exp(arg)
  ```
- ein Objekt, das beim Laden einer Klasse automatisch entsteht und über eine statische (klassenbezogene) Referenzvariable ansprechbar ist, z.B.:
  ```
  System.out.println(arg);
  ```
- ein explizit im Programm erstelltes Objekt, z.B.:
  ```
  Bruch b1 = new Bruch();
     .  .  .
  b1.frage();
  ```

Mit dem „Beauftragen“ eines Objekts oder einer Klasse bzw. mit dem „Zustellen einer Botschaft“ ist nichts anderes gemeint als ein Methodenaufruf.

In der Hoffnung, dass die bisher präsentierten Eindrücke von der objektorientierten Programmierung (OOP) neugierig gemacht und nicht abgeschreckt haben, kommen wir nun zur systematischen Behandlung dieser Softwaretechnologie. Für die in Kapitel 1 speziell für größere Projekte empfohlene objektorientierte *Analyse*, z.B. mit Hilfe der Unified Modeling Language (UML), ist dabei leider keine Zeit (siehe z.B. Balzert 1999).

4.1 Überblick, historische Wurzeln, Beispiel

4.1.1 Einige Kernideen und Vorzüge der OOP

Lahres & Rayman (2009, Abschnitt 2) nennen in ihrem Buch *Praxisbuch Objektorientierung* unter Berufung auf **Alan Kay**, der den Begriff *Objektorientierte Programmierung* geprägt und die objektorientierte Programmiersprache *Smalltalk* entwickelt hat, als unverzichtbare OOP-Grundelemente:

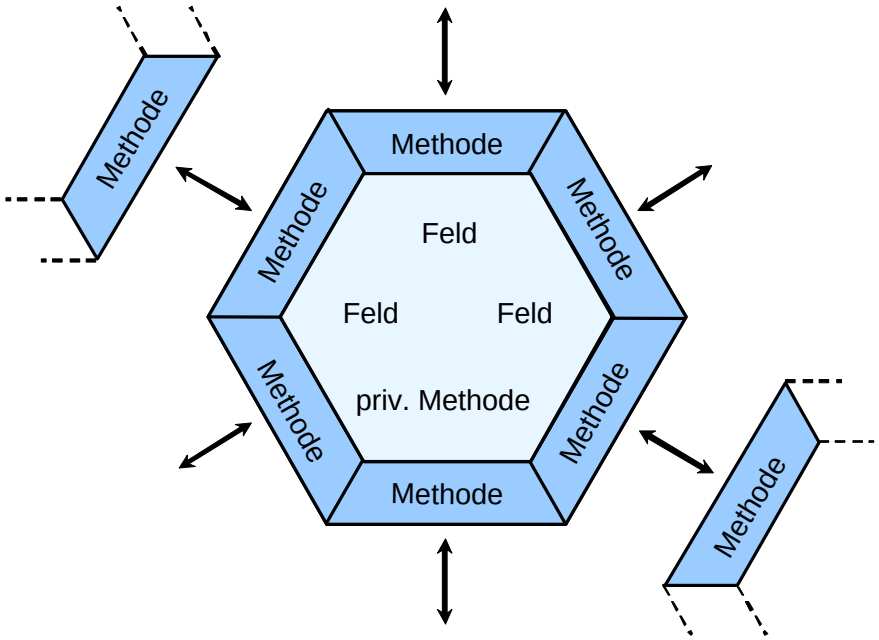
- **Datenkapselung**
  Mit diesem Thema haben wir uns bereits beschäftigt. Das vorhandene Wissen soll gleich vertieft und gefestigt werden.

- **Vererbung**
  Aus einer vorhandenen Klasse lassen sich zur Lösung neuer Aufgaben spezialisierte Klassen ableiten, die alle Member der Basisklasse erben. Hier findet eine Wiederverwendung von Software ohne lästiges und fehleranfälliges Kopieren von Quellcode statt. Beim Design der abgeleiteten Klasse kann man sich auf neuen Member beschränken.
- **Polymorphie**
  Mit dieser Technik wird die Wiederverwendbarkeit einer Klasse weiter gesteigert, weil sie auch mit jüngeren (später entwickelten) Klassen kooperieren kann.

Java bietet sehr gute Voraussetzungen zur Nutzung dieser Konstruktionsprinzipien beim Entwurf von stabilen, wartungsfreundlichen, anpassungsfähigen und auf Wiederverwendung angelegten Softwaresystemen, kann aber keinen Entwickler zur Realisation der Prinzipien zwingen.

4.1.1.1 Datenkapselung und Modularisierung

In der objektorientierten Programmierung (OOP) wird die traditionelle Trennung von Daten und Operationen aufgegeben. Hier besteht ein Programm aus **Klassen**, die durch **Felder (also Daten) und Methoden (also Operationen)** definiert sind. Eine Klasse wird in der Regel ihre Felder gegenüber anderen Klassen verbergen (**Datenkapselung**, **information hiding**) und so vor ungeschickten Zugriffen schützen. Die meisten Methoden einer Klasse sind hingegen von Außen ansprechbar und bilden ihre **Schnittstelle**. Dies kommt in der folgenden Abbildung zum Ausdruck, die Sie schon aus Kapitel 1 kennen:



Es kann aber auch *private Methoden* für den ausschließlich internen Gebrauch geben.

Öffentliche Felder einer Klasse gehören zu ihrer Schnittstelle und sollten finalisiert (siehe Abschnitt 3.3.10), also vor Veränderungen geschützt sein. Wir haben mit den statischen, öffentlichen und finalisierten Felder `System.out` und `Math.PI` entsprechende Beispiele kennen gelernt.

Klassen mit Datenkapselung realisieren besser als frühere Software-Technologien (siehe Abschnitt 4.1.2) das Prinzip der **Modularisierung**, das schon Julius Cäsar (100 v. Chr. - 44 v. Chr.) bei seiner beruflichen Tätigkeit als römischer Kaiser und Feldherr erfolgreich einsetzte (*Divide et impera!*).[1] Die Modularisierung ist ein probates, ja unverzichtbares Mittel der Software-Entwickler zur Bewältigung von Projekten mit hoher Komplexität.

[1] Deutsche Übersetzung: Teile und herrsche!

Im Sinne einer gelungenen Modularisierung sind Klassen mit hoher Komplexität (also vielfältigen Aufgaben) und auch Methoden mit hoher Komplexität zu vermeiden. Als eine Leitlinie für den Entwurf von Klassen genießt das von **Robert C. Martin**[1] erstmals formulierte **Prinzip einer einzigen Verantwortung** (engl.: ***S**ingle **R**esponsibility **P**rinciple*, SRP) (Martin 2002) bei den Vordenkern der objektorientierten Programmierung hohes Ansehen (siehe z.B. Lahres & Rayman 2009, Abschnitt 3.1). Multifunktionale Klassen tendieren zu stärkeren Abhängigkeiten von anderen Klassen, wobei die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Wiederverwendung sinkt. Ein negatives Beispiel wäre eine Klasse aus einem Personalverwaltungsprogramm, die sich sowohl um Gehaltsberechnungen als auch um die Datenbankverwaltung kümmert (Verbindung zum Datenbankserver herstellen, Fälle lesen und ablegen).

Aus der Datenkapselung und der Modularisierung ergeben sich gravierende Vorteile für die Softwareentwicklung:

- **Vermeidung von Fehlern**
  Direkte Schreibzugriffe auf die Felder (Variablen) einer Klasse bleiben den klasseneigenen Methoden vorbehalten, die vom Designer der Klasse sorgfältig entworfen wurden. Damit sollten Programmierfehler seltener werden. In unserem `Bruch`-Beispiel haben wir dafür gesorgt, dass unter keinen Umständen der Nenner eines Bruches auf Null gesetzt wird. Anwender unserer Klasse können einen Nenner einzig über die Methode `setzeNenner()` verändern, die aber den Wert Null nicht akzeptiert. Bei einer anderen Klasse kann es wichtig sein, dass für eine Gruppe von Feldern bei jeder Änderung gewissen Konsistenzbedingungen eingehalten werden.
- **Günstige Voraussetzungen für das Testen und die Fehlerbereinigung**
  Treten in einem Programm trotz Datenkapselung pathologische Variablenausprägungen auf, ist die Ursache relativ leicht aufzuklären, weil nur wenige Methoden verantwortlich sein können. Bei der Softwareentwicklung im professionellen Umfeld spielt das systematische Testen eines Programms (**Unit Testing**) eine entscheidende Rolle. Ein objektorientiertes Softwaresystem mit Datenkapselung und guter Modularisierung bietet günstige Voraussetzungen für ein möglichst umfassendes Unit Testing.
- **Produktivität durch wiederholt und bequem verwendbare Klassen**
  Selbständig agierende Klassen, die ein Problem ohne überflüssige Anhängigkeiten von anderen Programmbestandteilen lösen, sind potenziell in vielen Projekten zu gebrauchen (Wiederverwendbarkeit). Wer als Programmierer eine Klasse verwendet, braucht sich um deren inneren Aufbau nicht zu kümmern, so dass neben dem Fehlerrisiko auch der Einarbeitungsaufwand sinkt. Wir werden z.B. in GUI-Programmen einen recht kompletten Rich-Text-Editor über eine Klasse aus der Standardbibliothek integrieren, ohne wissen zu müssen, wie Text und Textauszeichnungen intern verwaltet werden.
- **Erfolgreiche Teamarbeit durch abgeschottete Verantwortungsbereiche**
  In großen Projekten können mehrere Programmierer nach der gemeinsamen Definition von Schnittstellen relativ unabhängig an verschiedenen Klassen arbeiten.

Durch die objektorientierte Programmierung werden auf vielfältige Weise **Kosten reduziert**:

- Vermeidung bzw. schnelles Aufklären von Programmierfehlern
- gute Chancen für die Wiederverwendung von Software
- gute Voraussetzungen für die Kooperation von Teams

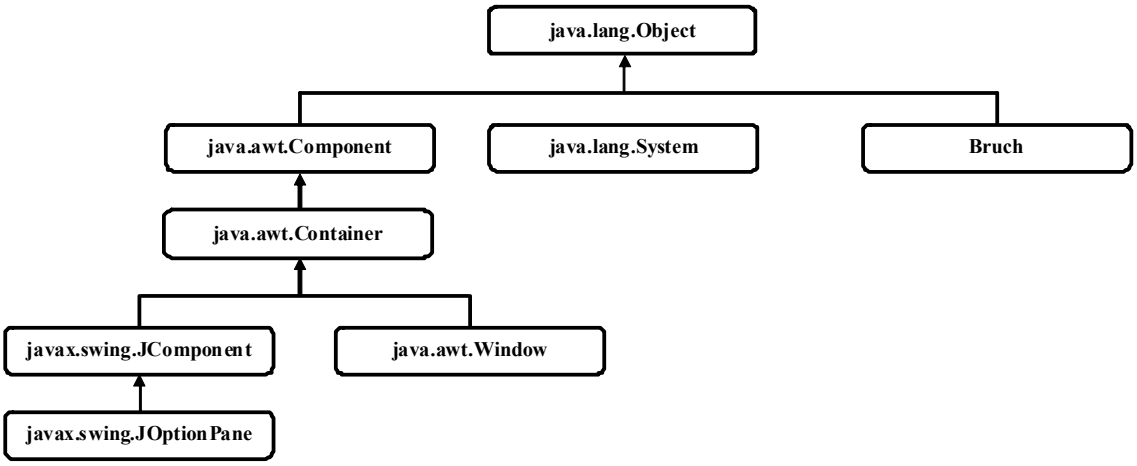
---

[1] Der als *Uncle Bob* bekannte Software-Berater und Autor erläutert auf der folgenden Webseite seine Vorstellungen von objektorientierter Software: http://www.objectmentor.com/omSolutions/oops_what.html

4.1.1.2 Vererbung

Zu den Vorzügen der „super-modularen“ Klassenkonzeption gesellt sich in der OOP ein Vererbungsverfahren, das beste Voraussetzungen für die Erweiterung von Softwaresystemen bei rationeller **Wiederverwendung** der bisherigen Code-Basis schafft: Bei der Definition einer neuen Klasse werden alle Eigenschaften (Felder) und Handlungskompetenzen (Methoden) einer *Basisklasse* übernommen. Es ist also leicht möglich, ein Softwaresystem um neue Klassen mit speziellen Leistungen zu erweitern. Durch systematische Anwendung des Vererbungsprinzips entstehen mächtige Klassenhierarchien, die in zahlreichen Projekten einsetzbar sind. Neben der direkten Nutzung vorhandener Klassen (über statische Methoden oder erzeugte Objekte) bietet die OOP mit der Vererbungstechnik eine weitere Möglichkeit zur Wiederverwendung von Software.

In Java wird das Vererbungsprinzip sogar auf die Spitze getrieben: Alle Klassen stammen von der Urahnklasse **Object** ab, die an der Spitze des hierarchisch organisierten Java-Klassensystems steht. Hier ist ein winziger Ausschnitt aus der Hierarchie zu sehen mit einigen Klassen, die uns im Manuskript schon begegnet sind:

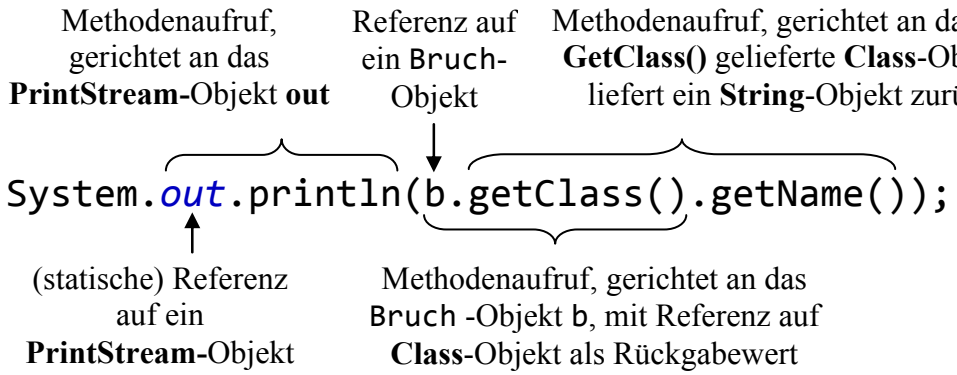


Zu jeder Klasse ist auch ihre Paketzugehörigkeit angegeben.

Wird bei einer Klassendefinition *keine* Basisklasse explizit angegeben (wie bei unserer Beispielklasse `Bruch` aus Abschnitt 1.1), erbt die neue Klasse implizit von der Urahnklasse **Object**. Weil sich im Handlungsrepertoire der Urahnklasse u.a. auch die Methode **getClass()** befindet, kann man Instanzen beliebiger Klassen nach ihrem Datentyp befragen. Im folgenden Programm (vgl. Abschnitt 1.1) wird ein `Bruch`-Objekt nach seiner Klassenzugehörigkeit befragt:

Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  Bruch b = new Bruch();` `  System.out.println(b.getClass().getName());` `  }` `}`	`Bruch`

Die Methode **getClass()** liefert als Rückgabewert ein Objekt der Klasse **Class**, welches über die Methode **getName()** aufgefordert wird, eine Zeichenfolge mit dem Namen der Klasse zu liefern. Diese Zeichenfolge (ein Objekt der Klasse **String**) bildet schließlich den Parameter des **println()**-Aufrufs und landet auf der Konsole. In unserem Kursstadium ist es angemessen, die komplexe Anweisung unter Beteiligung von fünf Klassen (**System**, **PrintStream**, `Bruch`, **Class**, **String**), drei Methoden (**println()**, **getClass()**, **getName()**), zwei expliziten Referenzvariablen (**out**, `b`) und einer impliziten Referenz (**getClass()**-Rückgabewert) genau zu erläutern:



Durch die technischen Details darf nicht der Blick auf das wesentliche Thema des aktuellen Abschnitts verstellt werden: Eine abgeleitete Klasse erbt die Eigenschaften und Handlungskompetenzen ihrer Basisklasse. Wenn diese Basisklasse ihrerseits abgeleitet ist, kommen indirekt erworbene Erbstücke hinzu. Die als Beispiel betrachtete Klasse `Bruch` stammt direkt von der Klasse **Object** ab, und ihre Objekte beherrschen dank Vererbung die Methode **getClass()**, obwohl in der `Bruch`-Klassendefinition nichts davon zu sehen ist.

4.1.1.3 Polymorphie

Obwohl in unseren bisherigen Beispielen von Polymorphie noch nichts zu sehen war, soll doch versucht werden, die Kernidee hinter diesem Begriff schon jetzt zu vermitteln, wobei die deutsche Übersetzung *Vielgestaltigkeit* keine große Klärung bringt. In diesem Abschnitt sind einige Vorgriffe auf das Kapitel 10 erforderlich. Wer sich jetzt noch nicht stark für den Begriff der Polymorphie interessiert, kann den Abschnitt ohne Risiko für den weiteren Kursverlauf auslassen.

Beim Klassendesign ist generell das **Open-Closed - Prinzip** anzustreben, das folgendermaßen zu verstehen ist[1]

- Eine Klasse soll offen sein für Erweiterungen, die zur Lösung von neuen oder geänderten Aufgaben benötigt werden.
- Dabei darf es nicht erforderlich werden, vorhandenen Code zu verändern. Er soll abgeschlossen bleiben, möglichst für immer.

Es ist klar, dass für neue Aufgaben in einer Klasse zusätzliche Felder deklariert und neue Methoden erstellt werden müssen. Es darf aber nicht passieren, dass bei der Anpassung eines Programms an neue oder geänderte Anforderungen vorhandener Quellcode modifiziert werden muss. In ungünstigen Fällen zieht jede Änderung weitere nach sich, so dass eine Kaskade von Anpassungen unter Beteiligung von vielen Klassen resultiert. Bei einem solchen Programm verursacht eine Anpassung an neue Aufgaben hohe Kosten und oft ein instabiles Ergebnis, so dass man in der Regel auf eine Anpassung verzichten wird.

Die Polymorphie hilft bei der Erstellung von änderungsoffenem und doch abgeschlossenem Code. Zur Lösung des scheinbaren Widerspruchs verwendet man beim Klassendesign als Datentypen für Felder und Methodenparameter an änderungskritischen Stellen möglichst allgemeine (in der Klassenhierarchie weit oben angesiedelte), eventuell sogar abstrakte Datentypen (siehe unten).

In objektorientierten Programmiersprachen können über eine Referenzvariable Objekte vom deklarierten Typ *und von jedem abgeleiteten* Typ angesprochen werden. Bei einem Methodenaufruf unter

---

[1] Das Open-Closed - Prinzip wird von Robert C. Martin (*Uncle Bob*) in einem Text erläutert, der über folgende Web-Adresse zu beziehen ist: http://www.objectmentor.com/resources/articles/ocp.pdf

Verwendung dieser Referenzvariablen zeigt das konkret angesprochene, eventuell zu einer abgeleiteten Klasse gehörige Objekt sein artgerechtes Verhalten.

Wird z.B. in einer Klasse zur Verwaltung von geometrischen Objekten eine Referenzvariable vom breiten Typ `Figur` deklariert und beim Aufruf der Methode `meldeInhalt()` verwendet, führt das angesprochene Objekt, das bei einem konkreten Programmeinsatz z.B. aus der abgeleiteten Klasse `Kreis` oder `Rechteck` stammt, seine spezifischen Berechnungen durch.

Die Klasse zur Verwaltung von geometrischen Objekten kann ohne Quellcodeänderungen mit beliebigen, eventuell sehr viel später definierten `Figur`-Ableitungen kooperieren. Weil in der allgemeinen Klasse `Figur` keine Inhaltberechungsmethode implementiert werden kann, verzichtet man auf eine Implementation, wobei eine *abstrakte* Klasse (siehe Abschnitt 10.7) entsteht. Eine solche Klasse ist gleichwohl als Datentyp erlaubt und spielt eine wichtige Rolle bei der Realisation von Polymorphie.

Über Polymorphie kann objektorientierte Software **anpassungs- und erweiterungsfähig** bei weitgehend fixiertem Bestands-Code, also unter Beachtung des Open-Closed - Prinzips, gestaltet werden, und die in Abschnitt 4.1.1.1 begonnene Liste mit den Vorzügen der objektorientierten Programmierung ist entsprechend zu erweitern.

4.1.1.4 Realitätsnahe Modellierung

Klassen sind nicht nur ideale Bausteine für die rationelle Konstruktion von Softwaresystemen, sondern erlauben auch eine gute Modellierung des Anwendungsbereichs. In der zentralen Projektphase der objektorientierten Analyse und Modellierung sprechen Software-Entwickler und Auftraggeber dieselbe Sprache, so dass Kommunikationsprobleme weitgehend vermieden werden.

Neben den Klassen zur Modellierung von Akteuren oder Ereignissen des realen Anwendungsbereichs sind bei einer typischen Anwendung aber auch zahlreiche Klassen beteiligt, die Akteure oder Ereignisse der virtuellen Welt des Computers repräsentieren (z.B. Bildschirmfenster, Mausereignisse).

4.1.2 Strukturierte Programmierung und OOP

In vielen klassischen Programmiersprachen (z.B. C oder Pascal) sind zur Strukturierung von Programmen zwei Techniken verfügbar, die in weiterentwickelter Form auch bei der OOP genutzt werden:

- **Unterprogramme**
  Man zerlegt ein Gesamtproblem in mehrere Teilprobleme, die jeweils in einem eigenen *Unterprogramm* gelöst werden. Wird die von einem Unterprogramm erbrachte Leistung wiederholt (an verschiedenen Stellen eines Programms) benötigt, muss jeweils nur ein Aufruf mit dem Namen des Unterprogramms und passenden Parametern eingefügt werden. Durch diese Strukturierung ergeben sich kompaktere und übersichtlichere Programme, die leichter erstellt, analysiert, korrigiert und erweitert werden können. Praktisch alle traditionellen Programmiersprachen unterstützen solche *Unterprogramme* (Subroutinen, Funktionen, Prozeduren), und meist stehen auch umfangreiche Bibliotheken mit fertigen Unterprogrammen für diverse Standardaufgaben zur Verfügung. Beim Einsatz einer Unterprogrammsammlung klassischer Art muss der Programmierer passende Daten bereitstellen, auf die dann vorgefertigte Routinen losgelassen werden. Der Programmierer hat also seine Daten *und* das Arsenal der verfügbaren Unterprogramme (aus fremden Quellen oder selbst erstellt) zu verwalten und zu koordinieren.

- **Problemadäquate Datentypen**
  Zusammengehörige Daten unter *einem* Variablennamen ansprechen zu können, vereinfacht das Programmieren erheblich. Mit dem Datentyp **struct** der Programmiersprache C oder dem analogen Datentyp **record** der Programmiersprache Pascal lassen sich problemadäquate Datentypen mit mehreren Bestandteilen konstruieren, die jeweils einen beliebigen, bereits bekannten Typ haben dürfen. So eignet sich etwa für ein Programm zur Adressenverwaltung ein neu definierter Datentyp mit Elementen für Name, Vorname, Telefonnummer etc. Alle Adressinformationen zu einer Person lassen sich dann in *einer* Variablen vom selbst definierten Typ speichern. Dies vereinfacht z.B. das Lesen, Kopieren oder Schreiben solcher Daten.

Die problemadäquaten Datentypen der älteren Programmiersprachen werden in der OOP durch Klassen ersetzt, wobei diese Datentypen nicht nur durch eine Anzahl von *Eigenschaften* (Feldern) beliebigen Typs charakterisiert sind, sondern auch *Handlungskompetenzen* (Methoden) besitzen, welche die Aufgaben der Funktionen bzw. Prozeduren der älteren Programmiersprachen übernehmen.

Im Vergleich zur strukturierten Programmierung bietet die OOP u.a. folgende Fortschritte:

- Optimierte Modularisierung mit Zugriffsschutz
  Die Daten sind sicher in Objekten gekapselt, während sie bei traditionellen Programmiersprachen entweder als globale Variablen allen Missgriffen ausgeliefert sind oder zwischen Unterprogrammen „wandern“ (Goll et al. 2000, S. 21), was bei Fehlern zu einer aufwändigen Suche entlang der Verarbeitungskette führen kann.
- Rationellere (Weiter-)Entwicklung von Software durch Vererbung und Polymorphie
- Bessere Abbildung des Anwendungsbereichs
- Mehr Bequemlichkeit für Bibliotheksbenutzer
  Jede rationelle Softwareproduktion greift in hohem Maß auf Bibliotheken mit bereits vorhandenen Lösungen zurück. Dabei sind die Klassenbibliotheken der OOP einfacher zu verwenden als klassische Funktionsbibliotheken.

4.1.3 Auf-`Bruch` zu echter Klasse

In den Beispielprogrammen der Kapitel 2 und 3 wurde mit der Klassendefinition lediglich eine in Java unausweichliche formale Anforderung an Programme erfüllt. Die in Abschnitt 1.1 vorgestellte Klasse `Bruch` realisiert hingegen wichtige Prinzipien der objektorientierten Programmierung. Diese Klasse wird nun wieder aufgegriffen und in verschiedenen Varianten bzw. Ausbaustufen als Beispiel verwendet. Auf der Klasse `Bruch` basierende Programme sollen Schüler beim Erlernen der Bruchrechnung unterstützen. Eine objektorientierte Analyse der Problemstellung hat ergeben, dass in einer elementaren Ausbaustufe des Programms lediglich eine Klasse zur Repräsentation von Brüchen benötigt wird. Später sind weitere Klassen (z.B. Aufgabe, Übungsaufgabe, Testaufgabe, Schüler, Lernepisode, Testepisode, Fehler) zu ergänzen.

Wir nehmen nun bei der `Bruch`-Klassendefinition im Vergleich zur Variante in Abschnitt 1.1 einige Verbesserungen vor:

- Als zusätzliche Eigenschaft erhält jeder Bruch ein `etikett` vom Datentyp der Klasse **String**. Damit wird eine beschreibende Zeichenfolge verwaltet, die z.B. beim Aufruf der Methode `zeige()` neben anderen Eigenschaften auf dem Bildschirm erscheint. Objekte der erweiterten `Bruch`-Klasse besitzen also auch eine Instanzvariable mit *Referenztyp* (neben den Feldern `zaehler` und `nenner` vom primitiven Typ **int**).

- Weil die `Bruch`-Klasse ihre Eigenschaften systematisch kapselt, also fremden Klassen keine direkten Zugriffe erlaubt, muss sie auch für das `etikett` zum Lesen bzw. Setzen jeweils eine Methode bereitstellen.
- In der Methode `kuerze()` wird die performante Modulo-Variante von Euklids Algorithmus zur Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers von zwei ganzen Zahlen verwendet (vgl. Übungsaufgabe auf Seite 145).

Im folgenden Quellcode der erweiterten `Bruch`-Klasse sind die unveränderten Methoden gekürzt wiedergegeben:

```
public class Bruch {
   private int   zaehler;        // wird automatisch mit 0 initialisiert
   private int   nenner = 1;     // wird manuell mit 1 initialisiert
   private String etikett = "";  // die Ref.typ-Init. auf null wird ersetzt

   public void setzeZaehler(int zpar) {zaehler = zpar;}

   public boolean setzeNenner(int n) {.  .  .}

  public void setzeEtikett(String epar) {
   if (epar.length() <= 40)
    etikett = epar;
   else
    etikett = epar.substring(0, 40);
   }

   public int gibZaehler() {return zaehler;}

   public int gibNenner() {return nenner;}

   public String gibEtikett() {return etikett;}

   public void kuerze() {
      if (zaehler != 0) {
         int rest;
         int ggt = Math.abs(zaehler);
         int divisor = Math.abs(nenner);
         do {
            rest = ggt % divisor;
            ggt = divisor;
            divisor = rest;
         } while (rest > 0);
         zaehler /= ggt;
         nenner  /= ggt;
   } else
     nenner = 1;
   }

   public void addiere(Bruch b) {.  .  .}

   public void frage() {.   .  .}

   public void zeige() {
      String luecke = "";
      int el = etikett.length();
      for (int i=1; i<=el; i++)
         luecke = luecke + " ";
      System.out.println(" " + luecke  + "    " + zaehler + "\n" +
                         " " + etikett + " -----\n" +
                         " " + luecke  + "    " + nenner + "\n");
  }
}
```

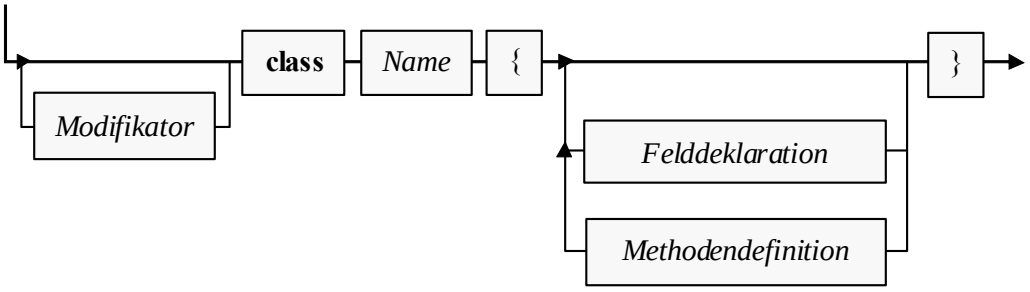
Für die bei diversen Demonstrationen in den folgenden Abschnitten verwendeten Startklassen (mit jeweils spezieller Implementierung) werden wir ab jetzt den Namen `Bruchrechnung` verwenden, z.B.:

```
class Bruchrechnung {
   public static void main(String[] args) {
      Bruch b = new Bruch();
      b.setzeZaehler(4);
      b.setzeNenner(16);
      b.kuerze();
      b.setzeEtikett("Der gekuerzte Bruch:");
      b.zeige();
   }
}
```

Im Unterschied zur Präsentation in Abschnitt 1.1 wird die `Bruch`-Klassendefinition anschließend gründlich erläutert. Dabei machen die in Abschnitt 4.2 zu behandelnden Instanzvariablen (Felder) relativ wenig Mühe, weil wir viele Details schon von den lokalen Variablen her kennen (siehe Abschnitt 3.3). Bei den Methoden gibt es mehr Neues zu lernen, so dass wir uns in Abschnitt 4.3 auf elementare Themen beschränken und später noch wichtige Ergänzungen behandeln.

Wir arbeiten weiterhin mit dem aus Abschnitt 3.1.3.1 bekannten Syntaxdiagramm zur Klassendefinition, das aus didaktischen Gründen einige Vereinfachungen enthält:

Klassendefinition



Zwei Bemerkungen zum Kopf einer Klassendefinition:

- Im Beispiel ist die Klasse `Bruch` als **public** definiert, damit sie uneingeschränkt von anderen Klassen aus beliebigen Paketen genutzt werden kann. Dazu muss die Klasse später allerdings noch in ein explizites Paket aufgenommen werden.[1] Weil bei der Startklasse `Bruchrechnung` eine solche Nutzung durch andere Klassen nicht in Frage kommt, wird hier auf den (zum Starten durch die JRE *nicht* erforderlichen) Zugriffsmodifikator **public** verzichtet. Im Zusammenhang mit den Paketen werden die Zugriffsmodifikatoren für Klassen systematisch behandelt.
- Klassennamen beginnen einer allgemein akzeptierten Java-Konvention folgend mit einem Großbuchstaben. Besteht ein Name aus mehreren Wörtern (z.B. **BigDecimal**), schreibt man der besseren Lesbarkeit wegen die Anfangsbuchstaben aller Wörter groß (*Pascal Casing*).[2]

Hinsichtlich der **Dateiverwaltung** ist zu beachten:

---

[1] Noch gehört die Klasse `Bruch` zum Standardpaket, und dessen Klassen sind in anderen Paketen generell (auch bei Zugriffsstufe **public**) **nicht** verfügbar.

[2] Bei einer startfähigen Klasse ist ein komplizierter Name zu vermeiden, wenn dieser vom Benutzer beim Programmstart eingetippt werden muss (mit korrekt eingehaltener Groß-/Kleinschreibung!).

- Die `Bruch`-Klassendefinition muss in einer Datei namens **Bruch.java** gespeichert werden, weil die Klasse als **public** definiert ist.
- Auch für den Quellcode der Startklasse `Bruchrechnung`, die nicht als **public** definiert ist, sollte analog eine Datei namens **Bruchrechnung.java** verwendet werden.
- Dateien mit Java-Quellcode benötigen auf jeden Fall die Namenserweiterung **.java**.

4.2 Instanzvariablen

Die Instanzvariablen (bzw. -felder) einer Klasse besitzen viele Gemeinsamkeiten mit den *lokalen* Variablen, die wir im Kapitel 3 über elementare Sprachelemente ausführlich behandelt haben, doch gibt es auch wichtige Unterschiede, die im Mittelpunkt des aktuellen Abschnitts stehen. Unsere Klasse `Bruch` besitzt nach der Erweiterung um ein beschreibendes Etikett folgende Instanzvariablen:

- `zaehler` (Datentyp **int**)
- `nenner` (Datentyp **int**)
- `etikett` (Datentyp **String**)

Zu den beiden Feldern `zaehler` und `nenner` vom primitiven Datentyp **int** ist das Feld `etikett` mit dem Referenzdatentyp **String** dazugekommen. Jedes nach dem `Bruch`-Bauplan geschaffene Objekt erhält seine *eigene* Ausstattung mit diesen Variablen.

4.2.1 Gültigkeitsbereich, Existenz und Ablage im Hauptspeicher

Von den lokalen Variablen unterscheiden sich die Instanzvariablen (Felder) einer Klasse vor allem bei der *Zuordnung* (vgl. Abschnitt 3.3.4):

- lokale Variablen gehören zu einer *Methode*
- Instanzvariablen gehören zu einem *Objekt*

Daraus ergeben sich gravierende Unterschiede in Bezug auf den Gültigkeitsbereich (synonym: Sichtbarkeitsbereich), die Lebensdauer und die Ablage im Hauptspeicher:

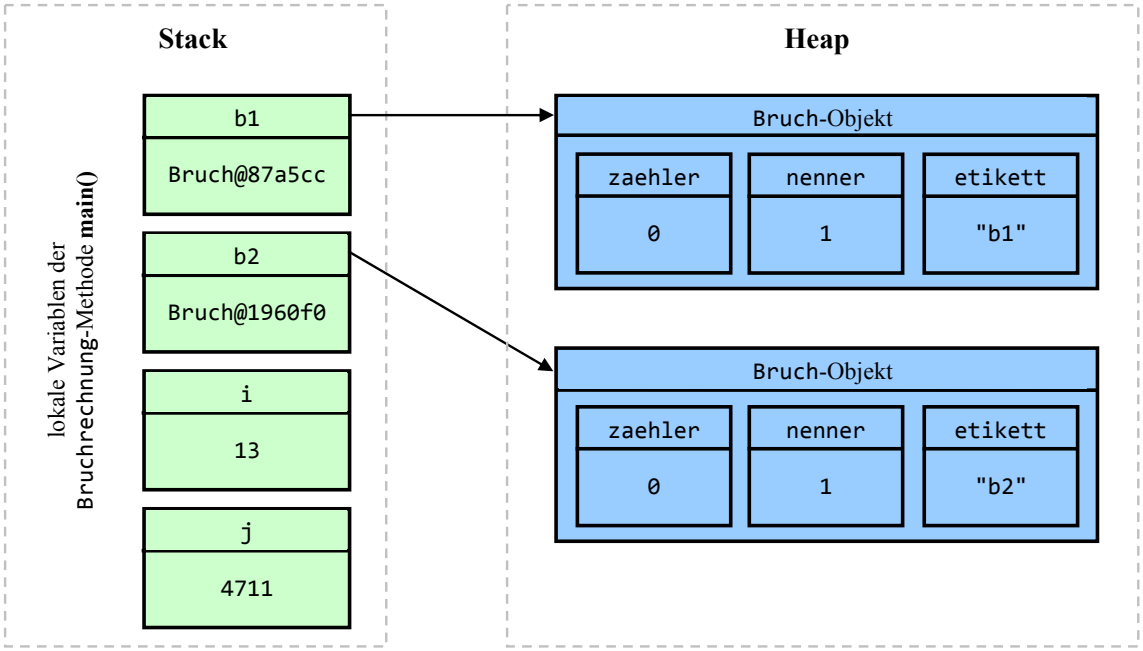
	lokale Variable	**Instanzvariable**
Gültigkeit, **Sichtbarkeit**	Eine lokale Variable ist nur in ihrer eigenen Methode gültig (sichtbar). Nach der Deklarationsanweisung kann sie in den restlichen Anweisungen des lokalsten Blocks angesprochen werden. Ein eingeschachtelter Block gehört zum Gültigkeitsbereich des umgebenden Blocks.	Die Instanzvariablen eines existenten Objekts sind in einer Methode sichtbar, wenn ... • der Zugriff erlaubt • und eine Referenz zum Objekt vorhanden ist. Instanzvariablen werden in klasseneigenen Instanzmethoden durch gleichnamige lokale Variablen überdeckt, können jedoch über das vorgeschaltete Schlüsselwort **this** weiter angesprochen werden (siehe Abschnitt 4.2.4).

	lokale Variable	Instanzvariable
Lebensdauer	Sie existiert nur bei Ausführung der zugehörigen Methode.	Für jedes neue Objekt wird ein Satz mit allen Instanzvariablen seiner Klasse erzeugt. Die Instanzvariablen existieren bis zum Ableben des Objekts. Ein Objekt wird zur Entsorgung freigegeben, sobald keine Referenz auf das Objekt mehr vorhanden ist.
Ablage im Speicher	Sie wird auf dem so genannten **Stack** (deutsch: *Stapel*) abgelegt. Innerhalb des programmeigenen Speichers dient dieses Segment zur Verwaltung von Methodenaufrufen.	Die Objekte landen mit ihren Instanzvariablen in einem Bereich des programmeigenen Speichers, der als **Heap** (deutsch: *Haufen*) bezeichnet wird.

Während die folgende **main()**-Methode

```
class Bruchrechnung {
 public static void main(String[] args) {
  Bruch b1 = new Bruch(), b2 = new Bruch();
  int i = 13, j = 4711;
  b1.setzeEtikett("b1");
  b2.setzeEtikett("b2");
  ...
 }
}
```

ausgeführt wird, befinden sich auf dem Stack die lokalen Variablen `b1`, `b2`, `i` und `j`. Die beiden `Bruch`-Referenzvariablen (`b1`, `b2`) zeigen jeweils auf ein `Bruch`-Objekt auf dem Heap, das einen kompletten Satz der `Bruch`-Instanzvariablen besitzt:[1]



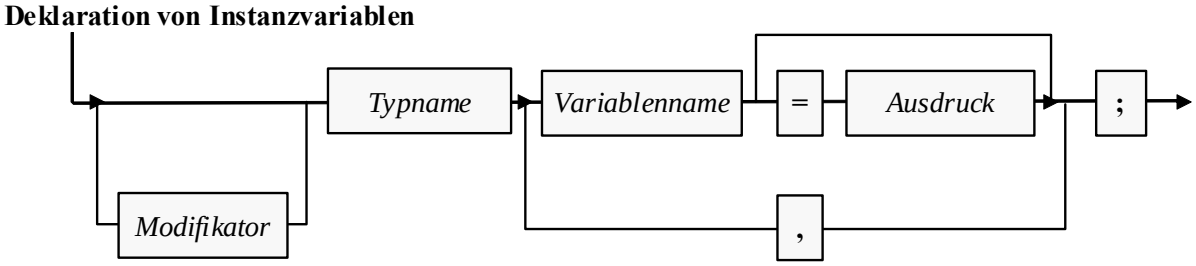
[1] Die Abbildung zu den beiden `Bruch`-Referenzvariablen (`b1`, `b2`) jeweils den Rückgabewert der (von **Object** geerbten) Methode **toString()** als Inhalt. Hinter dem @-Zeichen steht genau genommen der **hashCode()**-Wert (vgl. Abschnitt 8.4) der Klasse **Object**, der allerdings wesentlich auf der Speicheradresse basiert.

Hier wird aus didaktischen Gründen ein wenig gemogelt: Die beiden Etiketten sind selbst Objekte und liegen „neben“ den `Bruch`-Objekten auf dem Heap. In jedem `Bruch`-Objekt befindet sich eine Referenzinstanzvariable namens `etikett`, die auf das zugehörige **String**-Objekt zeigt.

4.2.2 Deklaration mit Wahl der Schutzstufe

Während lokale Variablen im Anweisungsteil einer Methode deklariert werden, erscheinen die Deklarationen der Instanzvariablen in der Klassendefinition *außerhalb* jeder Methodendefinition. Man sollte die Instanzvariablen der Übersichtlichkeit halber am Anfang der Klassendefinition deklarieren, wenngleich der Compiler auch ein späteres Erscheinen akzeptiert.

In der Regel gibt man beim Deklarieren von Instanzvariablen einen Modifikator zur Spezifikation der **Schutzstufe** an, so dass die Syntax im Vergleich zur Deklaration einer lokalen Variablen entsprechend erweitert werden muss:



Im `Bruch`-Beispiel wird im Sinne einer perfekten Datenkapselung für alle Instanzvariablen mit dem Modifikator **private** angeordnet, dass nur klasseneigenen Methoden ein direkter Zugriff erlaubt sein soll:

```
private int zaehler;
private int nenner = 1;
private String etikett = "";
```

Um fremden Klassen trotzdem einen (allerdings kontrollierten!) Zugang zu den `Bruch`-Instanzvariablen zu ermöglichen, enthält die Klassendefinition etliche Zugriffsmethoden (z.B. `setzeNenner()`, `gibNenner()`).

Gibt man bei der Deklaration einer Instanzvariablen keine Schutzstufe an, haben alle anderen Klassen im selben *Paket* (siehe unten) das direkte Zugriffsrecht, was in der Regel unerwünscht ist.

Auf den ersten Blick scheint die Datenkapselung nur beim Nenner eines Bruches relevant zu sein, doch auch bei den restlichen Instanzvariablen bringt sie (potentiell) Vorteile:

- Zugunsten einer übersichtlichen Bildschirmausgabe soll das Etikett auf 40 Zeichen beschränkt bleiben. Mit Hilfe der Zugriffsmethode `setzteEtikett()` kann dies gewährleistet werden.
- Abgeleitete (erbende) Klassen (siehe unten) können in die Zugriffsmethoden für `zaehler` und `nenner` neben der Null-Überwachung für den Nenner noch weitere Intelligenz einbauen und z.B. mit speziellen Aktionen reagieren, wenn der Zähler auf eine Primzahl gesetzt wird.

Trotz der überzeugenden Vorteile soll die Datenkapselung nicht zum Dogma erhoben werden. Sie ist überflüssig, wenn bei einem Feld Lese- und Schreibzugriffe uneingeschränkt erlaubt sein sollen und auch die eben im Beispiel angedachte Option, bestimmet Wertzuweisungen zu einem Ereignis zu machen, nicht von Interesse ist. Um allen Klassen den Direktzugriff auf eine Instanzvariable zu erlauben, wird in deren Deklaration der Modifikator **public** angegeben, z.B.:

```
public int zaehler;
```

Im Zusammenhang mit den Paketen (siehe Kapitel 9) werden wir uns noch ausführlich mit dem Thema *Zugriffsschutz* beschäftigen. Die wichtigsten Regeln sind Ihnen aber vermutlich mittlerweile schon ziemlich vertraut:

- Per Voreinstellung ist der Zugriff allen Klassen im selben Paket erlaubt.
- Mit einem Modifikator lassen sich alternative Schutzstufen wählen, z.B.:
  - **private**
    Alle fremden Klassen werden ausgeschlossen.
  - **public**
    Alle Klassen dürfen zugreifen.

In Bezug auf die Namenskonventionen gibt es keine Unterschiede zwischen den Instanzvariablen und den lokalen Variablen (vgl. Abschnitt 3.3). Insbesondere sollten folgende Regeln eingehalten werden:

- Variablennamen beginnen mit einem Kleinbuchstaben.
- Besteht ein Name aus mehreren Wörtern (z.B. `numberOfObjects`), schreibt man ab dem zweiten Wort die Anfangsbuchstaben groß (*Camel Casing*)

4.2.3 Initialisierung

Während bei lokalen Variablen auf jeden Fall der Programmierer für eine Initialisierung sorgen muss, erhalten die Instanzvariablen eines neuen Objekts automatisch folgende Startwerte, falls der Programmierer nicht eingreift:

Datentyp	Initialisierung
byte, **short**, **int**, **long**	0
float, **double**	0.0
char	0 (Unicode-Zeichennummer)
boolean	**false**
Referenztyp	**null**

Im `Bruch`-Beispiel wird nur die automatische `zaehler`-Initialisierung unverändert übernommen:

- Beim `nenner` eines Bruches wäre die Initialisierung auf Null bedenklich, weshalb eine explizite Initialisierung auf den Wert Eins vorgenommen wird.
- Wie noch näher zu erläutern sein wird, ist **String** in Java *kein* primitiver Datentyp, sondern eine Klasse. Variablen von diesem Typ können einen Verweis auf ein Objekt aus dieser Klasse aufnehmen. Solange kein zugeordnetes Objekt existiert, hat eine **String**-Instanzvariable den Wert **null**, zeigt also auf nichts. Weil der `etikett`-Wert **null** z.B. beim Aufruf der `Bruch`-Methode `zeige()` einen Laufzeitfehler (**NullPointerException**) zu Folge hätte, wird ein **String**-Objekt mit einer leeren Zeichenfolge erstellt und zur `etikett`-Initialisierung verwendet. Das Erzeugen des **String**-Objekts erfolgt *implizit* (ohne **new**-Operator, siehe unten), indem der **String**-Variablen `etikett` ein Zeichenfolgen-Literal zugewiesen wird.

4.2.4 Zugriff in klasseneigenen und fremden Methoden

In den Instanzmethoden einer Klasse können die Instanzvariablen des *aktuellen* (die Methode ausführenden) Objekts direkt über ihren Namen angesprochen werden, was z.B. in der `Bruch`-Methode `zeige()` zu beobachten ist:

```
System.out.println(" " + luecke  + "   " + zaehler + "\n" +
                   " " + etikett + " -----\n" +
                   " " + luecke  + "   " + nenner + "\n");
```

Im Beispiel zeigt sich syntaktisch kein Unterschied zwischen dem Zugriff auf die Instanzvariablen (`zaehler`, `nenner`, `etikett`) und dem Zugriff auf die lokale Variable `luecke`.

Gelegentlich kann es (z.B. der Klarheit halber) sinnvoll sein, den Instanzvariablennamen über das Schlüsselwort **this** (vgl. Abschnitt 4.4.5.2) eine Referenz auf das aktuell handelnde Objekt voranzustellen, z.B.:

```
System.out.println(" " + luecke  + "   " + this.zaehler + "\n" +
        " " + this.etikett + " -----\n" +
        " " + luecke  + "   " + this.nenner + "\n");
```

Beim Zugriff auf eine Instanzvariablen eines *anderen* Objekts *derselben* Klasse muss dem Variablennamen eine Referenz auf das Objekt vorangestellt werden, wobei die Bezeichner durch den **Punktoperator** zu trennen sind. In der folgenden Anweisung aus der `Bruch`-Methode `addiere()` greift das handelnde Objekt lesend auf die Instanzvariablen eines anderen `Bruch`-Objekts zu, das über die Referenzvariable `b` angesprochen wird:

```
zaehler = zaehler*b.nenner + b.zaehler*nenner;
```

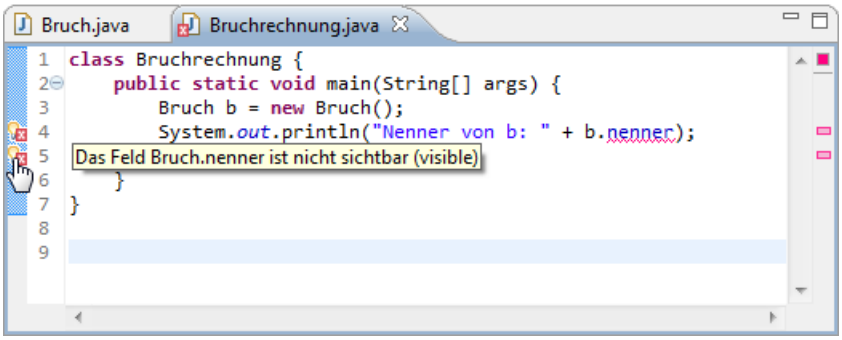
Direkte Zugriffe auf die Instanzvariablen eines Objekts in Methoden *fremder* Klassen sind zwar nicht grundsätzlich verboten, verstoßen aber gegen das Prinzip der Datenkapselung, das in der OOP von zentraler Bedeutung ist. Würden die `Bruch`-Instanzvariablen ohne den Modifikator **private** deklariert, dann könnte z.B. der Nenner eines Bruches in der **main**()-Methode der (fremden!) Klasse `Bruchrechnung`, die sich im selben Paket (siehe unten) befindet, direkt angesprochen werden, z.B.:

```
class Bruchrechnung {
 public static void main(String[] args) {
  Bruch b = new Bruch();
     System.out.println("Nenner von b: " + b.nenner);
     b.nenner = 0;
 }
}
```

In der von uns tatsächlich realisierten `Bruch`-Definition werden solche Zu- bzw. Fehlgriffe jedoch verhindert. Der JDK-Compiler meldet:

```
Bruchrechnung.java:4: error: nenner has private access in Bruch
                System.out.println("Nenner von b: " + b.nenner);
                                                        ^
Bruchrechnung.java:5: error: nenner has private access in Bruch
                b.nenner = 0;
                 ^
2 errors
```

Unsere Entwicklungsumgebung Eclipse signalisiert die Problemstellen sehr deutlich im Quellcode-Editor:



Besteht man trotzdem auf einem Übersetzungsversuch, resultiert die Fehlermeldung:

```
Exception in thread "main" java.lang.Error: Unaufgelöste Kompilierungsprobleme:
 Das Feld Bruch.nenner ist nicht sichtbar (visible)
 Das Feld Bruch.nenner ist nicht sichtbar (visible)

 at Bruchrechnung.main(Bruchrechnung.java:4)
```

4.2.5 Finalisierte Instanzvariablen

Neben der Schutzstufenwahl gibt es weitere Anlässe für den Einsatz von Modifikatoren in einer Felddeklaration. Mit dem Modifikator **final** können nicht nur lokale Variablen (siehe Abschnitt 3.3.10) sondern auch Instanzvariablen als *finalisiert* deklariert werden, so dass der Compiler nur eine einmalige Wertzuweisung erlaubt und eine Änderung dieses Wertes im weiteren Programmverlauf verhindert.

Während normale Felder automatisch mit der typspezifischen Null initialisiert werden (siehe Abschnitt 4.2.3), ist bei finalisierten Feldern eine *explizite* Initialisierung erforderlich, die bei der Deklaration oder in einem Konstruktor (siehe Abschnitt 4.4.3) erfolgen kann.

In unserer `Bruch`-Klasse könnten wir für eine fortlaufende Nummerierung der im Programmablauf erzeugten Objekte sorgen und in einer Instanzvariablen die individuelle Nummer aufbewahren. Bei einer finalisierten Instanzvariablen ist keine irrtümliche Wertänderung zu befürchten, so dass oft eine **public**-Deklaration wie im folgenden Beispiel sinnvoll ist:

```
public final int nummer;
```

Für die obligatorische initiale Wertzuweisung sorgt man bei einem finalisierten Feld am besten in den Konstruktoren der Klasse, weil bei jeder Objektkreation ein Konstruktor abläuft und hier eine individuelle Wertvergabe möglich ist, z.B.

```
public Bruch() {nummer = ++anzahl;}
```

Diese Konstruktoren-Definition greift dem Kursverlauf in doppelter Weise vor:

- Wir haben die Konstruktoren einer Klasse noch nicht behandelt.
- In der Anweisung dieses Konstruktors wird das statische Feld `anzahl` der Klasse `Bruch` benutzt, das erst in Abschnitt 4.5.1 in die `Bruch`-Definition eingebaut wird, um die Anzahl der bisher erzeugten Objekte festzuhalten.

Trotzdem ist sollte das Beispiel illustriert haben, wann eine finalisierte Instanzvariable in Frage kommt, und wie sie zu verwenden ist.

4.3 Instanzmethoden

In einer Bauplan-Klassendefinition werden Objekte entworfen, die eine Anzahl von Verhaltenskompetenzen (Methoden) besitzen, die von anderen Klassen oder Objekten per Methodenaufruf genutzt werden können. Objekte sind also Dienstleister, die eine Reihe von Nachrichten interpretieren und mit passendem Verhalten beantworten können.

Ihre Instanzvariablen (Eigenschaften) sind bei konsequenter Datenkapselung für Objekte (bzw. Methoden) fremder Klassen unsichtbar (*information hiding*). Um anderen Klassen trotzdem (kontrollierte) Zugriffe auf ein Feld zu ermöglichen, sind entsprechende Methoden zum Lesen bzw. Verändern erforderlich.

Beim Aufruf einer Methode ist in der Regel über so genannte **Parameter** die gewünschte Verhaltensweise festzulegen, und bei vielen Methoden wird dem Aufrufer ein **Rückgabewert** geliefert, z.B. mit der angeforderten Information.

Ziel einer typischen Klassendefinition sind kompetente, einfach und sicher einsetzbare Objekte mit hohem Wiederverwendungspotential, die oft auch noch *reale* Objekte aus dem Aufgabenbereich der Software gut repräsentieren sollen. Wenn ein anderer Programmierer z.B. ein Objekt aus unserer `Bruch`-Klasse verwendet, kann er es mit einen Aufruf der Methode `addiere()` veranlassen, einen per Parameter benannten zweiten Bruch zum eigenen Wert zu addieren, wobei das Ergebnis auch noch gleich gekürzt wird:

```
public void addiere(Bruch b) {
  zaehler = zaehler*b.nenner + b.zaehler*nenner;
  nenner = nenner*b.nenner;
  this.kuerze();
}
```

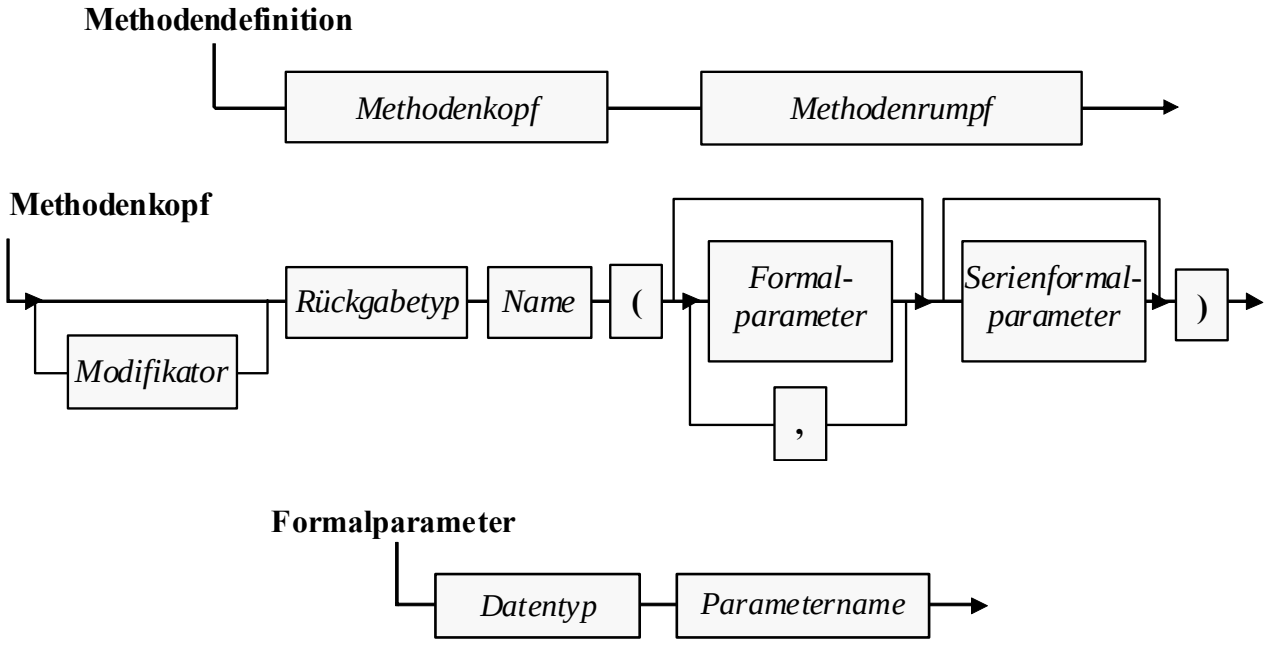
Weil diese Methode für *alle* fremden Klassen verfügbar sein soll, wird per Modifikator die Schutzstufe **public** gewählt.

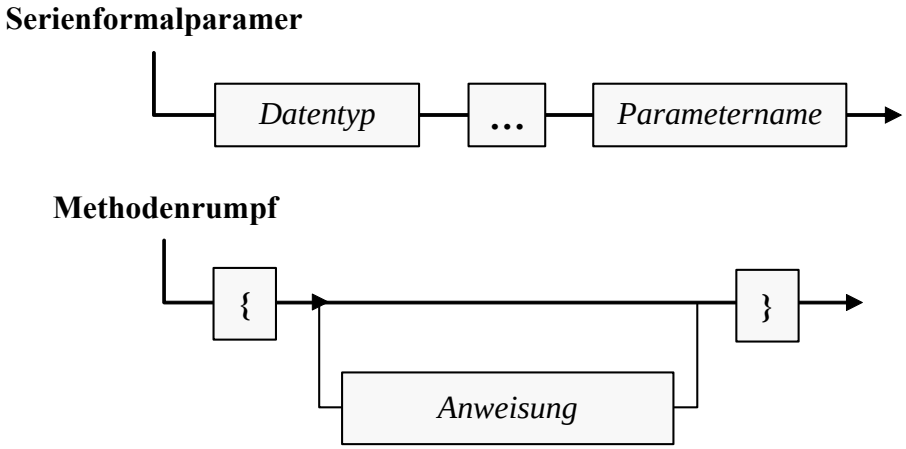
Da es vom Verlauf der Auftragserledigung nichts zu berichten gibt, liefert `addiere()` keinen Rückgabewert. Folglich ist im Kopf der Methodendefinition der Rückgabetyp **void** angegeben.

Während jedes Objekt einer Klasse seine eigenen Instanzvariablen auf dem Heap besitzt, ist der Bytecode der Instanzmethoden jeweils nur *einmal* im Speicher vorhanden und wird von allen Objekten verwendet. Er befindet sich in einem Bereich des programmeigenen Speichers, der als **Method Area** bezeichnet wird.

4.3.1 Methodendefinition

Die folgende Serie von Syntaxdiagrammen zur Methodendefinition unterscheidet sich von der Variante in Abschnitt 3.1.3.2 durch eine genauere Erklärung der (in Abschnitt 4.3.1.3 zu behandelnden) Formalparameter:





In den nächsten Abschnitten werden die (mehr oder weniger) neuen Bestandteile dieser Syntaxdiagramme erläutert. Dabei werden Methodendefinition und -aufruf keinesfalls so sequentiell und getrennt dargestellt, wie es die Abschnittsüberschriften vermuten lassen. Schließlich ist die Bedeutung mancher Details der Methodendefinition am besten am Effekt beim Aufruf zu erkennen.

Für die Namen von Methoden sind in Java dieselben Konventionen üblich wie bei den Namen von lokalen Variablen und Feldern:

- Sie beginnen mit einem Kleinbuchstaben.
- Besteht ein Name aus mehreren Wörtern (z.B. `setzeNenner()`), schreibt man ab dem zweiten Wort die Anfangsbuchstaben groß (*Camel Casing*).

4.3.1.1 Modifikatoren

Bei einer Methodendefinition kann per Modifikator u.a. der voreingestellte **Zugriffsschutz** verändert werden. Wie für Instanzvariablen gelten auch für Instanzmethoden beim Zugriffsschutz folgende Regeln:

- Per Voreinstellung ist der Zugriff allen Klassen im selben Paket (siehe unten) erlaubt.
- Mit einem Modifikator lassen sich alternative Schutzstufen wählen, z.B.:
  - **private**
    Alle fremden Klassen werden ausgeschlossen.
  - **public**
    Alle Klassen dürfen zugreifen.

In unserer Beispielklasse `Bruch` haben alle Methoden den Zugriffsmodifikator **public** erhalten. Damit die Klasse mit ihren Methoden tatsächlich universell einsetzbar ist, muss sie allerdings noch in ein explizites Paket aufgenommen werden. Noch gehört die Klasse `Bruch` zum Standardpaket, und dessen Klassen sind in anderen Paketen generell **nicht** verfügbar. Im Kapitel 9 über Pakete werden wir den Zugriffsschutz für Klassen und ihre Member ausführlich und endgültig behandeln.

Später (z.B. im Zusammenhang mit der Vererbung) werden uns noch Methoden-Modifikatoren begegnen, die anderen Zwecken als der Zugriffsregulation dienen.

4.3.1.2 Rückgabewert und return-Anweisung

Für den Informationstransfer von einer Methode an ihren Aufrufer kann neben Referenzparametern (siehe Abschnitt 4.3.1.3.2) auch ein Rückgabewert genutzt werden. Hier ist man auf einen einzigen Wert (von beliebigem Typ) beschränkt, doch lässt sich die Übergabe sehr elegant in den Programmablauf integrieren. Wir haben schon in Abschnitt 3.5.2 gelernt, dass ein Methodenaufruf ei-

nen Ausdruck darstellt und als Argument von komplexeren Ausdrücken oder von Methodenaufrufen verwendet werden darf, sofern die Methode einen Wert von passendem Typ abliefert.

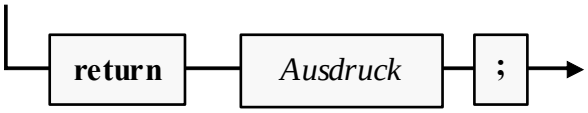
Bei der Definition einer Methode muss festgelegt werden, von welchem Datentyp ihr Rückgabewert ist. Erfolgt *keine* Rückgabe, ist der Ersatztyp **void** anzugeben.

Als Beispiel betrachten wir die `Bruch`-Methode `setzeNenner()`, die den Aufrufer durch einen Rückgabewert vom Datentyp **boolean** darüber informiert, ob sein Auftrag ausgeführt wurde (**true**) oder nicht (**false**):

```
public boolean setzeNenner(int n) {
 if (n != 0) {
  nenner = n;
  return true;
 } else
  return false;
}
```

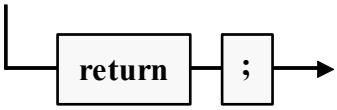
Ist der Rückgabetyp einer Methode von **void** verschieden, dann muss im Rumpf dafür gesorgt werden, dass jeder mögliche Ausführungspfad der Methode mit einer **return**-Anweisung endet, die einen Rückgabewert von passendem Typ liefert:

return-Anweisung für Methoden *mit* Rückgabewert



Bei Methoden *ohne* Rückgabewert ist die **return**-Anweisung nicht unbedingt erforderlich, kann jedoch (in der Variante *ohne* Ausdruck) dazu verwendet werden, um die Methode vorzeitig zu beenden (z.B. im Rahmen einer bedingten Anweisung):

return-Anweisung für Methoden *ohne* Rückgabewert



Soll eine Methode mehr als nur einen Wert von primitivem Datentyp zurückliefern, dann muss eine *Klasse* als Rückgabetyp benutzt werden (siehe Abschnitt 4.4.5).

4.3.1.3 Formalparameter

Methodenparameter wurden Ihnen bisher vereinfachend als Informationen über die gewünschte Arbeitsweise einer Methode vorgestellt. Tatsächlich ermöglichen Parameter aber den Informationsaustausch zwischen einem Aufrufer und einer angeforderten Methode in *beide* Richtungen.

Im Kopf der Methodendefinition werden über so genannte **Formalparameter** Daten von bestimmtem Typ spezifiziert, die der Methode beim Aufruf zur Verfügung gestellt werden müssen.

In den Anweisungen des Methodenrumpfs sind die Formalparameter wie lokale Variablen zu verwenden, die mit den beim Aufruf übergebenen Aktualparameterwerten (siehe Abschnitt 4.3.2) initialisiert wurden.

Methodeninterne Änderungen an den Inhalten dieser speziellen lokalen Variablen haben keinen Effekt auf die Außenwelt (siehe Abschnitt 4.3.1.3.1). Werden einer Methode Referenzen übergeben, kann sie jedoch im Rahmen ihrer Zugriffsrechte auf die zugehörigen Objekte einwirken (siehe Abschnitt 4.3.1.3.2) und so Informationen nach Außen transportieren.

Für jeden Formalparameter sind folgende Angaben zu machen:

- **Datentyp**
  Es sind beliebige Typen erlaubt (primitive Typen, Klassen). Man muss den Datentyp eines Formalparameters auch dann explizit angeben, wenn er mit dem Typ des linken Nachbarn übereinstimmt.
- **Name**
  Für Parameternamen gelten dieselben Regeln bzw. Konventionen wie für Variablennamen. Um Namenskonflikte zu vermeiden, hängen manche Programmierer an Parameternamen ein Suffix an, z.B. *par* oder einen Unterstrich. Weil Formalparameter im Methodenrumpf wie lokale Variablen zu behandeln sind, …
  - können Namenskonflikte mit anderen lokalen Variablen derselben Methode auftreten,
  - werden namensgleiche Instanz- bzw. Klassenvariablen überdeckt.
    Diese bleiben jedoch über ein geeignetes Präfix (z.B. **this** bei Objekten) weiter ansprechbar.

  Solche Namenskonflikte sollte man vermeiden.
- **Position**
  Die Position eines Formalparameters ist natürlich nicht gesondert anzugeben, sondern liegt durch die Methodendefinition fest. Sie wird hier als relevante Eigenschaft erwähnt, weil die beim späteren Aufruf der Methode übergebenen Aktualparameter gemäß ihrer Reihenfolge den Formalparametern zugeordnet werden.

4.3.1.3.1 Parameter mit primitivem Datentyp

Über einen Parameter mit primitivem Datentyp werden Informationen in eine Methode kopiert, um diese mit Daten zu versorgen oder ihre Arbeitsweise zu steuern. Als Beispiel betrachten wir die folgende Variante der `Bruch`-Methode `addiere()`. Das beauftragte Objekt soll den via Parameterliste als Paar von Zähler und Nenner (`zpar`, `npar`) übergebenen Bruch zu seinem eigenen Wert addieren und optional (Parameter `autokurz`) das Resultat gleich kürzen:

```
public boolean addiere(int zpar, int npar, boolean autokurz) {
 if (npar != 0) {
  zaehler = zaehler*npar + zpar*nenner;
  nenner = nenner*npar;
  if (autokurz)
   kuerze();
  return true;
 } else
  return false;
}
```

Methodeninterne Änderungen bei den über Formalparameternamen ansprechbaren lokalen Variablen bleiben ohne Effekt auf eine als Aktualparameter fungierende Variable der rufenden Programmeinheit. Im folgenden Beispiel übersteht die lokale Variable `imain` der Methode **main()** den Einsatz als Aktualparameter beim Aufruf der Instanzmethode `primParDemo()` ohne Folgen:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  void primParDemo (int ipar) {` `   System.out.println(++ipar);` `  }` `  public static void main(String[] args) {` `   int imain = 4711;` `   Prog p = new Prog();` `   p.primParDemo(imain);` `   System.out.println(imain);` `  }` `}`	4712 4711

Die Klasse `Prog` ist startfähig, besitzt also eine statische Methode namens **main()**. Dort wird ein Projekt der Klasse `Prog` erzeugt und beauftragt, die Instanzmethode `primParDemo()` auszuführen. Mit dieser (auch in den folgenden Abschnitten anzutreffenden) Konstruktion wird es vermieden, im aktuellen Abschnitt 4.3.1 über Details bei der Definition von *Instanzmethoden* zur Demonstration *statische* Methoden (außer **main()**) verwenden zu müssen. Bei den Parametern und beim Rückgabewert gibt es allerdings keine Unterschiede zwischen den Instanz- und den Klassenmethoden (siehe Abschnitt 4.5.3).

4.3.1.3.2 Parameter mit Referenztyp

Wir haben schon festgehalten, dass die Formalparameter einer Methode wie *lokale Variablen* funktionieren, die mit den Werten der Aktualparameter initialisiert worden sind. Methodeninterne Änderungen bei den Werten dieser lokalen Variablen wirken sich *nicht* auf die eventuell als Wertaktualparameter verwendeten Variablen der rufenden Methode aus. Auch bei einem Parameter mit *Referenztyp* (ab jetzt kurz als *Referenzparameter* bezeichnet) wird der Wert des Aktualparameters (eine Objektadresse) beim Methodenaufruf in eine lokale Variable kopiert. Dabei wird aber keinesfalls eine Kopie des referenzierten Objekts (auf dem Heap) erstellt, so dass die aufgerufene Methode über ihre lokale Referenzvariable auf das Originalobjekt zugreift und dort ggf. Veränderungen vornimmt.

Die Originalversion der `Bruch`-Methode `addiere()` verfügt über einen Referenzparameter mit dem Datentyp `Bruch`:

```
public void addiere(Bruch b) {
   zaehler = zaehler*b.nenner + b.zaehler*nenner;
   nenner = nenner*b.nenner;
   kuerze();
}
```

Durch einen Aufruf dieser Methode wird ein `Bruch`-Objekt beauftragt, den via Referenzparameter spezifizierten Bruch zu seinem eigenen Wert zu addieren (und das Resultat gleich zu kürzen). Zähler und Nenner des fremden `Bruch`-Objekts können per Referenzparameter und Punktoperator trotz Schutzstufe **private** direkt angesprochen werden, weil der Zugriff in einer `Bruch`-Methode stattfindet.

Dass in einer `Bruch`-Methodendefinition ein Referenzparameter vom Typ `Bruch` verwendet wird, ist übrigens weder „zirkulär“ noch ungewöhnlich. Es ist vielmehr unvermeidlich, wenn `Bruch`-Objekte miteinander kommunizieren sollen.

Beim Aufruf der Methode `addiere()` bleibt das per Referenzparameter ansprechbare Objekt unverändert. Sofern entsprechende Zugriffsrechte vorliegen, was bei Referenzparametern vom eigenen Typ stets der Fall ist, kann eine Methode das Referenzparameter-Objekt aber durchaus auch verändern. Wir erweitern unsere `Bruch`-Klasse um eine Methode namens `dupliziere()`, die ein

Objekt beauftragt, die Werte seiner Instanzvariablen auf ein anderes `Bruch`-Objekt zu übertragen, das per Referenzparameter bestimmt wird:

```
public void dupliziere(Bruch bc) {
  bc.zaehler = zaehler;
  bc.nenner = nenner;
  bc.etikett = etikett;
}
```

Hier liegt *kein* Verstoß gegen das Prinzip der Datenkapselung vor, weil der Zugriff auf die Instanzvariablen des Parameterobjekts durch eine klasseneigene Methode erfolgt, die vom Klassendesigner sorgfältig konzipiert sein sollte.

In folgendem Programm wird das `Bruch`-Objekt `b1` beauftragt, die `dupliziere()`-Methode auszuführen, wobei als Parameter eine Referenz auf das Objekt `b2` übergeben wird:

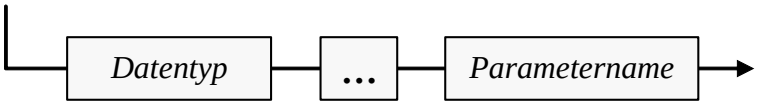
Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  Bruch b1 = new Bruch(), b2 = new Bruch();` `  b1.setzeZaehler(1); b1.setzeNenner(2);` `  b1.setzeEtikett("b1 = ");` `  b2.setzeZaehler(5); b2.setzeNenner(6);` `  b2.setzeEtikett("b2 = ");` `  b1.zeige();` `  b2.zeige();` `  b1.dupliziere(b2);` `  System.out.println("b2 nach dupliziere():\n");` `  b2.zeige();` `  }` `}`	`  1` `b1 = -----` `  2` `  5` `b2 = -----` `  6` `b2 nach dupliziere():` `  1` `b1 = -----` `  2`

Die Referenzparametertechnik eröffnet den (berechtigten) Methoden nicht nur unbegrenzte Wirkungsmöglichkeiten, sondern spart auch Zeit und Speicherplatz beim Methodenaufruf. Über einen Referenzparameter wird ein beliebig voluminöses Objekt in der aufgerufenen Methode verfügbar, ohne dass es (mit Zeit- und Speicheraufwand) kopiert werden müsste.

4.3.1.3.3 Serienparameter

Seit der Version 5.0 (bzw. 1.5) bietet Java auch Parameterlisten variabler Länge, wozu *am Ende* der Formalparameterliste eine *Serie* von Elementen desselben Typs über folgende Syntax deklariert werden kann:

Serienformalparamer



Als Beispiel betrachten wir eine weitere Variante der `Bruch`-Methode `addiere()`, mit der ein Objekt beauftragt werden kann, *mehrere* fremde Brüche zum eigenen Wert zu addieren:

```
public void addiere(Bruch ... bar) {
  for (Bruch b : bar)
    addiere(b);
}
```

Hinter dem Serienparameter steckt ein **Array**, also ein Objekt mit einer Serie von Instanzvariablen desselben Typs. Wir haben Arrays zwar noch nicht offiziell behandelt (siehe Abschnitt 5.1), aber doch schon gelegentlich verwendet, zuletzt im Zusammenhang mit einer neuen Variante der **for**-Schleife, die gemeinsam mit den Serienparametern in Java 5.0 eingeführt wurde (siehe Abschnitt 3.7.3.1). Im Beispiel wird diese Schleifenkonstruktion benutzt, um jedes Element im Array `bar` mit `Bruch`-Objekten durch Aufruf der originalen `addiere()`-Methode zum handelnden Bruch zu addieren. Mit den `Bruch`-Objekten `b1` bis `b4` sind z.B. folgende Aufrufe erlaubt:

```
b1.addiere(b2);
b1.addiere(b2, b3);
b1.addiere(b2, b3, b4);
```

Methodenintern wird der Serienparameter wie ein Array-Parameter behandelt. Dementsprechend kann man beim Methodenaufruf an Stelle einer Serie von einzelnen Aktualparametern auch einen Array mit diesen Elementen angeben. In der ersten Anweisung des folgenden Beispiels wird (dem Abschnitt 5.1.5 vorgreifend) ein Array-Objekt per Initialisierungsliste erzeugt. In der zweiten Anweisung wird dieses Objekte an die obige Serienparametervariante der `addiere()`-Methode übergeben:

```
Bruch[] ba = {b2, b3, b4};
b1.addiere(ba);
```

Eine weitere Methode mit Serienparameter kennen Sie übrigens schon aus dem Abschnitt 3.2.2 über die formatierte Ausgabe mit der **PrintStream**-Methode **printf()**, die folgenden Definitionskopf besitzt:

public PrintStream printf(String *format*, **Object ...** *args*)

Dass die Methode **printf()** eine Referenz auf das handelnde **PrintStream**-Objekt als (meist ignorierten) Rückgabewert liefert, kann uns momentan gleichgültig sein.

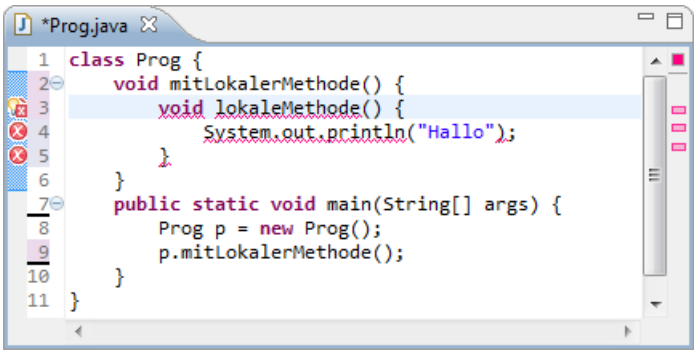
4.3.1.4 Methodenrumpf

Über die Verbundanweisung, die den Rumpf einer Methode bildet, haben Sie bereits erfahren:

- Hier werden die Formalparameter wie lokale Variablen verwendet. Ihre Besonderheit besteht darin, dass sie bei jedem Methodenaufruf über Aktualparameter vom Aufrufer initialisiert werden, so dass dieser den Ablauf der Methode beeinflussen kann.
- Die **return**-Anweisung dient zur Rückgabe eines Wertes an den Aufrufer und/oder zum Beenden der Methodenausführung.

Ansonsten können beliebige Anweisungen unter Verwendung von elementaren und objektorientierten Sprachelementen eingesetzt werden, um den Zweck einer Methode zu implementieren.

Verschachtelte Methoden*definitionen* sind verboten, z.B.:



Demgegenüber dürfen in einer Methode **lokale Klassen** definiert werden, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public void mitLokalerKlasse() {` `  class LokaleKlasse {` `  int meiLok() {` `  return 4711;` `  }` `  }` `  LokaleKlasse w = new LokaleKlasse();` `  System.out.println(w.meiLok());` `  }` `  public static void main(String[] args) {` `  Prog p = new Prog();` `  p.mitLokalerKlasse();` `  }` `}`	`4711`

Innerhalb einer lokalen Klasse sind auch Methodendefinitionen zulässig. Der Gültigkeitsbereich von lokalen Klassen ist wie bei lokalen Variablen geregelt (siehe Abschnitt 3.3.9). Programmiereinsteiger sollten auf die relativ exotische Option lokaler Klassen vorläufig verzichten.

Weil in einer Methode häufig andere Methoden aufgerufen werden, kommt es in der Regel zu mehrstufig verschachtelten Methodenaufrufen, wobei die Höhe des Stacks (Stapelspeichers) zur Verwaltung der Methodenaufrufe entsprechend wächst (siehe Abschnitt 4.3.3).

4.3.2 Methodenaufruf und Aktualparameter

Beim Aufruf einer Instanzmethode, z.B.:

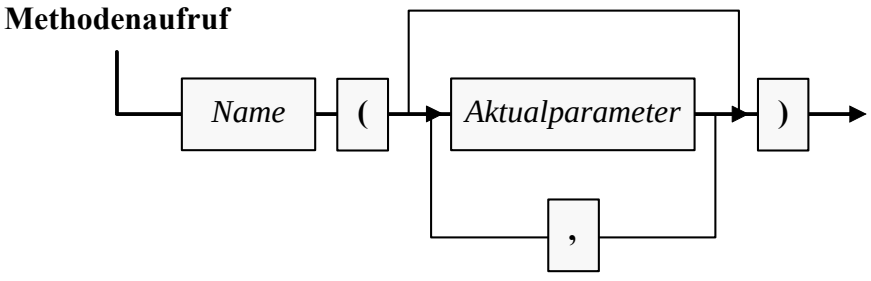
```
b1.zeige();
```

wird nach objektorientierter Denkweise eine *Botschaft* an ein Objekt geschickt:

„b1, zeige dich!“

Als Syntaxregel ist festzuhalten, dass zwischen dem Objektnamen (genauer: dem Namen der Referenzvariablen, die auf das Objekt zeigt) und dem Methodennamen der **Punktoperator** zu stehen hat.

Beim Aufruf einer Methode folgt ihrem Namen die in runde Klammern eingeschlossene Liste mit den **Aktualparametern**, wobei es sich um eine synchron zur Formalparameterliste geordnete Serie von Ausdrücken mit kompatiblen Datentypen handeln muss.



Es muss grundsätzlich eine Parameterliste angegeben werden, ggf. eine leere wie im obigen Aufruf der Methode `zeige()`.

Als Beispiel mit Aktualparametern betrachten wir einen Aufruf der in Abschnitt 4.3.1.3.1 vorgestellten Variante der `Bruch`-Methode `addiere()`:

```
b1.addiere(1, 2, true);
```

Als Aktualparameter erlaubt sind Ausdrücke mit einem Typ, der nötigenfalls erweiternd in den Typ des zugehörigen Formalparameters gewandelt werden kann.

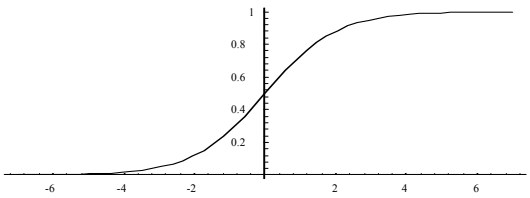
Liefert eine Methode einen Wert zurück, stellt ihr Aufruf einen **Ausdruck** dar und kann als Argument in komplexeren Ausdrücken auftreten, z.B.:

Quellcodesegment	Ausgabe
`double arg = 0.0, logist;` `logist = Math.exp(arg)/(1+Math.exp(arg));` `System.out.println(logist);`	`0.5`

Hier wird die logistische Funktion

$$f(x) := \frac{e^x}{1+e^x}$$

mit dem netten Graphen



unter Verwendung der statischen Methode **exp()** aus der Klasse **Math** im Paket **java.lang** an der Stelle 0,0 ausgewertet.

Wie Sie schon aus Abschnitt 3.7.1 wissen, wird jeder Methodenaufruf durch ein angehängtes Semikolon zur vollständigen **Anweisung**, wobei ein Rückgabewert ggf. ignoriert wird.

Soll in einer Methodenimplementierung vom aktuell handelnden Objekt eine andere Instanzmethode ausgeführt werden, so muss beim Aufruf *keine* Objektbezeichnung angegeben werden. In den verschiedenen Varianten der `Bruch`-Methode `addiere()` soll das beauftragte Objekt den via Parameterliste übergebenen Bruch (bzw. die übergebenen Brüche) zu seinem eigenen Wert addieren und das Resultat (bei der Variante aus Abschnitt 4.3.1.3.1 paramtergesteuert) gleich kürzen. Zum Kürzen kommt natürlich die entsprechende `Bruch`-Methode zum Einsatz. Weil sie vom gerade agierenden Objekt auszuführen ist, wird keine Objektbezeichnung benötigt, z.B.:

```
public void addiere(Bruch b) {
 zaehler = zaehler*b.nenner + b.zaehler*nenner;
 nenner = nenner*b.nenner;
 kuerze();
}
```

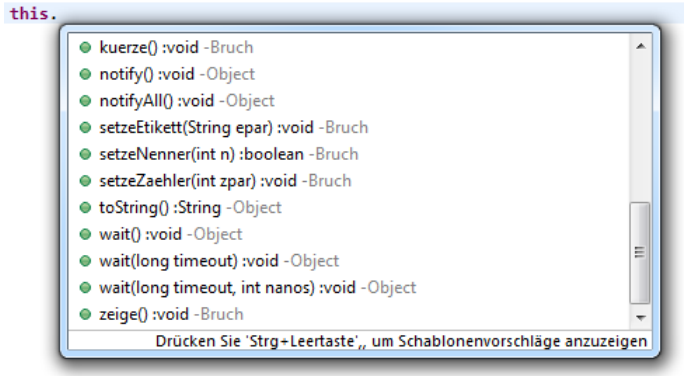
Wer auch solche Methodenaufrufe nach dem Schema

Empfänger.*Botschaft*

realisieren möchte, kann mit dem Schlüsselwort **this** das aktuelle Objekt ansprechen, z.B.:

```
this.kuerze();
```

Mit dem Schlüsselwort **this** samt angehängtem Punktoperator gibt man außerdem unserer Entwicklungsumgebung Eclipse den Anlass, eine Liste mit allen für das agierende Objekt möglichen Methodenaufrufen und Feldnamen anzuzeigen, z.B.:



So kann man lästiges Nachschlagen und Tippfehler vermeiden.

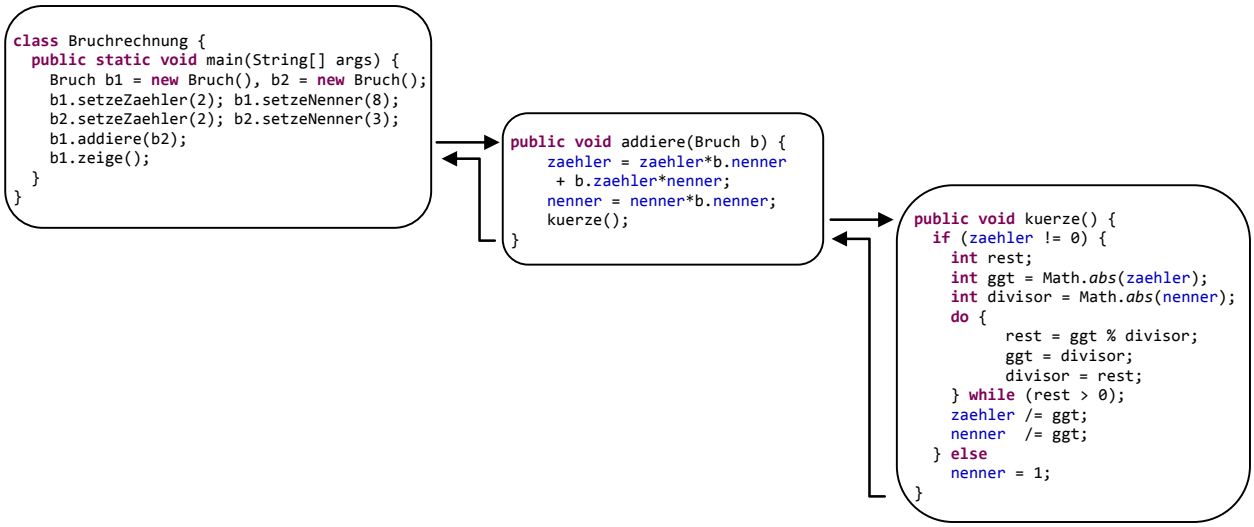
4.3.3 Debug-Einsichten zu (verschachtelten) Methodenaufrufen

Verschachtelte Methodenaufrufe stellen keine Besonderheit, sondern den selbstverständlichen Normalfall dar. Gerade deswegen ist es angemessen, das Geschehen etwas genauer zu betrachten. Anhand der folgenden Bruchrechnungsstartklasse

```
class Bruchrechnung {
 public static void main(String[] args) {
  Bruch b1 = new Bruch(), b2 = new Bruch();
  b1.setzeZaehler(2); b1.setzeNenner(8);
  b2.setzeZaehler(2); b2.setzeNenner(3);
  b1.addiere(b2);
  b1.zeige();
 }
}
```

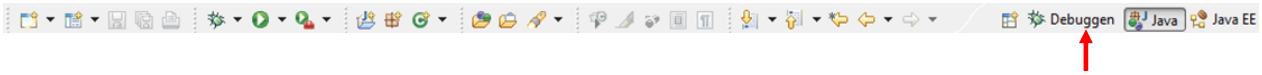
soll mit Hilfe unserer Entwicklungsumgebung Eclipse untersucht werden, was bei folgender Aufrufverschachtelung geschieht:

- Die statische Methode **main()** der Klasse `Bruchrechnung` ruft die `Bruch`-Instanzmethode `adddiere()`.
- Die `Bruch`-Instanzmethode `adddiere()` ruft die `Bruch`-Instanzmethode `kuerze()`.

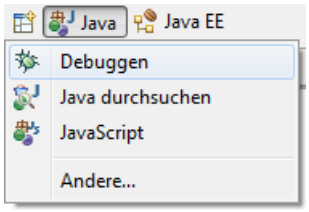


Wir verwenden dabei die zur Fehlersuche konzipierte **Debug**-Technik von Eclipse und wechseln daher von der Eclipse-Perspektive **Java** zur Perspektive **Debuggen**. Damit erhalten wir eine zur Fehlersuche optimierte Zusammenstellung von Eclipse-Werkzeugen (Sichten und Editoren). War

die Perspektive **Debuggen** bereits einmal im Einsatz, ist sie über eine Schaltfläche in der Hauptfenster-Symbolleistenzone wählbar:



Anderenfalls ist sie über den Schalter zum Öffnen einer Perspektive erreichbar:

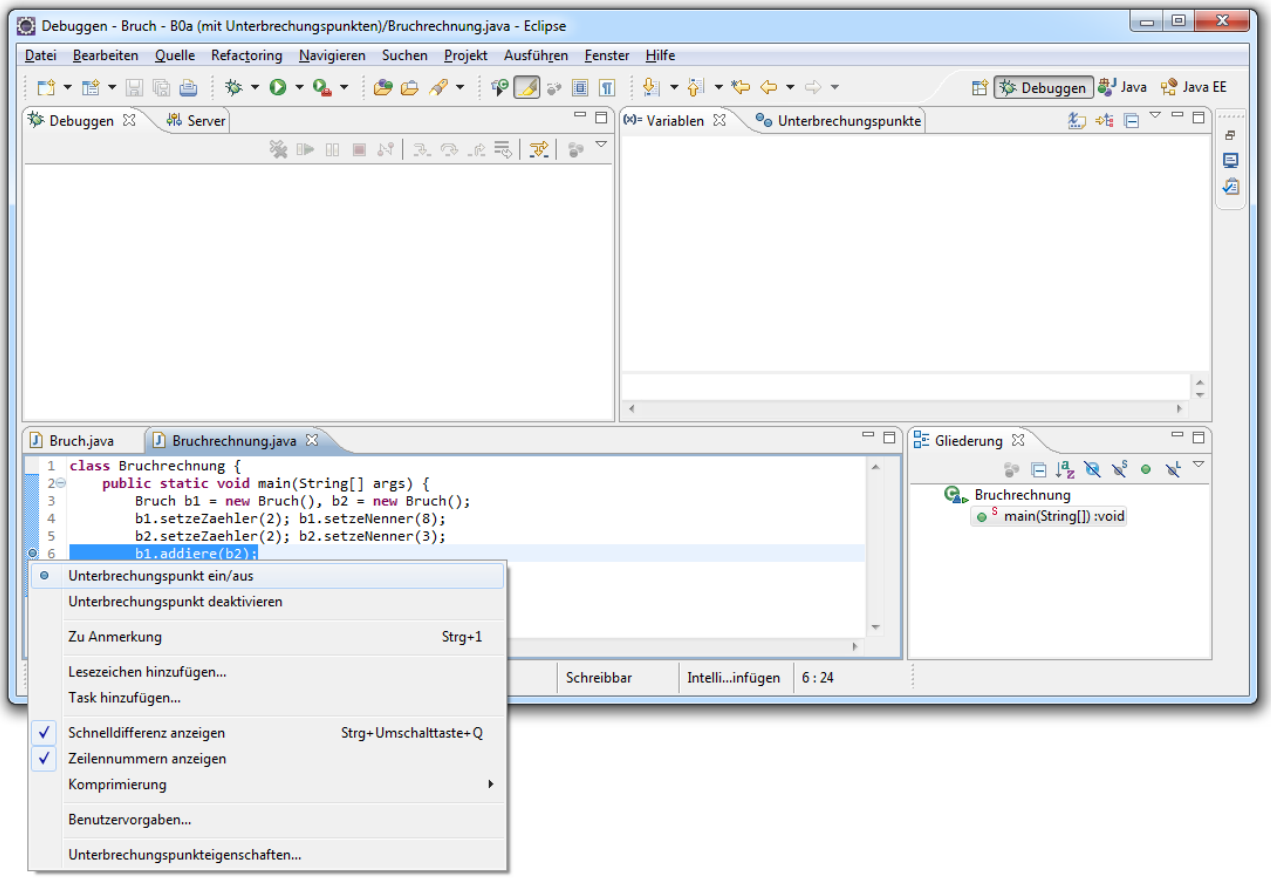


Das Programm soll an mehreren Stellen durch einen so genannten **Unterbrechungspunkt** (engl. *breakpoint*) angehalten werden, so dass wir jeweils die Lage im Hauptspeicher inspizieren können. Um einen Unterbrechungspunkt festzulegen, …

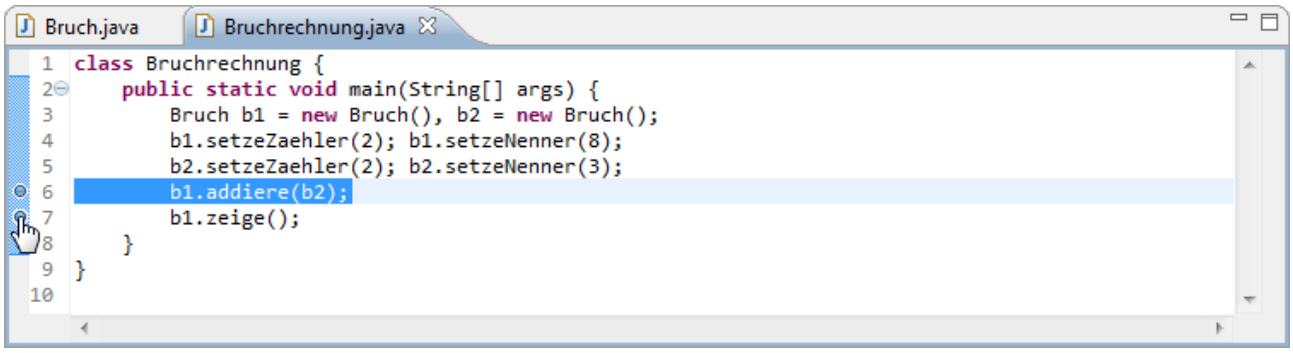
- setzt man in der Infospalte des Editors einen Rechtsklick in Höhe der betroffenen Zeile
- und wählt im Kontextmenü das Item **Unterbrechungspunkt ein/aus**

Zum Entfernen eines Unterbrechungspunkts wählt man das Kontextmenü-Item erneut.

Hier wird die **main()**-Methode vor dem Aufruf der Methode `addiere()` angehalten:



Noch bequemer klappt das Setzen bzw. Entfernen eines Unterbrechungspunkts per Mausdoppelklick in die Infospalte neben der betroffenen Anweisung, z.B.:



Setzen Sie weitere Unterbrechungspunkte …

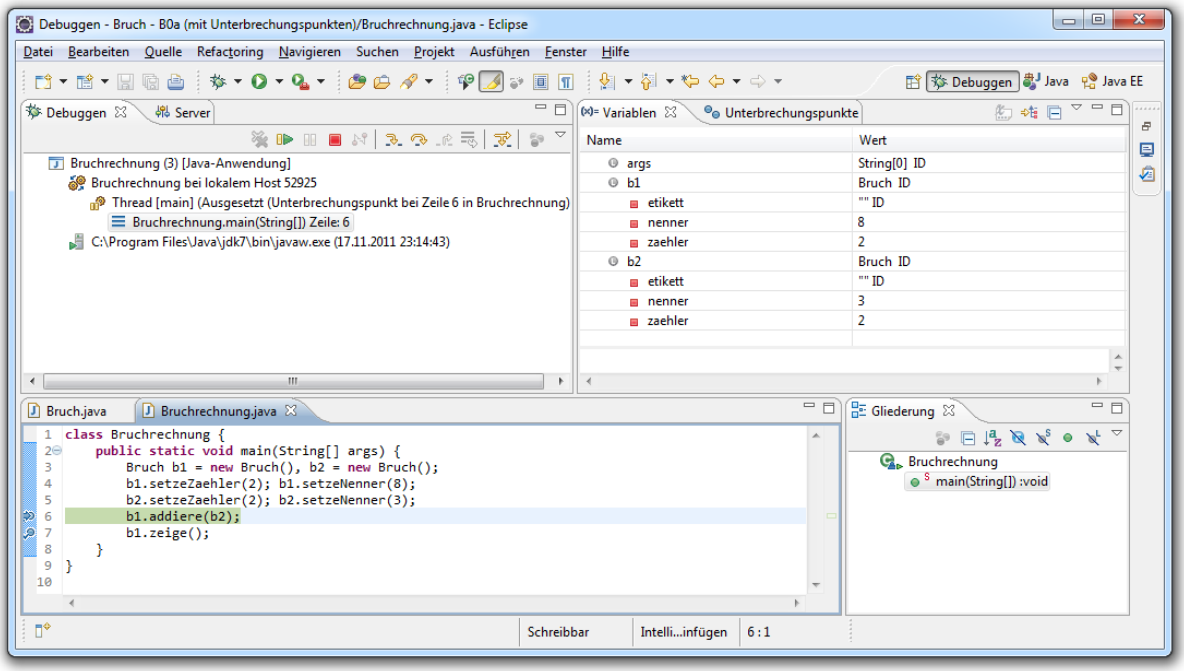
- in der Methode **main()** vor den `zeige()`-Aufruf,
- in der `Bruch`-Methode `addiere()` vor den `kuerze()`-Aufruf,
- in der `Bruch`-Methode `kuerze()` vor die Anweisung
  `ggt = divisor;`
  im Block der **do-while** - Schleife.

Starten Sie das Programm im Debug-Modus mit der Funktionstaste **F11**, über den Menübefehl

Ausführen > Debug

oder über das Steuerelement , das analog zum bekannten Startknopf funktioniert.

Das **Debuggen**-Fenster zeigt im Zweig **Thread [main]**, welche **Stack Frames** mit den Daten eines Methodenaufrufs sich derzeit auf dem Stack befinden. Bei Erreichen des ersten Unterbrechungspunkts (Anweisung „`b1.addiere();`“ in **main()**) ist nur der Stack Frame der Methode **main()** vorhanden:

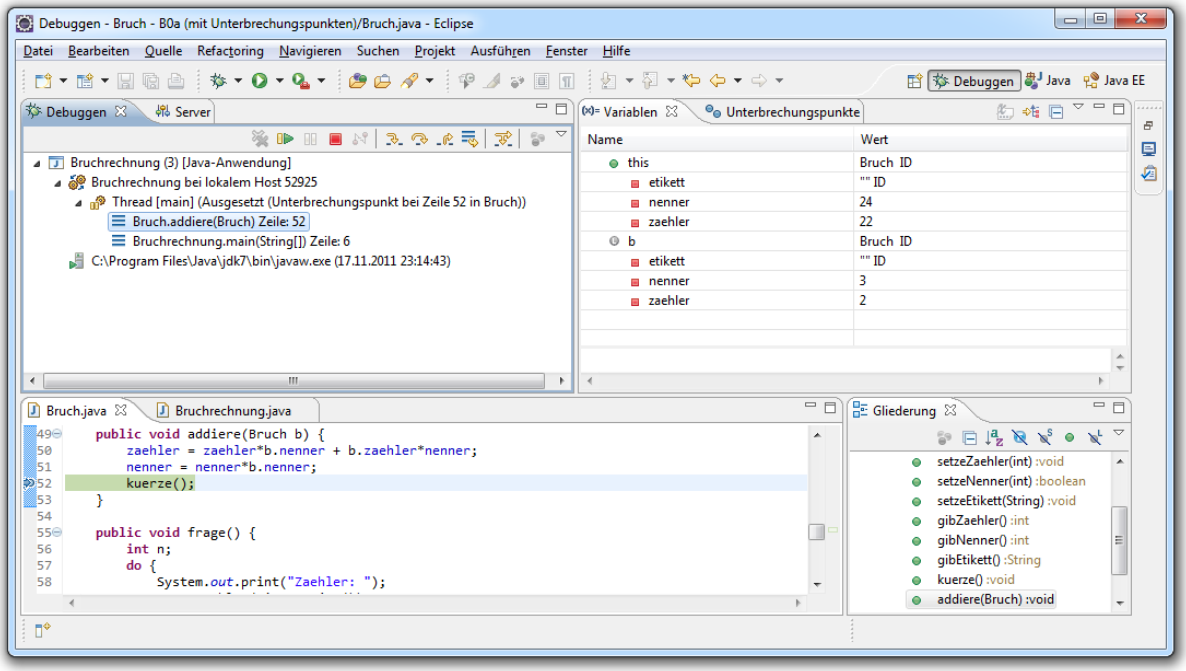


Im **Variablen**-Fenster der **Debuggen**-Perspektive sind die lokalen Variablen der Methode **main()** zu sehen:

- Parameter `args`
- die lokalen Referenzvariablen `b1` und `b2`
  Es werden auch die Instanzvariablen der referenzierten `Bruch`-Objekte angezeigt.

Der Ausgabebereich mit dem Konsolenfenster wurde aus Platzgründen per Mausklick auf das Symbol minimiert und befindet sich als Symbolleiste am rechten Rand des Eclipse-Fensters samt Schalter zum Wiederherstellen.

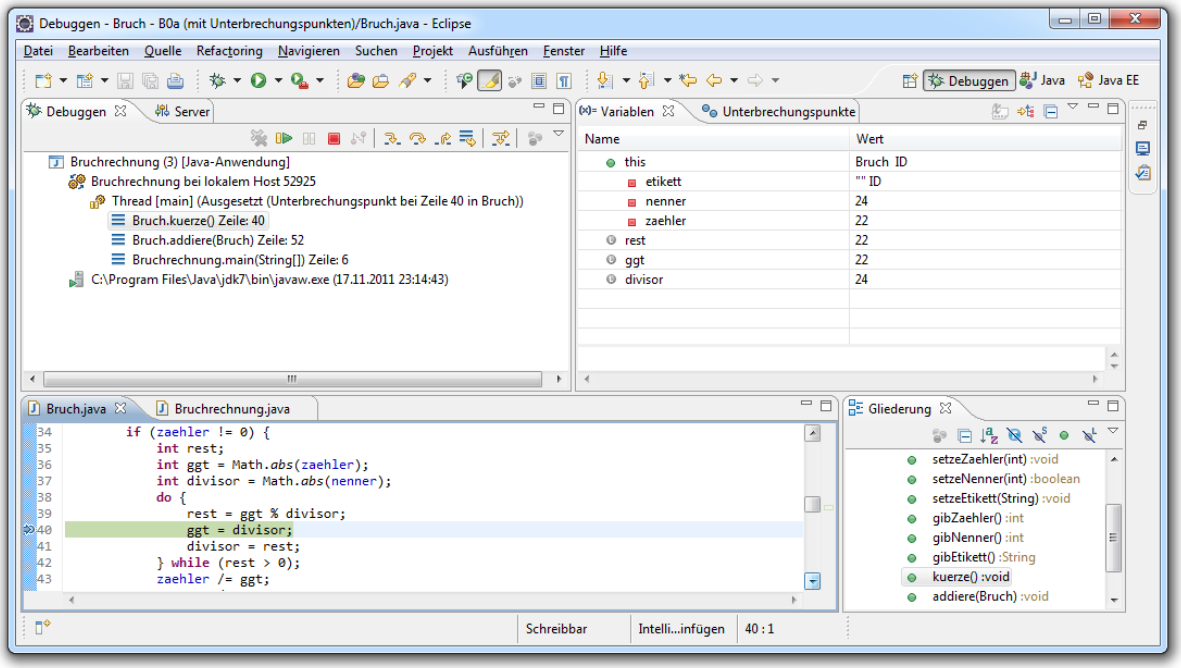
Lassen Sie das Programm mit dem Schalter oder der Taste **F8** fortsetzen. Beim Erreichen des zweiten Unterbrechungspunkts (Anweisung „`kuerze();`“ in der Methode `addiere()`) liegen die Stack Frames der Methoden `addiere()` und **main()** übereinander:



Das **Variablen**-Fenster zeigt als lokale Variablen der Methode `addiere()`:

- **this** (Referenz auf das handelnde `Bruch`-Objekt)
- Parameter `b`

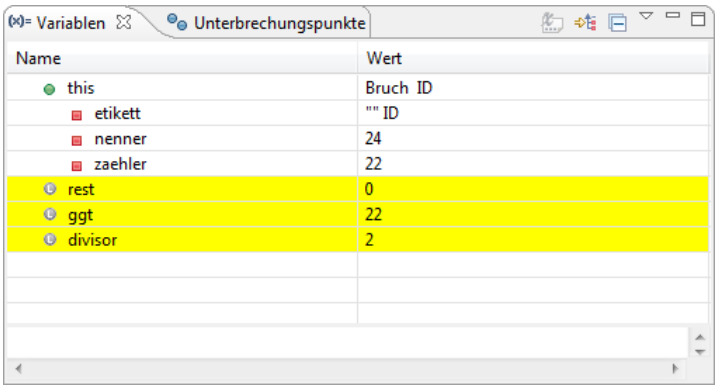
Beim Erreichen des dritten Unterbrechungspunkts (Anweisung „`ggt = divisor;`“ in der Methode `kuerze()`) liegen die Stack Frames der Methoden `kuerze()`, `addiere()` und **main()** übereinander:



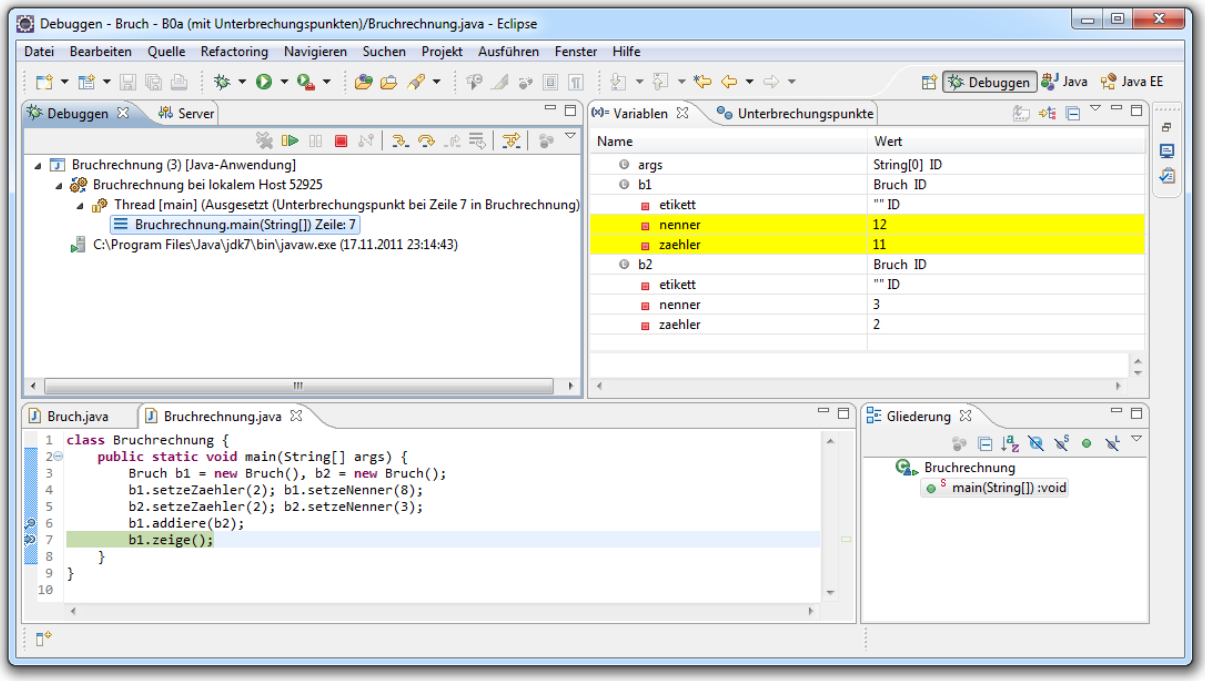
Das **Variablen**-Fenster zeigt als lokale Variablen der Methode `kuerze()`:

- **this** (Referenz auf das handelnde `Bruch`-Objekt)
- die lokalen (im Block zur **if**-Anweisung deklarierten) Variablen `rest`, `ggt` und `divisor`.

Weil sich der dritte Unterbrechungspunkt in einer **do-while** - Schleife befindet, sind mehrere Fortsetzungsbefehle bis zum Verlassen der Methode `kuerze()` erforderlich, wobei die Werte der lokalen Variablen den Verarbeitungsfortschritt erkennen lassen, z.B.:

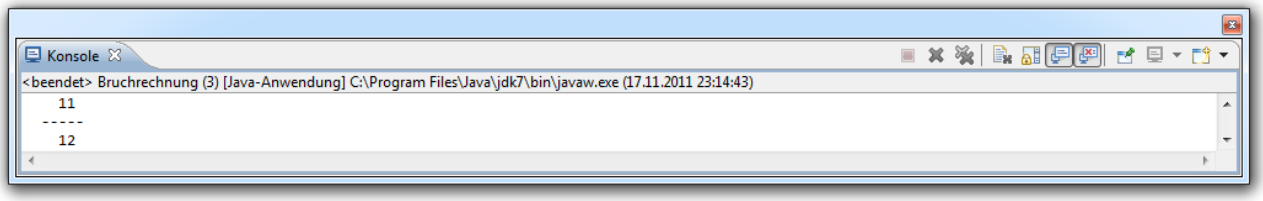


Bei Erreichen des letzten Unterbrechungspunkts (Anweisung „`b1.zeige();`“ in **main()**) ist nur noch der Stack Frame der Methode **main()** vorhanden:

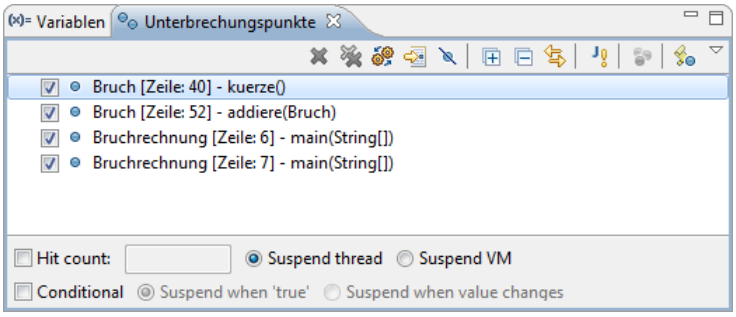


Die anderen Stack Frames sind verschwunden, und die dort ehemals vorhandenen lokalen Variablen existieren nicht mehr.

Beenden Sie das Programm durch einen letzten Fortsetzungsklick auf den Schalter , wobei das zuvor aus Platzgründen minimierte Konsolen-Fenster mit der Programmausgabe automatisch erscheint:



Im Fenster (in der Sicht) **Unterbrechungspunkte** sind alle Unterbrechungspunkte aufgelistet:



Über die Symbolleiste oder das Kontextmenü dieses Fensters kann man z.B. alle Unterbrechungspunkte löschen.

Kehren Sie per Mausklick auf den Schalter Java am rechten Rand der Hauptfenster-Symbolleiste zur Eclipse-Perspektive **Java** zurück.

Weil der verfügbare Speicher endlich ist, kann es bei der Aufrufverschachtelung und der damit verbundenen Stapelung von Stack Frames zu dem bereits genannten Laufzeitfehler vom Typ **StackOverflowError** kommen. Dies wird aber nur bei einem schlecht entworfenen bzw. fehlerhaften Algorithmus passieren.

4.3.4 Methoden überladen

Die beiden in Abschnitt 4.3.1.3 vorgestellten `addiere()`-Varianten können problemlos in der `Bruch`-Klassendefinition miteinander und mit der originalen `addiere()`-Variante koexistieren, weil die drei Methoden unterschiedliche Parameterlisten besitzen. Besitzt eine Klasse mehrere Methoden mit demselben Namen, liegt eine so genannte *Überladung* von Methoden vor.

Eine Überladung ist erlaubt, wenn sich die **Signaturen** der beteiligten Methoden unterscheiden. Zwei Methoden besitzen genau dann *dieselbe* Signatur, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:[1]

- Die Namen sind identisch.
- Die Formalparameterlisten sind gleich lang, und die Typen korrespondierender Parameter stimmen überein.

Für die Signatur ist der Rückgabetyp einer Methode ebenso irrelevant wie die Namen ihrer Formalparameter. Die fehlende Signaturrelevanz des Rückgabetyps resultiert daraus, dass der Rückgabewert einer Methode in Anweisungen oft keine Rolle spielt (ignoriert wird). Folglich muss generell unabhängig vom Rückgabetyp entscheidbar sein, welche Methode aus einer Überladungsfamilie zu verwenden ist.

Ist bei einem Methodenaufruf die angeforderte Überladung nicht eindeutig zu bestimmen, meldet der Compiler einen Fehler. Um diese Konstellation in einer Variante unsere Klasse `Bruch` zu provozieren, sind einige Verrenkungen nötig:

- Die `Bruch`-Instanzvariablen `zaehler` und `nenner` erhalten den Datentyp **long**.
- Es werden zwei neue `addiere()`-Überladungen mit wenig sinnvollen Parameterlisten definiert:

[1] Bei den später zu behandelnden *generischen* Methoden muss die Liste mit den Kriterien für die Identität von Signaturen erweitert werden.

```
    public void addiere(long zpar, int npar) {
       if (npar == 0) return;
       zaehler = zaehler*npar + zpar*nenner;
       nenner = nenner*npar;
    }

    public void addiere(int zpar, long npar) {
       if (npar == 0) return;
       zaehler = zaehler*npar + zpar*nenner;
       nenner = nenner*npar;
    }
```

Aufgrund dieser „Vorarbeiten“ enthält das folgende Programm

```
class Bruchrechnung {
 public static void main(String[] args) {
  Bruch b = new Bruch();
  b.setzeZaehler(1);
  b.setzeNenner(2);
  b.addiere(3, 4);
  b.zeige();
 }
}
```

im Aufruf

```
b.addiere(3, 4);
```

eine Mehrdeutigkeit weil keine `addiere()`-Überladung perfekt passt, und für zwei Überladungen gleich viele erweiternde Typanpassungen (vgl. Abschnitt 3.5.7) erforderlich sind. Der Eclipse-Compiler äußert sich so:

```
Exception in thread "main" java.lang.Error: Unaufgelöstes Kompilierungsproblem:
 Die Methode addiere(long, int) ist für den Typ Bruch mehrdeutig (ambiguous)
 at Bruchrechnung.main(Bruchrechnung.java:6)
```

Bei einem vernünftigen Entwurf von überladenen Methoden treten solche Mehrdeutigkeiten nur sehr selten auf.

Von einer Methode unterschiedlich parametrisierte Varianten in eine Klassendefinition aufzunehmen, lohnt sich z.B. in folgenden Situationen:

- Für verschiedene Datentypen werden analog arbeitende Methoden benötigt. So besitzt z.B. die Klasse **Math** im Paket **java.lang** folgende Methoden, um den Betrag einer Zahl zu ermitteln:

  public static double abs(double *value*)
  public static float abs(float *value*)
  public static int abs(int *value*)
  public static long abs(long *value*)

  Seit der Java – Version 5 bieten *generische Methoden* (siehe Kapitel 6) eine elegantere Lösung für die Unterstützung verschiedener Datentypen. Allerdings führt die generische Lösung bei primitiven Typen zu einem höheren Zeitaufwand, so dass hier die Überladungstechnik weiterhin sinnvoll ist.[1]

---

[1] Im folgenden Beispiel wird die generische Methode `max()` definiert, die für ein Paar von Werten eines Typs das Maximum zurückliefert (bzw. das *erste* Argument bei Größengleichheit):

```
public static <T extends Comparable<T>> T max(T x, T y) {
  return x.compareTo(y) > 0 ? x : y;
}
```

Als Datentyp der Argumente ist jede *Klasse* erlaubt, welche die Instanzmethode **compareTo()** zum Vergleich von zwei Objekten ihres Typs anbietet. Die Methode `max()` arbeitet auch mit Argumenten von primitivem Typ (z.B.

- Für eine Methode sollen unterschiedliche umfangreiche Parameterlisten angeboten werden, sodass zwischen einer bequem aufrufbaren Standardausführung (z.B. mit leerer Parameterliste) und einer individuell gestalteten Ausführungsvariante gewählt werden kann.

4.4 Objekte

Im Abschnitt 4.4 geht es darum, wie Objekte erzeugt, genutzt und im obsoleten Zustand wieder aus dem Speicher entfernt werden.

4.4.1 Referenzvariablen deklarieren

Um irgendein Objekt aus der Klasse `Bruch` ansprechen zu können, benötigen wir eine **Referenzvariable** mit dem Datentyp `Bruch`. In der folgenden Anweisung wird eine solche Referenzvariable definiert und auch gleich initialisiert:

```
Bruch b = new Bruch();
```

Um die Wirkungsweise dieser Anweisung Schritt für Schritt zu untersuchen, beginnen wir mit einer einfacheren Variante *ohne* Initialisierung:

```
Bruch b;
```

Hier wird die Referenzvariable `b` mit dem Datentyp `Bruch` deklariert, der man folgende Werte zuweisen kann:

- die Adresse eines `Bruch`-Objekts
  In der Variablen wird kein komplettes `Bruch`-Objekt mit sämtlichen Instanzvariablen abgelegt, sondern ein **Verweis** (eine **Referenz**) auf einen Ort im Heap-Bereich des programmeigenen Speichers, wo sich ein `Bruch`-Objekt befindet.
  Sollte einmal eine Ableitung der Klasse `Bruch` definiert werden, können deren Objekte ebenfalls über `Bruch`-Referenzvariablen verwaltet werden. Vom Vererbungsprinzip der objektorientierten Programmierung haben Sie schon einiges gehört, doch steht die gründliche Behandlung noch aus.
- **null**
  Dieses Referenzliteral steht für einen leeren Verweis. Eine Referenzvariable mit diesem Wert ist nicht undefiniert, sondern zeigt explizit auf nichts.

Wir nehmen nunmehr offiziell und endgültig zur Kenntnis, dass *Klassen als Datentypen* verwendet werden können und haben damit bislang in Java-Programmen folgende Datentypen zur Verfügung:

- **Primitive Typen** (**boolean**, **char**, **byte**, **double**, ...)
- **Klassentypen**
  Es kommen Klassen aus dem Java-API und selbst definierte Klassen in Frage. Ist eine Variable vom Typ einer Klasse, kann sie die Adresse eines Objekts aus dieser Klasse oder aus einer daraus abgeleiteten Klasse (siehe unten) aufnehmen.

---

int), wobei diese per Autoboxing in Objekte einer Verpackungsklasse (im Beispiel: **Integer**) gesteckt werden (siehe Abschnitt 5.3). Weil bei jedem Aufruf mit primitiven Argumenten eine Objektkreation erfolgt, ist der Zeitaufwand im Vergleich zu einer äquivalenten Methode mit primitiven Parametertypen allerdings erhöht, so dass es sich eventuell doch lohnt, eine Überladungsfamilie zu definieren. Bei einem Vergleich der obigen Methode mit der Alternative

```
public static int max(int x, int y) {
  return x > y ? x : y;
}
```

hat sich ein zeitlicher Mehraufwand von ca. 50% zu Lasten der generischen Methode herausgestellt.

4.4.2 Objekte erzeugen

Damit z.B. der folgendermaßen deklarierten Referenzvariablen `b` vom Datentyp `Bruch`

```
Bruch b;
```

ein Verweis auf ein `Bruch`-Objekt als Wert zugewiesen werden kann, muss ein solches Objekt erst erzeugt werden, was per **new**-Operator geschieht, z.B. im folgenden Ausdruck:

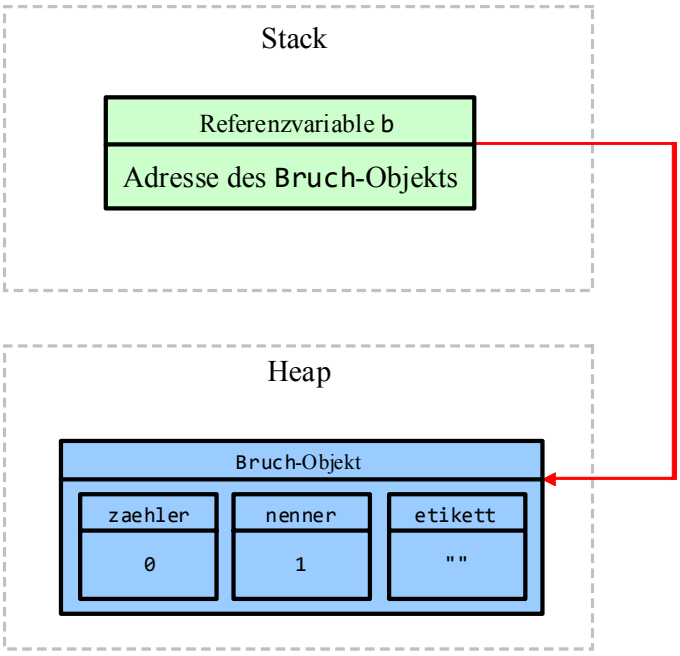
```
new Bruch()
```

Als Operanden erwartet der **new**-Operator einen Klassennamen, dem eine Parameterliste zu folgen hat, weil er hier als Name eines *Konstruktors* (siehe Abschnitt 4.4.3) aufzufassen ist. Als Wert des Ausdrucks resultiert eine Referenz (Speicheradresse), die einen Zugriff auf das neue Objekt (seine Instanzvariablen und -methoden) erlaubt.

In der **main()**-Methode der folgenden Startklasse

```
class Bruchrechnung {
  public static void main(String[] args) {
    Bruch b = new Bruch();
      . . .
  }
}
```

wird die vom **new**-Operator gelieferte Adresse mit dem Zuweisungsoperator in die lokale Referenzvariable `b` geschrieben. Es resultiert die folgende Situation im programmeigenen Hauptspeicher:[1]



Während lokale Variablen bereits beim Aufruf einer Methode (also unabhängig vom konkreten Ablauf) im **Stack**-Bereich des programmeigenen Hauptspeichers angelegt werden, entstehen Objekte (mit ihren Instanzvariablen) erst bei der Auswertung des **new**-Operators. Sie erscheinen auch nicht auf dem Stack, sondern werden im **Heap**-Bereich des programmeigenen Speichers angelegt.

In einem Programm können *mehrere* Referenzvariablen auf *dasselbe* Objekt zeigen, z.B.:

---

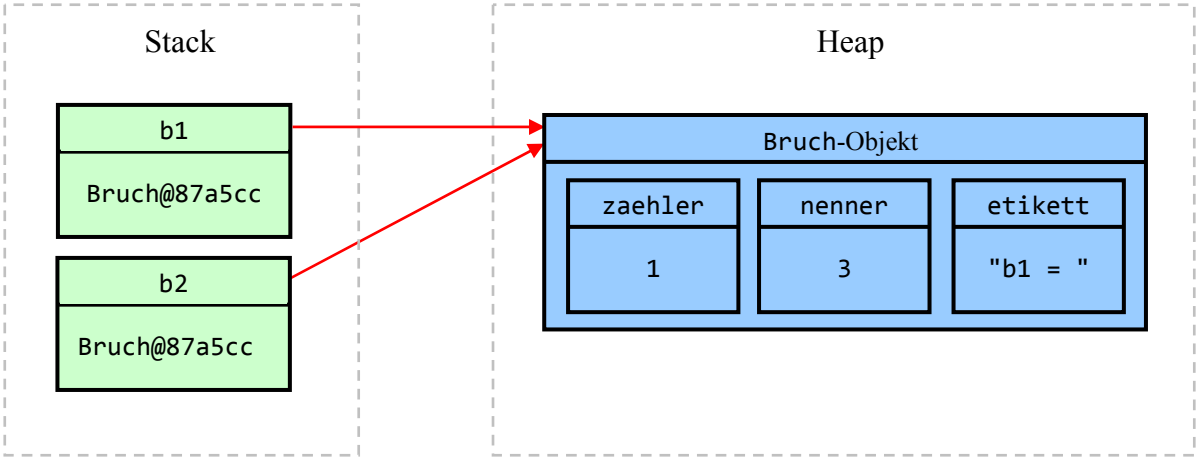
[1] Hier wird aus didaktischen Gründen ein wenig gemogelt. Die Instanzvariable `etikett` ist vom Typ der Klasse **String**, zeigt also auf ein **String**-Objekt, das „neben“ dem `Bruch`-Objekt auf dem Heap liegt. In der `Bruch`-Referenzinstanzvariablen `etikett` befindet sich die Adresse des **String**-Objekts.

Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  Bruch b1 = new Bruch();` `  b1.setzeZaehler(1);` `  b1.setzeNenner(3);` `  b1.setzeEtikett("b1 = ");` `  Bruch b2 = b1;` `  b1.setzeEtikett("b2 = ");` `  b1.zeige();` `  }` `}`	`  1` `b2 = -----` `  3`

In der Anweisung

```
Bruch b2 = b1;
```

wird die neue Referenzvariable `b2` vom Typ `Bruch` angelegt und mit dem Inhalt von `b1` (also mit der Adresse des bereits vorhandenen `Bruch`-Objekts) initialisiert. Es resultiert die folgende Situation im Speicher des Programms:



Hier sollte nur die Möglichkeit der Mehrfachreferenzierung demonstriert werden. Bei einer ernsthaften Anwendung des Prinzips befinden sich die alternativen Referenzen an verschiedenen Stellen des Programms, z.B. in Instanzvariablen verschiedener Objekte. In einem Speditionsverwaltungsprogramm kennen z.B. alle Objekte zu einzelnen Fahrzeugen die Adresse des Planerobjekts, dem sie besondere Ereignisse wie Pannen melden.

4.4.3 Objekte initialisieren über Konstruktoren

In diesem Abschnitt werden spezielle Methoden behandelt, die beim Erzeugen von neuen Objekten aufgerufen werden, um deren Instanzvariablen zu initialisieren und/oder andere Arbeiten zu verrichten (z.B. Öffnen einer Datei oder Netzwerkverbindung). Ziel der Konstruktor - Tätigkeit ist ein neues Objekt in einem validen Zustand, das für seinen Einsatz gut vorbereitet ist. Wie Sie bereits wissen, wird zum Erzeugen von Objekten der **new**-Operator verwendet. Als Operand ist ein Konstruktor der gewünschten Klasse anzugeben.

Hat der Programmierer zu einer Klasse *keinen* Konstruktor definiert, erhält sie automatisch einen **Standardkonstruktor**. Weil dieser keine Parameter besitzt, ergibt sich sein Aufruf aus dem Klassennamen durch Anhängen einer leeren Parameterliste, z.B.:

```
Bruch b2 = new Bruch();
```

Der Standardkonstruktor beschränkt sich auf den Aufruf des parameterfreien Basisklassenkonstruktors (siehe unten) und hat dieselbe Schutzstufe wie die Klasse, so dass beim Standardkonstruktor der Klasse `Bruch` die Schutzstufe **public** resultieren würde.

In der Regel ist es beim Klassendesign sinnvoll, mindestens einen Konstruktor *explizit* zu definieren, um das individuelle Initialisieren der Instanzvariablen von neuen Objekten zu ermöglichen. Dabei sind folgende Regeln zu beachten:

- Ein Konstruktor trägt denselben Namen wie die Klasse.
- Der Konstruktor liefert grundsätzlich *keinen* Rückgabewert, und es wird *kein* Typ angegeben, auch nicht der Ersatztyp **void**, mit dem wir bei gewöhnlichen Methoden den Verzicht auf einen Rückgabewert dokumentieren müssen.
- Es darf eine Parameterliste definiert werden, was zum Zweck der Initialisierung ja auch unumgänglich ist.
- Sobald man einen expliziten Konstruktor definiert, steht der Standardkonstruktor *nicht* mehr zur Verfügung.
- Ist weiterhin ein paramameterfreier Konstruktor erwünscht, so muss dieser *zusätzlich* definiert werden.
- Es sind nur Modifikatoren erlaubt, welche die Sichtbarkeit des Konstruktors (den Zugriffsschutz) regeln (z.B. **public**, **private**). Diese Regel zu beachten, fällt Ihnen leicht, weil andere Methoden - Modifikatoren (**static**, **abstract**, **final**, **synchronized**, **native**) im Manuskript noch nicht aufgetaucht sind.
- Während der Standardkonstruktor die Schutzstufe der Klasse übernimmt, gelten für selbstdefinierte Konstruktoren beim Zugriffsschutz dieselben Regeln wie bei anderen Methoden. Per Voreinstellung sind sie also in allen Klassen desselben Pakets nutzbar. Mit der deklarierten Schutzstufe **private** kann man z.B. verhindern, dass ein Konstruktor von fremden Klassen benutzt wird.
- Eine Klasse erbt *nicht* die Konstruktoren ihrer Basisklasse. Allerdings wird bei jeder Objektkreation ein Basisklassenkonstruktor aufgerufen. Wenn dies nicht explizit über das Schlüsselwort **super** als Bezeichnung eines Basisklassenkonstruktors geschieht, wird der parameterfreie Basisklassenkonstruktor automatisch aufgerufen. Mit Fragen zur Objektkreation, die im Zusammenhang mit der Vererbung stehen, werden wir uns in Abschnitt 10.3 beschäftigen.
- Es sind generell beliebig viele Konstruktoren möglich, die alle denselben Namen und jeweils eine individuelle Parameterliste haben müssen. Das Überladen von Methoden (vgl. Abschnitt 4.3.4) ist also auch bei Konstruktoren erlaubt.

Man ist geneigt, beim Erzeugen eines neuen Objekts der Klasse eine aktive Rolle zuzuschreiben. Allerdings lassen sich in einem Konstruktor die Instanz-Member des neuen Objekts genauso verwenden wie in einer Instanzmethode (siehe unten), was (wie die Abwesenheit des Modifikators **static**, vgl. Abschnitt 4.5.3) den Konstruktor in die Nähe einer Instanzmethode rückt. Laut Sprachbeschreibung zu Java 7 ist ein Konstruktor allerdings überhaupt kein Member, also weder Instanz- noch Klassenmethode (Gosling et al. 2011, S. 197). Für die Praxis der Programmierung ist es irrelevant, welchem Akteur man die Ausführung des Konstruktors zuschreibt.

Manche Klassen bieten statische Methoden zum Erzeugen eines neuen Objekts vom eigenen Typ an, so dass syntaktisch ein eindeutiger Urheber vorliegt, z.B. die Klasse **Box**:

```
Box box = Box.createHorizontalBox();
```

Im Fall der Klasse **Box** ist ein öffentlicher Konstruktor verfügbar, so dass man das Ergebnis der obigen Anweisung auch so realisieren kann:

```
Box box = new Box(BoxLayout.X_AXIS);
```

Im Anweisungsteil einer *Fabrikmethode* (engl.: *factory method*) wird natürlich ein Objektkreationsausdruck mit **new**-Operator und Konstruktor verwendet, z.B.:

```
public static Box createHorizontalBox() {
  return new Box(BoxLayout.X_AXIS);
}
```

Die folgende Variante unserer Klasse `Bruch` enthält einen expliziten Konstruktor mit Parametern zur Initialisierung aller Instanzvariablen und einen zusätzlichen, parameterfreien Konstruktor mit leerem Anweisungsteil. Beide sind aufgrund der Schutzstufe **public** allgemein verwendbar:

```
public class Bruch {
   private int zaehler;
   private int nenner = 1;
   private String etikett = "";

  public Bruch(int zpar, int npar, String epar) {
   setzeZaehler(zpar);
   setzeNenner(npar);
   setzeEtikett(epar);
  }

   public Bruch() {}

   public void setzeZaehler(int zpar) {zaehler = zpar;}

   . . .
   . . .

}
```

Weil im parametrisierten Konstruktor die „beantragten" Initialisierungswerte *nicht* direkt den Feldern zugewiesen, sondern durch die Zugriffsmethoden geschleust werden, bleibt die Datenkapselung erhalten. Wie jede beliebige andere Methode einer Klasse muss natürlich auch ein Konstruktor so entworfen sein, dass die Objekte der Klasse unter allen Umständen konsistent und funktionstüchtig sind. Im folgenden Testprogramm werden beide Konstruktoren eingesetzt:

Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  Bruch b1 = new Bruch(1, 2, "b1 = ");` `  Bruch b2 = new Bruch();` `  b1.zeige();` `  b2.zeige();` `  }` `}`	`  1` `b1 = -----` `  2` `  0` `-----` `  1`

Konstruktoren können nicht direkt aufgerufen, sondern nur per **new**-Operator genutzt werden. Als Ausnahme von dieser Regel ist es allerdings möglich, im Anweisungsblock eines Konstruktors einen anderen Konstruktor derselben Klasse über das Schlüsselwort **this** aufrufen, z.B.:

```
public Bruch() {
  this(0, 1, "unbenannt");
}
```

4.4.4 Abräumen überflüssiger Objekte durch den Garbage Collector

Wenn keine Referenz mehr auf ein Objekt zeigt, wird es vom **Garbage Collector** (Müllsammler) der virtuellen Maschine automatisch entsorgt, und der belegte Speicher wird frei gegeben.

Bei unseren bisherigen Bruchrechnungs-Beispielprogrammen entsteht jedes `Bruch`-Objekt in der **main()**-Methode der Startklasse. Beim Verlassen dieser Methode verschwindet die einzige Referenz auf das Objekt, und es ist reif für den Garbage Collector. Der muss sich aber keine Mühe geben, weil das Programm mit dem Ablauf der **main()**-Methode ohnehin endet. Es ist jedoch durchaus möglich (und normal), dass ein Objekt die erzeugende Methode überlebt, weil eine Referenz nach Außen transportiert worden ist (z.B. per Rückgabewert, vgl. Abschnitt 4.4.5).

Andererseits kann man ein Objekt zu jedem beliebigen Zeitpunkt „aufgeben“, indem man alle Referenzen entfernt. Dazu setzt man die entsprechenden Referenzvariablen entweder auf den Wert **null** oder weist ihnen eine andere Referenz zu, z.B.:

```
b1 = null;
b2 = new Bruch();
```

Vermutlich sind Programmiereinsteiger vom Garbage Collector nicht sonderlich beeindruckt. Schließlich war im Manuskript noch nie die Rede davon, dass man sich um den belegten Speicher nach Gebrauch kümmern müsse. Der in einer Methode von lokalen Variablen belegte Speicher wird bei *jeder* Programmiersprache frei gegeben, sobald die Ausführung der Methode beendet ist. Demgegenüber muss der von Objekten belegte Speicher bei älteren Programmiersprachen (z.B. C++) nach Gebrauch explizit wieder frei gegeben werden. In Anbracht der Objektmassen, die ein typisches Programm (z.B. ein Grafikeditor) benötigt, ist einiger Aufwand erforderlich, um eine Verschwendung von Speicherplatz zu verhindern. Mit seinem vollautomatischen Garbage Collector vermeidet Java lästigen Aufwand und zwei kritische Fehlerquellen:

- Weil der Programmierer keine Verpflichtung (und Berechtigung) zum Entsorgen von Objekte hat, kann es nicht zu Programmabstürzen durch Zugriff auf voreilig vernichtete Objekte kommen.
- Es entstehen keine **Speicherlöcher** (engl.: *memory leaks*) durch versäumte Speicherfreigaben bei überflüssig gewordenen Objekten.

Der Garbage Collector wird im Normalfall nur dann tätig, wenn die virtuelle Maschine Speicher benötigt und gerade nichts Wichtigeres zu tun hat, so dass der genaue Zeitpunkt für die Entsorgung eines Objekts kaum vorhersehbar ist.

Mehr müssen Programmiereinsteiger über die Arbeitsweise des Garbage Collectors nicht wissen. Wer sich trotzdem dafür interessiert, findet im Rest dieses Abschnitts noch einige Details.

Sollen die Objekte einer Klasse vor dem Entsorgen noch spezielle Aufräumaktionen durchführen, dann muss eine Methode namens **finalize()** nach folgendem Muster definiert werden, die ggf. vom Garbage Collector aufgerufen wird, z.B.:

```
protected void finalize() throws Throwable {
  super.finalize();
  System.out.println(this + " finalisiert");
}
```

In dieser Methodendefinition tauchen einige Bestandteile auf, die bald ausführlich zur Sprache kommen und hier ohne großes Grübeln hingenommen werden sollten:

- `super.finalize();`
  Bereits die Urahnklasse **Object** aus dem Paket **java.lang**, von der alle Java-Klassen abstammen, verfügt über eine **finalize()**-Methode. Überschreibt man in einer abgeleiteten Klasse die **finalize()**-Methode der Basisklasse, dann sollte am Anfang der eigenen Implementation die überschriebene Variante aufgerufen werden, wobei das Schlüsselwort **super** die Basisklasse anspricht.

- `protected`
  In der Klasse **Object** ist für **finalize()** die Schutzstufe **protected** festgelegt, und dieser Zugriffsschutz darf beim Überschreiben der Methode nicht verschärft werden. Die ohne Angabe eines Modifikators voreingestellte Schutzstufe *Paket* enthält gegenüber **protected** eine Einschränkung und ist daher verboten.
- `throws Throwable`
  Die **finalize()**-Methode der Klasse **Object** löst ggf. eine Ausnahme aus der Klasse **Throwable** aus. Diese muss von der eigenen **finalize()**-Implementierung beim Aufruf der Basisklassenvariante entweder abgefangen oder weitergereicht werden, was durch den Zusatz **throws Throwable** im Methodenkopf anzumelden ist.
- `this`
  In der aus didaktischen Gründen eingefügten Kontrollausgabe wird mit dem Schlüsselwort **this** (vgl. Abschnitt 4.4.5.2) das aktuell handelnde Objekt angesprochen. Bei der automatischen Konvertierung der Referenz in eine Zeichenfolge wird die vom Laufzeitsystem verwaltete Objektbezeichnung zu Tage fördert.

Durch einen Aufruf der statischen Methode **gc()** aus der Klasse **System** kann man den sofortigen Einsatz des Müllsammlers *vorschlagen*, z.B. vor einer Aktion mit großem Speicherbedarf:

```
System.gc();
```

Allerdings ist nicht sicher, ob der Garbage Collector tatsächlich tätig wird. Außerdem ist nicht vorhersehbar, in welcher Reihenfolge die obsoleten Objekte entfernt werden.

Im folgenden Beispielprogramm werden zwei `Bruch`-Objekte erzeugt und nach einer Ausgabe ihrer Identifikation durch Entfernen der Referenzen wieder aufgegeben:

```
class Bruchrechnung {
 public static void main(String[] args) {
  Bruch b1 = new Bruch();
  Bruch b2 = new Bruch();
  System.out.println("b1: "+b1+", b2: "+b2+"\n");
  b1 = b2 = null;
  System.gc();
 }
}
```

Dass anschließend der Garbage Collector aufgrund der expliziten Aufforderung tatsächlich tätig wird, ist an den Kontrollausgaben der `finalize()`-Methode zu erkennen. Bei der Entsorgungsreihenfolge treten beide Varianten ohne erkennbare Regel auf:

`b1: Bruch@21a722ef, b2: Bruch@63e68a2b` `Bruch@21a722ef finalisiert` `Bruch@63e68a2b finalisiert`	`b1: Bruch@60f32dde, b2: Bruch@7d487b8b` `Bruch@7d487b8b finalisiert` `Bruch@60f32dde finalisiert`

Im Normalfall müssen Sie sich um das Entsorgen überflüssiger Objekte *nicht* kümmern, also weder eine **finalize()**-Methode für eigene Klassen definieren, noch die **System**-Methode **gc()** aufrufen.

4.4.5 Objektreferenzen verwenden

Methodenparameter mit Referenztyp wurden schon in Abschnitt 4.3.1.3.2 behandelt. In diesem Abschnitt geht es um Methodenrückgabewerte mit Referenztyp und um das Schlüsselwort **this**, mit dem in einer Methode das aktuell handelnde Objekt angesprochen werden kann.

4.4.5.1 Rückgabewerte mit Referenztyp

Soll ein methodenintern erzeugtes Objekt das Ende der Methodenausführung überleben, muss eine Referenz außerhalb der Methode geschaffen werden, was z.B. über einen Rückgabewert mit Referenztyp geschehen kann.

Als Beispiel erweitern wir die `Bruch`-Klasse um die Methode `klone()`, welche ein Objekt beauftragt, einen neuen Bruch anzulegen, mit den Werten der eigenen Instanzvariablen zu initialisieren und die Referenz an den Aufrufer abzuliefern:

```
public Bruch klone() {
  return new Bruch(zaehler, nenner, etikett);
}
```

Im folgenden Programm wird das durch `b2` referenzierte `Bruch`-Objekt in der von `b1` ausgeführten Methode `klone()` erzeugt. Es ist ansprechbar und dienstbereit, nachdem die erzeugende Methode längst der Vergangenheit angehört:

Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  Bruch b1 = new Bruch(1, 2, "b1 = ");` `  b1.zeige();` `  Bruch b2 = b1.klone();` `  b2.zeige();` `  }` `}`	`  1` `b1 = -----` `  2` `  1` `b1 = -----` `  2`

4.4.5.2 this als Referenz auf das aktuelle Objekt

Gelegentlich ist es sinnvoll oder erforderlich, dass ein handelndes Objekt sich selbst ansprechen bzw. seine Adresse als Methodenaktualparameter verwenden kann. Dies ist mit dem Schlüsselwort **this** möglich, das innerhalb einer Instanzmethode wie eine Referenzvariable funktioniert. In folgendem Beispiel ermöglicht die **this**-Referenz den Zugriff auf Instanzvariablen, die von namensgleichen Formalparametern überdeckt werden:

```
public void addiere(int zaehler, int nenner, boolean autokurz) {
 if (nenner != 0) {
  this.zaehler = this.zaehler * nenner + zaehler * this.nenner;
  this.nenner = this.nenner * nenner;
  if (autokurz)
   this.kuerze();
  return true;
 } else
  return false;
}
```

Außerdem wird beim `kuerze()` - Aufruf durch die (nicht erforderliche) **this**-Referenz verdeutlicht, dass die Methode vom aktuell handelnden Objekt ausgeführt werden soll. Später werden Sie noch weit relevantere **this**-Verwendungsmöglichkeiten kennen lernen.

4.5 Klassenvariablen und -methoden

Neben den *Instanz*variablen und -methoden unterstützt Java auch *klassenbezogene* Varianten. Syntaktisch werden diese Mitglieder in der Deklaration bzw. Definition durch den Modifikator **static** gekennzeichnet, und man spricht oft von *statischen* Feldern bzw. Methoden. Ansonsten gibt es bei der der Deklaration bzw. Definition kaum Unterschiede zwischen einem Instanz- und dem analogen Klassenmitglied.

Auch bei den statischen Klassen-Membern gilt (wie bei Instanz-Membern) für den Zugriffsschutz:

- Per Voreinstellung ist der Zugriff allen Klassen im selben Paket erlaubt.
- Mit einem Modifikator lassen sich alternative Schutzstufen wählen, z.B.:
  - **private**
    Alle fremden Klassen werden ausgeschlossen.
  - **public**
    Alle Klassen dürfen zugreifen.

4.5.1 Klassenvariablen

In unserem Bruchrechnungsbeispiel soll ein statisches Feld dazu dienen, die Anzahl der bei einem Programmeinsatz bisher erzeugten `Bruch`-Objekte aufzunehmen:

```
public class Bruch {
  private int zaehler;
  private int nenner = 1;
  private String etikett = "";

  static private int anzahl;

 public Bruch(int zpar, int npar, String epar) {
  setzeZaehler(zpar);
  setzeNenner(npar);
  setzeEtikett(epar);
    anzahl++;
  }

  public Bruch() {anzahl++;}

  . . .
  . . .

}
```

Die Klassenvariable `anzahl` ist als **private** deklariert, also nur in Methoden der eigenen Klasse sichtbar. Sie wird in den beiden Instanzkonstruktoren inkrementiert.

Während jedes Objekt einer Klasse über einen eigenen Satz mit allen Instanzvariablen verfügt, die beim Erzeugen des Objekts auf dem Heap landen, existiert eine klassenbezogene Variable nur *einmal*. Sie wird beim Laden der Klasse in der *Method Area* des programmeigenen Speichers angelegt.

Wie für Instanz- gilt auch für Klassenvariablen:

- Sie werden außerhalb jeder Methodendefinition deklariert.
- Sie werden (sofern nicht finalisiert, siehe unten) automatisch mit dem typspezifischen Nullwert initialisiert (vgl. Abschnitt 4.2.3), so dass im Beispiel die Variable `anzahl` mit dem **int**-Wert 0 startet.

Im Java-Editor der Entwicklungsumgebung Eclipse 3.x werden statische Variablen per Voreinstellung durch *kursive Schrift* gekennzeichnet.

In Instanz- oder Klassenmethoden der eigenen Klasse werden Klassenvariablen ohne jeden Präfix angesprochen (siehe obige `Bruch`-Konstruktoren). Sofern Methoden *fremder* Klassen der direkte Zugriff auf eine Klassenvariable gewährt wird, müssen diese dem Variablennamen einen Vorspann aus Klassennamen und Punktoperator voranstellen, z.B.:

```
System.out.println("Hallo");
```

Wir verwenden seit Beginn des Kurses in fast jedem Programm die Klassenvariable **out** aus der Klasse **System** (im Paket **java.lang**). Diese ist vom Referenztyp und zeigt auf ein Objekt der Klasse **PrintStream**, dem wir unsere Ausgabeaufträge übergeben. Vor Schreibzugriffen ist diese öffentliche Klassenvariable durch das **Finalisieren** geschützt.

Mit dem Modifikator **final** können nicht nur lokale Variablen (siehe Abschnitt 3.3.10) und Instanzvariablen (siehe Abschnitt 4.2.5) sondern auch statische Variablen als **finalisiert** deklariert werden. Dadurch entfällt die automatische Initialisierung mit der typspezifischen Null. Die somit erforderliche explizite Initialisierung kann bei der Deklaration oder im statischen Initialisierer (siehe Abschnitt 4.5.4) erfolgen. Im weiteren Programmverlauf ist bei finalisierten Klassenvariablen keine Wertänderung mehr möglich.

Auch bei häufig benötigten Konstanten bewährt sich eine Variablendeklaration mit den drei Modifikatoren **public**, **static** und **final**, z.B. beim **double**-Feld **PI** in der API-Klasse **Math** (Paket **java.lang**), das die Kreiszahl π enthält:

```
public static final double PI = 3.14159265358979323846;
```

In diesem Beispiel wird eine von Sun/Oracle vorgeschlagene Konvention beachtet, im Namen einer *finalisierten statischen* Variablen ausschließlich Großbuchstaben zu verwenden.[1] Besteht ein Name aus mehreren Wörtern, sollen diese der Lesbarkeit halber durch einen Unterstrich getrennt werden, z.B.:

```
public final static int DEFAULT_SIZE = 100;
```

In der folgenden Tabelle sind wichtige Unterschiede zwischen Klassen- und Instanzvariablen zusammengestellt:

	Instanzvariablen	**Klassenvariablen**
Deklaration	Ohne Modifikator **static**	Mit Modifikator **static**
Zuordnung	Jedes Objekt besitzt einen eigenen Satz mit allen Instanzvariablen.	Klassenbezogene Variablen sind nur einmal vorhanden.
Existenz	Instanzvariablen werden beim Erzeugen des Objekts angelegt und initialisiert. Sie werden ungültig, wenn das Objekt nicht mehr referenziert ist.	Klassenvariablen werden beim Laden der Klasse angelegt und initialisiert.[2]

4.5.2 Wiederholung zur Kategorisierung von Variablen

Mittlerweile haben wir verschiedene Variablensorten kennen gelernt, wobei die Sortenbezeichnung unterschiedlich motiviert war. Um einer möglichen Verwirrung vorzubeugen, bietet dieser Abschnitt eine Zusammenfassung bzw. Wiederholung. Die folgenden Begriffe sollten Ihnen keine Probleme mehr bereiten:

---

[1] Siehe: http://www.oracle.com/technetwork/java/codeconventions-135099.html
Finalisierte und statische *Referenz*variablen (z.B. **System.out**) sind bei diesem Benennungsvorschlag wohl nicht einbezogen.

[2] Das Entladen einer Klasse zur Speicheroptimierung ist einer Java-Implementierung prinzipiell erlaubt, aber mit Problemen verbunden und folglich an spezielle Voraussetzungen gebunden (siehe Gosling et al 2011, S. 338). Eine vom regulären Klassenlader der JRE geladene Klasse wird nicht vor dem Ende des Programms entladen (Ullenboom 2012, Abschnitt 11.5).

- **Lokale Variablen ...**
  werden in Methoden vereinbart,
  landen auf dem Stack,
  werden **nicht** automatisch initialisiert,
  sind nur in den Anweisungen des innersten Blocks verwendbar,
  existieren, bis der innerste Block endet.
- **Instanzvariablen ...**
  werden außerhalb jeder Methode deklariert,
  landen (als Bestandteile von Objekten) auf dem Heap,
  werden automatisch mit dem typspezifischen Nullwert initialisiert,
  sind verwendbar, wo eine Referenz zum Objekt vorliegt und Zugriffsrechte bestehen.
- **Klassenvariablen ...**
  werden außerhalb jeder Methode mit dem Modifikator **static** deklariert,
  landen (als Bestandteile von Klassen) in der Method Area,
  werden automatisch mit dem typspezifischen Nullwert initialisiert,
  sind verwendbar, wo Zugriffsrechte bestehen.
- **Referenzvariablen ...**
  zeichnen sich durch ihren speziellen *Inhalt* aus (Referenz auf ein Objekt). Es kann sich um lokale Variablen (z.B. `b1` in der **main()**-Methode von `Bruchrechnung`), um Instanzvariablen (z.B. `etikett` in der `Bruch`-Definition) oder um Klassenvariablen handeln (z.B. **out** in der Klasse **System** im Paket **java.lang**).

Man kann die Variablen kategorisieren nach ...

- **Datentyp (Inhalt)**
  Hinsichtlich des Variableninhalts sind Werte von primitivem Datentyp und Objektreferenzen zu unterscheiden.
- **Zuordnung**
  Eine Variable kann zu einem Objekt (Instanzvariable), zu einer Klasse (statische Variable) oder zu einer Methode (lokale Variable) gehören. Damit sind weitere Eigenschaften wie Ablageort, Lebensdauer, Gültigkeitsbereich und Initialisierung festgelegt (siehe oben).

Aus den Dimensionen *Datentyp* und *Zuordnung* ergibt sich eine (2 × 3)-Matrix zur Einteilung der Java-Variablen:

		Einteilung nach **Zuordnung**		
		Lokale Variable	Instanzvariable	Klassenvariable
Einteilung nach **Datentyp** (Inhalt)	Prim. Datentyp	`// aus der Bruch-` `// Methode frage()` `int n;`	`// aus der Klasse Bruch` `private int zaehler;`	`// aus der Klasse Bruch` `static private int anzahl;`
	Referenz	`// aus der Bruch-` `// Methode zeige()` `String luecke = "";`	`// aus der Klasse Bruch` `private String etikett="";`	`// aus der Klasse System` `public static final` `PrintStream out;`

4.5.3 Klassenmethoden

Es ist vielfach sinnvoll oder gar erforderlich, einer *Klasse* Handlungskompetenzen (Methoden) zu verschaffen, die nicht von der Existenz konkreter Objekte abhängen. So muss z.B. beim Start einer Java-Klasse deren Methode **main()** ausgeführt werden, bevor irgendein Objekt existiert. Sofern Klassenmethoden vorhanden sind, kann man auch eine Klasse als *Akteur* auf der objektorientierten Bühne betrachten.

Sind *ausschließlich* Klassenmethoden vorhanden, ist das Erzeugen von Objekten kaum sinnvoll. Man kann fremde Klassen durch den Zugriffsmodifikator **private** für die Konstruktoren daran hindern. Auch das Java-API enthält etliche Klassen, die ausschließlich klassenbezogene Methoden

besitzen und damit *nicht* zum Erzeugen von Objekten konzipiert sind. Mit der Klasse **Math** aus dem API-Paket **java.lang** haben wir ein wichtiges Beispiel bereits kennen gelernt. So wird im **Math**-Quellcode das Instantiieren verhindert:

```
private Math() {}
```

In Abschnitt 3.5.2 wurde demonstriert, wie die **Math**-Klassenmethode **pow()** von einer fremden Klasse aufgerufen werden kann:

```
System.out.println(4 * Math.pow(2, 3));
```

Vor den Namen der gewünschten Methode setzt man (durch den Punktoperator getrennt) den Namen der angesprochenen Klasse, der eventuell durch den Paketnamen vervollständigt werden muss, je nach Paketzugehörigkeit der Klasse und vorhandenen **import**-Anweisungen am Anfang des Quellcodes.

Oft ist es sinnvoll, klassenbezogene Kompetenzen mit objektbezogenen zu kombinieren. Da unsere `Bruch`-Klasse mittlerweile über eine (private) Klassenvariable für die Anzahl der erzeugten Objekte verfügt, bietet sich die Definition einer Klassenmethode an, mit der diese Anzahl auch von fremden Klassen ermittelt werden kann.

Bei der Definition einer Klassenmethode wird (analog zum Vorgehen bei Klassenvariablen) der Modifikator **static** angegeben, z.B.:

```
public static int hanz() {
  return anzahl;
}
```

Ansonsten gelten die Aussagen von Abschnitt 4.3 über die Definition und den Aufruf von Instanzmethoden analog auch für Klassenmethoden.

Im folgenden Programm wird die `Bruch`-Klassenmethode `hanz()` in der `Bruchrechnung`-Klassenmethode **main()** aufgerufen, um die Anzahl der bisher erzeugten Brüche zu ermitteln:

Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println(Bruch.hanz() + " Brueche erzeugt");` `  Bruch b1 = new Bruch(1, 2, "Bruch 1");` `  Bruch b2 = new Bruch(5, 6, "Bruch 2");` `  b1.zeige();` `  b2.zeige();` `  System.out.println(Bruch.hanz() + " Brueche erzeugt");` `  }` `}`	`0 Brueche erzeugt` `  1` `Bruch 1 -----` `  2` `  5` `Bruch 2 -----` `  6` `2 Brueche erzeugt`

Wird eine Klassenmethode von anderen Methoden der *eigenen* Klasse (objekt- oder klassenbezogen) verwendet, muss der Klassenname *nicht* angegeben werden. Wir könnten z.B. in der `Bruch`-Instanzmethode `klone()` die `Bruch`-Klassenmethode `hanz()` aufrufen, um eine laufende Nummer zum neu erzeugten `Bruch`-Objekt auszugeben:

```
public Bruch klone() {
  Bruch b = new Bruch(zaehler, nenner, etikett);
  System.out.println("Neuer Bruch mit der Nr. " + hanz() + " erzeugt");
  return b;
}
```

Oft wird missverständlich behauptet, in einer statischen Methode könnten keine Instanzmethoden aufgerufen werden, z.B. (Mössenböck 2005, S. 153):

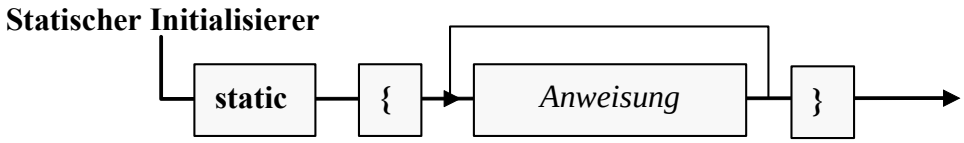
„Objektmethoden können Klassenmethoden aufrufen aber nicht umgekehrt.“

Sofern eine statische Methode eine Referenz zu einem Objekt besitzt, das sie eventuell selbst erzeugt hat, kann sie im Rahmen der eingeräumten Zugriffsrechte (bei Objekten der eigenen Klasse also uneingeschränkt) Instanzmethoden dieses Objekts aufrufen. In einer Klassenmethode eine Instanzmethode ohne vorangestellte Objektreferenz aufzurufen, wäre reichlich sinnlos. Wer einen Auftrag an ein Objekt schicken möchte, muss den Empfänger natürlich benennen.

In früheren Abschnitten waren mit *Methoden* stets *objektbezogene* Methoden (*Instanzmethoden*) gemeint. Dies soll auch weiterhin so gelten.

4.5.4 Statische Initialisierer

Analog zur Initialisierung von Instanzvariablen durch Instanzkonstruktoren, die beim Erzeugen eines Objekts ausgeführt werden (siehe Abschnitt 4.4.3), bietet Java zur Vorbereitung von Klassenvariablen und eventuell auch zu weiteren Maßnahmen auf Klassenebene statische Initialisierer, die beim Laden der Klasse ausgeführt werden (siehe z.B. Gosling et al. 2011, S. 244). Ein syntaktischer Unterschied zu den Instanzkonstruktoren besteht darin, dass bei einem statischen Initialisierer *kein* Name angegeben wird:



Außerdem sind keine Zugriffsmodifikatoren erlaubt. Diese werden auch nicht benötigt, weil ein statischer Konstruktor ohnehin nur vom Laufzeitsystem aufgerufen wird (beim Laden der Klasse).

Eine Klassendefinition kann *mehrere* statische Initialisierungsblöcke enthalten. Beim Laden der Klasse werden sie nach der Reihenfolge im Quelltext ausgeführt.

Bei einer etwas künstlichen (und in weiteren Ausbaustufen nicht mitgeschleppten) Erweiterung des `Bruch`-Beispiels soll der parameterfreie Instanzkonstruktor zufallsabhängige, aber pro Programmlauf identische Werte zur Initialisierung der Felder `zaehler` und `nenner` verwenden:

```
public Bruch() {
  zaehler = zaehlerVoreinst;
  nenner = nennerVoreinst;
  anzahl++;
}
```

Dazu erhält die `Bruch`-Klasse private statische Felder, die vom statischen Initialisierer beim Laden der Klasse auf Zufallswerte gesetzt werden sollen:

```
private static int zaehlerVoreinst;
private static int nennerVoreinst;
```

Im statischen Initialisierer wird ein Objekt der Klasse **Random** aus dem Paket **java.util** erzeugt und dann durch **nextInt()**-Methodenaufrufe mit der Produktion von **int**-Zufallswerten aus dem Bereich von Null bis Vier beauftragt. Daraus entstehen Startwerte für die Felder `zaehler` und `nenner`:

```
public class Bruch {
   ...
   static {
      java.util.Random zuf = new java.util.Random();
      zaehlerVoreinst = zuf.nextInt(5)+1;
      nennerVoreinst = zuf.nextInt(5)+zaehlerVoreinst;
      System.out.println("Klasse Bruch geladen");
   }
   ...
}
```

Außerdem protokolliert der statische Konstruktor noch das Laden der Klasse, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  Bruch b = new Bruch();` `  b.zeige();` `  }` `}`	`Klasse Bruch geladen` `  5` `  -----` `  9`

4.6 Rekursive Methoden

Innerhalb einer Methode darf man selbstverständlich nach Belieben *andere* Methoden aufrufen. Es ist aber auch zulässig und manchmal sogar sinnvoll, dass eine Methode *sich selbst* aufruft. Solche *rekursiven* Aufrufe erlauben eine elegante Lösung für ein Problem, das sich sukzessive auf stets einfachere Probleme desselben Typs reduzieren lässt, bis man schließlich zu einem direkt lösbaren Problem gelangt.

Als Beispiel betrachten wir die Ermittlung des größten gemeinsamen Teilers (ggT) zu zwei natürlichen Zahlen, die in der `Bruch`-Methode `kuerze()` benötigt wird. Sie haben bereits zwei *iterative* (mit einer Schleife realisierte) Varianten des Euklidischen Lösungsverfahrens kennen gelernt: In Abschnitt 1.1 wurde ein sehr einfacher Algorithmus benutzt, den Sie später in einer Übungsaufgabe (siehe Seite 145) durch einen effizienteren Algorithmus (unter Verwendung der Modulo-Operation) ersetzt haben. Im aktuellen Abschnitt betrachten wir noch einmal die effizientere Variante, wobei zur Vereinfachung der Darstellung der ggT-Algorithmus vom restlichen Kürzungsverfahren getrennt und in eine eigene (private) Methode namens `ggTi()` ausgelagert wird:

```
private int ggTi(int a, int b) {
   int rest;
   do {
      rest = a % b;
      a = b;
      b = rest;
   } while (rest > 0);
   return a;
}

public void kuerze() {
   if (zaehler != 0) {
      int teiler = ggTi(Math.abs(zaehler), Math.abs(nenner));
      zaehler /= teiler;
      nenner  /= teiler;
  } else
     nenner = 1;
}
```

Die mit einer **do-while** – Schleife operierende Methode `ggTi()` kann durch die folgende rekursive Variante `ggTr()` ersetzt werden:

```
private int ggTr(int a, int b) {
   int rest = a % b;
   if (rest == 0)
      return b;
   else
      return ggTr(b, rest);
}
```

Statt eine Schleife zu benutzen, arbeitet die rekursive Methode nach folgender Logik:

- Ist der Parameter `a` durch den Parameter `b` restfrei teilbar, dann ist `b` der ggT, und der Algorithmus endet mit der Rückgabe von `b`:

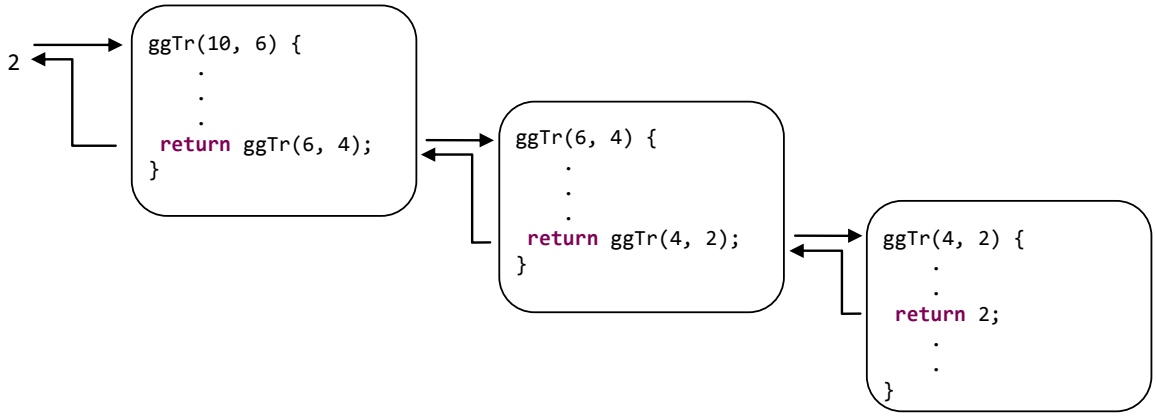
```
return b;
```

- Anderenfalls wird das Problem, den ggT von `a` und `b` zu bestimmen, auf das einfachere Problem zurückgeführt, den ggT von `b` und `(a % b)` zu bestimmen, und die Methode `ggTr()` ruft sich selbst mit neuen Aktualparametern auf. Dies geschieht recht elegant im Ausdruck der **return**-Anweisung:

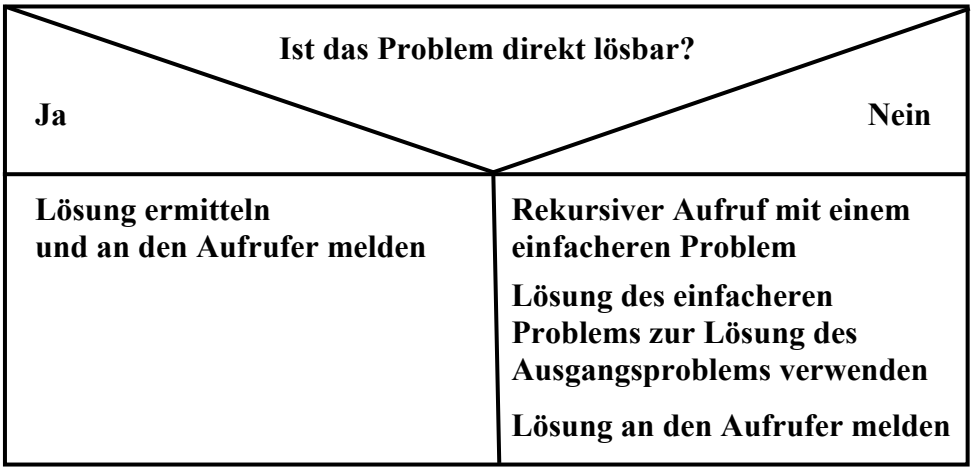
```
return ggTr(b, rest);
```

Im iterativen Algorithmus wird übrigens derselbe Trick zur Reduktion des Problems verwendet, und den zugrunde liegenden Satz der mathematischen Zahlentheorie kennen Sie schon aus der oben erwähnten Übungsaufgabe in Abschnitt 3.9.

Wird die Methode `ggTr()` z.B. mit den Argumenten 10 und 6 aufgerufen, kommt es zu folgender Aufrufverschachtelung:



Generell läuft eine rekursive Methode mit Lösungsübermittlung per Rückgabewert nach der im folgenden **Struktogramm** beschriebenen Logik ab:



Im Beispiel ist die Lösung des einfacheren Problems sogar identisch mit der Lösung des ursprünglichen Problems.

Wird bei einem fehlerhaften Algorithmus der linke Zweig nie oder zu spät erreicht, dann erschöpfen die geschachtelten Methodenaufrufe die Stack-Kapazität, und es kommt zu einem Ausnahmefehler, z.B.:

```
Exception in thread "main" java.lang.StackOverflowError
```

Zu einem rekursiven Algorithmus (per Selbstaufruf einer Methode) existiert stets auch ein iterativer Algorithmus (per Wiederholungsanweisung). Rekursive Algorithmen lassen sich zwar oft eleganter

formulieren als die iterativen Alternativen, benötigen aber durch die hohe Zahl von Methodenaufrufen in der Regel mehr Rechenzeit.

4.7 Aggregation

Bei Instanz- und Klassenvariablen sind beliebige Datentypen zugelassen, auch Referenztypen (siehe Abschnitt 4.2). In der aktuellen `Bruch`-Definition ist z.B. eine Instanzvariable vom Referenztyp **String** vorhanden. Es ist also möglich, Objekte vorhandener Klassen als Bestandteile von neuen, komplexeren Klassen zu verwenden. Neben der später noch ausführlich zu behandelnden Vererbung ist diese *Aggregation* von Klassen eine sehr effektive Technik zur Wiederverwendung von Software bzw. zum Aufbau von komplexen Softwaresystemen. Außerdem ist sie im Sinne einer realitätsnahen Modellierung unverzichtbar, denn auch ein reales Objekt (z.B. eine Firma) enthält andere Objekte[1] (z.B. Mitarbeiter, Kunden), die ihrerseits wiederum Objekte enthalten (z.B. ein Gehaltskonto und einen Terminkalender bei den Mitarbeitern) usw.

Wegen der großen Bedeutung der Aggregation soll ihr ein ausführliches Beispiel gewidmet werden, obwohl der aktuelle Abschnitt nur einen neuen Begriff für eine längst vertraute Situation bringt (Felder mit Referenztyp). Wir erweitern das Bruchrechnungsprogramm um eine Klasse namens `Aufgabe`, die Trainingssitzungen unterstützen soll. In der `Aufgabe`-Klassendefinition tauchen vier Instanzvariablen vom Typ `Bruch` auf:

```
public class Aufgabe {
   private Bruch b1, b2, lsg, antwort;
   private char op = '+';

   public Aufgabe(char op_, int b1Z, int b1N, int b2Z, int b2N) {
      if (op_ == '*')
         op = op_;
      b1 = new Bruch(b1Z, b1N, "1. Argument:");
      b2 = new Bruch(b2Z, b2N, "2. Argument:");
      lsg = new Bruch(b1Z, b1N, "Das korrekte Ergebnis:");
      antwort = new Bruch();
      init();
   }

   private void init() {
      switch (op) {
         case '+':  lsg.addiere(b2);
                    break;
         case '*':  lsg.multipliziere(b2);
                    break;
      }
   }

  public boolean korrekt() {
   Bruch temp = antwort.klone();
   temp.kuerze();
   if (lsg.gibZaehler() == temp.gibZaehler() &&
       lsg.gibNenner() == temp.gibNenner())
    return true;
   else
    return false;
  }
```

[1] Die betroffenen Personen mögen den Fachterminus *Objekt* nicht persönlich nehmen.

```
    public void zeige(int was) {
       switch (was) {
          case 1:  System.out.println("    " + b1.gibZaehler() +
                   "                " + b2.gibZaehler());
                   System.out.println(" ------      " + op + "      -----");
                   System.out.println("    " + b1.gibNenner() +
                   "                " + b2.gibNenner());
                   break;
          case 2:  lsg.zeige(); break;
          case 3:  antwort.zeige(); break;
       }
    }

    public void frage() {
       System.out.println("\nBerechne bitte:\n");
       zeige(1);
       System.out.print("\nWelchen Zaehler hat Dein Ergebnis:     ");
       antwort.setzeZaehler(Simput.gint());
       System.out.println("                                      ------");
       System.out.print("Welchen Nenner hat Dein Ergebnis:      ");
       antwort.setzeNenner(Simput.gint());
    }

   public void pruefe() {
    frage();
    if (korrekt())
     System.out.println("\n Gut!");
    else {
     System.out.println();
     zeige(2);
    }
   }

    public void neueWerte(char op_, int b1Z, int b1N, int b2Z, int b2N) {
       op = op_;
       b1.setzeZaehler(b1Z); b1.setzeNenner(b1N);
       b2.setzeZaehler(b2Z); b2.setzeNenner(b2N);
       lsg.setzeZaehler(b1Z); lsg.setzeNenner(b1N);
       init();
    }
}
```

Die vier `Bruch`-Objekte in einer `Aufgabe` dienen folgenden Zwecken:

- `b1` und `b2` werden dem Anwender (in der Methode `frage()`) im Rahmen einer Aufgabenstellung vorgelegt, z.B. zum Addieren.
- In `antwort` landet der Lösungsversuch des Anwenders.
- In `lsg` steht das korrekte (und gekürzte) Ergebnis.

In folgendem Programm wird die Klasse `Aufgabe` für ein Bruchrechnungstraining eingesetzt:

```
class Bruchrechnung {
 public static void main(String[] args) {
  Aufgabe auf = new Aufgabe('+', 1, 2, 2, 5);
  auf.pruefe();
  auf.neueWerte('*', 3, 4, 2, 3);
  auf.pruefe();
 }
}
```

Man kann immerhin schon ahnen, wie die praxistaugliche Endversion des Programms einmal arbeiten wird:

```
Berechne bitte:

   3               2
 ------     *     -----
   4               3

Welchen Zaehler hat Dein Ergebnis:     6
                                      ------
Welchen Nenner hat Dein Ergebnis:      12

 Gut!

Berechne bitte:

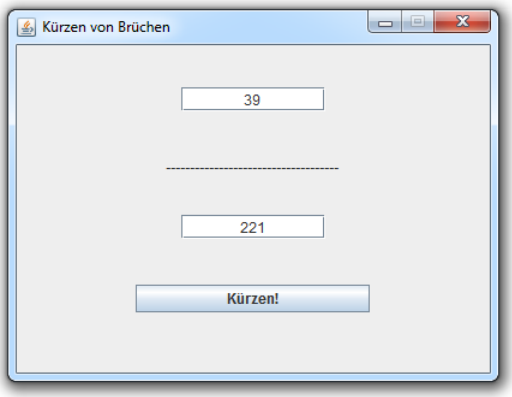
   1               2
 ------     +     -----
   2               5

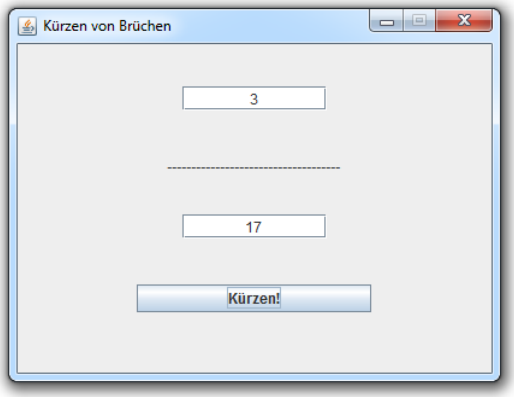
Welchen Zaehler hat Dein Ergebnis:     3
                                      ------
Welchen Nenner hat Dein Ergebnis:      7

                          9
 Das korrekte Ergebnis: -----
                          10
```

4.8 Bruchrechnungsprogramm mit GUI

Nachdem Sie nun wesentliche Teile der objektorientierten Programmierung mit Java kennen gelernt haben, ist vielleicht ein weiterer Ausblick auf die nicht mehr sehr ferne Entwicklung von Programmen mit graphischer Benutzerschnittstelle (engl. *Graphical User Interface*, *GUI*) als Belohnung und Motivationsquelle angemessen. Schließlich gilt es in diesem Manuskript auch die Erfahrung zu vermitteln, dass Programmieren Spaß machen kann. Wir erstellen unter Verwendung der Klasse `Bruch` mit Hilfe des Eclipse - Plugins **WindowBuilder (WB)** ein Bruchkürzungsprogramm mit graphischer Benutzerschnittstelle:





Aufgrund der individuellen Oberflächengestaltung kommt die in Abschnitt 3.8 vorgestellte Klasse **JOptionPane** mit statischen Methoden zur bequemen Realisation von Standarddialogen *nicht* in Frage.

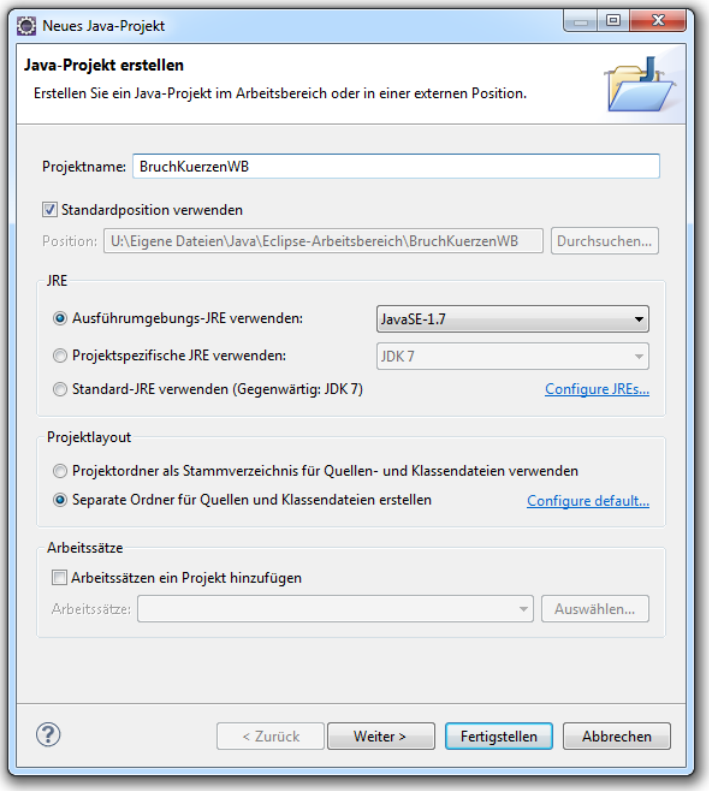
Indem der WindowBuilder (oder ein anderer Assistent für Routineaufgaben) wesentliche Teile des Quellcodes erstellt, wird das Programmieren erheblich vereinfacht und beschleunigt. Diese Vorgehensweise bezeichnet man als *Rapid Application Development* (RAD). Grundsätzlich sollten man in der Lage sein, den von Assistenten erstellten Quellcode vollständig verstehen und modifizieren zu können. In diesem Abschnitt werden wir uns aber auf *lokale* Einblicke beschränken, weil bei der GUI-Programmierung einige noch nicht behandelte Themen beteiligt sind.

4.8.1 Projekt mit visueller Hauptfensterklasse anlegen

Wir starten mit dem Symbolschalter oder dem Menübefehl

Datei > Neu > Java-Projekt

den Assistenten ein neues Java-Projekt, z.B. mit dem Namen `BruchKuerzenWB`:

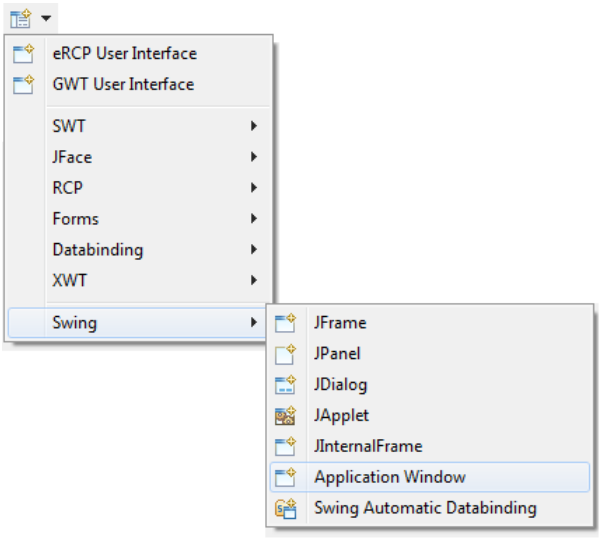


Wir tragen den **Projektnamen** ein und quittieren mit einem Kick auf den Schalter **Fertigstellen**.

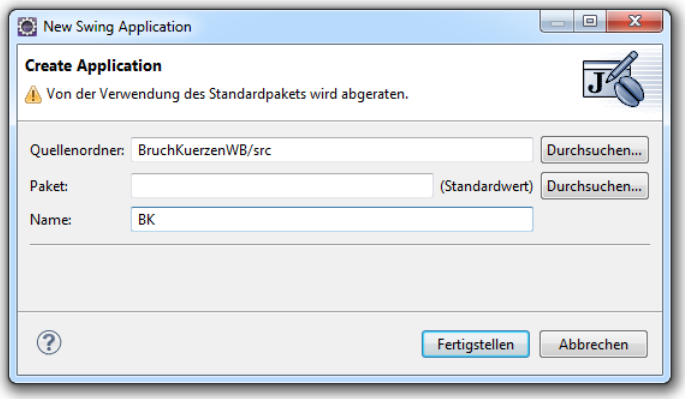
Anschließend starten wir den Assistenten für eine neue visuelle Hauptfensterklasse über den Menübefehl

Datei > Neu > Andere > Window Builder > Swing Designer > Application Window

oder das Symbolleistensteuerelement :

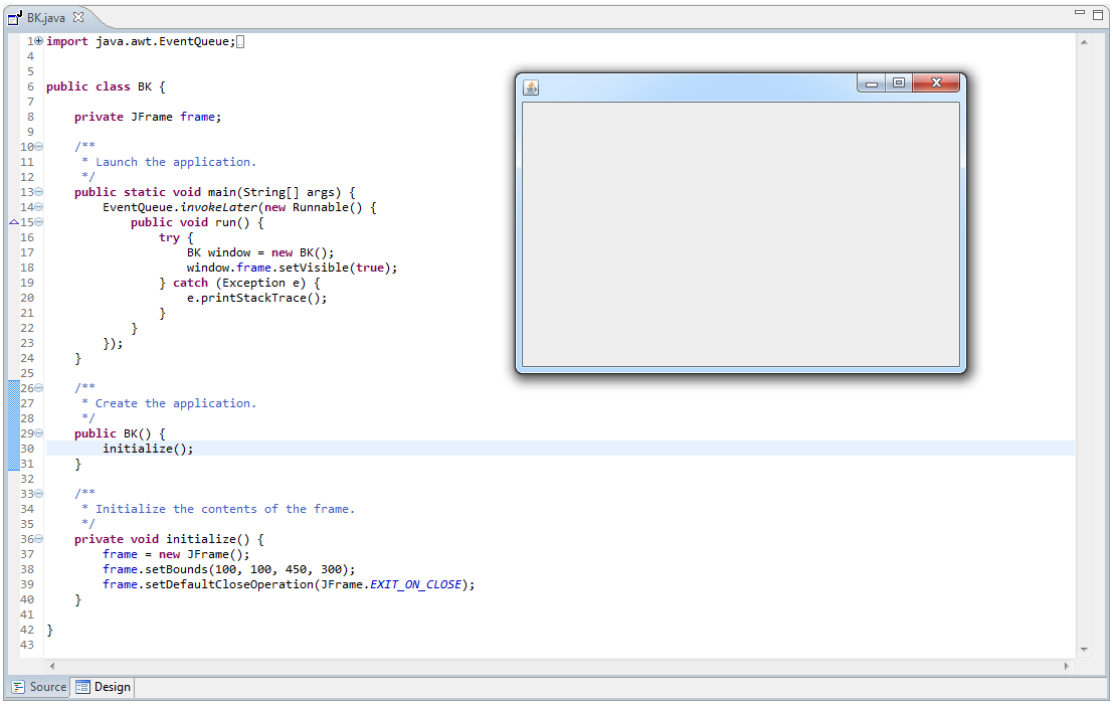


Im ersten Assistentenfenster ist bereits der korrekte **Quellenordner** eingetragen, weil beim Aufruf des Assistenten das gewünschte Zielprojekt im Paket-Explorer markiert war:



Wir verwenden wie bei allen bisherigen Projekten trotz Mahnung das Standardpaket und ergänzen den Namen `BK` für die Hauptfensterklasse der entstehenden Anwendung.

Nach dem **Fertigstellen** erscheint der WindowBuilder - Editor mit dem Quellcode zu einem GUI-Programm mit noch mangelhafter Funktionalität, das aber immerhin schon lauffähig ist, wie sich nach einem Start über die gewohnten Eclipse-Bedienelemente zeigt:



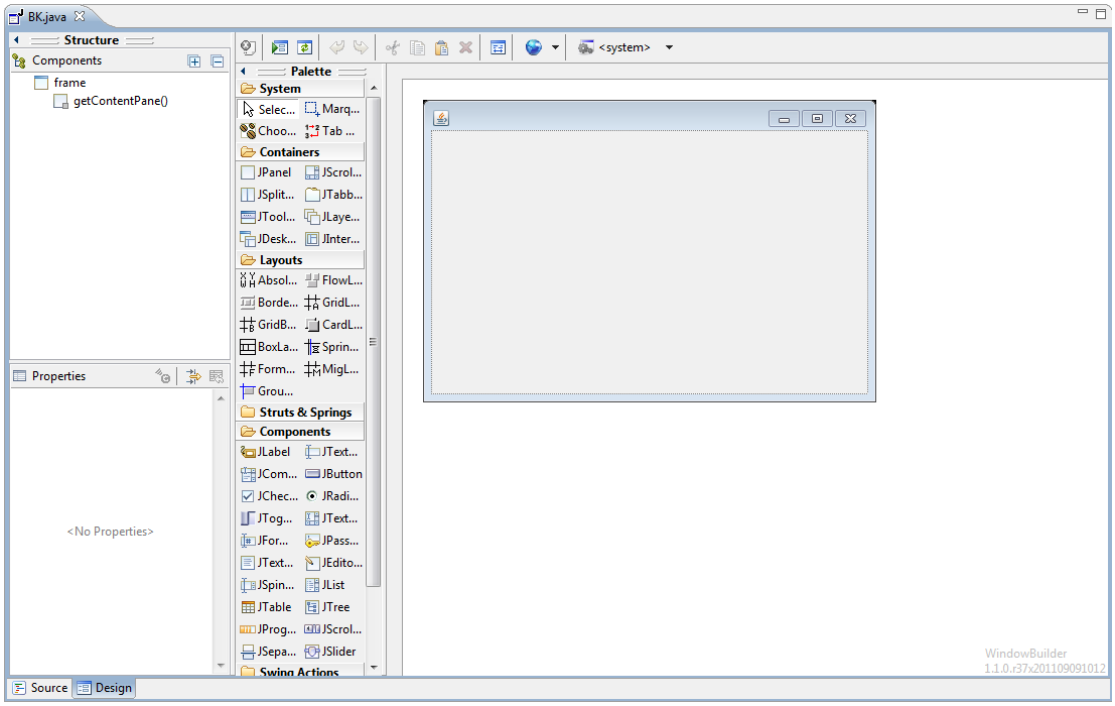
Auf der **Source**-Registerkarte des WB-Fensters arbeitet der gewohnte Java-Quellcode-Editor. Hier finden Sie die Definition der Klasse `BK` mit zumindest teilweise vertrauten Bestandteilen:

- Es ist eine private Instanzvariable (man kann auch sagen: ein Member-Objekt) namens `frame` vom Typ **JFrame** vorhanden. Die Klasse **JFrame** aus dem Paket **javax.swing** werden wir im Manuskript generell für die Hauptfenster von GUI-Anwendungen einsetzen.
- In der Startmethode **main()** wird auf ungewohnte (im Augenblick nur für vorbelastete Leser zu verstehende) Weise dafür gesorgt, dass Veränderungen der Bedienoberfläche *nicht* im selben Thread (Ausführungsfaden) stattfinden wie die Methode **main()**, sondern im speziell dafür vorgesehenen **Ereignisverteilungs-Thread** (engl.: *Event Dispatch - Thread*, kurz: *EDT*. Es entsteht ein Objekt einer anonymen Klasse, welche das Interface **Runnable** erfüllt, und der Aufruf seiner **run()**-Methode wird in die EDT-Ereigniswarteschlange eingereiht. In der **run()**-Methode entsteht per **new**-Operator und Konstruktor ein `BK`-Objekt namens `window`, und schließlich wird dessen Member-Objekt `frame` über die Methode **showVisible()** zum Auftritt gebeten.

- Der BK-Konstruktor ruft die private Methode **initialize()** auf, wo schließlich die Gestaltung der Bedienoberfläche stattfindet.

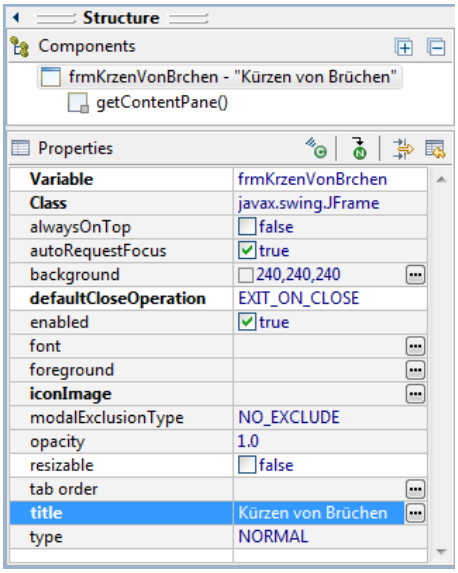
All die noch schrecklich fremden Begriffe (z.B. Thread, Interface, anonyme Klasse) wurden hier nur angesprochen, damit Sie diese mit nützlichen und angenehmen Themen wie graphischen Bedienelementen und dem WindowsBuilder assoziieren und später motiviert sind, sich diese Begriffe zu erschließen.

Nach einem Wechsel auf die Registerkarte Design sieht die Welt noch freundlicher aus:



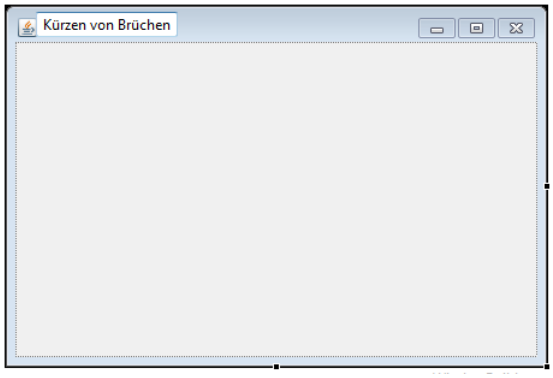
4.8.2 Eigenschaften des Anwendungsfensters ändern

Markieren Sie im Bereich **Components** der Eclipse-Sicht **Structure** die Instanzvariable `frame` vom Typ **JFrame**, welche das Anwendungsfenster repräsentiert. Im Bereich **Properties** der **Structure**-Sicht können Sie nun diverse Eigenschaften des Fensters ändern, z.B. die Beschriftung der Titelzeile:



Schlau und fleißig hat der WindowBuilder der Namen der **JFrame**-Referenzvariablen an den Fenstertitel angepasst (siehe Eigenschaft **Variable**).

Die Beschriftung einer markierten Komponente lässt sich auch in der Designzone ändern. Dazu ist bei markierter Komponente die Leertaste zu drücken, z.B.:



Wir setzen die **resizable**-Eigenschaft des Fensters auf **false**, so dass Anwender die Fenstergröße nicht ändern können. Bei der Eigenschaft **defaultCloseOperation** sorgt die sinnvolle WindowBuilder - Voreinstellung **EXIT_ON_CLOSE** dafür, dass beim Schließen des Fensters das Programm endet. Die Größe des Anwendungsfensters kann über die aus Grafikprogrammen bekannten Anfasser verändert werden.

Auf dem Anwendungsfenster platzierte Bedienelemente (siehe unten) landen in einem als *Content Pane* (dt.: *Inhaltsschicht*) bezeichneten Container. Für die Anordnungslogik der Bedienelemente in einem Container (speziell bei Änderungen der Container-Größe) wird ein so genannter *Layout-Manager* engagiert. Markieren Sie im Bereich **Components** der **Structure**-Sicht die Methode **getContentPane()**, um die Inhaltsschicht des Anwendungsfensters anzusprechen. Wählen Sie Im Bereich **Properties** zur **Layout**-Eigenschaft der Inhaltsschicht per Klappliste anstelle der Voreinstellung **BorderLayout** die Variante **Absolut Layout**. Dieser Manager vergibt absolute Positionen für die Bedienelemente und kann *nicht* auf eine Änderung der Fenstergröße mit eine dynamischen Neuverteilung der aktuell verfügbaren Fläche reagieren. Wir werden auf Dauer dieses starre Layout zu vermeiden lernen. Aktuell ist es jedoch seiner Einfachheit wegen angemessen, zumal wir eine recht simple Bedienoberfläche planen und eine Änderung der Fenstergröße über die **JFrame**-Eigenschaft **resizable** verhindert haben.

4.8.3 Der Quellcode-Generator und -Parser

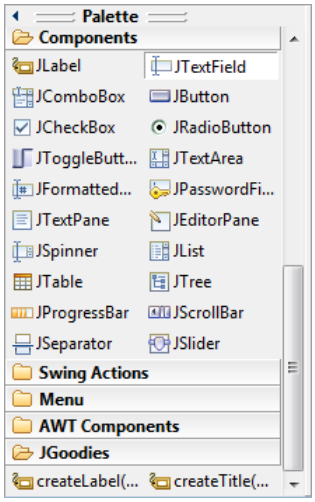
Wie ein Besuch auf der **Source**-Registerkarte zeigt, ist der vom WindowBuilder erzeugte Quellcode zur Oberflächengestaltung gut nachvollziehbar:

```
private void initialize() {
 frmKrzenVonBrchen = new JFrame();
 frmKrzenVonBrchen.setResizable(false);
 frmKrzenVonBrchen.setTitle("K\u00FCrzen von Br\u00FCchen");
 frmKrzenVonBrchen.setBounds(100, 100, 450, 300);
 frmKrzenVonBrchen.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
 frmKrzenVonBrchen.getContentPane().setLayout(null);
}
```

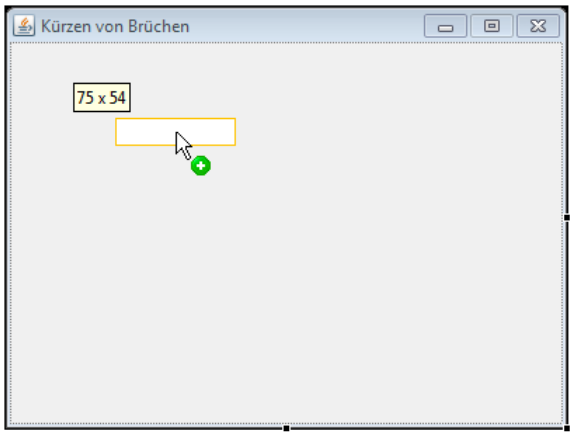
Meist werden Sie sich als *Designer* betätigen und das Kodieren dem WindowBuilder überlassen. Sie dürfen aber auch Änderungen am Quelltext vornehmen, wobei der WindowBuilder bei der Rückkehr zur **Design**-Registerkarte als Syntaxanalysator (engl. *parser*) aktiv wird und Ihren Code in das Design übernimmt. Währen die Parser vieler GUI-Werkzeuge nur den vom eigenen Generator erstellten Quellcode verarbeiten können, versteht der WindowBuilder auch die Produkte fremder Generatoren und in der Regel auch handgeschriebenen Code.

4.8.4 Bedienelemente aus der Palette übernehmen und gestalten

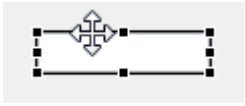
Nun machen wir uns daran, die Fensteroberfläche mit Bedienelementen zu bestücken, wobei die Klassen **JTextField**, **JLabel**- und **Button** zum Einsatz kommen, die allesamt zum Paket **javax.swing** gehören. Markieren Sie auf der **Palette** des WindowBuilders mit den verfügbaren Bedienelementen in der Abteilung **Components** den Typ **JTextField**:

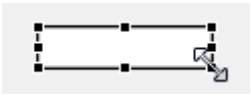


Wenn Sie anschließend die Maus über dem Anwendungsfenster bewegen, wird die per Klick wählbare Einfügestelle angezeigt:



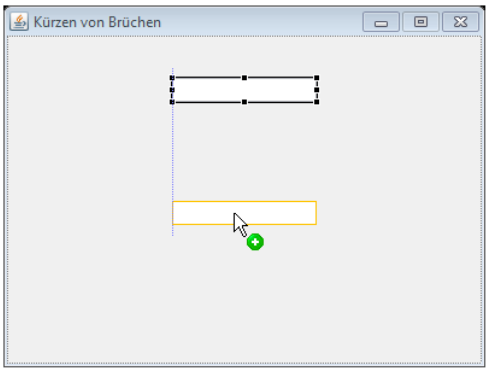
Selbstverständlich lassen sich Position und Größe eines Steuerelements auch nachträglich noch ändern:



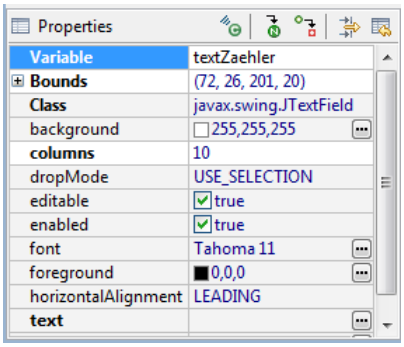


Nun fehlen noch eine **JTextField**-Komponente für den Nenner, eine **JLabel**-Komponente für den Bruchstrich und eine **JButton**-Komponente zur Anforderung der Programmoperation. Der WB kann das Design auf vielfältige Weise unterstützen, z.B. bei den **JTextField**-Komponenten:

- Mit dem Symbolleistenschalter lässt sich das Textfeld für den Zähler auf dem Fenster horizontal zentrieren.
- Den Nenner erzeugt man am besten durch Kopieren des Zählers via Zwischenablage (z.B. **Strg-C**, **Strg-V**).
- Beim Einfügen der Kopie (mit denselben Ausdehnungen wie das Original) helfen Orientierungslinien:



Weil die **JTextField**-Komponenten im noch zu erstellenden Quellcode des Programms angesprochen werden müssen, wählen wir im Eigenschaftsfenster für die zugehörigen Referenzvariablen die Namen `textZaehler` und `textNenner`, z.B.:



Bei **JTextField**-Komponenten legt der Quellcode-Generator des WindowBuilders per Voreinstellung *Instanz*variablen an:

```
public class BK {
  private JFrame frmKrzenVonBrchen;
  private JTextField textZaehler;
  private JTextField textNenner;

  ...
}
```

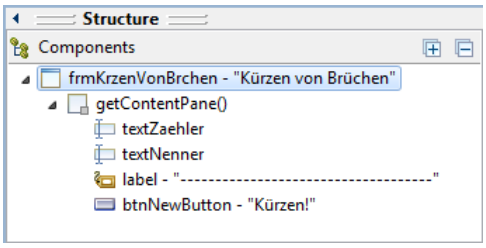
Zu **JLabel**- und **Button**-Komponenten entstehen hingegen per Voreinstellung *lokale* Referenzvariablen der Methode **initialize()**, was in unserem Beispielprogramm auch sinnvoll ist, weil diese Komponenten im Quellcode nirgends außerhalb der Methode **initialize()** auftauchen:

```
private void initialize() {
    ...
  JLabel label = new JLabel("---------------------------------");
    ...
  JButton btnKrzen = new JButton("K\u00FCrzen!");
    ...
}
```

Für die markierte **JLabel**- bzw. **JButton**-Komponente legen wir via **text**-Eigenschaft eine passende Beschriftung fest, die beim Label aus einer geeigneten Anzahl von Bindestrichen bestehen kann.

Für die beiden Textfelder und das Label sollte noch das horizontale Zentrieren des Inhalts über den Wert **CENTER** für die Eigenschaft **horizontalAlignment** angeordnet werden. Diesen Wert kann man den drei gemeinsam markierten Komponenten gleichzeitig zuweisen.

Im Bereich **Components** der Sicht **Structure** sind die einbezogenen Komponenten mit **text**-Eigenschaft (falls vorhanden) zu sehen:



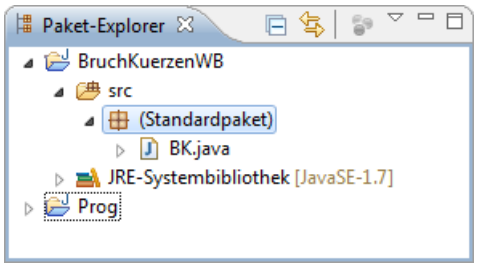
4.8.5 Bruch-Klasse einbinden

4.8.5.1 Möglichkeiten zur Aufnahme in das Projekt

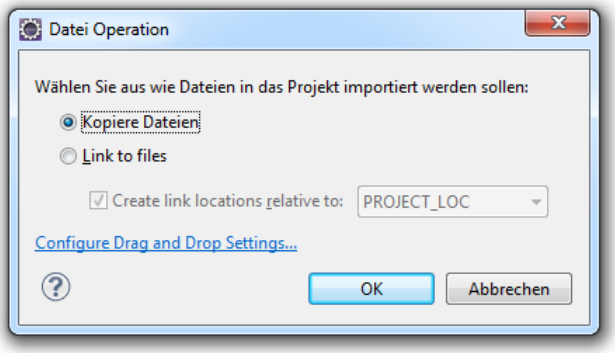
Aus den Benutzereingaben in die Textfelder des oben entworfenen Anwendungsfensters soll ein Objekt unserer Klasse `Bruch` entstehen, das bei einem Mausklick auf den Schalter mit dem Kürzen beauftragt wird. Wir könnten den Bytecode der Klasse `Bruch` einbinden und dabei genauso vorgehen wie bei der Klasse `Simput` (vgl. Abschnitt 3.4.2). Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den *Quellcode* der Klasse `Bruch` in das aktuelle Projekt aufzunehmen. Wir verwenden anschließend die letztgenannte, bislang noch im Manuskript nicht vorgestellte Variante. Ziehen Sie aus einem Fenster des Windows-Explorers die Datei

…\BspUeb\Klassen und Objekte\Bruch\B3 (mit Konstruktoren)

auf das Standardpaket des Projekts im Eclipse - Paket-Explorer:



Wählen Sie als Importmodus das Kopieren:



Alternativ können Sie die Datei **Bruch.java** mit den Mitteln des Betriebssystems in den Quellenordner des Projekts kopieren (z.B. **...\src**) und anschließend Eclipse auffordern, sich mit dem Dateisystem zu synchronisieren, z.B. über die Funktionstaste **F5** bei aktivem Paket-Explorer.

4.8.5.2 Kritik am Design der Klasse `Bruch`

Nach der Aufnahme der Klasse `Bruch` wird das Projekt als fehlerhaft markiert, weil in **Bruch.java** die Klasse `Simput` genutzt wird, die über den Klassenpfad des aktuellen Projekts nicht auffindbar ist. Nehmen Sie also die gemäß Abschnitt 3.4.2 angelegte `Simput`-Klassenpfadvariable in das Projekt auf. Dies gelingt im Eigenschaftsdialog des Projekts (z.B. erreichbar via Kontextmenü zum Projekteintrag im Paket-Explorer) über

Java-Erstellungspfad > Bibliotheken > Variable hinzufügen

Eine alternative Möglichkeit zur Beseitigung des Fehlers besteht darin, bei der im WB-Projekt zu verwendenden `Bruch`-Klassendefinition auf die Dienste der Klasse `Simput` zu verzichten. Dazu ist lediglich die im WB-Projekt überflüssige `Bruch`-Methode `frage()` zu entfernen, wo die Klasse `Simput` zur Interaktion mit dem Benutzer im Rahmen einer Konsolenanwendung dient.

Man kann die Unbequemlichkeit bei der Wiederverwendung der Klasse `Bruch` als Indiz für einen Verstoß gegen das in Abschnitt 4.1.1.1 angesprochene *Prinzip einer einzigen Verantwortung* (***S**ingle **R**esponsibility **P**rinciple*, SRP) interpretieren. Eventuell sollte sich die Klasse `Bruch` auf die Kernkompetenzen von Brüchen (z.B. Initialisieren, Kürzen, Addieren) beschränken und die Benutzerinteraktion anderen Klassen überlassen. Nachdem die Klasse `Bruch` mehrfach als positives Beispiel zur Erläuterung von objektorientierten Techniken gedient hat, taugt sie nun Negativbeispiel und konkretisiert die Warnung aus Abschnitt 4.1.1.1, dass multifunktionale Klassen zu stärkeren Abhängigkeiten von anderen Klassen tendieren, wobei die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Wiederverwendung sinkt.

4.8.6 Ereignisbehandlungsmethode anlegen

Nun erstellen wir zum Befehlsschalter des Anwendungsfensters eine Methode, die durch das Betätigen des Schalters (z.B. per Mausklick) ausgelöst werden soll. Setzen Sie auf der WindowBuilder-Registerkarte **Design** einen Doppelklick auf die Vorschauansicht des Befehlsschalters. Daraufhin legt der WindowBuilder in der Quellcodedatei **BK.java** einen Rohling der Behandlungsmethode **actionPerformed()** zum **ActionEvent** - Ereignis des Befehlsschalters an:

```
JButton btnNewButton = new JButton("K\u00FCrzen!");
btnNewButton.addActionListener(new ActionListener() {
 public void actionPerformed(ActionEvent e) {
 }
});
btnNewButton.setBounds(99, 199, 195, 23);
frmKrzenVonBrchen.getContentPane().add(btnNewButton);
```

Momentan dürfen (und müssen) Sie sich darüber wundern, dass die Definition der Methode **actionPerformed()** als Bestandteil des Aktualparameters in einem Aufruf der Methode **addActionListener()** auftritt. Später wird sich zeigen, dass hier (wie schon beim Quellcode der Methode **main()**, vgl. Abschnitt 4.8.1) in der eine sogenannte *anonyme Klasse* im Spiel ist.

Mit Hilfe eines Objekts aus unserer Klasse `Bruch` ist die benötigte Funktionalität leicht zu implementieren, z.B.:

```
public void actionPerformed(ActionEvent e) {
 int z = Integer.parseInt(textZaehler.getText());
 int n = Integer.parseInt(textNenner.getText());
 Bruch b = new Bruch(z, n, "");
 b.kuerze();
 textZaehler.setText(Integer.toString(b.gibZaehler()));
 textNenner.setText(Integer.toString(b.gibNenner()));
}
```

Beim Konvertieren zwischen den Datentypen **String** und **int** kommen die statischen Methoden **parseInt()** und **toString()** der Klasse **Integer** zum Einsatz (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Der Bequemlichkeit halber wird eine *lokale* `Bruch`-Referenzvariable verwendet, so dass bei jedem Methodenaufruf ein neues Objekt entsteht. Ansonsten ist das Programm ist nun fertig und startklar.

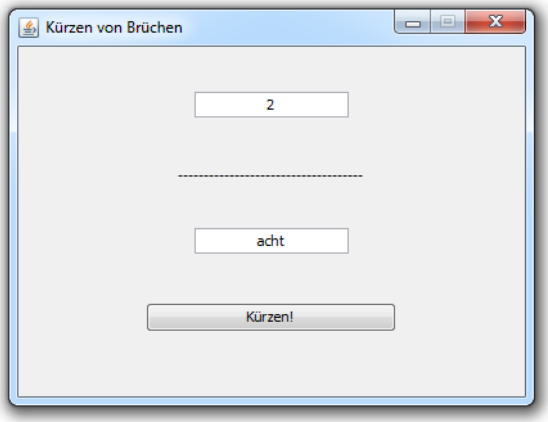
4.8.7 Ausführen

Um das Programm BK unter Windows unabhängig von Eclipse zu starten, kann man z.B. so vorgehen:

- Konsolenfenster öffnen
- Zum Ordner wechseln der alle benötigten **class**-Dateien enthält. Dazu gehören neben **BK.class** und **Bruch.class** auch die Dateien **BK$1.class** und **BK$2.class** mit den beiden anonymen Klassen, die bei der GUI-Initialisierung (siehe Abschnitt 4.8.1) bzw. bei der Ereignisbehandlung (siehe Abschnitt 4.8.6) beteiligt sind.
- Starten der JVM mit der Startklasse des Programms als Kommandozeilenargument:

Wie man unter Windows eine Verknüpfung zum Starten eines Java-Programms per Doppelklick anlegt, wurde schon in Abschnitt 2.2.3 gezeigt.

Auf Eingabefehler



reagiert das Programm erstaunlich robust, obwohl die **Integer**-Methode **parseInt()** eine **NumberFormatException** feuert, wenn sie eine nicht konvertierbare Zeichenfolge als Aktualparameter erhält, und wir auf unserem Ausbildungsstand noch nichts gegen Ausnahmefehler unternehmen können. Wie Sie später im Kapitel über die Ausnahmebehandlung erfahren werden, hat eine unbehandelte Ausnahme die Beendigung des Programms durch die JVM zur Folge. Dies passiert unserem Programm *nicht*, weil der vom Ausnahmefehler betroffene **Event Dispatch Thread** (EDT) von einem **UncaughtExceptionHandler** unterstützt wird, der sich um anderenorts nicht abgefangene Ausnahmen kümmert, die im Ausnahmefehler enthaltenen Informationen (z.B. die Aufrufsequenz) über **System.out** ausgibt und den Thread in der Regel anschließend fortsetzt.[1] Wird das Programm in Eclipse oder durch Aufruf von **java.exe** (statt über die Konsolen-freie Variante **javaw.exe**) gestartet, erscheint ggf. eine Ausgabe mit der Fehlerbeschreibung, z.B.:

```
Exception in thread "AWT-EventQueue-0" java.lang.NumberFormatException: For input
string: "acht"
 at java.lang.NumberFormatException.forInputString(NumberFormatException.java:65)
 at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:492)
 at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:527)
 at BK$2.actionPerformed(BK.java:81)
 at javax.swing.AbstractButton.fireActionPerformed(AbstractButton.java:2018)
 ...
```

[1] Weitere Informationen zur Ausnahmebehandlung im EDT bietet die Firma Oracle auf der folgenden Webseite: http://docs.oracle.com/javase/6/docs/api/java/awt/doc-files/AWTThreadIssues.html

Das komplette Eclipse-Projekt `BruchKuerzenWB` ist im folgenden Ordner zu finden

...\BspUeb\Swing\WB\BruchKuerzenWB

4.9 Übungsaufgaben zu Kapitel 4

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Die Instanzvariablen einer Klasse werden meist als **privat** deklariert.
2. Durch Datenkapselung (Schutzstufe **private**) werden die Objekte einer Klasse darin gehindert, Instanzvariablen anderer Objekte derselben Klasse zu verändern.
3. Bei einer Felddeklaration ohne Zugriffsmodifikator gilt in Java die Schutzstufe **private**.
4. Referenzvariablen werden automatisch mit den Wert **null** initialisiert.

2) Wie erhält man eine Instanzvariable mit uneingeschränktem Zugriff für die Methoden der eigenen Klasse, die von Methoden *fremder* Klassen zwar gelesen, aber nicht geändert werden kann?

3) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Methoden müssen generell als **public** deklariert werden, denn sie gehören zur Schnittstelle einer Klasse.
2. Ändert man den Rückgabetyp einer Methode, dann ändert sich auch ihre Signatur.
3. Beim Methodenaufruf müssen die Datentypen der Aktualparameter exakt mit den Datentypen der Formalparameter übereinstimmen.
4. Lokale Variablen einer Methode überdecken gleichnamige Felder.

4) Was halten Sie von der folgenden Variante der `Bruch`-Methode `setzeNenner()`?

```
public boolean setzeNenner(int n) {
 if (n != 0)
  nenner = n;
 else
  return false;
}
```

5) Welche programminternen Möglichkeiten hat eine Methode, Informationen an die Außenwelt zu übergeben bzw. Änderungen in der Außenwelt vorzunehmen? Mögliche Wirkungen der Methode auf das Dateisystem oder Netzwerkverbindungen sind bei dieser Frage nicht gemeint.

6) Könnten in *einer* `Bruch`-Klassendefinition die beiden folgenden `addiere()`-Methoden koexistieren, die sich durch die Reihenfolge der Parameter für Zähler und Nenner des zu addierenden Bruchs unterscheiden?

```
public void addiere(int zpar, int npar) {
 if (npar == 0) return;
 zaehler = zaehler*npar + zpar*nenner;
 nenner = nenner*npar;
 kuerze();
}
```

```
public void addiere(int npar, int zpar) {
 if (npar == 0) return;
 zaehler = zaehler*npar + zpar*nenner;
 nenner = nenner*npar;
 kuerze();
}
```

7) Entlarven Sie bitte die falschen Behauptungen:

1. Der Standardkonstruktor einer Klasse hat die Schutzstufe **public**.
2. Die Entsorgung überflüssig gewordener Objekte wird vom Garbage Collector der JVM automatisch erledigt.
3. Die in einer Methode erstellten Objekte sind nach Verlassen der Methode ungültig und werden (früher oder später) vom Garbage Collector aus dem Speicher entfernt.
4. Auf eine statische Methode können berechtigte Klassen nur „auf statischem Weg“ zugreifen, indem sie dem Methodennamen beim Aufruf einen Vorspann aus Klassennamen und Punktoperator voranstellen. In Methoden derselben Klasse darf der Klassenname entfallen.

8) Erstellen Sie die Klassen `Time` und `Duration` zur Verwaltung von Zeitpunkten (der Einfachheit halber nur innerhalb eines Tages) und Zeitintervallen (von beliebiger Länge).

Beide Klassen sollen über Instanzvariablen für Stunden, Minuten und Sekunden sowie über folgende Methoden verfügen:

- Konstruktoren mit unterschiedlichen Parameterausstattungen
- Methoden zum Abfragen bzw. Setzen von Stunden, Minuten und Sekunden
  Beim Versuch zur Vereinbarung eines irregulären Werts (z.B. Uhrzeit mit einer Stundenangabe größer als 23) sollte die betroffene Methode die Ausführung verweigern und den Rückgabewert **false** liefern.
- Eine Methode mit dem Namen `toString()` und dem Rückgabetyp **String**, die zu einem `Time`- bzw. `Duration`-Objekt eine gut lesbare Zeichenfolgenrepräsentation liefert
  Tipp: In der Klasse **String** steht die statische Methode **format()** zur Verfügung, die analog zur **PrintStream**-Methode **printf()** (siehe Abschnitt 3.2.2) eine formatierte Ausgabe erlaubt. Im folgenden Beispiel enthält die Formatierungszeichenfolge den Platzhalter **%02d** für eine ganze Zahl, die bei Werten kleiner als 10 mit einer führenden Null ausgestattet wird:
  ```
  String.format("%02d:%02d:%02d %s", hours, minutes, seconds, "Uhr");
  ```

In der `Time`-Klasse sollen außerdem Methoden mit folgenden Leistungen vorhanden sein:

- Berechnung der Zeitdistanz zu einem anderen, als Parameter übergebenen Zeitpunkt am selben oder am folgenden Tag, z.B. mit dem Namen `getDistenceTo()`
- Addieren eines Zeitintervalls zu einem Zeitpunkt, z.B. mit dem Namen `addDuration()`

Erstellen Sie eine Testklasse zur Demonstration der `Time`-Methoden `getDistenceTo()` und `addDuration()`. Ein Programmlauf soll z.B. folgende Ausgaben produzieren:

```
Von 17:34:55 Uhr bis 12:24:12 Uhr vergehen    18:49:17 h:m:s.

   20:23:00 h:m:s nach 17:34:55 Uhr sind es 13:57:55 Uhr.
```

9) Lokalisieren Sie bitte in der folgenden Abbildung mit einer Kurzform der Klasse `Bruch`

```
public class Bruch {
        private int zaehler;                                          1
        private int nenner = 1;
        private String etikett = "";
        static private int anzahl;                                    2

        public Bruch(int zpar, int npar, String epar) {
                setzeZaehler(zpar);
                setzeNenner(npar);
                setzeEtikett(epar);
                anzahl++;
        }
        public Bruch() {anzahl++;}                                    3

        public void setzeZaehler(int zpar) {zaehler = zpar;}
        public boolean setzeNenner(int n) {
                if (n != 0)    {
                        nenner = n;
                        return true;
                } else
                        return false;
        }
        public void setzeEtikett(String epar) {
                int rind = epar.length();                             4
                if (rind > 40)
                        rind = 40;
                etikett = epar.substring(0, rind);
        }
        public int gibZaehler() {return zaehler;}
        public int gibNenner() {return nenner;}
        public String gibEtikett() {return etikett;}

        public void kuerze() {
                .       .       .
        }
        public void addiere(Bruch b) {
                zaehler = zaehler*b.nenner + b.zaehler*nenner;
                nenner = nenner*b.nenner;
                kuerze();                                             5
        }
        public boolean frage() {
                .       .       .
        }

        public void zeige() {
                .       .       .
        }
        public void dupliziere(Bruch bc) {                            6
                bc.zaehler = zaehler;
                bc.nenner = nenner;
                bc.etikett = etikett;
        }
        public Bruch klone() {                                        7
                return new Bruch(zaehler, nenner, etikett);
        }

        static public int hanz() {return anzahl;}                     8
}

class Bruchrechnung {
        public static void main(String[] args) {
                Bruch b1 = new Bruch(890, 25, "");                    9
                b1.zeige();    b1.kuerze(); b1.zeige();
        }
}
```

neun Begriffe der objektorientierten Programmierung, und tragen Sie die Positionen in die folgende Tabelle ein:

Begriff	Pos.
Definition einer Instanzmethode mit Referenzrückgabe	
Deklaration einer lokalen Variablen	
Definition einer Instanzmethode mit Referenzparameter	
Deklaration einer Instanzvariablen	
Methodenaufruf	

Begriff	Pos.
Konstruktordefinition	
Deklaration einer Klassenvariablen	
Objekterzeugung	
Definition einer Klassenmethode	

Zum Eintragen benötigen Sie nicht unbedingt eine gedruckte Variante des Manuskripts, sondern können auch das interaktive PDF-Formular

...\BspUeb\Klassen und Objekte\Begriffe lokalisieren.pdf

benutzen. Die Idee zu dieser Übungsaufgabe stammt aus Mössenböck (2003).

10) Erstellen Sie eine Klasse mit einer statischen Methode zur Berechnung der Fakultät über einen rekursiven Algorithmus. Erstellen Sie eine Testklasse, welche die rekursive Fakultätsmethode benutzt. Diese Aufgabe dient dazu, an einem einfachen Beispiel mit rekursiven Methodenaufrufen zu experimentieren. Für die Praxis ist die rekursive Fakultätsberechnung nicht geeignet.

11) Die folgende Aufgabe eignet sich nur für Leser(innen) mit Grundkenntnissen in linearer Algebra: Erstellen Sie eine Klasse für Vektoren im $\mathbb{R}^2$, die mindestens über Methoden mit folgenden Leistungen erfügt:

- **Länge** ermitteln

  Der Betrag eines Vektors $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ ist definiert durch:

  $$|x| := \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$$

  Verwenden Sie die Klassenmethode **Math.sqrt()**, um die Quadratwurzel aus einer **double**-Zahl zu berechnen.

- Vektor auf Länge Eins **normieren**
  Dazu dividiert man beide Komponenten durch die Länge des Vektors, denn mit
  $\tilde{x} := (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2)$ sowie $\tilde{x}_1 := \dfrac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}$ und $\tilde{x}_2 := \dfrac{x_2}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}$ gilt:

  $$|\tilde{x}| = \sqrt{\tilde{x}_1^2 + \tilde{x}_2^2} = \sqrt{\left(\frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}\right)^2 + \left(\frac{x_2}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}\right)^2} = \sqrt{\frac{x_1^2}{x_1^2 + x_2^2} + \frac{x_2^2}{x_1^2 + x_2^2}} = 1$$

- Vektoren (komponentenweise) **addieren**

  Die Summe der Vektoren $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ und $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$ ist definiert durch:

  $$\begin{pmatrix} x_1 + y_1 \\ x_2 + y_2 \end{pmatrix}$$

- **Skalarprodukt** zweier Vektoren ermitteln

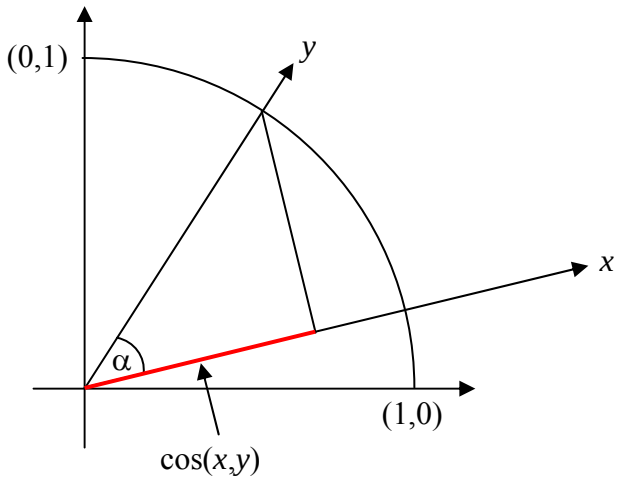
  Das Skalarprodukt der Vektoren $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ und $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$ ist definiert durch:

  $$x \cdot y := x_1 y_1 + x_2 y_2$$

- **Winkel** zwischen zwei Vektoren in Grad ermitteln

  Für den Kosinus des Winkels, den zwei Vektoren *x* und *y* im mathematischen Sinn (links herum) einschließen, gilt:[1]

  $$\cos(x, y) = \frac{x \cdot y}{|x||y|}$$

  Um aus cos(*x*, *y*) den Winkel α in Grad zu ermitteln, können Sie folgendermaßen vorgehen:

  - mit der Klassenmethode **Math.acos()** den zum Kosinus gehörigen Winkel im Bogenmaß ermitteln
  - mit der Klassenmethode **Math.toDegrees()** das Bogenmaß (*rad*) in Grad umrechnen (*deg*), wobei folgende Formel verwendet wird:

    $$deg = \frac{rad}{2\pi} \cdot 360$$

- **Rotation** eines Vektors um einen bestimmten Winkelgrad

  Mit Hilfe der Rotationsmatrix

  $$D := \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

  kann der Vektor *x* um den Winkel α (im Bogenmaß!) gedreht werden:

  $$x' = D\,x = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha)\,x_1 - \sin(\alpha)\,x_2 \\ \sin(\alpha)\,x_1 + \cos(\alpha)\,x_2 \end{pmatrix}$$

  Zur Berechnung der trigonometrischen Funktionen stehen die Klassenmethoden **Math.cos()** und **Math.sin()** bereit. Für die Umwandlung von Winkelgraden (*deg*) in das von **cos()** und **sin()** benötigte Bogenmaß (*rad*) steht die Methode **Math.toRadians()** bereit, die mit folgender Formel arbeitet:

  $$rad = \frac{deg}{360} \cdot 2\pi$$

---

[1] Dies folgt aus dem Additionstheorem für den Kosinus.

Erstellen Sie ein Demonstrationsprogramm, das Ihre Vektor-Klasse verwendet und ungefähr den folgenden Programmablauf ermöglicht (Eingabe fett):

```
Vektor 1:               (1,00; 0,00)
Vektor 2:               (1,00; 1,00)

Laenge von Vektor 1:    1,00
Laenge von Vektor 2:    1,41

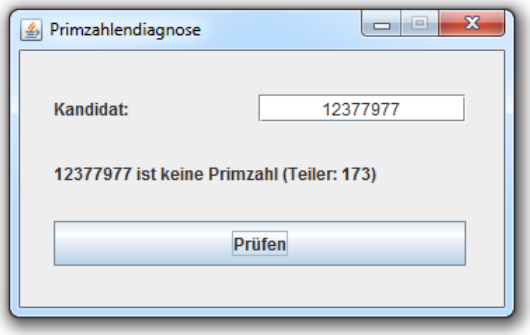
Winkel:                 45,00 Grad

Um wie viel Grad soll Vektor 2 gedreht werden: 45

Neuer Vektor 2          (0,00; 1,41)
Neuer Vektor 2 normiert (0,00; 1,00)

Summe der Vektoren      (1,00; 1,00)
```

12) Entwickeln Sie ein Programm zur Primzahlendiagnose mit graphischer Bedienoberfläche, z.B.:



Gehen Sie dabei analog zu Abschnitt 4.8 vor (individuelles Fensterdesign mit Hilfe des Window-Builders). Erstellen Sie auch eine Verknüpfung zum bequemen Starten Ihrer Anwendung per Doppelklick.

Tipp: Der WindowBuilder - Quellcodegenerator legt per Voreinstellung zu einer **JTextField**-Komponente eine *Instanz*variable an,

```
public class PrimDiagWB {
 private JTextField textKandidat;
   ...
}
```

zu einer **JLabel**-Komponente hingegen eine *lokale* Variable der Methode **initialize()**

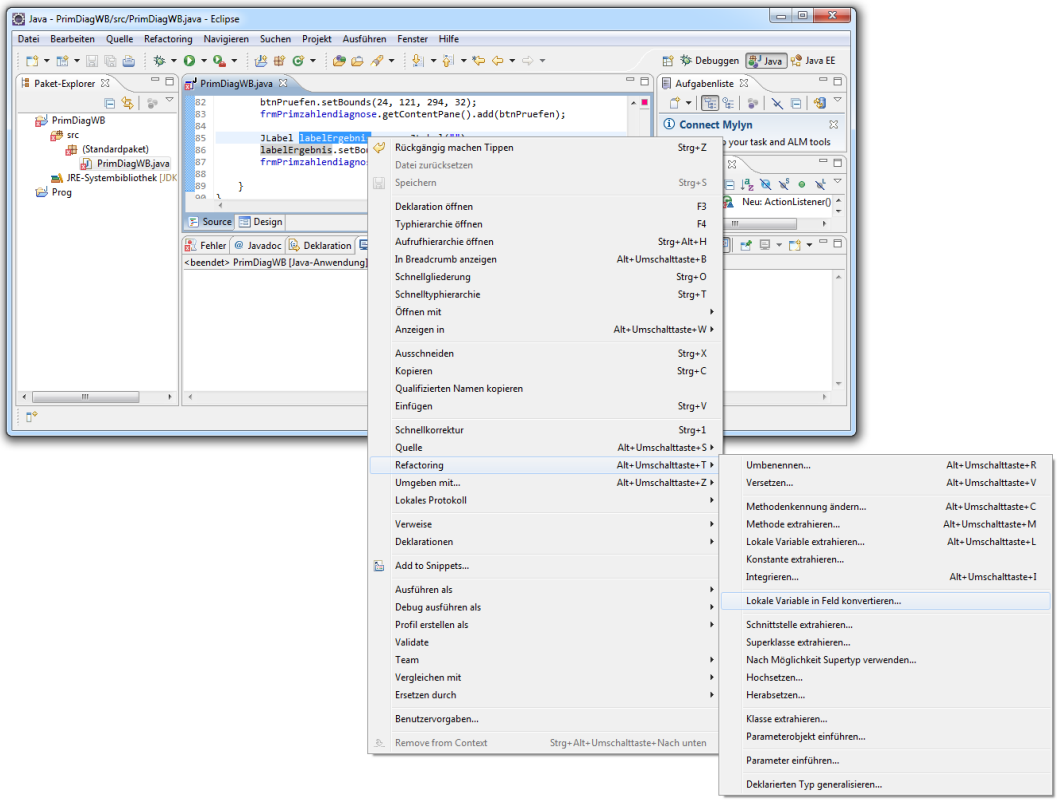
```
private void initialize() {
   ...
 JLabel labelErgebnis = new JLabel("");
 labelErgebnis.setBounds(24, 79, 291, 17);
 frmPrimzahlendiagnose.getContentPane().add(labelErgebnis);
   ...
}
```

Wenn Sie (wie im obigen Beispiel) eine **JLabel**-Komponente zur Ergebnisausgabe verwenden, müssen Sie die lokale Referenzvariable durch eine Instanzreferenzvariable ersetzen und diese in der **initialize()** - Methode ansprechen, z.B.:

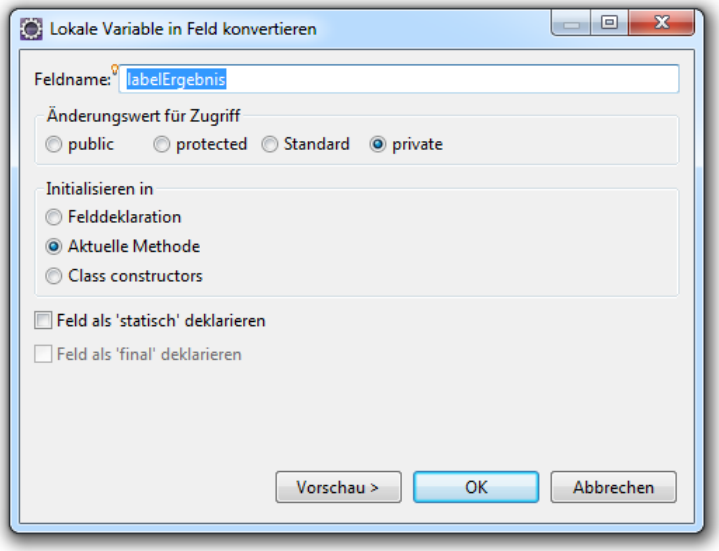
```
public class PrimDiagWB {
 private JTextField textKandidat;
 private JLabel labelErgebnis;
   ...
```

```
    private void initialize() {
      ...
      labelErgebnis = new JLabel("");
      labelErgebnis.setBounds(24, 79, 291, 17);
      frmPrimzahlendiagnose.getContentPane().add(labelErgebnis);
      ...
    }
    ...
}
```

Diese Arbeit kann Eclipse dank seiner Fähigkeiten zum Umgestalten (Refaktorieren) des Quellcodes erledigen. Wählen Sie über das Kontextmenü zur markierten lokalen Variablen den Befehl **Refactoring > Lokale Variable in Feld konvertieren**:



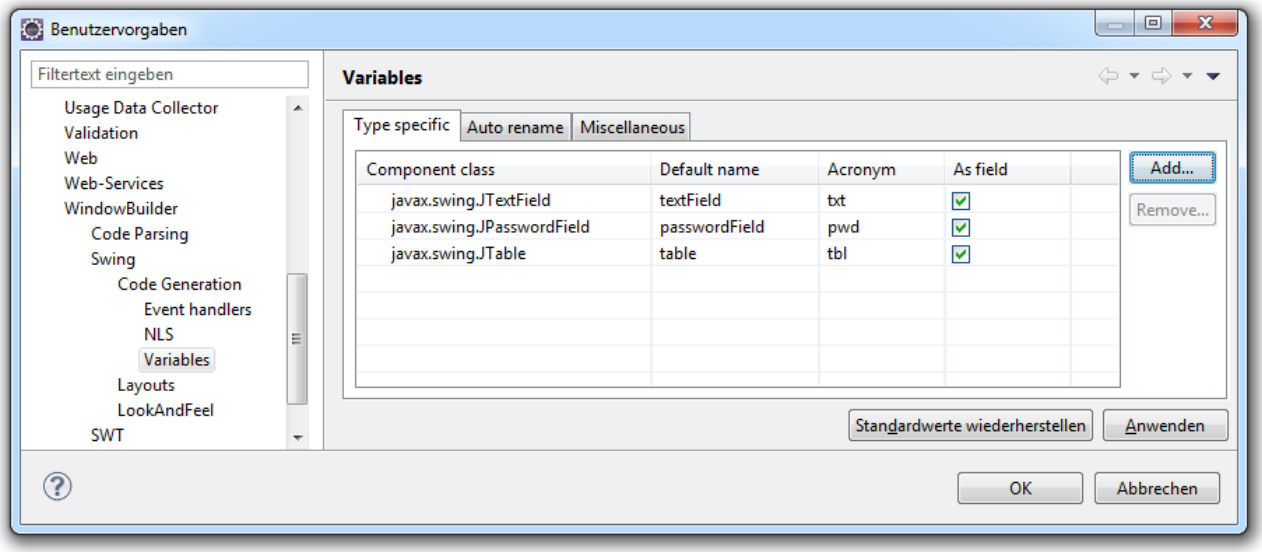
Anschließend erkundigt sich Eclipse nach Modifikatoren für die Instanzvariable und nach dem Initialisierungsort. Die folgenden Angaben sind angemessen:



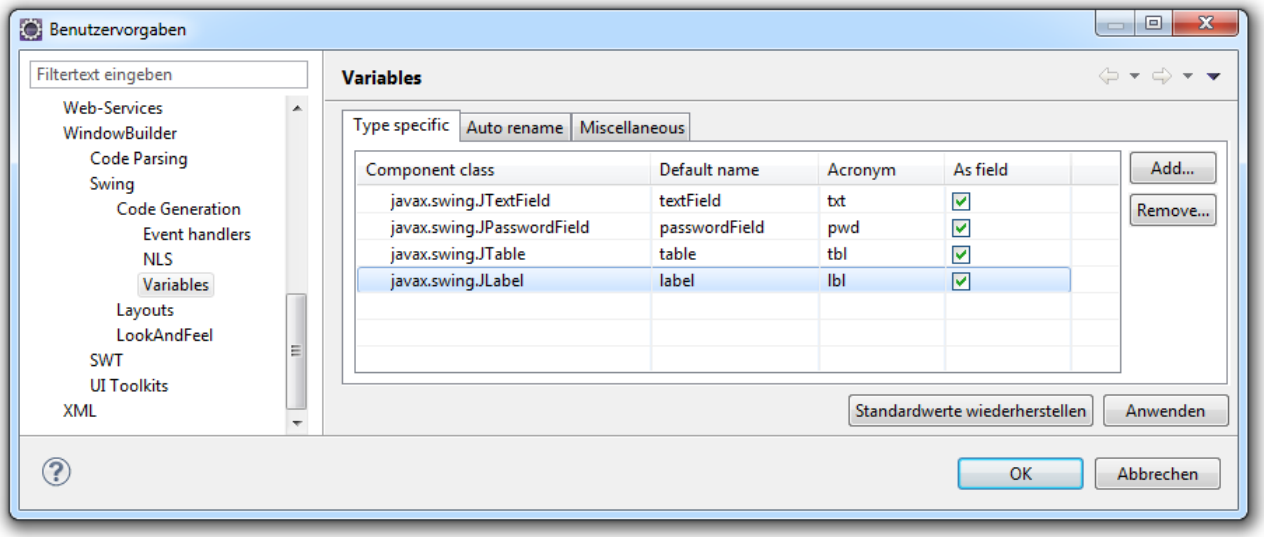
Vermutlich fragen Sie sich, warum der WindowBuilder **JTextField**-Referenzvariablen grundsätzlich als Felder anlegt. Die Antwort und eine Steuerungsmöglichkeit finden Sie nach dem Menübefehl

Fenster > Benutzervorgeben > Swing > Code Generation > Variables

im folgenden Dialog:



Wenn Sie über den Schalter **Add** die folgende Zeile ergänzen, wird der WindowBuilder in Zukunft für **JLabel**-Komponenten Instanzvariablen (Felder) anlegen:



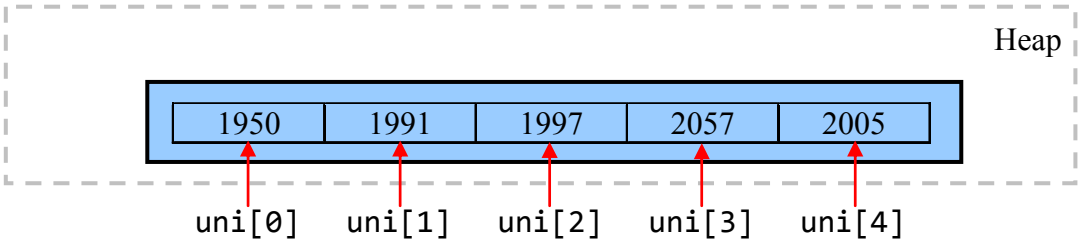
5 Elementare Klassen

In diesem Abschnitt wird gewissermaßen die objektorientierte Fortsetzung der elementaren Sprachelemente aus Kapitel 3 präsentiert. Es werden wichtige Bausteine für Programme behandelt, die in Java als *Klassen* realisiert sind (z.B. Arrays, Zeichenketten), und einige spezielle Datentypen vorgestellt. Die Themen der folgenden Abschnitte sind:

- Arrays als Container für eine feste Anzahl von Elementen desselben Datentyps
- Klassen zur Verwaltung von Zeichenketten (**String**, **StringBuilder**, **StringBuffer**)
- Verpackungsklassen zur Integration primitiver Datentypen in das Klassensystem
- Aufzählungstypen (Enumerationen)

5.1 Arrays

Ein Array ist ein Objekt, das eine feste Anzahl von Elementen desselben Datentyps als Instanzvariablen enthält.[1] Hier ist ein Array namens `uni` mit 5 Elementen vom Typ **int** zu sehen:

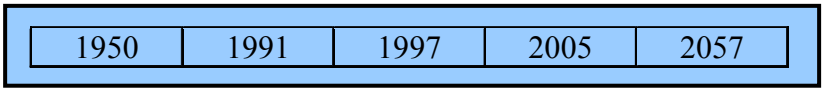


Beim Zugriff auf ein einzelnes Element gibt man nach dem Arraynamen den durch eckige Klammern begrenzten Index an, wobei die Nummerierung bei 0 beginnt und bei *n* Elementen folglich mit *n* - 1 endet. Technisch gesehen liegt ein Array-Zugriffsausdruck mit dem Operator [] vor.

Man kann aber auch den kompletten Array ansprechen und z.B. als Aktualparameter an eine Methode übergeben. In der folgenden Anweisung

```
Arrays.sort(uni);
```

werden die Elemente des Arrays `uni` durch eine statische Methode der Klasse **Arrays** sortiert, was zu diesem Ergebnis führt:



Neben den Elementen enthält das Array-Objekt noch Verwaltungsdaten (z.B. die Instanzvariable **length** mit der Anzahl der Elemente).

Im Vergleich zur Verwendung einer entsprechenden Anzahl von Einzelvariablen ergibt sich eine erhebliche Vereinfachung der Programmierung:

- Weil der Index auch durch einen *Ausdruck* (z.B. durch eine Variable) geliefert werden kann, sind Arrays im Zusammenhang mit den Wiederholungsanweisungen äußerst praktisch.
- Man kann oft die *gemeinsame* Verarbeitung *aller* Elemente per Methodenaufruf mit Array-Aktualparameter veranlassen.
- Viele Algorithmen arbeiten mit Vektoren und Matrizen. Zur Modellierung dieser mathematischen Objekte sind Arrays unverzichtbar.

---

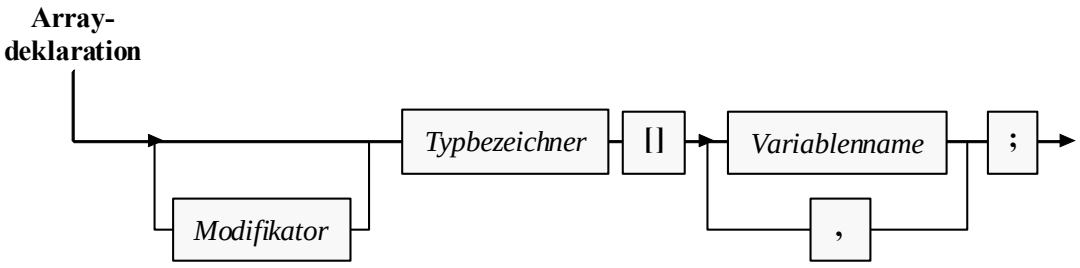
[1] Arrays werden in vielen Programmiersprachen auch *Felder* genannt. In Java bezeichnet man jedoch recht einheitlich die Instanz- oder Klassenvariablen als Felder, so dass der Name hier nicht mehr zur Verfügung steht.

Wir beschäftigen uns erst *jetzt* mit den zur Grundausstattung praktisch jeder Programmiersprache gehörenden Arrays, weil diese Datentypen in Java als *Klassen* realisiert werden und folglich zunächst entsprechende Grundlagen zu erarbeiten waren. Obwohl wir die wichtige Vererbungsbeziehung zwischen Klassen noch nicht offiziell behandelt haben, können Sie vermutlich schon den Hinweis verdauen, dass alle Array-Klassen direkt von der Urahnklasse **Object** im Paket **java.lang** abstammen.

Wir befassen uns zunächst mit *eindimensionalen* Arrays, behandeln später aber auch den mehrdimensionalen Fall.

5.1.1 Array-Referenzvariablen deklarieren

Eine Array-Variable ist vom Referenztyp und wird folgendermaßen deklariert:



Im Vergleich zu der bisher bekannten Variablendeklaration (ohne Initialisierung) ist hinter dem Typbezeichner zusätzlich ein Paar eckiger Klammern anzugeben.[1] In obigem Beispiel kann die Array-Variable `uni` also z.B. folgendermaßen deklariert werden:

```
int[] uni;
```

Bei der Deklaration entsteht nur eine Referenzvariable, jedoch noch kein Array-Objekt. Daher ist auch keine Array-Größe (Anzahl der Elemente) anzugeben.

Einer Array-Referenzvariablen kann als Wert die Adresse eines Arrays mit Elementen vom vereinbarten Typ oder das Referenzliteral **null** zugewiesen werden.

5.1.2 Array-Objekte erzeugen

Mit Hilfe des **new**-Operators erzeugt man ein Array-Objekt mit einem bestimmten Elementtyp und einer bestimmten Größe auf dem Heap. In der folgenden Anweisung entsteht ein Array mit 5 **int**-Elementen, und seine Adresse landet in der Referenzvariablen `uni`:

```
uni = new int[5];
```

Im **new**-Operanden *muss* hinter dem Datentyp zwischen eckigen Klammern die Anzahl der Elemente festgelegt werden, wobei ein beliebiger Ausdruck mit ganzzahligem Wert (≥ 0) erlaubt ist. Man kann also die Länge eines Arrays zur Laufzeit festlegen, z.B. in Abhängigkeit von einer Benutzereingabe.

Existiert ein Array-Objekt erst einmal, kann die Anzahl seiner Elemente allerdings nicht mehr geändert werden. Um einen Array zu „verlängern“, muss man also ...

---

[1] Alternativ dürfen bei der Deklaration die eckigen Klammern auch *hinter* dem Variablennamen stehen, z.B.

```
int uni[];
```

Hier wird eine Regel der älteren Programmiersprache C unterstützt, wobei die Lesbarkeit des Quellcodes aber leidet.

- einen neuen, größeren Array erstellen,
- die vorhandenen Elemente dorthin kopieren
- und den alten Array dem Garbage Collector überlassen.

Unter Verwendung der statischen Methode **copyOf()** aus der Service-Klasse **Arrays** ist eine solche „Verlängerung“ in *einem* Aufruf zu erledigen. Einige später vorzustellende Kollektionsklassen zur Verwaltung von Elementlisten gehen im Bedarfsfall analog vor, um die Kapazität zu erhöhen. Im Quellcode der API-Klasse **ArrayList**, die wir noch als „größendynamischen“ Container mit Array-Innenleben kennen lernen werden, findet sich z.B. die folgende Anweisung

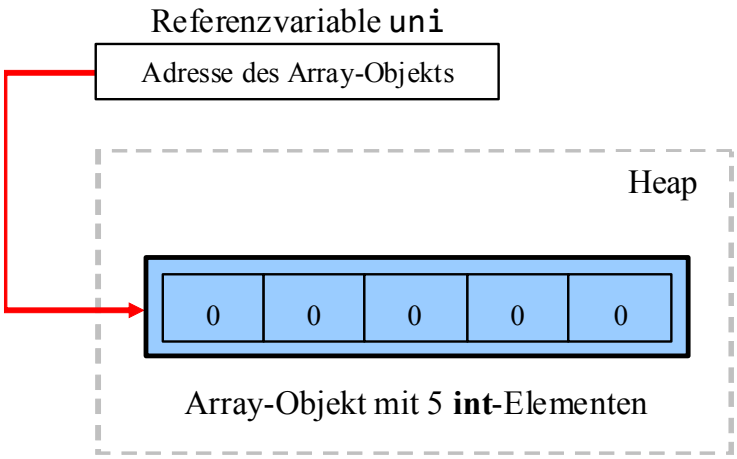
```
elementData = Arrays.copyOf(elementData, newCapacity);
```

in der privaten Methode **grow()**.

Die Deklaration einer Array-Referenzvariablen *und* die Erstellung des Array-Objekts kann man natürlich auch in *einer* Anweisung erledigen, z.B.:

```
int[] uni = new int[5];
```

Mit der Verweisvariablen `uni` und dem referenzierten Array-Objekt auf dem Heap haben wir insgesamt folgende Situation:



Weil es sich bei den Array-Elementen um Instanzvariablen eines *Objekts* handelt, erfolgt eine automatische Initialisierung nach den Regeln von Abschnitt 4.1.3. Die **int**-Elemente im Beispiel erhalten folglich den Startwert 0.

Aus der Objekt-Natur eines Arrays folgt unmittelbar, dass er vom Garbage Collector entsorgt wird, wenn keine Referenz mehr vorliegt (vgl. Abschnitt 4.4.4). Um eine Referenzvariable aktiv von einem Array-Objekt zu „entkoppeln“, kann man ihr z.B. den Wert **null** (Zeiger auf nichts) oder aber ein alternatives Referenzziel zuweisen. Es ist auch möglich, dass mehrere Referenzvariablen auf dasselbe Array-Objekt zeigen, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int[] x = new int[3], y;` `  x[0] = 1; x[1] = 2; x[2] = 3;` `  y = x; //y zeigt nun auf das selbe Array-Objekt wie x` `  y[0] = 99;` `  System.out.println(x[0]);` `  }` `}`	`99`

5.1.3 Arrays verwenden

Der Zugriff auf die Elemente eines Array-Objekts geschieht über eine zugehörige Referenzvariable, an deren Namen zwischen eckigen Klammern ein passender Index angehängt wird. Als Index ist ein beliebiger Ausdruck mit ganzzahligem Wert erlaubt, wobei natürlich die Feldgrenzen zu beachten sind. In der folgenden **for**-Schleife wird pro Durchgang ein zufällig gewähltes Element des **int**-Arrays inkrementiert, auf den die Referenzvariable `uni` gemäß obiger Deklaration und Initialisierung zeigt (siehe Abschnitt 5.1.2):

```
for (i = 1; i <= drl; i++)
  uni[zzg.nextInt(5)]++;
```

Den Indexwert liefert die Zufallszahlenmethode **nextInt()** mit Rückgabetyp **int** (siehe unten).

Wie in vielen anderen Programmiersprachen hat auch in Java das erste von *n* Array-Elementen die Nummer 0 und folglich das letzte die Nummer *n* - 1. Damit existiert z.B. nach der Anweisung

```
int[] uni = new int[5];
```

kein Element `uni[5]`. Ein Zugriffsversuch führt zum Laufzeitfehler vom Typ **ArrayIndexOutOfBoundsException**, z.B.:

```
Exception in thread "main": java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 5
  at UniRand.main(UniRand.java:15)
```

Wenn das verantwortliche Programm einen solchen Ausnahmefehler nicht behandelt (siehe unten), wird es vom Laufzeitsystem beendet. Man kann sich in Java generell darauf lassen, dass jede Überschreitung von Feldgrenzen verhindert wird, so dass es nicht zur Verletzung anderer Speicherbereiche und den entsprechenden Folgen (Absturz mit Speicherschutzverletzung, unerklärliches Programmverhalten) kommt.

Die (z.B. durch eine Benutzerentscheidung zur Laufzeit festgelegte) Länge eines Array-Objekts lässt sich über die finalisierte Instanzvariable **length** feststellen, z.B.:

Quellcode	Eingabe (fett) und Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.print("Laenge des Vektors: ");` `  int[] wecktor = new int[Simput.gint()];` `  System.out.println();` `  for(int i = 0; i < wecktor.length; i++) {` `  System.out.print("Wert von Element "+i+": ");` `  wecktor[i] = Simput.gint();` `  }` `  System.out.println();` `  for(int i = 0; i < wecktor.length; i++)` `  System.out.println(wecktor[i]);` `  }` `}`	`Laenge des Vektors: 3` `Wert von Element 0: 7` `Wert von Element 1: 13` `Wert von Element 2: 4711` `7` `13` `4711`

Auch beim Entwurf von Methoden mit Array-Parametern ist es von Vorteil, dass die Länge eines übergebenen Arrays ohne entsprechenden Zusatzparameter in der Methode bekannt ist.

5.1.4 Beispiel: Beurteilung des Java-Pseudozufallszahlengenerators

Oben wurde am Beispiel des 5-elementigen **int**-Arrays `uni` demonstriert, dass die Array-Technik im Vergleich zur Verwendung einzelner Variablen den Aufwand bei der Deklaration und beim Zugriff deutlich verringert. Insbesondere beim Einsatz in einer Schleifenkonstruktion erweist sich

die Ansprache der einzelnen Elemente über einen Index als überaus praktisch. Die zur Demonstration verwendeten Anweisungen lassen sich leicht zu einem Programm erweitern, das die Qualität des Java-**Pseudozufallszahlengenerators** überprüft. Dieser Generator produziert Folgen von Zahlen mit einem bestimmten Verteilungsverhalten. Obwohl eine Serie perfekt von ihrem Startwert abhängt, kann sie in der Regel echte Zufallszahlen ersetzen. Manchmal ist es sogar von Vorteil, eine Serie über ihren *festen* Startwert reproduzieren zu können. Meist verwendet man aber *variable* Startwerte, z.B. abgeleitet aus einer Zeitangabe. Der Einfachheit halber redet man oft von *Zufallszahlen* und lässt den *Pseudo*-Zusatz weg.

Man kann übrigens mit moderner EDV-Technik unter Verwendung von physikalischen Prozessen auch *echte* Zufallszahlen produzieren, doch ist der Zeitaufwand im Vergleich zu Pseudozufallszahlen erheblich höher (siehe z.B. Lau 2009).

Nach der folgenden Anweisung zeigt die Referenzvariable `zzg` auf ein Objekt der Klasse **Random** aus dem API-Paket **java.util**, das als Pseudozufallszahlengenerator taugt:

```
java.util.Random zzg = new java.util.Random();
```

Durch Verwendung des parameterfreien **Random**-Konstruktors entscheidet man sich für die Anzahl der Millisekunden seit dem 1.1.1970, 00.00 Uhr, als Startwert für den Pseudozufall.[1]

Das angekündigte Programm zur Prüfung des Java-Pseudozufallszahlengenerators zieht 10.000 Zufallszahlen aus der Menge {0, 1, 2, 3, 4} und überprüft die empirische Verteilung dieser Stichprobe:

```
class UniRand {
 public static void main(String[] args) {
  final int drl = 10_000;
  int i;
  int[] uni = new int[5];
  java.util.Random zzg = new java.util.Random();

  for (i = 1; i <= drl; i++)
   uni[zzg.nextInt(5)]++;

  System.out.println("Absolute Haeufigkeiten:");
  for (i = 0; i < 5; i++)
   System.out.print(uni[i] + " ");

  System.out.println("\n\nRelative Haeufigkeiten:");
  for (i = 0; i < 5; i++)
   System.out.print((double)uni[i]/drl + " ");
 }
}
```

Die **Random**-Methode **nextInt()** liefert beim Aufruf mit dem Aktualparameterwert 5 als Rückgabe eine **int**-Zufallszahl aus der Menge {0, 1, 2, 3, 4}, wobei die möglichen Werte mit der gleichen Wahrscheinlichkeit 0,2 auftreten sollten. Im Programm dient der Rückgabewert als Array-Index dazu, ein zufällig gewähltes `uni`-Element zu inkrementieren. Wie das folgende Ergebnisbeispiel zeigt, stellt sich die erwartete Gleichverteilung in guter Näherung ein:

---

[1] Lieferant dieses Wertes ist die statische Methode **currentTimeMillis()** der Klasse **System** im API-Paket **java.lang** und obige Anweisung ist äquivalent mit:

```
java.util.Random zzg = new java.util.Random(System.currentTimeMillis());
```

```
Absolute Haeufigkeiten:
1950 1991 1997 2057 2005

Relative Haeufigkeiten:
0.195 0.1991 0.1997 0.2057 0.2005
```

Ein χ^2-Signifikanztest mit der Gleichverteilung als Nullhypothese bestätigt durch eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,569 (weit oberhalb der kritischen Grenze 0,05), dass keine Zweifel an der Gleichverteilung bestehen:

uni

	Beobachtetes N	Erwartete Anzahl	Residuum
0	1950	2000,0	-50,0
1	1991	2000,0	-9,0
2	1997	2000,0	-3,0
3	2057	2000,0	57,0
4	2005	2000,0	5,0
Gesamt	10000		

Statistik für Test

	uni
Chi-Quadrat	2,932[a]
df	4
Asymptotische Signifikanz	**,569**

a. Bei 0 Zellen (,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 2000,0.

Über die im Beispielprogramm verwendete Klasse **Random** aus dem Paket **java.util** können Sie sich z.B. mit Hilfe der API-Dokumentation informieren.

Statt ein **Random**-Objekt zu erzeugen und mit der Produktion von Pseudozufallszahlen zu beauftragen, kann man auch die statische Methode **random()** aus der Klasse **Math** benutzen, die gleichverteilte **double**-Werte aus dem Intervall [0, 1) liefert, z.B.:[1]

```
uni[(int) (Math.random()*5)]++;
```

5.1.5 Initialisierungslisten

Bei Arrays mit wenigen Elementen ist die Möglichkeit von Interesse, beim Deklarieren der Referenzvariablen eine Initialisierungsliste mit Werten für die Elementvariablen anzugeben und das Array-Objekt dabei implizit (ohne Verwendung des **new**-Operators) zu erzeugen, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int[] wecktor = {1, 2, 3};` `  System.out.println(wecktor[2]);` `  }` `}`	3

Die Deklarations- und Initialisierungsanweisung

```
int[] wecktor = {1, 2, 3};
```

ist äquivalent zu:

[1] Im Hintergrund erzeugt die Methode bei ihrem ersten Aufruf ein **Random**-Objekt über den parameterfreien Konstruktor:

```
new java.util.Random()
```

```
int[] wecktor = new int[3];
wecktor[0] = 1;
wecktor[1] = 2;
wecktor[2] = 3;
```

Initialisierungslisten sind nicht nur bei der Deklaration erlaubt, sondern auch bei der Objektkreation, z.B.:

```
int[] wecktor;
wecktor = new int[] {1, 2, 3};
```

5.1.6 Objekte als Array-Elemente

Für die Elemente eines Arrays sind natürlich auch Referenztypen erlaubt. In folgendem Beispiel wird ein Array mit `Bruch`-Objekten erzeugt:

Quellcode	Ausgabe
`class Bruchrechnung {` `  public static void main(String[] args) {` `  Bruch b1 = new Bruch(1, 2, "b1 = ");` `  Bruch b2 = new Bruch(5, 6, "b2 = ");` `  Bruch[] bruvek = {b1, b2};` `  bruvek[1].zeige();` `  }` `}`	`  5` `b2 = -----` `  6`

Im nächsten Abschnitt lernen wir einen wichtigen Spezialfall von Arrays mit Referenztyp-Elementen kennen. Dort zeigen die Elementvariablen wiederum auf Arrays, so dass mehrdimensionale Arrays entstehen.

5.1.7 Mehrdimensionale Arrays

In der linearen Algebra und in vielen anderen Anwendungsbereichen werden auch *mehrdimensionale* Arrays benötigt. Ein zweidimensionaler Array wird in Java als *Array of Arrays* realisiert, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  int[][] matrix = new int[4][3];` `  System.out.println("matrix.length  = "+` `  matrix.length);` `  System.out.println("matrix[0].length = "+` `  matrix[0].length+"\n");` `  for(int i=0; i < matrix.length; i++) {` `  for(int j=0; j < matrix[i].length; j++) {` `  matrix[i][j] = (i+1)*(j+1);` `  System.out.print(" "+ matrix[i][j]);` `  }` `  System.out.println();` `  }` `  }` `}`	`matrix.length  = 4` `matrix[0].length = 3` ` 1 2 3` ` 2 4 6` ` 3 6 9` ` 4 8 12`

Dieses Verfahren lässt sich beliebig verallgemeinern, um Arrays mit höherer Dimensionalität zu erzeugen.

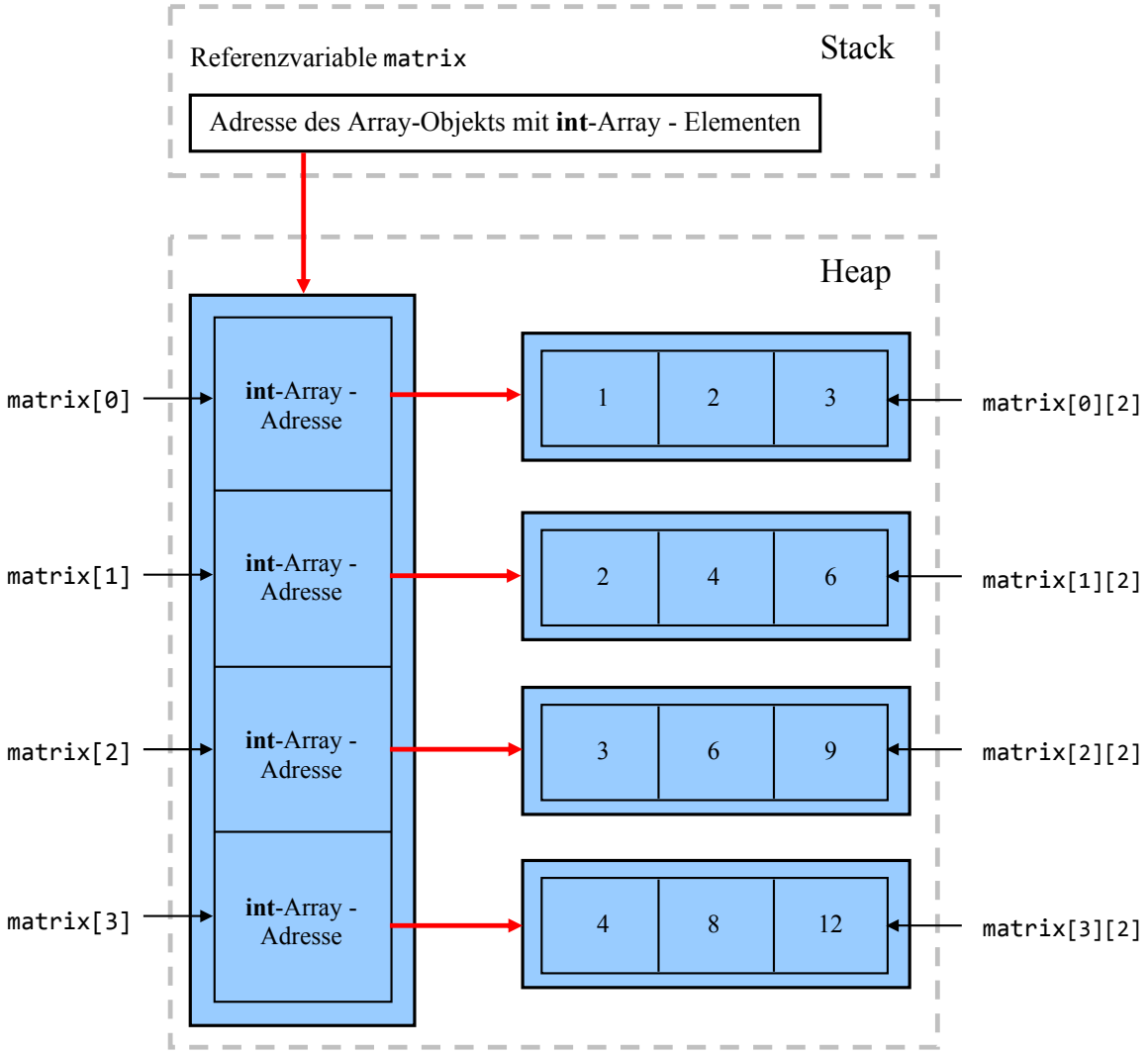
Im Beispiel wird ein Array-Objekt namens `matrix` mit den vier Elementen `matrix[0]` bis `matrix[3]` erzeugt, bei denen es sich jeweils um eine Referenz auf einen Array mit drei **int**-Elementen handelt. Wir haben damit eine zweidimensionale Matrix zur Verfügung, auf deren Zellen man per Doppelindizierung zugreifen kann, wobei sich die Syntax leicht von der mathematischen Schreibweise unterscheidet, z.B.:

```
matrix[i][j] = (i+1)*(j+1);
```

Man kann aber auch mit einfacher Indizierung eine komplette Zeile ansprechen, was in obigem Programm geschieht, um die Länge der eindimensionalen Zeilen-Arrays zu ermitteln:

```
matrix[i].length
```

In der folgenden Abbildung wird die Situation im Hauptspeicher beschrieben:



Im nächsten Beispielprogramm wird die Möglichkeit demonstriert, mehrdimensionale Arrays mit unterschiedlich langen Elementen anzulegen, so dass z.B. eine ausgesägte (engl. *jagged*) Matrix entsteht:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `   int[][] matrix = new int[5][];` `   for(int i=0; i < matrix.length; i++) {` `    matrix[i] = new int[i+1];` `    System.out.printf("matrix[%d]", i);` `    for(int j=0; j < matrix[i].length; j++) {` `     matrix[i][j] = i*j;` `     System.out.printf("%3d", matrix[i][j]);` `    }` `    System.out.println();` `   }` `  }` `}`	`matrix[0]  0` `matrix[1]  0  1` `matrix[2]  0  2  4` `matrix[3]  0  3  6  9` `matrix[4]  0  4  8 12 16`

Im Beispiel wird ein Array-Objekt namens `matrix` mit den fünf Elementen `matrix[0]` bis `matrix[4]` erzeugt, bei denen es sich jeweils um eine Referenz auf einen Array mit **int**-Elementen handelt:

```
int[][] matrix = new int[5][];
```

Die Array-Objekte für die Matrixzeilen entstehen später mit individueller Länge:

```
matrix[i] = new int[i+1];
```

Mit Hilfe dieser Technik kann man sich z.B. beim Speichern einer symmetrischen Matrix Platz sparend auf die untere Dreiecksmatrix beschränken.

Auch im mehrdimensionalen Fall können Initialisierungslisten eingesetzt werden, z.B.:

```
int[][] matrix = {{1}, {1,2}, {1, 2, 3}};
```

5.2 Klassen für Zeichenketten

Java bietet für den Umgang mit Zeichenketten zwei Klassen an:

- **String**
  Objekte der Klasse **String** können nach dem Erzeugen nicht mehr geändert werden. Diese Klasse ist für den *lesenden* Zugriff auf Zeichenketten optimiert.
- **StringBuilder**, **StringBuffer**
  Für *variable* Zeichenketten sollte unbedingt die Klasse **StringBuilder** oder die Klasse **StringBuffer** verwendet werden, weil deren Objekte nach dem Erzeugen noch verändert werden können.

5.2.1 Die Klasse String für konstante Zeichenketten

5.2.1.1 Implizites und explizites Erzeugen von String-Objekten

In der folgenden Deklarations- und Initialisierungsanweisung

```
String s1 = "abcde";
```

wird:

- eine **String**-Referenzvariable namens `s1` angelegt,
- ein neues **String**-Objekt auf dem Heap erzeugt,
- die Adresse des Heap-Objekts in der Referenzvariablen abgelegt

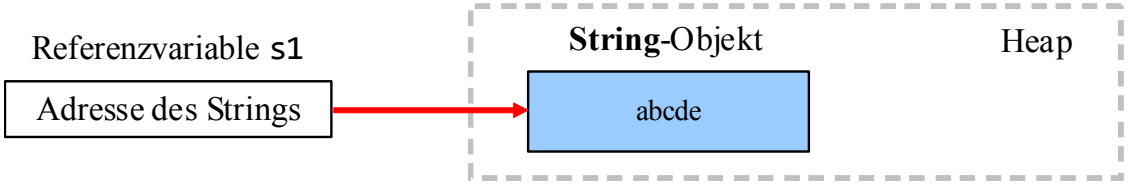
Soviel objektorientierten Hintergrund sieht man der angenehm einfachen Anweisung auf den ersten Blick nicht an. In Java sind jedoch auch Zeichenketten*literale* als **String**-Objekte realisiert, so dass z.B.

```
"abcde"
```

einen Ausdruck darstellt, der als Wert einen Verweis auf ein **String**-Objekt auf dem Heap liefert.

Weil in obiger Deklarations- und Initialisierungsanweisung kein **new**-Operator auftaucht, spricht man auch vom *impliziten* Erzeugen eines **String**-Objekts.

Die obige Anweisung erzeugt im Hauptspeicher folgende Situation:



Natürlich bietet die Klasse **String** auch Konstruktoren für die explizite Objektkreation per **new** -Operator, z.B.:

```
String s1 = new String("abcde");
```

5.2.1.2 Interner String-Pool und Identitätsvergleich

Erfolgt die Initialisierung einer **String**-Referenzvariablen über einen *konstanten* Ausdruck, so dass schon der Compiler die resultierende Zeichenfolge kennt, dann kommt der so genannte **interne String-Pool** ins Spiel. Ist in dieser Tabelle bereits ein inhaltsgleiches **String**-Objekt registriert, wird dessen Adresse in die Referenzvariable geschrieben und auf eine Neukreation verzichtet. Anderenfalls wird ein neues Objekt angelegt und im **String**-Pool registriert. So wird verhindert, dass für wiederholt im Quellcode auftretende Zeichenfolgenliterale jeweils Speicherplatz verschwendend ein neues Objekt entsteht. Diese Vorgehensweise ist sinnvoll, weil sich vorhandene **String**-Objekte garantiert nicht mehr ändern.

Außerdem ist für die im **String**-Pool registrierten Objekte garantiert, dass sie *unterschiedliche* Zeichenfolgen enthalten, was sich bald als nützlich im Zusammenhang mit Identitätsvergleichen herausstellen wird.

Weil die im **String**-Pool vorhandenen Referenzen eine Entsorgung der zugehörigen Objekte durch den Garbage Collector verhindern, kommt der gewünschte Speichereinspareffekt allerdings nicht unbedingt zu Stande.

Kommt bei der Initialisierung ein Ausdruck mit Beteiligung von Variablen zum Einsatz, wird auf jeden Fall ein neues Objekt erzeugt, z.B. bei der folgenden Variablen `s3`:

```
String de = "de";
String s3 = "abc" + de;
```

Dies geschieht auch bei expliziter Verwendung des **new**-Operators, z.B.:

```
String s4 = new String("abcde");
```

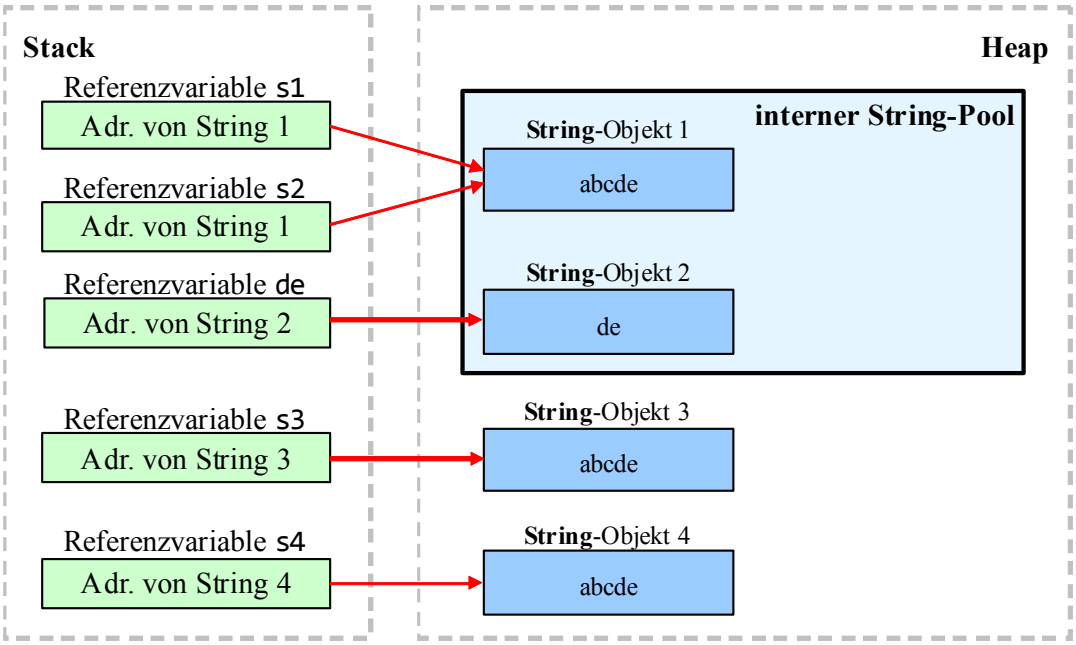
Beim Vergleich von **String**-Variablen per Identitätsoperator haben obige Ausführungen wichtige Konsequenzen, wie das folgende Programm zeigt:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String s1 = "abcde";` `  String s2 = "abc"+"de";` `  String de = "de";` `  String s3 = "abc"+de;` `  String s4 = new String("abcde");` `  System.out.print("(s1 == s2) = "+(s1==s2)+"\n"+` `  "(s1 == s3) = "+(s1==s3)+"\n"+` `  "(s1 == s4) = "+(s1==s4));` `  }` `}`	`(s1 == s2) = true` `(s1 == s3) = false` `(s1 == s4) = false`

Das merkwürdige[1] Verhalten des Programms hat folgende Ursachen:

- Wendet man den Identitätsoperator auf zwei **String**-Referenzvariablen an, werden die in den Variablen gespeicherten *Adressen* verglichen, keinesfalls die Inhalte der referenzierten **String**-Objekte.
- Nur wenn die beiden am Vergleich beteiligten **String**-Referenzvariablen auf Objekte im internen **String**-Pool zeigen, ist garantiert: Die Variablen stehen genau dann für dieselbe Zeichenfolge, wenn sie denselben Referenzwert haben.

Im Beispielprogramm werden vier **String**-Objekte mit folgenden Referenzen erzeugt:



In Abschnitt 5.2.1.4.2 werden Sie die **String**-Methode **equals()** kennen lernen, die auf jeden Fall einen Inhaltsvergleich vornimmt.

5.2.1.3 String als WORM - Klasse

Nachdem ein **String**-Objekt auf dem Heap erzeugt worden ist, kann es nicht mehr geändert werden. In der Überschrift zu diesem Abschnitt wird für diesen Sachverhalt eine Abkürzung aus der Elektronik ausgeliehen: WORM (**W**rite **O**nce **R**ead **M**any). Eventuell werden Sie die Inflexibilität des **String**-Inhalts in Zweifel ziehen und ein Gegenbeispiel der folgenden Art vorbringen:

[1] „Merkwürdig“ bedeutet hier, dass sich eine Aufnahme in das Langzeitgedächtnis lohnt.

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String testr = "abc";` `  System.out.println("testr = " + testr);` `  testr = testr + "def";` `  System.out.println("testr = " + testr);` `  }` `}`	`testr = abc` `testr = abcdef`

In der Zeile

```
testr = testr + "def";
```

wird aber das per `testr` ansprechbare **String**-Objekt (mit dem Text „abc“) nicht geändert, sondern durch ein neues **String**-Objekt (mit dem Text „abcdef“) ersetzt. Das alte Objekt ist nicht mehr referenziert und somit eine potentielle Beute des Garbage Collectors.

5.2.1.4 Methoden für String-Objekte

Von den ca. 50 Methoden der Klasse der **String** werden in diesem Abschnitt nur die wichtigsten angesprochen. Für spezielle Anwendungen lohnt sich also ein Blick in die Dokumentation zum Java-API.

5.2.1.4.1 Verketten von Strings

Zum Verketten von Strings kann in Java der „**+**“ - Operator verwendet werden, wobei beliebige Datentypen bei Bedarf automatisch in Strings konvertiert werden. In folgendem Beispiel wird mit Klammern dafür gesorgt, dass der Compiler die „+“ - Operatoren jeweils sinnvoll interpretiert (Verketten von Strings bzw. Addieren von Zahlen):

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("4 + 3 = " + (4 + 3));` `  }` `}`	`4 + 3 = 7`

Es ist übrigens eine Besonderheit, dass **String**-Objekte mit dem + - Operator verarbeitet werden können. Bei anderen Java-Klassen ist das aus C++ und C# bekannte *Überladen* von Operatoren *nicht* möglich.

5.2.1.4.2 Inhaltsvergleich

Für den Test auf identischen **Inhalt** kann man die **String**-Methode **equals()**

public boolean equals(String *vergl***)**

verwenden, um den in Abschnitt 5.2.1.2 erläuterten Tücken beim Vergleich von **String**-Referenzvariablen per Identitätsoperator aus dem Weg zu gehen. In folgendem Programm werden zwei **String**-Objekte zunächst nach ihren Speicheradressen verglichen, dann nach dem Inhalt:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String s1 = "abc";` `  String s2 = new String("abc");` `  System.out.println(s1==s2);` `  System.out.println(s1.equals(s2));` `  }` `}`	`false` `true`

Wenn sehr viele Inhaltsvergleiche vorzunehmen sind, ist der in Abschnitt 5.2.1.2 beschriebene interne **String**-Pool eine erwägenswerte Option. Zeigen zwei Referenzvariablen auf Pool-Strings, folgt aus der Gleichheit der Adressen bereits die Inhaltsgleichheit. Folglich kann man statt des relativ aufwendigen Inhaltsvergleichs den erheblich flotteren Referenzvergleich durchführen.

Allerdings muss zunächst dafür gesorgt werden, dass die beteiligten Referenzvariablen auf Pool-Strings zeigen, was einigen Zeitaufwand erfordert. Man verwendet die **String**-Instanzmethode **intern()**,

public String intern()

die zum angesprochenen String seine so genannte *kanonische Repräsentation* liefert:

- Ist im internen Pool ein inhaltsgleicher **String** bekannt (im Sinne der **equals()**-Methode), wird dessen Adresse als Rückgabe geliefert.
- Anderenfalls wird der angesprochene **String** in den Pool aufgenommen und seine Adresse als Rückgabe geliefert.

Im folgenden Programm werden `anz` Zufallszeichenfolgen der Länge `len` jeweils `wdh` mal mit einem zufällig gewählten Partner verglichen. Dies geschieht zunächst per **equals()**-Methode und dann nach dem zwischenzeitlichen Internieren per Adressenvergleich.

```
class StringIntern {
 public static void main(String[] args) {
  final int anz = 50_000, len = 20, wdh = 500;
  StringBuilder sb = new StringBuilder();
  java.util.Random ran = new java.util.Random();
  String[] sar  = new String[anz];

  // Zufallszeichenfolgen mit Hilfe eines StringBuiler-Objekts erzeugen
  for (int i = 0; i < anz; i++) {
   for (int j = 0; j < len; j++)
    sb.append((char) (65 + ran.nextInt(26)));
   sar[i] = sb.toString();
   sb.delete(0, len);
  }

  long start = System.currentTimeMillis();
  int hits = 0;
  // Inhaltsvergleiche
  for (int n = 1; n <= wdh; n++)
   for (int i = 0; i < anz; i++)
    if (sar[i].equals(sar[ran.nextInt(anz)]))
     hits++;
  System.out.println((wdh * anz)+" Inhaltsvergleiche ("+hits+
     " hits) benoetigen "+(System.currentTimeMillis()-start)+" Millisekunden");

  start = System.currentTimeMillis();
  hits = 0;
  // Internieren
  for (int j = 1; j < anz; j++)
   sar[j] = sar[j].intern();
  System.out.println("\nZeit für das Internieren: "+
     (System.currentTimeMillis()-start)+" Millisekunden");

  // Adressvergleiche
  for (int n = 1; n <= wdh; n++)
   for (int i = 0; i < anz; i++)
    if (sar[i] == sar[ran.nextInt(anz)])
     hits++;
  System.out.println((wdh * anz)+" Adressvergleiche ("+hits+
     " hits) benoetigen (inkl. Internieren) "+(System.currentTimeMillis()-start)+
     " Millisekunden");
 }
}
```

Es hängt von den Aufgabenparametern `anz`, `len` und `wdh` ab, welche Vergleichstechnik überlegen ist:[1]

	Laufzeit in Millisekunden	
	equals()-Vergleiche	Intern. plus Adress-Vergl.
`anz = 50000, len = 20, wdh = 5`	16	47
`anz = 50000, len = 20, wdh = 50`	125	78
`anz = 50000, len = 20, wdh = 500`	1485	329

Erwartungsgemäß ist das Internieren umso rentabeler, je mehr Vergleiche anschließend mit den Zeichenfolgen angestellt werden.

Bei **String**-Vergleichen sind sicher noch weitere Verbesserungen möglich, z.B. durch Ausnutzen der lexikographischen Ordnung:

5.2.1.4.3 Lexikographische Priorität

Zum Testen auf lexikographische Priorität (Sortierreihenfolge) kann die **String**-Methode

public int compareTo(String *vergl***)**

dienen, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String a = "Müller, Anja", b = "Müller, Kurt",` `  c = "Müller, Anja";` `  System.out.println("< : " + a.compareTo(b));` `  System.out.println("= : " + a.compareTo(c));` `  System.out.println("> : " + b.compareTo(a));` `  }` `}`	`< : -10` `= : 0` `> : 10`

Die Methode **compareTo()** liefert folgende **int**-Rückgabewerte:

		compareTo()-Rückgabe
Das angesprochene **String**-Objekt ist im Vergleich zum Parameter-Objekt:	kleiner	negative Zahl
	gleich	0
	größer	positive Zahl

5.2.1.4.4 Länge einer Zeichenkette

Während bei Array-Objekten die Anzahl der Elemente in der Instanz*variablen* **length** zu finden ist (vgl. Abschnitt 5.1), wird die aktuelle Länge einer Zeichenkette über die Instanz*methode* **length()** ermittelt:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  char[] cvek = {'a', 'b', 'c'};` `  String str = "abc";` `  System.out.println(cvek.length);` `  System.out.println(str.length());` `  }` `}`	`3` `3`

[1] Die Ergebnisse stammen von einem PC mit der Intel-CPU Core i3 (3,2 GHz) unter Windows 6 (64 Bit).

5.2.1.4.5 Zeichen(folgen) extrahieren, suchen oder ersetzen

Im folgenden Programm werden die anschließend beschriebenen **String**-Methoden verwendet:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String bsp = "Brgl";` `  System.out.println(bsp.substring(1, 3));` `  System.out.println(bsp.indexOf("g"));` `  System.out.println(bsp.indexOf("x"));` `  System.out.println(bsp.startsWith("r"));` `  System.out.println(bsp.charAt(0));` `  }` `}`	`rg` `2` `-1` `false` `B`

a) Teilzeichenfolge extrahieren

Mit der Methode

public String substring(int *start***, int** *ende***)**

lassen sich alle Zeichen zwischen den Positionen *start* (inklusive) und *ende* (exklusive) extrahieren.

b) Teilzeichenfolge suchen

Mit der Methode

public int indexOf(String *gesucht***)**

kann man einen **String** nach einer anderen Zeichenkette durchsuchen. Als Rückgabewert erhält man ...

- nach erfolgreicher Suche: die Startposition der ersten Trefferstelle
- nach vergeblicher Suche: -1

c) Zeichenfolge auf eine bestimmte Startsequenz überprüfen

Mit der Methode

public boolean startsWith(String *start***)**

lässt sich feststellen, ob ein **String** mit einer bestimmten Zeichenfolge beginnt.

d) Das Zeichen an einer bestimmten Position ermitteln

Weil ein **String** *kein* Array ist, kann auf die einzelnen Zeichen *nicht* per Indexoperator ([]) zugegriffen werden. Mit der **String**-Methode

public char charAt()

steht aber ein Ersatz zur Verfügung, wobei die Nummerierung der Zeichen wiederum bei 0 beginnt.

e) Aus einem String einen Char - Array erstellen

Wenn auf jeden Fall mit dem Indexoperator gearbeitet werden soll, kann aus einem **String** über die Methode

public char[] toCharArray()

ein neuer **char**-Array mit identischem Inhalt erzeugt werden, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String s = "abc";` `  char[] c = s.toCharArray();` `  for (int i = 0; i < c.length; i++)` `  System.out.println(c[i]);` `  }` `}`	`a` `b` `c`

f) Zeichen oder Teilzeichenfolgen ersetzen

Mit der Methode

public String replace(**char** *oldChar*, **char** *newChar*)

erhält man einen neuen **String**, der aus dem angesprochenen Original durch Ersetzen eines alten Zeichens durch ein neues Zeichen hervorgeht, z.B.:

```
String s2 = s1.replace('C','c');
```

Mit weiteren **replace()**-Überladungen kann man das erste Auftreten einer Teilzeichenfolge oder alle Teilzeichenfolgen, die einem regulären Ausdruck genügen, durch eine neue Teilzeichenfolge ersetzen lassen.

5.2.1.4.6 Groß-/Kleinschreibung normieren

Mit den Methoden

public String toUpperCase()

bzw.

public String toLowerCase()

erhält man einen neuen **String**, der im Unterschied zum angesprochenen Original auf Groß- bzw. Kleinschreibung normiert ist, was vor Vergleichen oft sinnvoll ist, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String a = "Otto", b = "otto";` `  System.out.println(a.toUpperCase().equals(b.toUpperCase()));` `  }` `}`	`true`

In der Anweisung mit dem **equals()**-Aufruf stoßen wir auf eine stattliche Anzahl von Punktoperatoren, so dass eine kurze Erklärung angemessen ist:

- Der Methodenaufruf `a.toUppercase()` erzeugt ein neues **String**-Objekt und liefert die zugehörige Referenz.
- Diese Referenz ermöglicht es, dem neuen Objekt Botschaften zu übermitteln, was unmittelbar zum Aufruf der Methode **equals()** genutzt wird.

5.2.2 Die Klassen StringBuilder und StringBuffer für veränderliche Zeichenketten

Für häufig zu ändernde Zeichenketten sollte man statt der Klasse **String** unbedingt die Klasse **StringBuilder** oder die Klasse **StringBuffer** verwenden, weil hier beim Ändern einer Zeichenkette das zeitaufwendige Erstellen eines neuen Objektes entfällt.

Der einzige Unterschied zwischen den beiden letztgenannten Klassen besteht darin, dass **StringBuffer** Thread-sicher ist, so dass ein Objekt dieser Klasse gefahrlos von mehreren Threads (Ausführungsfäden, siehe unten) eines Programms genutzt werden kann. Diese Thread-Sicherheit ist aber mit Aufwand verbunden, so dass die Klasse **StringBuilder** zu bevorzugen ist, wenn eine variable Zeichenfolge nur von *einem* Thread genutzt wird. Weil die beiden Klassen völlig analog aufgebaut sind, kann sich die anschließende Beschreibung auf die Klasse **StringBuilder** beschränken.

Ein **StringBuilder** kann nicht *implizit* erzeugt werden, jedoch stehen bequeme Konstruktoren zur Verfügung, z.B.:

- **public StringBuilder**()
  Beispiel: `StringBuilder sb = new StringBuilder();`
- **public StringBuilder**(**String** *str*)
  Beispiel: `StringBuilder sb = new StringBuilder("abc");`

In folgendem Programm wird eine Zeichenkette 20.000-mal verlängert, zunächst mit Hilfe der Klasse **String**, dann mit Hilfe der Klasse **StringBuilder**:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  final int drl = 20_000;
  String s = "*";
  long vorher = System.currentTimeMillis();
  for (int i = 0; i < drl; i++)
   s = s + "*";
  long diff = System.currentTimeMillis() - vorher;
  System.out.println("Zeit fuer die String-\"Verlaengerung\":     "+diff);

  s = "*";
  StringBuilder t = new StringBuilder(s);
  vorher = System.currentTimeMillis();
  for (int i = 0; i < drl; i++)
   t.append("*");
  s = t.toString();
  diff = System.currentTimeMillis() - vorher;
  System.out.println("Zeit fuer die StringBuilder-Verlaengerung: "+diff);
 }
}
```

Die Laufzeiten (gemessen in Millisekunden auf einem PC mit Intel-CPU Core i3 mit 3,2 GHz) unterscheiden sich erheblich:

```
Zeit fuer die String-"Verlaengerung":     262
Zeit fuer die StringBuilder-Verlaengerung: 1
```

Ein **StringBuilder**–Objekt beherrscht u.a. die folgenden **public**-Methoden:

StringBuilder-Methode	Erläuterung
int length()	Diese Methode liefert die Anzahl der Zeichen.
append()	Der **StringBuilder** wird um die Stringrepräsentation des Argumentes verlängert, z.B.: `sb.append("*");` Es sind **append()**-Überladungen für zahlreiche Datentypen vorhanden.
insert()	Die Stringrepräsentation des Arguments, das von nahezu beliebigem Typ sein kann, wird an einer bestimmten Stelle eingefügt, z.B.: `sb.insert(4, 3.14);`

StringBuilder-Methode	Erläuterung
delete()	Die Zeichen von einer Startposition (einschließlich) bis zu einer Endposition (ausschließlich) werden gelöscht, in folgendem Beispiel also gerade zwei Zeichen, falls der **StringBuilder** mindestens drei Zeichen enthält: `sb.delete(1,3);`
replace()	Ein Bereich des **StringBuilder**-Objekts wird durch den Argument-**String** ersetzt, z.B.: `sb.replace(1,3, "xy");`
String toString()	Es wird ein **String**-Objekt mit dem Inhalt des **StringBuilder**-Objekts erzeugt. Dies ist z.B. erforderlich, um zwei **StringBuilder**-Objekte mit Hilfe der **String**-Methode **equals()** vergleichen zu können: `sb1.toString().equals(sb2.toString())`

5.3 Verpackungsklassen für primitive Datentypen

In Java existiert zu jedem primitiven Datentyp eine Wrapper-Klasse, in deren Objekte jeweils ein Wert des primitiven Typs verpackt werden kann (*to wrap* heißt *einpacken*):

Primitiver Datentyp	Wrapper-Klasse
byte	Byte
short	Short
int	Integer
long	Long
double	Double
float	Float
boolean	Boolean
char	Character

Diese Verpackung ist z.B. dann erforderlich, wenn eine Methode genutzt werden soll, die nur für Objekte verfügbar ist. Außerdem stellen die Wrapper-Klassen nützliche Konvertierungsmethoden und Konstanten bereit (als statische Methoden bzw. Felder).

In der Regel verfügen die Wrapper-Klassen über zwei Konstruktoren mit jeweils einem Parameter, der vom zugehörigen primitiven Typ bzw. vom Typ **String** ist, z.B. bei der Klasse **Integer**:

- **public Integer**(**int** *value*)
  Beispiel: `Integer iw = new Integer(4711);`
- **public Integer**(**String** *str*)
  Beispiel: `Integer iw = new Integer(args[0]);`

Der beim Erzeugen festgelegte Wert eines Wrapper-Objekts kann nicht mehr geändert werden kann. Daher besitzen die Wrapper-Klassen keinen parameterfreien Konstruktor.

5.3.1 Autoboxing

Seit der Java-Version 5 kann der Compiler das Einpacken automatisch erledigen, z.B.:

```
Integer iw = 4711;
```

Damit vereinfacht sich die Nutzung von Methoden, die **Object**-Parameter erwarten. Im folgenden Beispielprogramm wird ein Objekt der Klasse **ArrayList** aus dem Paket **java.util** als bequemer und flexibler Container verwendet:[1]

- Ein **ArrayList**-Container kann beliebige Objekte als Elemente aufnehmen.
- Die Größe des Containers wird automatisch an den Bedarf angepasst.

Um Werte primitiver Typen in einen **ArrayList**-Container einzufügen, müssen sie in Wrapper-Objekte verpackt werden, was aber dank Autoboxing keine Mühe macht:

```
class Autoboxing {
 public static void main(String[] args) {
  java.util.ArrayList al = new java.util.ArrayList();
  al.add("Otto");
  al.add(13);
  al.add(23.77);
  al.add('x');
  System.out.println("Der ArrayList-Container enthaelt:");
  for(Object o : al)
   System.out.println(" " + o + "\t Typ: " + o.getClass());
}
```

Wie die Programmausgabe zeigt, sind tatsächlich diverse Wrapper-Klassen im Spiel:

```
Der ArrayList-Container enthaelt:
 Otto      Typ: class java.lang.String
 13        Typ: class java.lang.Integer
 23.77     Typ: class java.lang.Double
 x         Typ: class java.lang.Character
```

Dank Autoboxing klappt auch das implizite Erzeugen eines Arrays mit Wrapper-Elementtyp per Initialisierungsliste mit Werten des zugehörigen primitiven Typs, z.B.:

```
Integer[] wia = {1, 2, 3};
```

In den folgenden Zeilen findet ein Auto(un)boxing statt:

```
Integer iw = 4711;
int i = iw;
```

Aus dem **Integer**-Objekt wird der eingepackte Wert entnommen und einer **int**-Variablen zugewiesen.

Dank Autoboxing sind die primitiven Typen zuweisungskompatibel zur Klasse **Object**, wobei zum Auspacken aber eine explizite Typumwandlung erforderlich ist, z.B.:

```
Object o = 4711;
int i = (Integer) o;
```

Bisher haben wir die explizite Typumwandlung nur auf primitive Datentypen angewendet, sie spielt aber auch bei Referenztypen eine wichtige Rolle. Welche Konvertierungen erlaubt sind, ist der Java-Sprachspezifikation (Gosling et al. 2011, S. 88ff) zu entnehmen. Im konkreten Fall wird der deklarierte Typ (**Object**) durch eine Spezialisierung bzw. Ableitung (**Integer**) ersetzt. Der Compiler erlaubt die Konvertierung, übernimmt jedoch keine Verantwortung dafür. Die verbleibt beim Programmierer.

---

[1] **ArrayList** ist eine *generische* Klasse (siehe Kapitel 6) und sollte unbedingt mit Elementen *eines* bestimmten Datentyps genutzt werden. Dieser ist beim Instantiieren anzugeben, wenn der Compiler die Typhomogenität überwachen soll. Wir verwenden ausnahmsweise den so genannten *Rohtyp* der Klasse **ArrayList**, der sich aus didaktischen Gründen gut für den aktuellen Abschnitt eignet, ansonsten aber zu vermeiden ist.

5.3.2 Konvertierungsmethoden

Die Wrapper-Klassen stellen statische Methoden zum Konvertieren von Zeichenfolgen in einen Wert des zugehörigen primitiven Typs zur Verfügung, z.B. bei der Klasse **Double**:

- Die **Double**-Klassenmethode

  public static double parseDouble(String *str***)**

  liefert einen **double**-Wert zurück, falls die Konvertierung der Zeichenfolge gelingt.
- Die **Double**-Klassenmethode

  public static Double valueOf(String *str***)**

  liefert einen verpackten **double**-Wert zurück, falls die Konvertierung der Zeichenfolge gelingt.

Bei einer großen Anzahl von Konvertierungen ist die Methode **valueOf()** wegen der aufwendigen Objektkreationen *nicht* empfehlenswert.

Das folgende Beispielprogramm berechnet die Summe der numerisch interpretierbaren Kommandozeilenparameter:

```
class Summe {
   public static void main(String[] args) {
      double summe = 0.0;
      int fehler = 0;
      System.out.println("Ihre Eingaben:");
      for(String s : args) {
         System.out.println(" " + s);
         try  {
            summe += Double.parseDouble(s);
         } catch(Exception e) {
            fehler++;
         }
      }
      System.out.println("\nSumme: " + summe + "\nFehler: "+fehler);
   }
}
```

Im Rahmen einer **try-catch** - Konstruktion, die später im Kapitel über Ausnahmebehandlung ausführlich besprochen wird, versucht das Programm für jeden Kommandozeilenparameter eine numerische Interpretation mit der **Double**-Konvertierungsmethode **parseDouble()**.

Ein Aufruf mit

```
java Summe 3.5 4 5 6 sieben 8 9
```

liefert die Ausgabe:

```
Ihre Eingaben:
 3.5
 4
 5
 6
 sieben
 8
 9

Summe: 35.5
Fehler: 1
```

Um aus Werten primitiven Typs ein **String**-Objekt zu erstellen, kann man die statische Methode **valueOf()** der Klasse **String** verwenden, die in Überladungen für diverse Argumenttypen vorhanden ist, z.B.:

```
String s = String.valueOf(summe);
```

5.3.3 Konstanten mit Grenzwerten

In den numerischen Wrapper-Klassen sind öffentliche, finalisierte und statische Instanzvariablen für diverse Grenzwerte definiert, z.B. in der Klasse **Double**:

Konstante	Inhalt
MAX_VALUE	Größter positiver (endlicher) Wert des Datentyps **double**
MIN_VALUE	Kleinster positiver Wert des Datentyps **double**
NaN	Not-a-Number - Ersatzwert für den Datentyp **double**
POSITIVE_INFINITY	Positiv-Unendlich - Ersatzwert für den Datentyp **double**
NEGATIVE_INFINITY	Negativ-Unendlich - Ersatzwert für den Datentyp **double**

Beispiel:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("Max. double-Zahl:\n"+` `  Double.MAX_VALUE);` `  }` `}`	`Max. double-Zahl:` `1.7976931348623157E308`

5.3.4 Character-Methoden zur Zeichen-Klassifikation

Die Wrapper-Klasse **Character** zum primitiven Typ **char** bietet einige statische Methoden zur Klassifikation von Unicode-Zeichen, die bei der Verarbeitung von Textdaten sehr nützlich sein können:

Methode	Erläuterung
boolean isDigit(char ch)	Die Methode liefert den Wert **true** zurück, wenn das übergebene Zeichen eine Ziffer ist, sonst **false**.
boolean isLetter(char ch)	Die Methode liefert den Wert **true** zurück, wenn das übergebene Zeichen ein Buchstabe ist, sonst **false**.
boolean isLetterOrDigit(char ch)	Die Methode liefert den Wert **true** zurück, wenn das übergebene Zeichen ein Buchstabe oder eine Ziffer ist, sonst **false**.
boolean isWhitespace(char ch)	Die Methode liefert den Wert **true** zurück, wenn ein Trennzeichen übergeben wurde, sonst **false**. Zu den Trennzeichen gehören u.a.: • Leerzeichen (\u0020) • Tabulatorzeichen (\u0009) • Wagenrücklauf (\u000D) • Zeilenvorschub (\u000A)
boolean isLowerCase(char ch)	Die Methode liefert den Wert **true** zurück, wenn das übergebene Zeichen ein Kleinbuchstabe ist, sonst **false**.
boolean isUpperCase(char ch)	Die Methode liefert den Wert **true** zurück, wenn das übergebene Zeichen ein Großbuchstabe ist, sonst **false**.

5.4 Aufzählungstypen

Angenommen, Sie wollen in einer Adressdatenbank auch den Charakter der erfassten Personen notieren und sich dabei an den vier Temperamentstypen des griechischen Philosophen Hippokrates

(ca. 460 - 370 v. Chr.) orientieren: melancholisch, cholerisch, phlegmatisch, sanguin. Um dieses Merkmal mit seinen vier möglichen Ausprägungen in einer Instanzvariablen zu speichern, haben Sie verschiedene Möglichkeiten, z.B.

- Eine **String**-Variable zur Aufnahme der Temperamentsbezeichnung
  Hier drohen Fehler durch inkonsistente Schreibweisen, z.B.:
  ```
  if (otto.temp == "Phlekmatisch") ...
  ```
- Eine **int**-Variable mit der Kodierungsvorschrift 0 = melancholisch, 1 = cholerisch, etc.
  Hier ist der Quellcode nur für Eingeweihte zu verstehen, z.B.:
  ```
  if (otto.temp == 3) ...
  ```

Der Wunsch nach einer Variablen zur Temperamentsverwaltung, welche ausschließlich die vier vorgesehenen Werte annehmen kann, ist mit beiden Techniken *nicht* zu realisieren.

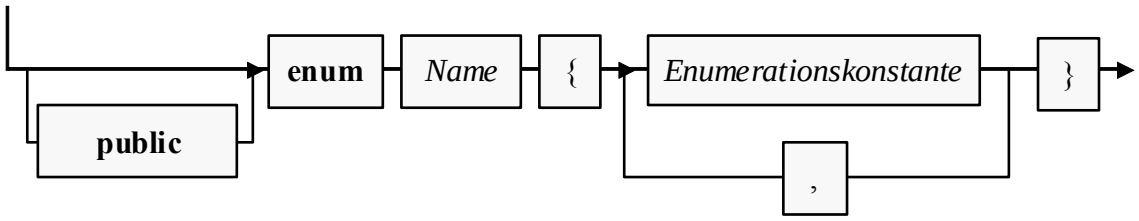
Java bietet mit den **Enumerationen** (**Aufzählungstypen)** eine Lösung, die folgende Vorteile bietet:

- Eine exakt definierte Menge gültiger Werte
- Gut lesbarer Quellcode

5.4.1 Einfache Enumerationen

Ein einfacher Aufzählungstyp besteht aus einer Anzahl von Konstanten. Bei seiner Definition folgt nach dem optionalen **public**-Modifikator (Sichtbarkeit des Typs in beliebigen Paketen) auf das Schlüsselwort **enum** und den Typbezeichner eine geschweift eingeklammerte Liste mit den Enumerationskonstanten:

Einfache Enumerationsdefinition



Weil Syntaxdiagramme zwar sehr präzise, aber nicht unbedingt mit einem Blick verständlich sind, betrachten wir ergänzend gleich ein Beispiel:

```
public enum Temperament {MELANCHOLISCH, CHOLERISCH, PHLEGMATISCH, SANGUIN}
```

Man sollte die Namen der Enumerationskonstanten komplett groß schreiben (wie die Namen von finalisierten statischen Variablen).

Objekte der folgenden Klasse `Person` (der Einfachheit halber ohne Datenschutz) erhalten eine Instanzvariable vom eben definierten Aufzählungstyp `Temperament`:

```
public class Person {
 public String vorname, name;
 public int alter;
 public Temperament temp;
 public Person(String vor, String nach, int alt, Temperament tp) {
  vorname = vor;
  name = nach;
  alter = alt;
  temp = tp;
 }
 public Person() {}
}
```

Weil Enumerationskonstanten stets mit dem Typnamen qualifiziert werden müssen, ist einige Tipparbeit erforderlich, die aber mit einem gut lesbaren Quellcode belohnt wird:

```
class PersonTest {
 public static void main(String[] args) {
  Person otto = new Person("Otto", "Hummer", 35, Temperament.SANGUIN);
  if (otto.temp == Temperament.SANGUIN)
   System.out.println("Lustiger Typ");
 }
}
```

Ausdrücke mit Aufzählungstyp sind auch in **switch**-Anweisungen erlaubt, wobei aber ausnahmsweise der Typname nicht nur überflüssig, sondern sogar *verboten* ist, z.B.:

```
switch (otto.temp) {
 case MELANCHOLISCH: System.out.println("Nicht gut drauf"); break;
 case CHOLERISCH:    System.out.println("Mit Vorsicht zu genießen"); break;
 case PHLEGMATISCH:  System.out.println("Lahme Ente"); break;
 case SANGUIN:       System.out.println("Lustiger Typ");
}
```

Bisher konnte man den Eindruck gewinnen, als wäre eine Enumeration ein Ganzzahltyp mit einer kleinen Menge von benannten Werten. Tatsächlich ist eine Enumeration aber eine *Klasse* mit der Basisklasse **Enum** aus dem Paket **java.lang** und folgenden Besonderheiten:

- Die Enumerationskonstanten zeigen als statische und finalisierte Referenzvariablen auf Objekte der Enumerationsklasse, die beim Laden der Klasse automatisch entstehen. Nun ist klar, warum den Enumerationskonstanten stets der Typname vorangestellt werden muss.
- Es ist nicht möglich, weitere Objekte der Enumerationsklasse (per **new**-Operator oder auf andere Weise) zu erzeugen.
- Man kann eine Enumeration nicht beerben.
  In Abschnitt 10.1 werden wir solche Klassen als *finalisiert* bezeichnen.

In obigem Beispiel ist die `Person`-Eigenschaft `temp` eine Referenzvariable vom Typ `Temperament`. Sie zeigt …

- entweder auf eines der vier `Temperament`-Objekte
- oder auf **null**.

Die Enumerationsobjekte kennen ihre Position in der definierenden Liste und liefern diese als Rückgabewert der Instanzmethode **ordinal()**, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class PersonTest {` `  public static void main(String[] args) {` `  Person otto = new Person("Otto", "Hummer",` `  35, Temperament.SANGUIN);` `  System.out.println(otto.temp.ordinal());` `  }` `}`	`3`

Bei jeder Enumerationsklasse kann man mit der statischen Methode **values()** einen Array mit ihren Objekten anfordern, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class PersonTest {` `  public static void main(String[] args) {` `   for (Temperament t : Temperament.values())` `    System.out.println(t.name());` `  }` `}`	`MELANCHOLISCH` `CHOLERISCH` `PHLEGMATISCH` `SANGUIN`

5.4.2 Erweiterte Enumerationen

Es ist möglich, eine Enumerationsklasse mit Instanzvariablen, Methoden und privaten Konstruktoren auszustatten. Objekte der folgenden Enumeration `TemperamentEx` geben über die Methoden `stable()` bzw. `extra()` Auskunft darüber, ob die zugehörige Persönlichkeit emotional stabil bzw. extravertiert ist:[1]

```
public enum TemperamentEx {MELANCHOLISCH(false, false),
                           CHOLERISCH(false, true),
                           PHLEGMATISCH(true, false),
                           SANGUIN(true, true);
 private boolean stable, extra;
 private TemperamentEx(boolean stab, boolean ex) {
  stable = stab;
  extra = ex;
 }
 public boolean stable() {
  return stable;
 }
 public boolean extra() {
  return extra;
 }
}
```

Diese Informationen befinden sich in Instanzvariablen, welche von einem Konstruktor initialisiert werden. Der Konstruktor ist nur innerhalb der Enumerationsklasse nutzbar. Dazu werden Aktualparameterlisten an die Enumerationskonstanten angehängt.

5.5 Übungsaufgaben zu Kapitel 5

Abschnitt 5.1 (Arrays)

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Die Länge eines Arrays muss zur Übersetzungszeit festgesetzt werden.
2. Die Länge eines Arrays muss beim Erzeugen (zur Laufzeit) festgesetzt werden.
3. Array-Elemente werden automatisch mit der typspezifischen Null initialisiert, weil es sich um Instanzvariablen handelt.
4. In der **for**-Schleife für Kollektionen (siehe Abschnitt 3.7.3.2) sind auch Arrays als Kollektionsobjekte erlaubt.
5. Die Länge eines Arrays lässt sich mit der Instanzmethode **length()** ermitteln.

2) Erstellen Sie ein Java-Programm, das 6 Lottozahlen (von 1 bis 49) zieht und sortiert ausgibt. Zum Sortieren können Sie z.B. das (sehr einfache) **Auswahlverfahren** (Selection Sort) benutzen:

---

[1] Informationen zu den Persönlichkeitsdimensionen *emotionale Stabilität* und *Extraversion* sowie zum Zusammenhang mit den Typen des Hippokrates finden Sie z.B. in: Mischel, W. (1976). *Introduction to Personality*, S.22.

- Für den Ausgangsvektor mit den Elementen 0, …, *n-1* wird das Minimum gesucht und an den linken Rand befördert. Dann wird der Vektor mit den Elementen 1, …, *n-1* analog behandelt, usw.
- Bei jeder Teilaufgabe muss man das kleinste Element eines Vektors an seinen linken Rand befördern, was auf folgende Weise geschehen kann:
  - Man geht davon aus, das Element am linken Rand sei das kleinste (genauer: *ein* Minimum).
  - Es wird sukzessive mit seinen rechten Nachbarn verglichen. Ist das Element an der Position *i* kleiner, so tauscht es mit dem „Linksaußen" seinen Platz.
  - Nun steht am linken Rand ein Element, das die anderen Elemente mit Positionen kleiner oder gleich *i* nicht übertrifft. Es wird nun sukzessive mit den Elementen an den Positionen ab *i*+1 verglichen.
  - Nachdem auch das Element an der letzten Position mit dem Element am linken Rand verglichen worden ist, steht mit Sicherheit am linken Rand ein Element, zu dem sich kein kleineres findet.

Diese Aufgabe soll Erfahrung im Umgang mit Arrays und einen ersten Eindruck von Sortieralgorithmen vermitteln. Im Programmieralltag empfiehlt sich für derartige Probleme die statische Methode **sort()** der Klasse **Arrays** im Paket **java.util**.

3) Erstellen Sie ein Programm zur Primzahlensuche mit dem **Sieb des Eratosthenes** (ca. 275 - 195 v. Chr.). Dieser Algorithmus reduziert sukzessive eine Menge von Primzahlkandidaten, die initial alle natürlichen Zahlen bis zu einer Obergrenze *K* enthält, also {2, 2, 3, ..., *K*}:

- Im ersten Schritt werden alle echten Vielfachen der Basiszahl 2 (also 4, 6, ...) aus der Kandidatenmenge gestrichen, während die Zahl 2 in der Liste verbleibt.
- Dann geschieht iterativ folgendes:
  - Als neue Basis *b* wird die kleinste Zahl gewählt, welche die beiden folgenden Bedingungen erfüllt:
    b ist größer als die vorherige Basiszahl.
    b ist im bisherigen Verlauf nicht gestrichen worden.
  - Die echten Vielfachen der neuen Basis (also 2·*b*, 3·*b*, ...) werden aus der Kandidatenmenge gestrichen, während die Zahl *b* in der Liste verbleibt.
- Das Streichverfahren kann enden, wenn für eine neue Basis *b* gilt:

$$b > \sqrt{K}$$

In der Kandidatenmenge befinden sich dann nur noch Primzahlen. Um dies einzusehen, nehmen wir an, es gäbe noch eine Zahl $n \le K$ mit echtem Teiler. Mit zwei positiven Zahlen *u*, *v* würde dann gelten:

$$n = u \cdot v \text{ und } u < b \text{ oder } v < b \text{ (wegen } b > \sqrt{K} \text{ und } n \le K \text{)}$$

Wir nehmen ohne Beschränkung der Allgemeinheit $u < b$ an und unterscheiden zwei Fälle:

- *u* war zuvor als Basis dran:
  Dann wurde *n* bereits als Vielfaches von *u* gestrichen.
- *u* wurde zuvor als Vielfaches einer früheren Basis $\tilde{b}$ ($< b$) gestrichen ($u = k\tilde{b}$)
  Dann wurde auch *n* bereits als Vielfaches von $\tilde{b}$ gestrichen.

Sollen z.B. alle Primzahlen kleiner oder gleich 18 bestimmt werden, so startet man mit folgender Kandidatenmenge:

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Im ersten Schritt werden die echten Vielfachen der Basis 2 gestrichen:

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Als neue Basis wird die Zahl 3 gewählt (> 2, nicht gestrichen). Ihre echten Vielfachen werden gestrichen:

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Als neue Basis wird die Zahl 5 gewählt (> 3, nicht gestrichen). Allerdings ist 5 größer als $\sqrt{18}$ (≈ 4,24) und der Algorithmus daher bereits beendet. Als Primzahlen kleiner oder gleich 18 erhalten wir also:

2, 3, 5, 7, 11, 13 und 17

4) Definieren Sie eine Klasse für eine zweidimensionale Matrizen mit Elementen vom Typ **double** zur Aufnahme von Beobachtungswerten. Implementieren Sie …

- eine Methode zum Transponieren der Matrix
- Methoden für elementare statistische Analysen mit den Spalten der Matrix:
  - Eine Methode sollte den Array mit den Mittelwerten der Spalten als Rückgabe liefern. Der Mittelwert aus den Beobachtungswerten $x_1, x_2, \ldots, x_n$ ist definiert durch

$$\bar{x} := \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

  - Eine Methode sollte den Array mit den Varianzen der Spalten als Rückgabe liefern. Der erwartungstreue Schätzer für die Varianz der zu einer Spalte gehörigen Zufallsvariablen mit den Beobachtungswerten $x_1, x_2, \ldots x_n$ ist definiert durch

$$\hat{\sigma}^2 := \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$$

    Zur Vereinfachung der Berechnung kann die folgende *Verschiebungsformel* dienen:

$$\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2$$

    Sie ermöglicht die Berechnung von Mittelwerten und Varianzen bei *einer* einzigen Passage durch die Zeilen der Matrix, während die Originalformel eine vorgeschaltete Passage zur Berechnung der Mittelwerte benötigt.

Abschnitt 5.2 (Klassen für Zeichenketten)

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Mit Hilfe der **for**-Schleife für Kollektionen (vgl. Abschnitt 3.7.3.2) kann man bequem über die Zeichen eines **String**-Objekts iterieren.
2. Die Anzahl der Zeichen in einem String lässt sich mit der Instanzmethode **length()** ermitteln.
3. Auf die Zeichen eines String-Objekts kann man wie bei einer Array per Indexoperator zugreifen.
4. Ein **String**-Objekt kann nach dem Erstellen nicht mehr geändert werden.

2) Durch welche Anweisungen des folgenden Programms wird ein **String**-Objekt neu in den internen **String**-Pool aufgenommen?

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  String s1 = "abcde";       // (1)
  String s2 = new String("abcde");// (2)
  String s3 = new String("cdefg");// (3)
  String s4, s5;
  s4 = s2.intern();         // (4)
  s5 = s3.intern();         // (5)
  System.out.print("(s1 == s2) = "+(s1==s2)+
   "\n(s1 == s4) = "+(s1==s4)+"\n(s1 == s5) = "+(s1==s5));
 }
}
```

3) Erstellen Sie ein Programm zum Berechnen einer persönlichen Glückszahl (zwischen 1 und 100), indem Sie:

- Vor- und Nachnamen als Programmargumente einlesen,
- den Anfangsbuchstaben des Vornamens sowie den letzten Buchstaben des Nachnamens ermitteln (beide in Großschreibung),
- die Nummern der beiden Buchstaben im Unicode-Zeichensatz bestimmen,
- die beiden Zeichensatznummern addieren und die Summe als Startwert für den Pseudozufallszahlengenerator verwenden.

Beenden Sie Ihr Programm mit einer Fehlermeldung, wenn weniger als zwei Programmargumente übergeben wurden.

Tipp: Um ein Programm spontan zu beenden, kann man die Methode **exit()** der Klasse **System** verwenden.

4) Die Klassen **String** und **StringBuilder** besitzen beide eine Methode namens **equals()**, doch bestehen gravierende Verhaltensunterschiede:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  StringBuilder sb1 = new StringBuilder("abc");` `  StringBuilder sb2 = new StringBuilder("abc");` `  System.out.println("sb1 = sb2 = "+sb1);` `  System.out.println("StringBuilder-Vergl.: "+` `  sb1.equals(sb2));` `  String s1 = sb1.toString();` `  String s2 = sb1.toString();` `  System.out.println("\ns1 = s2 = "+s1);` `  System.out.println("String-Vergl.:  "+` `  s1.equals(s2));` `  }` `}`	`sb1 = sb2 = abc` `StringBuilder-Vergl.: false` `s1 = s2 = abc` `String-Vergl.:  true`

Ermitteln Sie mit Hilfe der API-Dokumentation die Ursache für das unterschiedliche Verhalten.

5) Erstellen Sie eine Klasse `StringUtil` mit einer statischen Methode `wrapln()`, die einen **String** auf die Konsole schreibt und dabei einen korrekten Zeilenumbruch vornimmt. Anwender Ihrer Methode sollen die gewünschte Zeilenbreite vorgeben und auch die Trennzeichen festlegen dürfen, aber nicht müssen (Methoden überladen!). Am Anfang einer neuen Zeile sollen außerdem keine Leerzeichen stehen.

In folgendem Programm wird die Verwendung der Methode demonstriert:

```
class StringUtilTest {
   public static void main(String[] args) {
      String s = "Dieser Satz passt nicht in eine Schmal-Zeile, "+
                 "die nur wenige Spalten umfasst.";
      StringUtil.wrapln(s, " ", 40);
      StringUtil.wrapln(s, 40);
      StringUtil.wrapln(s);
   }
}
```

Der zweite Methodenaufruf sollte folgende Ausgabe erzeugen:

```
Dieser Satz passt nicht in eine Schmal-
Zeile, die nur wenige Spalten umfasst.
```

Ein wesentlicher Schritt zur Lösung des Problems ist die Zerlegung der Zeichenfolge in Einzelbestandteile (sogenannte *Tokens*), die nach Möglichkeit nicht durch einen Zeilenumbruch aufgetrennt werden sollten. Diese Zerlegung können Sie einem Objekt der Klasse **StringTokenizer** aus dem Paket **java.util** überlassen. In folgendem Programm wird demonstriert, wie ein **StringTokenizer** arbeitet:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  String s = "Dies ist der Satz, der zerlegt werden soll.";` `  java.util.StringTokenizer stok =` `  new java.util.StringTokenizer(s, " ", false);` `  while (stok.hasMoreTokens())` `  System.out.println(stok.nextToken());` `  }` `}`	`Dies` `ist` `der` `Satz,` `der` `zerlegt` `werden` `soll.`

In der verwendeten Überladung des **StringTokenizer** - Konstruktors legt der zweite Parameter (Typ **String**) die Trennzeichen fest. Hat der dritte Parameter (Typ **boolean**) den Wert **true**, dann sind die Trennzeichen im Ergebnis als eigene Tokens (mit Länge 1) enthalten. Anderenfalls werden sie nur zum Separieren verwendet und danach verworfen.

Abschnitt 5.3 (Verpackungsklassen für primitive Datentypen)

1) Ermitteln Sie den kleinsten möglichen Wert des Datentyps **byte**.

2) Ermitteln Sie die maximale natürliche Zahl *k*, für die unter Verwendung des Funktionswertedatentyps **double** die Fakultät *k*! bestimmt werden kann.

3) Entwerfen Sie eine Verpackungsklasse, welche die Aufnahme von **int**-Werten in Container wie **ArrayList** ermöglicht, ohne (wie die Klasse **Integer**) die Werte der Objekte nach der Erzeugung zu fixieren. Ein unvermeidlicher Nachteil der selbstgestrickten Verpackungsklasse im Vergleich zur Klasse **Integer** ist das fehlende Auto(un)boxing.

4) Erweitern Sie die in einer Übungsaufgabe zu Abschnitt 5.2 erstellte Klasse `StringUtil` um eine statische Methode namens `countLetters()`, die für einen **String**–Parameter die enthaltenen Buchstaben mit der Häufigkeiten des Auftretens protokolliert. In folgendem Programm wird die Verwendung der Methode demonstriert:

Quellcode	Ausgabe
`class StringUtilTest {` `  public static void main(String[] args) {` `  StringUtil.countLetters("Otto's Ele-Phantasie." , true);` `  }` `}`	`E: 1` `O: 1` `P: 1` `a: 2` `e: 2` `h: 1` `i: 1` `l: 1` `n: 1` `o: 1` `s: 2` `t: 3`

Abschnitt 5.4 (Aufzählungstypen)

1) Erstellen und erproben Sie einen Datentyp `Wochentag`, der folgende Bedingungen erfüllt:

- Typsicherheit
  Einer Variablen vom Typ `Wochentag` können nur sieben verschiedene Werte zugewiesen werden, die den Wochentagen Sonntag, Montag, etc. entsprechen.
- Ordnungsinformation
  Für zwei Werte des Typs `Wochentag` kann leicht die zeitliche Anordnung festgestellt werden.
- Leicht lesbarer Quellcode
- Verwendbarkeit als Datentyp für den steuernden Ausdruck einer **switch**-Anweisung

6 Generische Typen und Methoden

In Java haben Variablen und Methodenparameter einen festen Datentyp, so dass der Compiler für Typsicherheit sorgen, d.h. die Zuweisung ungeeigneter Werte bzw. Objekte verhindern kann. Oft werden aber für unterschiedliche Datentypen völlig analog arbeitende Klassen oder Methoden benötigt, z.B. eine Klasse zur Verwaltung einer geordneten Liste mit Elementen eines bestimmten (bei allen Elementen identischen) Typs. Statt die Definition für jeden in Frage kommenden Elementdatentyp zu wiederholen, kann man die Definition seit Java 5 *typgenerisch* formulieren. Bei der Verwendung einer generischen Listenklasse ist der jeweils zu versorgende Elementtyp konkret festzulegen. Im Ergebnis erhält man durch *eine* Definition zahlreiche konkrete Klassen, wobei die Typsicherheit durch den Compiler überwacht wird.

Wir werden in diesem Abschnitt erste Erfahrungen mit der typgenerischen Definition von Klassen und Methoden sammeln. Wegen der starken Verschränkung mit anderen noch unbehandelten Begriffen bzw. Prinzipien (vor allem Vererbung und Interfaces) folgen später noch wesentliche Ergänzungen zur Generizität.

Ein besonders erfolgreiches Anwendungsfeld für Typgenerizität sind die Klassen zur Verwaltung von Listen, Mengen oder Schlüssel-Wert - Tabellen (Abbildungen) im Java Collection Framework, das in Kapitel 1 vorgestellt wird. Auf Beispiele aus dem Bereich der Kollektionsverwaltung kann auch das aktuelle Kapitel nicht verzichten.

Neben den generischen Klassen spielen auch generische *Interfaces* eine wichtige Rolle. Weil die Themen Generizität, Interfaces (siehe Kapitel 7) und Vererbung eng verwoben sind, lässt sich eine sequentielle Behandlung ohne Vorgriffe kaum realisieren.

Weitere Details zu generischen Typen und Methoden finden Sie z.B. bei Bloch[1] (2008, Kapitel 5), Bracha (2004) sowie Naftalin & Wadler (2007).

6.1 Generische Klassen

Aus der Entwicklerperspektive besteht der wesentliche Vorteil einer generischen Klasse darin, dass mit *einer* Definition beliebig viele konkrete Klassen für spezielle Datentypen geschaffen werden. Dieses Konstruktionsprinzip ist speziell bei den Kollektionsklassen sehr verbreitet (siehe Kapitel 1), aber keinesfalls auf Container mit ihrer weitgehend inhaltstypunabhängigen Verwaltungslogik beschränkt.

6.1.1 Vorzüge und Verwendung generischer Klassen am Beispiel ArrayList

In Abschnitt 5.3.1 haben Sie die Klasse **ArrayList** aus dem Paket **java.util** als Container für Objekte beliebigen Typs kennen gelernt:

```
java.util.ArrayList al = new java.util.ArrayList();
al.add("Otto");
al.add(13);
al.add(23.77);
al.add('x');
```

Dabei der so genannte *Rohtyp* der generischen Klasse **ArrayList** genutzt (vgl. Abschnitt 6.1.2). Diese veraltete und verbesserungsbedürftige Praxis ist hier noch einmal zu sehen, damit gleich im Kontrast die Vorteile der korrekten Nutzung generischer Klassen deutlich werden.

Im Unterschied zu einem gewöhnlichen Java-Array (siehe Abschnitt 5.1) bietet die Klasse **ArrayList** bei der eben vorgeführten Verwendungsart:

---

[1] Joshua Bloch hat nicht nur ein lesenswertes Buch über Java verfasst, sondern auch viele Klassen im Java-API programmiert und insbesondere das Java Collection Framework entworfen.

- eine automatische Größenanpassung
- Typflexibilität bzw. -beliebigkeit

In der Praxis ist oft ein Container mit automatischer Größenanpassung (ein dynamischer Array) für Objekte eines bestimmten, *identischen* Typs gefragt (z.B. zur Verwaltung von **String**-Objekten). Bei dieser Einsatzart stören zwei Nachteile der Typbeliebigkeit:

- Wenn beliebige Objekte zugelassen sind, kann der Compiler keine **Typsicherheit** garantieren. Er kann nicht sicherstellen, dass ausschließlich Objekte der gewünschten Klasse in den Container eingefüllt werden. Viele Programmierfehler werden erst zur Laufzeit (womöglich vom Benutzer) entdeckt.
- Entnommene Objekte können erst nach einer expliziten Typumwandlung die Methoden ihrer Klasse ausführen. Die häufig benötigten Typanpassungen sind lästig und fehleranfällig.

Im folgenden Beispielprogramm sollen **String**-Objekte in einem Container mit dem **ArrayList**-Rohtyp verwaltet werden:

```
import java.util.ArrayList;
class RawArrayList {
 public static void main(String[] args) {
  // Bitte nur String-Objekte einfüllen!
  ArrayList al = new ArrayList();
  al.add("Otto");
  al.add("Rempremerding");
  al.add('.');
  int i = 0;
  for (Object s: al)
   System.out.printf("Laenge von String %d: %d\n",++i,((String)s).length());
 }
}
```

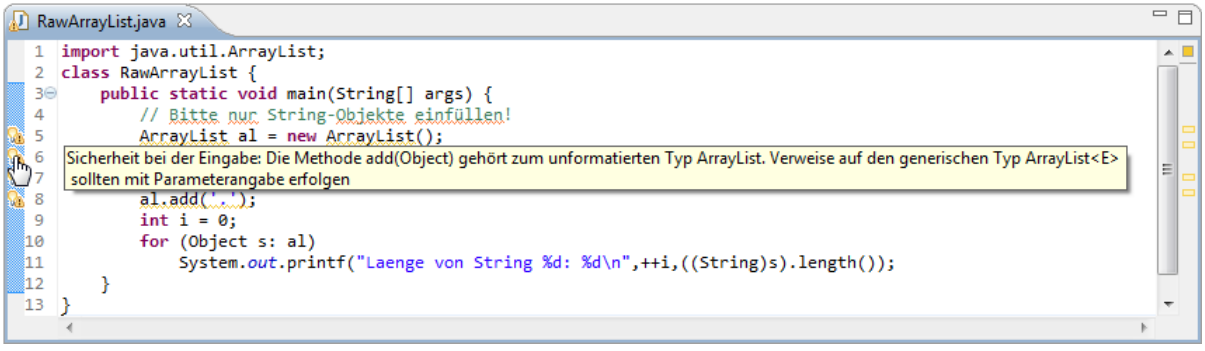
Bevor ein **String**-Element des Containers nach seiner Länge befragt werden kann, ist eine lästige Typanpassung fällig, weil der Compiler nur die Typzugehörigkeit **Object** kennt:

```
((String)s).length()
```

Beim dritten **add()**-Aufruf wird ein **Character**-Objekt (Autoboxing!) in den Container befördert. Weil der Container eigentlich zur Aufbewahrung von **String**-Objekten gedacht war, liegt hier ein Programmierfehler vor, den der Compiler wegen der mangelhaften Typsicherheit nicht bemerken kann. Beim Versuch, das **Character**-Objekt als **String**-Objekt zu behandeln, scheitert das Programm am folgenden Ausnahmefehler vom berühmt-berüchtigten Typ **ClassCastException**:

```
Exception in thread "main" java.lang.ClassCastException: java.lang.Character cannot
be cast to java.lang.String
 at RawArrayList.main(RawArrayList.java:11)
```

Unsere Entwicklungsumgebung Eclipse erkennt das sich anbahnende Unglück und warnt:



Es ist nicht schwer, eine spezielle Container-Klasse zur Verwaltung von **String**-Objekten zu definieren, welche die beiden Probleme (mangelnde Typsicherheit, syntaktische Umständlichkeit) ver-

meidet. Analog funktionierende Behälter werden aber auch für andere Elementtypen benötigt, und entsprechend viele Klassen zu definieren, die sich nur durch den Inhaltstyp unterscheiden, ist nicht rationell. Für eine solche Aufgabenstellung bietet Java seit der Version 5 die *generischen* Klassen. Durch Verwendung von Typparametern wird die gesamte Handlungskompetenz der Klasse typunabhängig formuliert. Bei jeder Instantiierung wird der Typ jedoch konkretisiert, so dass Typsicherheit und syntaktische Eleganz resultieren.

Wie ein Blick in die API-Dokumentation zeigt, ist die Klasse **ArrayList** selbstverständlich generisch realisiert und verwendet den Typformalparameter **E**:

java.util
Class ArrayList<E>

java.lang.Object
  └ java.util.AbstractCollection<E>
    └ java.util.AbstractList<E>
      └ **java.util.ArrayList<E>**

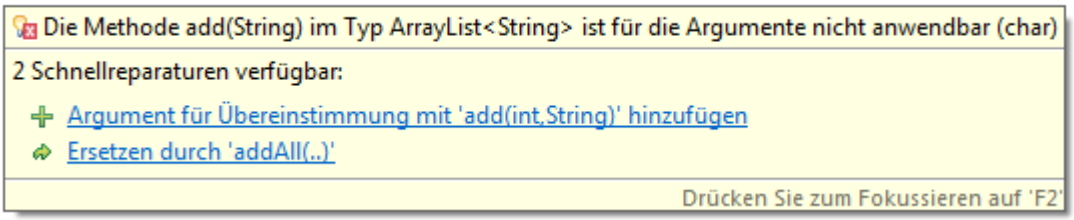
Wir haben bisher den aus Kompatibilitätsgründen unterstützten **Rohtyp** der generischen Klasse **ArrayList** verwendet (siehe Abschnitt 6.1.2). Er ist wenig geeignet, wenn ein *sortenreiner* Container (mit identischem Typ für alle Elemente) benötigt wird. Die beiden Nachteile dieser Konstellation (Typunsicherheit, lästige Typanpassungen) wurden oben beschrieben.

Wird im Beispiel ein **ArrayList**-Objekt mit Angabe des gewünschten Elementtyps (Typaktualparameter **String**) verwendet,

```
import java.util.ArrayList;
class GenArrayList {
 public static void main(String[] args) {
  ArrayList<String> al = new ArrayList<>();
  al.add("Otto");
  al.add("Rempremerding");
  // al.add('.');  // führt zum Übersetzungsfehler
  int i = 0;
  for (String s: al)
   System.out.printf("Laenge von String %d: %d\n", ++i, s.length());
 }
}
```

dann verhindert der Compiler die Aufnahme eines Elements mit unpassendem Datentyp:

```
al.add('.');
```



Die Elemente des auf **String**-Objekte eingestellten **ArrayList**-Containers beherrschen ohne Typanpassung die Methoden ihrer Klasse.

Generische Klassen ermöglichen robuste Programme (dank Typüberwachung durch den Compiler), die zudem leichter lesbar sind.

Beim Verwenden eines generischen Typs durch Wahl konkreter Datentypen an Stelle der Typformalparameter entsteht ein so genannter **parametrisierter Typ**, z.B. **ArrayList<String>**.

Als Konkretisierung für einen Typformalparameter ist leider ein *Referenztyp* vorgeschrieben. Zwar werden über Wrapper-Klassen und Auto(un)boxing auch primitive Typen unterstützt, doch ist bei

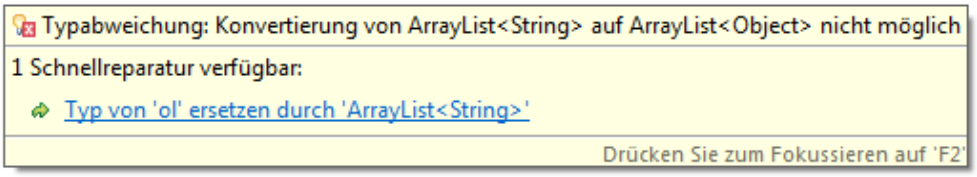
einer hohen Anzahl von Auto(un)boxing-Operationen mit Leistungseinbußen zu rechnen. Den Grund für diese Einschränkung erfahren Sie in Abschnitt 6.1.2.

Ist explizit ein „Gemischwaren“ - Container gewünscht, sollte trotzdem kein Rohtyp verwendet werden, sondern eine Konkretisierung mit dem Elementtyp **Object**, z.B.:

```
ArrayList<Object> ol = new ArrayList<Object>();
```

Während einer Referenzvariablen vom Rohtyp **ArrayList** (versehentlich) ein Objekt vom parametrisierten Typ **ArrayList<String>** zugewiesen werden könnte, ist dies bei einer Referenzvariablen vom Typ **ArrayList<Object>** nicht möglich (siehe Abschnitt 6.1.3):

```
ArrayList<Object> ol = new ArrayList<String>();
```



Seit Java 7 ist es beim Instantiieren generischer Typen nicht mehr erforderlich, den Typaktualparameter in der Bezeichnung des Konstruktors zu wiederholen, so dass man bei der Deklaration mit Initialisierung

```
ArrayList<String> als = new ArrayList<String>();
```

etwas Schreibaufwand sparen kann:

```
ArrayList<String> als = new ArrayList<>();
```

Aus dem deklarierten Datentyp lässt sich der Typaktualparameter sicher ableiten, und seit Java 7 können schreibfaule Programmierer von dieser Typinferenz (engl.: *type inference*) profitieren.[1]

6.1.2 Rohtyp und Typlöschung

Java-Compiler erzeugen für eine generische Klasse unabhängig von der Anzahl der im Quellcode vorhandenen Konkretisierungen ausschließlich den so genannten **Rohtyp**. Hier sind Typformalparameter durch den breitesten zulässigen Datentyp ersetzt. Bei unrestringierten Parametern ist diese *obere Schranke* (engl.: *upper bound*) der Urahntyp **Object**, bei restringierten Parametern ist sie entsprechend kleiner (z.B. **Interface**-Typ **Comparable**, siehe Abschnitt 6.2). Man spricht hier von **Typlöschung** (engl.: *type erasure*). Im Bytecode existieren also keine parametrisierten Typen, sondern nur der Rohtyp.

Während die Entwickler seit Java 5 mit generischen Klassen erstellen und verwenden können, weiß die JRE nichts von dieser Technik. Die damit fälligen expliziten Typanpassungen fügt der Compiler automatisch in den Bytecode ein.

Weil Typformalparameter im Bytecode durch den breitesten zulässigen Datentyp, der stets ein Referenztyp ist, ersetzt werden, muss für konkretisierende Typen Zuweisungskompatibilität zu diesem Datentyp bestehen. Aus einem unrestringierten Typformalparameter resultiert im Bytecode der Typ **Object**, z.B. bei der Deklaration von Variablen. Solchen Variablen können aber keinen Wert mit primitivem Datentyp aufnehmen, so dass an Stelle eines primitiven Typs die zugehörige Wrapper-Klasse zu verwenden ist.

Auf ihre Klassenzugehörigkeit befragt, nennen Objekte eines parametrisierten Typs stets den zugehörigen Rohtyp, z.B.:

---

[1] Manche Autoren bezeichnen das Paar spitzer Klammern in laxer Redeweise als *diamond operator*, obwohl es sich *nicht* um einen Operator handelt.

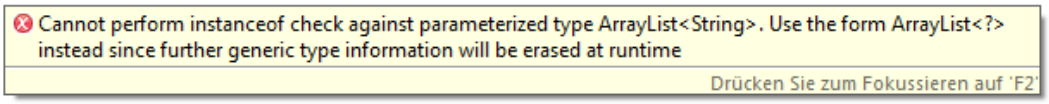
Quellcodefragment	Ausgabe
`public static void main(String[] args) {` `  ArrayList<String> al = new ArrayList<String>();` `  System.out.println(al.getClass());` `}`	`class java.util.ArrayList`

Die Typlöschung ist auch bei Verwendung des (im Manuskript bisher noch nicht vorgestellten) **instanceof**-Operators zu berücksichtigen, der die Zugehörigkeit eines Objekts zu einer bestimmten Klasse prüft, z.B.:

Quellcodefragment	Ausgabe
`System.out.println(al instanceof ArrayList);`	`true`

Der **instanceof**-Operator akzeptiert keine parametrisierten Typen, so dass z.B. die folgende Anweisung *nicht* übersetzt werden kann:

```
System.out.println(al instanceof ArrayList<String>);
```



Anstelle des Rohtyps kann man auch den ungebundenen Wildcard-Datentyp (siehe Abschnitt 6.4) überprüfen, was aber den Informationsgehalt der Abfrage nicht verändert:

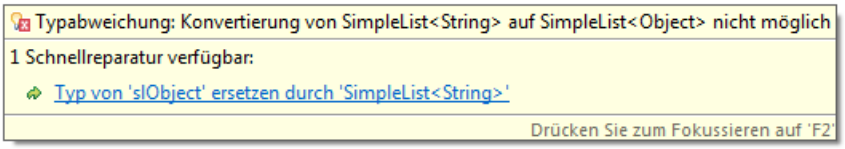
```
System.out.println(al instanceof ArrayList<?>);
```

Als Motive für die Typlöschung bei der Generizitätslösung in Java werden neben der Kompatibilität mit Software-Altlasten auch Einsparungen bei Rechenzeit und Speicherplatz genannt. Allerdings sind mit dieser Designentscheidung einige Einschränkungen verbunden, die nun diskutiert werden.

6.1.3 Invarianz von generischen Klassen und Kovarianz von Arrays

Bei der ersten Beschäftigung mit generischen Klassen könnte man z.B. den parametrisierten Datentyp `SimpleList<String>` für eine Spezialisierung des parametrisierten Typs `SimpleList<Object>` halten, weil schließlich die Klasse **String** eine Spezialisierung der Urahnklasse **Object** ist. Wie bald im Kapitel über Vererbung zu erfahren ist, können Objekte einer abgeleiteten Klasse über Referenzvariablen der Basisklasse angesprochen werden. Der Compiler verbietet jedoch, ein Objekt der Klasse `SimpleList<String>` über eine Referenzvariable vom Typ `SimpleList<Object>` anzusprechen, z.B.:

```
SimpleList<Object> slObject = new SimpleList<String>(3);
```



Ein Objekt der Klasse `SimpleList<Object>` kann als „Gemischtwarenladen“ Objekte von beliebigem Typ aufnehmen, während in der Liste eines Objekts vom Typ `SimpleList<Object>` nur Strings zugelassen sind. Ein Objekt vom Typ `SimpleList<String>` ist also *nicht* in der Lage, den Job eines Objekts vom Typ `SimpleList<Object>` zu übernehmen. Dies ist aber von einer abgeleiten Klasse zu fordern (siehe unten). Die oben formulierte naive Abstammungsvermutung ist also *falsch*.

Es ist möglich, aber *nicht* ratsam, ein Objekt der Klasse `SimpleList<String>` über eine Referenzvariable vom so genannten Rohtyp `SimpleList` (siehe Abschnitt 6.1.2) anzusprechen, z.B.:

```
public static void main(String[] args) {
  SimpleList<String> slString = new SimpleList<String>(5);
```

```
    SimpleList slObject = slString;
    slObject.add(13);
    System.out.println(slString.get(0).length());
  }
```

Ein Aufruf dieser **main()**-Methode führt zu einer **ClassCastException**, weil das eingeschmuggelte **Integer**-Objekt keine **length()**-Methode beherrscht:

```
Exception in thread "main" java.lang.ClassCastException: java.lang.Integer cannot be
cast to java.lang.String at SimpleListTest.main(SimpleListTest.java:6)
```

Der Compiler bemerkt die fehlende Typsicherheit und warnt, z.B.:

Bezüglich der Zuweisungskompatibilität in Abhängigkeit vom Elementtyp (und damit bei der Typsicherheit) besteht ein wichtiger Unterschied zwischen generischen Klassen und Arrays. Während der Compiler die Zuweisung

```
SimpleList<Object> slObject = new SimpleList<String>(5); // verboten
```

ablehnt, erlaubt er das analoge Vorgehen bei einem Array:

```
Object[] arrObject = new String[5]; // leider erlaubt
```

Bei Arrays stimmt offenbar die eben als *naiv* kritisierte Abstammungsvermutung.

Für die beiden gravierend abweichenden Regeln für die Übertragung der Spezialisierungsrelation von der Element- auf die Container-Ebene haben sich zwei Begriffe eingebürgert (siehe z.B. Bloch 2008, S. 119):

- Generischen Typen sind **invariant**.
- Arrays sind **kovariant**.

Aufgrund der Kovarianz-Eigenschaft von Arrays übersetzt der der Compiler z.B. die folgenden Anweisungen ohne jede Kritik:

```
Object[] arrObject = new String[5];
arrObject[0] = 13;
```

Zur Laufzeit kommt es jedoch zu einem Ausnahmefehler vom Typ **ArrayStoreException**:

```
Exception in thread "main" java.lang.ArrayStoreException: java.lang.Integer
  at SimpleListTest.main(SimpleListTest.java:20)
```

Der per

```
new String[5]
```

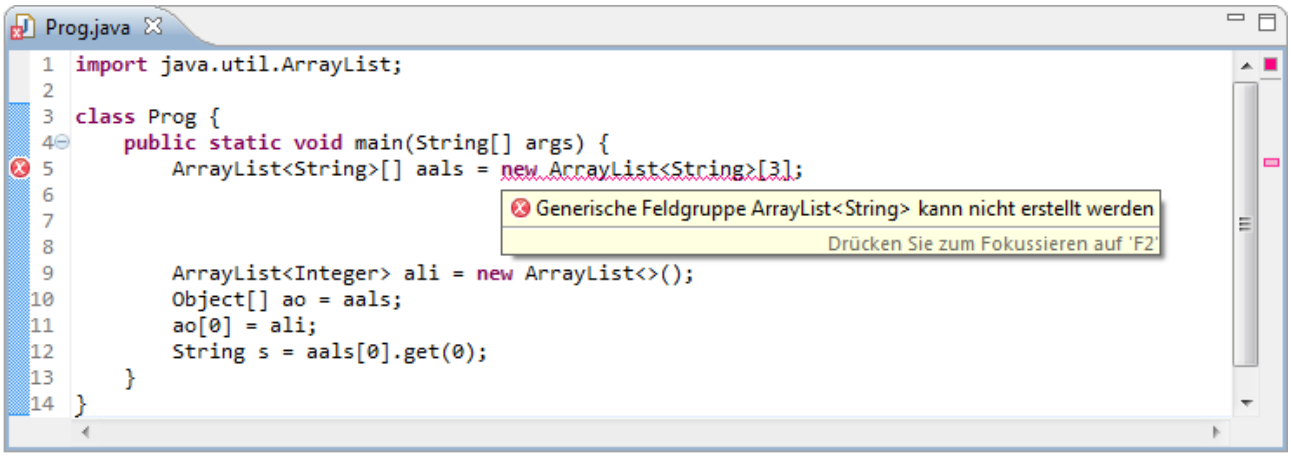
erzeugte Array kennt zur Laufzeit seinen Elementtyp (**String**) und lehnt die Aufnahme eines **Integer**-Objekts (Autoboxing!) ab.

Bloch (2008, S. 123) kommt beim Vergleich von Arrays und generischen Klassen hinsichtlich Typsicherheit zum Ergebnis:

As a consequence, arrays provide runtime type safety but not compile-time type safety and vice versa for generics.

6.1.4 Generische Typen und Arrays

Aus der Typlöschung bei generischen Klassen und der Kovarianz von Arrays folgt das Verbot, ein Array-Objekt mit einer konkretisierten generischen Klasse als Elementtyp anzulegen. Wie das folgende Beispiel zeigt, könnte der Compiler bei einem solchen Array die Typsicherheit nicht garantieren.[1] Er verhindert daher die Objektkreation:



Würde der Compiler die Anweisung in Zeile 5 erlauben, käme es zur Laufzeit zu einer **ClassCastException**:

- Die konkretisierten generischen Typen **ArrayList<String>** und **ArrayList<Integer>** werden zur Laufzeit durch den Rohtyp **ArrayList** ersetzt.
- Wegen der Kovarianz ist ein Array mit dem Elementtyp **ArrayList** eine Spezialisierung des Typs **Object[]**, so dass der Compiler die Zeile 10 nicht beanstandet.
- In Zeile 11 wird ein **ArrayList<Integer>** - Objekt als Element 0 in den **Object**-Array `ao` aufgenommen, was der Compiler erlauben muss.
- Auch zur Laufzeit würde die Zeile 11 kein Problem machen (keine **ArrayStoreException** verursachen), obwohl der Array `ao` sehr wohl wüsste, dass seine Elemente vom Rohtyp **ArrayList** sind. Schließlich hat das eingefügte Element `ali` ja genau diesen Rohtyp.
- In der Zeile 12 wird ausgenutzt, dass ein **ArrayList<String>** - Container nur Objekte vom Typ **String** enthalten kann. Genau hier käme es aber zur **ClassCastException**, weil das Element 0 von `aals` *kein* **ArrayList<String>** wäre.

Wenn Sie tatsächlich einmal vor dem Problem stehen, keinen Array mit einem konkretisierten generischen Elementtyp anlegen zu können, sollten Sie stattdessen eine Liste verwenden (siehe Abschnitt 8.3).

Wegen der Kovarianz von Arrays muss ihr Elementtyp generell **reifizierbar** sein, d.h. zur Laufzeit darf nicht weniger Information über den Typ zur Verfügung stehen als zur Übersetzungszeit (Bloch 2008, S. 120; siehe auch Gosling et al. 2011, Abschnitt 4.7). Diese Forderung ist weder bei einem konkretisierten generischen Typ noch bei einem Typformalparameter erfüllt, so dass Generizität und Arrays in Java kein ideales Team bilden.

---

[1] Das Beispiel wurde übernommen von Bloch (2008, S. 120) bzw. Flanagan (2005, S. 166), wo es in weitgehend identischer Form zu finden ist.

6.1.5 Definition einer generischen Klasse

Bei der generischen Klassendefinition verwendet man **Typformalparameter**, die im Definitionskopf hinter dem Klassennamen zwischen spitzen Klammern angegeben werden. Verwendet eine Klassendefinition *mehrere* Typformalparameter, sind diese durch Kommata voneinander zu trennen. Wir erstellen als einfaches Beispiel eine generische Klasse namens `SimpleList<E>`, die hinsichtlich Einsatzzweck und Konstruktion den Listenverwaltungsklassen aus dem Java Collection Framework ähnelt (z.B. **ArrayList<E>**, siehe oben und Abschnitt 8.3), aber nicht annähernd denselben Funktionsumfang bietet:

```
import java.util.Arrays;

public class SimpleList<E> {
 private Object[] elements;
 private final int DEF_INIT_SIZE = 16;
 private int initSize;
 private int size;

 public SimpleList(int len) {
  if (len > 0) {
   initSize = len;
   elements = new Object[len];
  } else {
   initSize = DEF_INIT_SIZE;
   elements = new Object[DEF_INIT_SIZE];
  }
 }

 public SimpleList() {
  initSize = DEF_INIT_SIZE;
  elements = new Object[DEF_INIT_SIZE];
 }

 public void add(E element) {
  if (size ==  elements.length)
   elements = Arrays.copyOf(elements, elements.length + initSize);
  elements[size++] = element;
 }

 public E get(int index) {
  if (index >= 0 && index < size)
   return (E) elements[index];
  else
   return null;
 }

 public int size() {return size;}

 public int capacity() {return elements.length;}

}
```

Innerhalb der Klassendefinition wird der Typformalparameter wie ein konkreter Referenzdatentyp verwendet.

Es wird empfohlen, für Typformalparameter einzelne Großbuchstaben zu verwenden, z.B.:

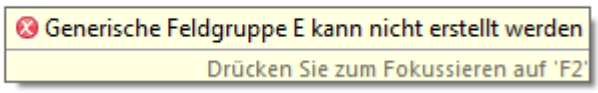
T „Type“
E „Element“
K „Key“
V „Value“

In der Namen der Konstruktoren einer generischen Klasse werden die Typformalparameter *nicht* wiederholt, z.B.:

```
public class SimpleList<E> {
 ...
 public SimpleList() {
  initSize = DEF_INIT_SIZE;
  elements = new Object[DEF_INIT_SIZE];
 }
 ...
}
```

Die generische Klasse `SimpleList<E>` verwendet intern zur Ablage der Elemente einen Array namens `elements`. Wie in Abschnitt 6.1.4 beschrieben, kann jedoch kein Array vom (nicht-reifizierbaren) Typ **E** erzeugt werden. Weil der Compiler ansonsten die Typsicherheit nicht garantieren könnte, weigert er sich, die folgende Zeile zu übersetzen:

```
elements = new E[DEF_INIT_SIZE];
```



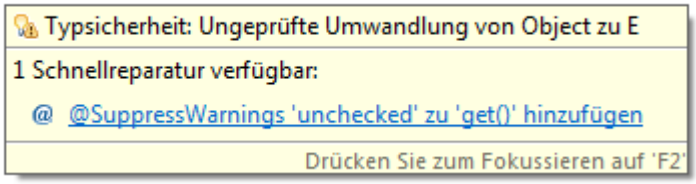
Der Elementtyp des Arrays kann also leider *nicht* über den Typformalparameter bestimmt werden!

Eine Standardlösung für das Problem besteht darin, als Array-Elementtyp den breitesten zulässigen Datentyp für Konkretisierungen von **E** zu verwenden: den Urahntyp **Object**. Weil `elements` also vom deklarierten Typ **Object[]** ist, muss in der Methode `get()`, die ihren Rückgabetyp per Typparameter definiert, eine explizite Typumwandlung vorgenommen werden:

```
return (E) elements[index];
```

Wer die Warnung des Compilers vor einer ungeprüften Typumwandlung

```
return (E) elements[index];
```



nach erbrachtem Nachweis der Irrelevanz unterdrücken möchte, kann dies mit einer sogenannten **Annotation** (siehe Abschnitt 7.4) tun. Weil in einer **return**-Anweisung keine Annotation erlaubt ist, wird in die `SimpleList<E>` - Methode `get()` eine lokale Hilfsvariable eingebaut:

```
public E get(int index) {
 if (index >= 0 && index < size) {
  @SuppressWarnings("unchecked") E result = (E) elements[index];
  return result;
 }
 else
  return null;
}
```

Es ist durchaus möglich, beim Array `elements` den Datentyp `E[]` zu verwenden und so die Typwandlung in der Methode `get()` zu vermeiden:

```
private E[] elements;
```

Allerdings muss man trotzdem einen Array vom Typ **Object[]** erzeugen, und die Typwandlung ist nun an anderer Stelle fällig:

```
elements = (E[]) new Object[len];
```

Die eben beschriebene Technik wird in Abschnitt 6.2 bei einem vergleichbaren Beispiel demonstriert. Beide Techniken sind akzeptabel, und die Wahl ist eine Frage des persönlichen Geschmacks.

Den Rohtyp zum `SimpleList<E>` (vgl. Abschnitt 6.1.2) kann man sich ungefähr so vorstellen:

```
import java.util.Arrays;

public class SimpleList {
  private Object[] elements;
  private final int DEF_INIT_SIZE = 16;
  private int initSize;
  private int size;

  public SimpleList(int len) {
    if (len > 0) {
      initSize = len;
      elements = new Object[len];
    } else {
      initSize = DEF_INIT_SIZE;
      elements = new Object[DEF_INIT_SIZE];
    }
  }

  public SimpleList() {
    initSize = DEF_INIT_SIZE;
    elements = new Object[DEF_INIT_SIZE];
  }

  public void add(Object element) {
    if (size ==  elements.length)
      elements = Arrays.copyOf(elements, elements.length + initSize);
    elements[size++] = element;
  }

  public Object get(int index) {
    if (index >= 0 && index < size)
      return elements[index];
    else
      return null;
  }

  public int size() {return size;}

  public int capacity() {return elements.length;}
}
```

Für den intern zur Datenspeicherung verwendeten Array wird als Länge der Voreinstellungswert `DEF_INIT_SIZE` oder die per Konstruktorparameter festgelegte initiale Listenlänge verwendet. In der Methode `add()` wird bei Bedarf mit Hilfe der statischen **Arrays**-Methode **copyOf()** ein größerer Array erzeugt, der die Elemente des Vorgängers übernimmt. Solange die Klasse `SimpleList<E>` keine Methode zum Löschen von Elementen bietet, müssen wir uns um eine automatische Größen*reduktion* keine Gedanken machen. Das folgende Testprogramm demonstriert u.a. die automatische Vergrößerung des privaten Arrays:

Quellcode	Ausgabe
`class SimpleListTest {` `  public static void main(String[] args) {` `  SimpleList<String> sls = new SimpleList<>(3);` `  sls.add("Otto");` `  sls.add("Rempremmerding");` `  System.out.println("Laenge: "+sls.size()+` `  ", Kapazitaet: "+sls.capacity());` `  sls.add("Hans");` `  sls.add("Brgl");` `  System.out.println("Laenge: "+sls.size()+` `  ", Kapazitaet: "+sls.capacity());` `  for (int i=0; i < sls.size();i++)` `  System.out.println(sls.get(i));` `}`	`Laenge: 2, Kapazitaet: 3` `Laenge: 4, Kapazitaet: 6` `Otto` `Rempremmerding` `Hans` `Brgl`

Als Beispiel für eine generische Klasse mit *zwei* Typformalparametern betrachten wird die API-Klasse **HashMap** (siehe Abschnitt 8.5) die eine Tabelle mit Schüssel-Wert - Paaren verwaltet

java.util

Class HashMap<K,V>

java.lang.Object
  └ java.util.AbstractMap<K,V>
  └ **java.util.HashMap<K,V>**

Type Parameters:

K - the type of keys maintained by this map
V - the type of mapped values

6.2 Gebundene Typformalparameter

Häufig muss eine generische Klasse oder Methode (siehe Abschnitt 6.3) bei den Klassen, welche einen Typparameter konkretisieren dürfen, gewisse Handlungskompetenzen voraussetzen. Soll z.B. ein generischer Container-Typ seine Elemente *sortieren*, muss für jede konkrete Elementklasse gefordert werden, dass sie das Interface **Comparable<E>** implementiert. Wir benötigen hier den wichtigen Begriff *Interface*, mit dem wir uns in Kapitel 7 ausführlich beschäftigen werden. Allerdings stellt der Vorgriff kein didaktisches Problem dar, weil die Forderung an eine zulässige Konkretisierungsklasse leicht mit vertrauten Begriffen zu formulieren ist: Diese muss eine Instanzmethode namens **compareTo()** besitzen (hier beschrieben unter Verwendung des Typparameters **E**):

public int compareTo(E *vergl***)**

Das angesprochene Objekt vergleicht sich mit dem Parameterobjekt.

In Abschnitt 5.2.1.4.2 haben Sie erfahren, dass die Klasse **String** eine solche Methode besitzt, und wie **compareTo()** das Prüfergebnis über den Rückgabewert signalisiert. Damit sollte klar genug sein, was die Schnittstelle (das Interface) **Comparable<E>** von einem implementierenden Typ verlangt: Objekte des Typs müssen sich mit Artgenossen vergleichen können. Wie das Beispiel **Comparable<E>** zeigt, sind auch bei Schnittstellen typgenerische Varianten von großer Bedeutung.

Wir erstellen nun eine Variante der simplen Listenklasse aus Abschnitt 6.1.5, die neue Elemente automatisch einsortiert und daher ihren Typformalparameter auf den Datentyp **Comparable<E>** einschränkt:

```
import java.util.Arrays;

public class SimpleSortedList<E extends Comparable<E>> {
 private E[] elements;
 private final int DEF_INIT_SIZE = 16;
 private int initSize;
 private int size;

 public SimpleSortedList(int len) {
  if (len > 0) {
   initSize = len;
   elements = (E[]) new Comparable[len];
  } else {
   initSize = DEF_INIT_SIZE;
   elements = (E[]) new Comparable[DEF_INIT_SIZE];
  }
 }

 public SimpleSortedList() {
  initSize = DEF_INIT_SIZE;
  elements = (E[]) new Comparable[DEF_INIT_SIZE];
 }

 public void add(E element) {
  if (size == elements.length)
   elements = Arrays.copyOf(elements, elements.length + initSize);
  boolean inserted = false;
  for (int i = 0; i < size; i++) {
   if (element.compareTo(elements[i]) <= 0) {
    for (int j = size; j > i; j--)
     elements[j] = elements[j-1];
    elements[i] = element;
    inserted = true;
    break;
   }
  }
  if (!inserted)
   elements[size] = element;
  size++;
 }

 public E get(int index) {
  if (index >= 0 && index < size)
   return elements[index];
  else
   return null;
 }

 public int size() {return size;}

 public int capacity() {return elements.length;}
}
```

Bei der Formulierung von Einschränkungen (synonym: *Bindungen*) für Typparameter wird das Schlüsselwort **extends** verwendet, das Sie bald im Zusammenhang mit Vererbungsbeziehungen zwischen Klassen kennen lernen werden. Wie das Beispiel zeigt, ist das Schlüsselwort auch bei einer Typparameterrestriktion unter Verwendung einer *Schnittstelle* zu verwenden.

Weil der Typformalparameter **E** in der Bindungsdefinition selbst auftaucht,

```
E extends Comparable<E>
```

spricht man von einer *rekursiven Typbindung* (Bloch 2008, S. 132).

Wie Sie bereits wissen, kann der intern zur Datenspeicherung verwendete Array leider nicht mit dem Elementtyp **E** erzeugt werden. Zur Lösung des Problems verwaltet man die Elemente durch ein Array-Objekt mit dem breitesten zulässigen Elementtyp. Im aktuellen Beispiel der generischen

Klasse `SimpleSortedList<E extends Comparable<E>>` ist dies der Interface-Datentyp **Comparable**.

Für den restlichen Lösungsweg gibt es zwei (im Wesentlichen äquivalente) Techniken:

- Instanzvariable vom Typ des realen **Object**-Arrays deklarieren und in Schnittstellenmethoden eine Typwandlung in Richtung Typformalparameter verwenden, z.B.:

```
public class SimpleList<E> {
 private Object[] elements;
   . . .
 public SimpleList() {
 initSize = DEF_INIT_SIZE;
 elements = new Object[DEF_INIT_SIZE];
 }
   . . .
 public E get(int index) {
 if (index >= 0 && index < size)
  return (E) elements[index];
 else
  return null;
 }
}
```

- Bei der Instanzvariablen den Typ des Formalparameters angeben und auf den realen Array eine Typwandlung anwenden, z.B.:

```
public class SimpleSortedList<E extends Comparable<E>> {
 private E[] elements;
   . . .
 public SimpleSortedList() {
 initSize = DEF_INIT_SIZE;
 elements = (E[]) new Comparable[DEF_INIT_SIZE];
 }
   . . .
 public E get(int index) {
 if (index >= 0 && index < size)
  return elements[index];
 else
  return null;
 }
}
```

Während in Abschnitt 6.1.5 die erste Technik zum Einsatz kam, wird im aktuellen Beispiel die zweite verwendet.

Wie das folgende Testprogramm zeigt, hält ein Objekt einer Konkretisierung der Klasse `SimpleSortedList<E extends Comparable<E>>` seine Elemente stets in sortiertem Zustand:

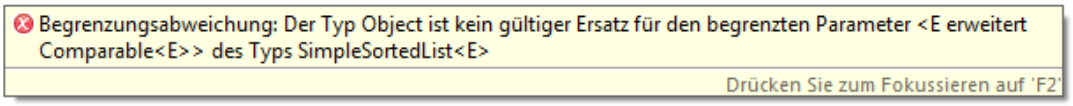
Quellcode	Ausgabe
`class SimpleSortedListTest {` `  public static void main(String[] args) {` `  SimpleSortedList<Integer> si =` `  new SimpleSortedList< >(3);` `  si.add(4); si.add(11); si.add(1); si.add(2);` `  System.out.println("Laenge: "+si.size()+` `  " Kapazitaet: "+si.capacity());` `  for (int i=0; i < si.size();i++)` `  System.out.println(si.get(i));` `  }` `}`	`Laenge: 4 Kapazitaet: 6` `1` `2` `4` `11`

Der Compiler stellt sicher, dass der Container sortenrein bleibt:

```
si.add("Verboten!");
```

Außerdem verhindert er das Konkretisieren des Typparameters durch eine Klasse, welche die Typrestriktion nicht erfüllt, z.B.:

```
SimpleSortedList<Object> si = new SimpleSortedList<>(3);
```



Man kann für einen Typparameter auch *mehrere* Bindungen (Restriktionen) definieren, die mit dem &-Zeichen verknüpft werden. Im folgenden Beispiel

```
class MultiRest<E extends SuperKlasse & Comparable<E>> {...}
```

steht **E** für einen Datentyp, der …

- von `SuperKlasse` abstammt und
- die Schnittstelle **Comparable<E>** unterstützt.

In Bezug auf die Typlöschung (vgl. Abschnitt 6.1.2) ist zu beachten, dass sich die obere Schranke bei multiplen Bindungen ausschließlich an der *ersten* Bindung orientiert, so dass im letzten Beispiel der Typ `SuperKlasse` resultiert (siehe Naftalin & Wadler 2007, S. 55).

6.3 Generische Methoden

Wenn überladene Methoden analoge Operationen mit verschiedenen Datentypen ausführen, ist *eine* generische Methode oft die bessere Lösung, wobei sich der generische Entwurf insbesondere bei den statischen Methoden von Service-Klassen anbietet (z.B. bei den Klassen **Arrays** und **Collections** im Paket **java.util**).

Im folgenden Beispiel liefert eine statische und generische Methode das Maximum zweier Argumente, wobei der gemeinsame Datentyp der Argumente die Schnittstelle **Comparable<T>** (vgl. Abschnitt 6.2) erfüllen, also eine Methode **compareTo(T** *vergl***)** besitzen muss:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  static <T extends Comparable<T>> T max(T x, T y) {` `  return x.compareTo(y) >= 0 ? x : y;` `  }` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("int-max:\t"+max(12, 4711));` `  System.out.println("double-max:\t"+max(2.16, 47.11));` `  }` `}`	`int-max:  4711` `double-max:  47.11`

In der Definition einer generischen Methode befindet sich vor dem Rückgabetyp zwischen spitzen Klammern mindestens ein **Typformalparameter**. Mehrere Typparameter werden durch Kommata getrennt. Zur Formulierung von Typrestriktionen verwendet man wie bei den generischen Klassen das Schlüsselwort **extends** (siehe Beispiel, vgl. Abschnitt 6.2).

Verwendet eine Methode einer generischen Klasse einen Typparameter der Klasse als Formalparameter- oder Rückgabetyp, spricht man *nicht* von einer generischen Methode, weil keine eigenen Typparameter definiert werden, z.B. bei der Methode `add()` der in Abschnitt 6.1.5 beschriebenen Klasse `SimpleList<E>`:

```
public void add(E element) {
  ...
}
```

Wie bei generischen Klassen sind auch bei generischen Methoden als Konkretisierung für einen Typformalparameter nur *Referenztypen* zugelassen. Zwar werden über Wrapper-Klassen und Auto(un)boxing auch primitive Typen unterstützt, doch ist bei einer hohen Anzahl von Auto(un)boxing-Operationen mit Leistungseinbußen zu rechnen.

Beim Aufruft einer generischen Methode kann der Compiler fast immer aus den Datentypen der per Referenzparameter übergebenen Objekte die passende Konkretisierung der generischen Methode ermitteln (Typinferenz , siehe Gosling et al. 2011, Abschnitt 15.12.2.7). Daher konnte im obigen Beispiel an Stelle der kompletten Syntax

```
System.out.println("int-max:\t"+Prog.<Integer>max(12, 4711));
```

die folgende Kurzschreibweise verwendet werden:

```
System.out.println("int-max:\t"+max(12, 4711));
```

Bei seiner Bytecode-Produktion erstellt der Compiler *eine* Methode und ersetzt dabei die Typparameter jeweils durch den breitesten erlaubten Typ (z.B. **Comparable**). Eine mehrfach konkretisierte Methode landet also nur einfach im Bytecode. Die gelöschten Typkonkretisierungen (vgl. Abschnitt 6.1.2) werden vom Compiler durch explizite Typumwandlungen ersetzt.

Bei generischen Methoden sind Überladungen erlaubt, auch unter Beteiligung von gewöhnlichen Methoden, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  static <T extends Comparable<T>> T max(T x, T y) {` `  return x.compareTo(y) > 0 ? x : y;` `  }` `  static int max(int x, int y) {` `  System.out.print("trad. ");` `  return x > y ? x : y;` `  }` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("int-max:\t"+max(12, 4711));` `  System.out.println("double-max:\t"+max(2.16, 47.11));` `  }` `}`	`trad. int-max: 4711` `double-max:  47.11`

Der Compiler ermittelt zu einem konkreten Aufruf die am besten passende Methode und beschwert sich bei Zweifelsfällen.

Während die generische `max()` - Methode für *zwei einzelne* Argumente dank Autoboxing auch mit primitiven Konkretisierungen arbeitet, lässt sich eine analoge generische Methode zur Bestimmung eines maximalen Array-Elements

```
static <T extends Comparable<T>> T max(T[] aa) {
  ...
}
```

nicht für Arrays mit einem primitiven Typ nutzen. Weil bei Arrays mit primitivem Elementtyp *kein* Autoboxing stattfindet, muss man Überladungen für alle relevanten primitiven Typen erstellen.

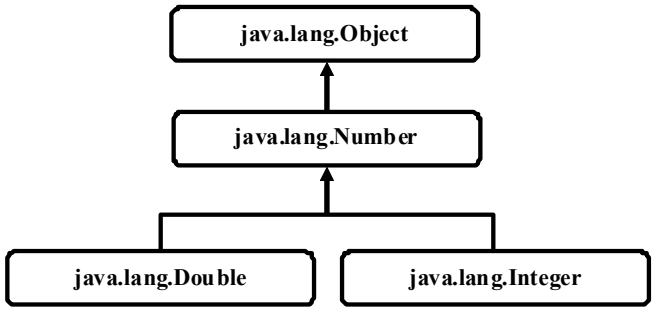
6.4 Wildcard-Datentypen

Generische Klassen sind invariant (vgl. Abschnitt 6.1.3), so dass z.B. der parametrisierte Datentyp `SimpleList<String>` *keine* Spezialisierung des parametrisierten Typs `SimpleList<Object>` ist, und folglich eine Variable vom `SimpleList<Object>` keine Referenz auf ein Objekt vom

Typ `SimpleList<String>` aufnehmen kann. Dies ist auch gut so, weil über eine `SimpleList<Object>` - Variable beliebige Objekte in ein `SimpleList<String>` - Objekt geschmuggelt werden könnten. Aus der Invarianz resultiert jedoch gelegentlich eine Beschränkung bei der Verwendung von Methoden, die mit Hilfe von so genannten Wildcard-Datentypen behoben werden kann.

6.4.1 Gebundene Wildcard-Typen

Für die folgenden Ausführungen muss vorausgeschickt werden, dass die numerischen Verpackungsklassen **Integer**, **Double** etc. (vgl. Abschnitt 5.3) in der folgenden Vererbungshierarchie stehen:



Unsere generische Beispielklasse `SimpleList<E>` aus Abschnitt 6.1.5 soll um eine Methode `addList()` erweitert werden, so dass die angesprochene Liste alle Elemente einer zweiten, typkompatiblen Liste übernehmen kann. Wir starten mit der folgenden Definition:

```
public void addList(SimpleList<E> list) {
 if (size+list.size < elements.length)
  elements = Arrays.copyOf(elements, elements.length + initSize);
 for (int i = 0; i < list.size; i++)
  elements[size++] = list.get(i);
}
```

In einem Testprogramm erzeugen wir ein Listenobjekt mit dem parametrisierten Typ `SimpleList<Number>`:

```
SimpleList<Number> sln = new SimpleList<Number>(5);
```

Bei der Einzelelementaufnahme über die Methode

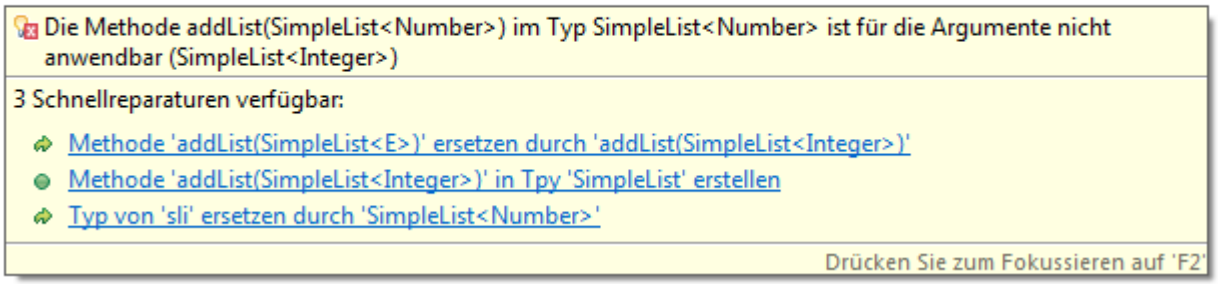
```
public void add(E element) {
 ...
}
```

sind Objekte aus der Klasse **Number** oder aus einer beliebigen Erweiterungsklasse erlaubt, z.B.:

```
sln.add(13); sln.add(1.13);
```

Demgegenüber scheitert der Versuch, über die eben definierte Methode `addList()` alle Elemente eines `SimpleList<Integer>` - Objekts aufzunehmen:

```
SimpleList<Integer> sli = new SimpleList<Integer>(2);
sli.add(1); sli.add(2);
sln.addList(sli);
```



Aufgrund der Invarianz generischer Klassen ist `SimpleList<Integer>` *keine* Spezialisierung von `SimpleList<Number>`.

Das Problem ist mit einem gebundenen Wildcard-Datentyp für den Parameter der Methode `addList()` zu lösen, wobei explizit `SimpleList<E>` - Konkretisierungen mit dem Typ **E** oder einer Ableitung von **E** erlaubt werden:

```
public void addList(SimpleList<? extends E> list) {
  ...
}
```

Neben der eben vorgestellten **extends**-Bindung (auch als *upper bound* bezeichnet) bietet Java noch die **super**-Bindung (auch als *lower bound* bezeichnet), wobei zur Wildcard-Konkretisierung eine bestimmte Klasse und ihre sämtlichen (auf verschiedene Ebenen angesiedelten) Basisklassen bis hinauf zur Urahnklasse **Object** zugelassen sind.

Zur Illustration der **super**-Bindung erweitern wir die generische Klasse `SimpleList<E>` um eine Methode namens `copyElements()`, welche die angesprochene Liste auffordert, ihre Elemente in eine per Parameter benannte Liste zu kopieren. Die folgende Definition

```
public void copyElements(SimpleList<E> list) {
  for (int i = 0; i < size; i++)
    list.add((E) elements[i]);
}
```

ist suboptimal, weil die Abnehmerliste exakt vom selben Typ wie die Lieferantenliste sein muss. Es kann z.B. aber durchaus sinnvoll sein, die Elemente eines `SimpleList<Integer>` - Objekts in ein `SimpleList<Number>` - Objekt zu kopieren. Selbst der Abnehmertyp `SimpleList<Object>` kommt in Frage. So sieht die sinnvolle Implementierung der Methode `copyElements()` aus:

```
public void copyElements(SimpleList<? super E> list) {
  for (int i = 0; i < size; i++)
    list.add((E) elements[i]);
}
```

Nach einer von Bloch (2008, S. 136) angegebenen Merkregel ...

- ist ein Wildcard-Typ mit **extends** - Bindung für Eingabeparameter zu verwenden, die einen Produzenten repräsentieren,
- ist ein Wildcard-Typ mit **super** - Bindung für Ausgabeparameter zu verwenden, die einen Konsumenten repräsentieren,
- ist ein einfacher Typformalparameter (ohne Wildcard) zu verwenden, wenn das durch einen Parameter repräsentierte Objekt sowohl Produzent als auch Konsument sein kann.

In Bezug auf die in Abschnitt 6.1.3 eingeführten Begriffe zur Kompatibilität von abgeleiteten Typen kann man bei der **extends** - Bindung von einer *erzwungenen Kovarianz* sprechen. Um die Begriffsfamilie {Invarianz, Kovarianz, Kontravarianz} zu komplettieren, nehmen wir noch zur Kenntnis, dass per **super** - Bindung die **Kontravarianz** erzwungen wird. Um die drei Begriffe zu erläutern, nehmen wir einen Typ **T** und einer Basisklasse **S** an:

- **Kovarianz** bedeutet:
  Aus der Zulässigkeit des Typs **S** folgt die Zulässigkeit des Typs **T**.
- **Kontravarianz** bedeutet:
  Aus der Zulässigkeit des Typs **T** folgt die Zulässigkeit des Typs **S**.
- **Invarianz** bedeutet:
  Die Zulässigkeit von **T** bzw. **S** hat keine Konsequenzen für die Zulässigkeit des jeweils anderen Typs.

Bisher sind uns gebundene Wildcard-Datentypen bei der Parameterdeklaration begegnet. Völlig analog sind sie zur Variablendeklaration zu verwenden. Schließlich werden sie auch zur Deklaration von Typformalparametern benötigt. In der API-Klasse **Collections** aus dem Paket **java.util** (siehe Abschnitt 8.7) findet sich die generische und statische Methode **max()**, die für eine Kollektion mit geordneten Elementen das größte Element ermittelt:

public static <T extends Object & Comparable<? super T>> T max(Collection<? extends T> *coll*)

Wozu die erste, scheinbar überflüssige Bindung (**T extends Object**) für den Typformalparameter **T** dient, wird im Zusammenhang mit der Klasse **Collections** erklärt. Mit der zweiten Bindung (**T extends Comparable<? super T>**) wird vom Typ **T** eine Methode **compareTo()** verlangt, wobei **T** selbst oder eine Basisklasse von **T** als Parametertyp erlaubt sind. Damit ist insgesamt als **T**-Konkretisierung auch eine Kollektionsklasse möglich, welche die Methode **compareTo()** nicht selbst implementiert, sondern von einer Basisklasse erbt.

6.4.2 Ungebundene Wildcard-Typen

Um bei einer Variablen oder Parameterdeklaration unter Verwendung einer generischen Klasse für einen Typformalparameter beliebige Konkretisierungen zu erlauben, verwendet man den ungebundenen Wildcard-Typ. Als Beispiel betrachten wird die statische Methode **reverse()** der API-Klasse **Collections** im Paket **java.util** (siehe Abschnitt 8.7), welche für die per Aktualparameter angegebene Liste die Reihenfolge der Elemente umkehrt:

```
public static void reverse(List<?> list) {
  ...
}
```

Als Datentyp für den Aktualparameter ist *jede* Konkretisierung von **List<E>** erlaubt, z.B. **List<String>**, **List<Object>**, usw.

6.5 Schwächen der Generizitätslösung in Java

Als Konkretisierung für einen Typformalparameter kommt nur ein *Referenztyp* in Frage, was dank Wrapper-Klassen und Auto(un)boxing keine Einschränkung darstellt. Allerdings ist bei Verwendung eines generischen Containers zur Verwaltung von zahlreichen Werten eines primitiven Typs durch die hohe Anzahl von Auto(un)boxing-Operationen mit Leistungseinbußen zu rechnen.

Eine generische Klasse ist unabhängig von der Anzahl der im Quellcode vorhandenen Konkretisierungen (parametrisierten Typen) im Bytecode nur durch ihren Rohtyp vertreten. Damit verwenden alle parametrisierten Typen dieselben statischen Variablen und Methoden der Klasse. Folglich darf bei der Deklaration von statischen Feldern oder der Definition von statischen Methoden kein Typparameter verwendet werden.

Weil zu Laufzeit alle Typformalparameter durch ihre obere Schranke (z.B. **Object**) ersetzt sind, kann der Typ eines zu erzeugenden Objekts nicht über Typformalparameter festgelegt werden, was zu Lücken in der Typsicherheit führt. Davon ist aber „nur“ die Definition einer generischen Klasse betroffen, nicht ihre Verwendung. In der `SimpleList<E>` - Definition (siehe Abschnitt 6.1.5) wird zur internen Verwaltung der Listenelemente ein **Object**-Array verwendet:

```
private Object[] elements;
private final int DEF_INIT_SIZE = 16;
  . .  .
```

```
public SimpleList() {
 initSize = DEF_INIT_SIZE;
 elements = new Object[DEF_INIT_SIZE];
}
```

In der `SimpleList<E>` - Methode `get()`, die ihren Rückgabetyp per Typparameter definiert, ist daher eine explizite Typumwandlung erforderlich:

```
public E get(int index) {
 if (index >= 0 && index < size)
  return (E) elements[index];
 else
  return null;
}
```

Weil im Rohtyp der Typformalparameter durch die obere Schranke (z.B. **Object**) ersetzt ist, liegt es in der Verantwortung des Klassendesigners, dass die Methode `get()` tatsächlich eine Referenz vom erwarteten Typ abliefert. Der Compiler macht mit einer **unchecked**-Warnung darauf aufmerksam, dass er keine Kontrollmöglichkeit hat. Im Beispiel `SimpleList<E>` haben wir die Typsicherheit durch Sorgfalt beim Klassendesign hergestellt und die somit irrelevante Warnung unterdrückt (siehe Abschnitt 6.1.5).

Die bei `SimpleList<E>` benutzte Lösung wird übrigens auch bei der API-Klasse **ArrayList** verwendet, z.B.:

```
this.elementData = new Object[initialCapacity];
 ...
@SuppressWarnings("unchecked")
E elementData(int index) {
    return (E) elementData[index];
}
public E get(int index) {
    rangeCheck(index);
    return elementData(index);
}
```

Man beachte die private Methode `elementData()`, die denselben Namen trägt wie der intern zum Speichern der Elemente verwendete **Object[]** - Array. In dieser Methode findet die Typumwandlung statt, und die Compiler-Warnung wird per Annotation unterdrückt.

Die aus Kompatibilitätsgründen gewählte Typlöschung kann als Schwachstelle bei der Generizitätslösung in Java kritisiert werden. Bei der *Verwendung* generischer Klassen überwacht der Java-Compiler die Typsicherheit. Beim *Klassendesign* ist der Programmierer für die Typsicherheit verantwortlich.

6.6 Übungsaufgaben zu Kapitel 6

1) Erstellen Sie zu der in Abschnitt 6.3 vorgestellten generischen Methode `max()` eine Überladung, die das maximale Element zu einer beliebig langen Serie von Argumenten zurück gibt. Beim Typ des Serienparameters soll nur vorausgesetzt werden, dass er das Interface **Comparable<T>** erfüllt.

7 Interfaces

Wer das Manuskript mit seinen zahlreichen, meist unvermeidlichen Vorgriffen auf das aktuelle Kapitel aufmerksam gelesen hat, wird sich wohl kaum noch fragen müssen, was mit den *Implemented Interfaces* gemeint ist, die in der Dokumentation zu zahlreichen API-Klassen an prominenter Stelle angegeben werden, z.B. bei der Wrapper-Klasse **java.lang.Double**: (vgl. Abschnitt 5.3):

java.lang
Class Double

java.lang.Object
  java.lang.Number
    java.lang.Double

All Implemented Interfaces:
Serializable, Comparable<Double>

Im konkreten Fall erfährt man, dass die Klasse **Double** zwei Interfaces implementiert, d.h.:

- **Serializable**
  Weil die Klasse **Double** das Interface **Serializable** im Paket **java.io** implementiert, können **Double**-Objekte auf bequeme Weise in eine Datei gespeichert und von dort eingelesen werden. Diese (bei komplexeren Klassen beeindruckende) Option werden wir im Abschnitt 13 über die Ein- und Ausgabe kennen lernen.
- **Comparable<Double>**
  Analog zu generischen Klassen (vgl. Abschnitt 6.1) unterstützt Java seit der Version 5 auch Interfaces mit Typformalparametern. Weil die Klasse **java.lang.Double** das Interface **Comparable<Double>** im Paket **java.lang** implementiert, ist für Objekte dieses Typs ein Größenvergleich definiert. Das hat z.B. zur Folge, dass die Objekte in einem **Double**-Array mit der statischen Methode **java.util.Arrays.sort()** bequem sortiert werden können, z.B.:

  ```
  Double[] da = new Double[13];
   ...
  java.util.Arrays.sort(da);
  ```

  Um das Interface **Comparable<Double>** zu implementieren, muss die Klasse **Double** eine Methode mit folgendem Definitionskopf besitzen:

  public int compareTo(Double *d***)**

  Wir Sie aus dem Abschnitt 5.2.1 wissen, beherrscht auch die Klasse **String** eine analog arbeitende Methode mit diesem Namen. Das Beispiel der Klasse **String** lehrt, dass eine „vernünftige“ **compareTo()** - Realisation keinen beliebigen **int**-Wert abliefert darf, sondern das Vergleichsergebnis so mitteilen muss:
  - negativ, wenn das angesprochene Objekt kleiner als das Parameterobjekt ist
  - 0, wenn beide gleich sind
  - positiv, wenn das angesprochene Objekt größer als das Parameterobjekt ist

Ein Interface (dt.: eine *Schnittstelle*) dient in der Regel dazu, Verhaltenskompetenzen von Objekten über eine Liste von Methodenköpfen zu definieren.

Ein Interface ist aber nicht nur eine Verpflichtungserklärung, auf die eine Klasse sich einlassen kann, sondern auch ein **Datentyp**. Es lassen sich zwar keine Objekte von diesem Datentyp erzeugen, aber *Referenzvariablen* sind erlaubt und als Abstrakationsmittel sehr nützlich. Sie dürfen auf Objekte aus allen Klassen zeigen, welche die Schnittstelle implementieren. Somit können Objekte unabhängig von den Vererbungsbeziehungen ihrer Typen gemeinsam verwaltet werden, wobei Methodenaufrufe polymorph erfolgen (d.h. mit später bzw. dynamischer Bindung, siehe Abschnitt 10.6).

Implementiert eine Klasse ein Interface, dann …

- muss sie die im Interface enthaltenen Methoden implementieren, wenn keine abstrakte Klasse entstehen soll (vgl. Abschnitt 10.7),
- werden Variablen mit dem Typ dieser Klasse vom Compiler überall dort akzeptiert, wo der Interface-Datentyp vorgeschrieben ist.

Im Programmieralltag kommen wir auf unterschiedliche Weise mit Schnittstellen in Kontakt, z.B.:

- Schnittstellen als Parameterdatentypen bei eigenen Methodendefinitionen
  Bei einer eigenen Methodendefinition ist es oft sinnvoll, Parameterdatentypen über Schnittstellen zu definieren. Man vermeidet es, sich auf konkrete Klassen festzulegen. In den Anweisungen der Methode werden Verhaltenskompetenzen der Parameterobjekte genutzt, die durch Schnittstellen-Verpflichtungen garantiert sind. Damit wird Typsicherheit ohne überflüssige Einengung erreicht.
- Implementierung von vorhandenen Schnittstellen in einer eigenen Klassendefinition
  Damit werden Variablen dieses Typs vom Compiler überall dort akzeptiert (z.B. als Aktualparameter), wo die jeweiligen Schnittstellenkompetenzen gefordert sind.
- Definition von eigenen Schnittstellen
  Beim Entwurf eines Softwaresystems, das als Halbfertigprodukt (oder Programmgerippe) für verschiedene Aufgabenstellungen durch spezielle Klassen mit bestimmten Verhaltenskompetenzen zu einem lauffähigen Programm komplettiert werden soll, definiert man eigene Schnittstellen, um die Interoperabilität der Klassen sicher zu stellen. In diesem Fall spricht man von einem **Framework** (z.B. Java Collection Framework, Hibernate Persistenz Framework). Auch bei einem **Entwurfsmuster** (engl.: **design pattern**), das für eine konkrete Aufgabe bewährte Lösungsverfahren vorschreibt, spielen Schnittstellen oft eine wichtige Rolle.

7.1 Interfaces definieren

Wir behandelt zuerst das im Programmieralltag vergleichweise seltene Definieren einer Schnittstelle, weil dabei Inhalt und Funktion gut zu erkennen sind. Allerdings verzichten wir zunächst auf ein eigenes Beispiel und betrachten stattdessen die angenehm einfach aufgebaute und außerordentlich wichtige API-Schnittstelle **Comparable<T>** im Paket **java.lang**:[1]

```
public interface Comparable<T> {
 public int compareTo(T o);
}
```

Seit Java 5 können dem Interface-Namen begrenzt durch ein Paar spitzer Klammern Typformalparameter angehängt werden, so dass für konkrete Typen jeweils eine eigene Interface-Definition entsteht (vgl. Kapitel 6). In der Einleitung zum aktuellen Kapitel 7 haben wir z.B. das Interface **Comparable<Double>** betrachtet. Im Abschnitt 8.5 über Kollektionen mit Schlüssel-Wert - Elementen werden Sie das Interface **Map<K,V>** mit zwei Typformalparametern (für *Key* und *Value*) kennen lernen.

Im Schnittstellenrumpf werden in der Regel abstrakte Methoden aufgeführt, deren Rumpf durch ein Semikolon ersetzt ist. Dabei werden die Typformalparameter wie gewöhnliche Typbezeichner verwendet. Mit einer Schnittstelle wird also festgelegt, dass Objekte eines implementieren Datentyps bestimmte Methodenaufrufe beherrschen müssen.

---

[1] Sie finden diese Definition in der Datei **Comparable.java**, die wiederum im Archiv **src.zip** mit den API-Quelltexten steckt. Das Quelltextarchiv kann bei der JDK-Installation auf die Festplatte Ihres PCs befördert werden.

Meist beschreibt der Schnittstellendesigner in der begleitenden Dokumentation das erwünschte Verhalten der Methoden. In der API-Dokumentation zum Interface **Comperable<T>** wird die Methode **compareTo()** so erläutert:

> Compares this object with the specified object for order. Returns a negative integer, zero, or a positive integer as this object is less than, equal to, or greater than the specified object.

Der Compiler kann aber bei einer implementierenden Klasse nur die Einhaltung syntaktischer Regeln sicher stellen, so dass er z.B. auch die folgende **compareTo()** - Realisation der Klasse **Double** akzeptieren würde:

```
public int compareTo(Double a) {return 1;}
```

Einige Regeln für Schnittstellen-Definitionen:

- Erlaubte Modifikatoren für Schnittstellen
  - **public**
    Wird **public** nicht angegeben, ist die Schnittstelle nur innerhalb ihres Pakets verwendbar.
  - **abstract**
    Weil Schnittstellen grundsätzlich **abstract** sind (siehe unten), muss der Modifikator nicht angegeben werden.
- Schlüsselwort **interface**
  Das obligatorische Schlüsselwort dient zur Unterscheidung zwischen Klassen- und Schnittstellendefinitionen.
- Schnittstellenname
  Wie bei Klassennamen sollte man den ersten Buchstaben groß schreiben. Seit Java 5 kann man dem Interface-Namen zwischen spitzen Klammern einen oder mehrere (jeweils durch ein Komma getrennte) Typformalparameter folgen lassen (siehe Kapitel 6).
- Vererbung bei Schnittstellen
  Die bei Klassen äußert wichtige Vererbung über das Schlüsselwort **extends** (siehe Kapitel 10.1) wird auch bei Interfaces unterstützt, z.B.:
  ```
  public interface SortedSet<E> extends Set<E> {
    ...
  }
  ```
  Dabei gilt:
  - Während bei Java-Klassen die (z.B. von C++ bekannte) *Mehrfachvererbung nicht* unterstützt wird, ist sie bei Java-Schnittstellen möglich (und oft auch sinnvoll), z.B.:
    ```
    public interface Transform
     extends XMLStructure, AlgorithmMethod {
     ...
    }
    ```
  - Es gibt keine mit der Urahnklasse **Object** vergleichbare Urahnschnittstelle.

  Bei einer Schnittstelle mit (direkten und indirekten) Basisschnittstellen muss eine implementierende Klasse die Methoden aller Schnittstellen aus der Ahnenreihe realisieren.
- Methodendeklarationen
  In einer Schnittstelle sind alle Methoden grundsätzlich **public** und **abstract**. Die beiden Schlüsselwörter können also weggelassen werden. In der *Java Language Specification* findet sich sogar die Mahnung (Gosling et al. 2011, S. 272):

  > It is permitted, but discouraged as a matter of style, to redundantly specify the public and/or abstract modifier for a method declared in an interface.

Im Quellcode der wichtigen Java-API - Schnittstelle **Comparable<T>** findet sich allerdings zur einzigen Methode **compareTo()** diese Definition:

```
public int compareTo(T o);
```

Ein dem Schlüsselwort **public** widersprechender Zugriffsmodifikator ist verboten.
Für spezielle Zwecke sind auch Schnittstellen *ohne* Methoden erlaubt (siehe unten).
Statische Interface-Methoden sind verboten.

- Konstanten
  Neben Methoden sind in einer Schnittstellendefinition auch Felder erlaubt, wobei diese implizit als **public**, **final** und **static** deklariert sind, also initialisiert werden müssen, z.B.:

```
public interface DiesUndDas {
   int ROT = 1, GRUEN = 2, BLAU = 3;
   double PIHALBE = 1.5707963267948966;
}
```

  Implementierende Klassen können auf die Konstanten ohne Angabe des Schnittstellennamens zugreifen. Auch nicht implementierende Klassen dürfen die Interface-Konstanten verwenden, müssen aber den Interface-Namen samt Punktoperator voranstellen. Implementiert eine Klasse zwei Schnittstellen, die eine namensgleiche Konstante enthalten, muss beim Zugriff zur Beseitigung der Zweideutigkeit der Schnittstellenname angegeben werden.
- Dateiverwaltung
  Ein **public**-Interface muss in einer eigenen Datei gespeichert werden, wobei der Schnittstellenname übernommen und die Namenserweiterung **.java** angehängt wird. In der Regel wendet man diese Praxis bei allen Schnittstellen an.

Die `Demo`-Schnittstelle in folgendem Beispiel enthält eine **int**-Konstante namens `ONE` und verlangt das Implementieren einer Methode namens `say1()`:

```
interface Demo {
 int ONE = 1;
 int say1();
}
```

Es sind auch Schnittstellen erlaubt, die weder abstrakte Methoden noch Konstanten enthalten, also nur aus einem Namen bestehen und gelegentlich als *marker interfaces* bezeichnet werden. Ein besonders wichtiges Beispiel ist die beim Sichern (*Serialisieren*) kompletter Objekte (siehe Abschnitt 13.6) höchst relevante API-Schnittstelle **java.io.Serializable**, die z.B. von der Klasse **java.lang.Double** implementiert wird (siehe oben):

```
public interface Serializable {
}
```

Durch das Implementieren dieser Schnittstelle teilt eine Klasse mit, dass sie gegen das Serialisieren ihrer Objekte nichts einzuwenden hat.

In einer Interface-Definition kann ein **internes Interface** definiert werden. So enthält z.B. das generische API-Interface **Map<K,V>**, das Methoden für Container zur Verwaltung von (Schlüssel-Wert) - Paaren festlegt (siehe Abschnitt 8.5.1), das interne Interface **Map.Entry<K,V>**, das die Kompetenzen eines einzelnen (Schlüssel-Wert) - Paares beschreibt:[1]

[1] Sie finden diese Definition in der Datei **Map.java**, die wiederum im Ordner **java\util** des Archivs **src.zip** mit den API-Quelltexten steckt. Das Quelltextarchiv kann bei der JDK-Installation auf die Festplatte Ihres PCs befördert werden.

```
public interface Map<K,V> {
   int size();
   boolean isEmpty();
   . . .
   interface Entry<K,V> {
      K getKey();
      V getValue();
      V setValue(V value);
      boolean equals(Object o);
      int hashCode();
   }
   . . .
}
```

Verwendung findet **Map.Entry<K,V>** z.B. als Rückgabetyp für die im Interface **NavigableMap<K,V>** (siehe Abschnitt 8.5.3) definierte Methode **firstEntry()**:

public Map.Entry<K,V> firstEntry()

Zur Bezeichnung setzt man dem Interface-Namen den Namen der umgebenden Schnittstelle durch einen Punkt getrennt voran. Wie Interface-Methoden sind auch interne Schnittstellen grundsätzlich **public**. Das folgende Programm demonstriert die Verwendung eines Objekts, das die Schnittstelle **Map.Entry<K,V>** erfüllt, wobei ein Objekt der generischen Klasse **TreeMap<K,V>** (siehe Abschnitt 8.5.4) zum Einsatz kommt.

Quellcode	Ausgabe
`import java.util.*;` `class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `   NavigableMap<Integer,String> m = new TreeMap<>();` `   m.put(1,"AAA");` `   Map.Entry<Integer, String> me = m.firstEntry();` `   System.out.println(me.getValue());` `  }` `}`	`AAA`

Abschließend soll noch von einer Kuriosität bei manchen Schnittstellendefinitionen im Java Collection Framework (siehe Kapitel 1) berichtet werden. Wer z.B. die Dokumentation zur Schnittstelle **Collection<E>** studiert, stellt verwundert fest, dass sich bei etlichen Methoden der Zusatz *optional operation* findet, der aber *nicht* als *optional implementation* missverstanden werden darf und sich nur scheinbar im Widerspruch zu den obigen Erläuterungen über Schnittstellen als *Verpflichtungserklärungen* befindet:

`boolean`	`add(E e)` Ensures that this collection contains the specified element (optional operation).
`boolean`	`addAll(Collection<? extends E> c)` Adds all of the elements in the specified collection to this collection (optional operation).
`void`	`clear()` Removes all of the elements from this collection (optional operation).
`boolean`	`contains(Object o)` Returns `true` if this collection contains the specified element.
...	...

Mit diesem Zusatz will der Schnittstellendesigner keinesfalls vorschlagen, eine betroffene Methode beim Implementieren wegzulassen, was zu einem Protest des Compilers führen würde. Es wird

vielmehr eine Implementation nach folgendem Muster (aus der **AbstractCollection<E>** - Klassendefinition) verbunden mit einer entsprechenden Dokumentation als akzeptabel dargestellt:

```
public boolean add(E e) {
 throw new UnsupportedOperationException();
}
```

Diese Methode führt keine Aufträge aus, sondern meldet nur per Ausnahmeobjekt: „Ich kann das nicht."

Die merkwürdige Lösung mit „optionalen" Schnittstellenmethoden und Pseudoimplementationen ist beim Entwurf des Java Collection Frameworks entstanden, weil man …

- die Zahl der Schnittstellen möglichst gering halten wollte,
- weil spezielle Kollektionsklassen (nämlich die Sichten bzw. Views, siehe Beschreibung der Methode **keySet()** in Abschnitt 8.5) einerseits z.B. die Schnittstelle **Collection<E>** erfüllen sollen, aber andererseits keine Strukturveränderungen (z.B. durch Aufnahme neuer Elemente) vornehmen dürfen.

7.2 Interfaces implementieren

Soll für die Objekte einer Klasse angezeigt werden, dass sie den Datentyp einer bestimmten Schnittstelle erfüllen, muss diese Schnittstelle im Kopf der Klassendefinition nach dem Schlüsselwort **implements** aufgeführt werden. Als Beispiel dient eine Klasse namens `Figur`, welche der Einfachheit halber die Datenkapselung sträflich vernachlässigt. Sie implementiert das Interface **Comparable<Figur>**, damit z.B. `Figur`-Arrays bequem sortiert werden können:

```
public class Figur implements Comparable<Figur> {
 public int xpos, ypos;
 public String name;
 public Figur(String name_, int xpos_, int ypos_) {
  name = name_; xpos = xpos_; ypos = ypos_;
 }

 public int compareTo(Figur fig) {
  if (xpos < fig.xpos)
   return -1;
  else if (xpos == fig.xpos)
   return 0;
  else
   return 1;
 }
}
```

Alle Methoden einer im Klassenkopf angemeldeten Schnittstelle, die nicht von einer Basisklasse geerbt werden, müssen im Rumpf der Klassendefinition implementiert werden, wenn keine abstrakte Klasse (siehe unten) entstehen soll. Nach der in Abschnitt 7.1 wiedergegebenen **Comparable<T>** - Definition ist also im letzten Beispiel eine Methode mit dem folgenden Definitionskopf erforderlich:

```
public int compareTo(Figur fig)
```

In semantischer Hinsicht soll sie eine `Figur` beauftragen, sich mit dem per Aktualparameter bestimmten Artgenossen zu vergleichen. Bei obiger Realisation werden Figuren nach der X-Koordinate ihrer Position verglichen:

- Liegt die angesprochene Figur links vom Vergleichspartner, dann wird -1 zurück gemeldet.
- Haben beide Figuren dieselbe X-Koordinate, lautet die Antwort 0.
- Ansonsten wird eine 1 gemeldet.

Damit wird eine *Anordnung* der `Figur`-Objekte definiert, und einem erfolgreichen Sortieren (z.B. per **java.util.Arrays.sort()**) steht nichts mehr im Wege.

Wenn eine implementierende Klasse eine Schnittstellenmethode weglässt (oder abstrakt implementiert, siehe unten), dann resultiert eine abstrakte Klasse, die auch als solche deklariert werden muss (vgl. Abschnitt 10.7).

Weil die Methoden einer Schnittstelle grundsätzlich als **public** definiert sind, und beim Implementieren eine Einschränkungen der Schutzstufe verboten ist, muss beim Definieren von implementierenden Methoden die Schutzstufe **public** verwendet werden, wobei der Modifikator wie bei jeder Methodendefinition explizit anzugeben ist.

Während eine Klasse nur *eine direkte Basisklasse* besitzt, kann sie *beliebig viele Schnittstellen* implementieren, so dass ihre Objekte entsprechend viele Datentypen erfüllen, z.B.:

```
public class TreeSet<E> extends AbstractSet<E>
 implements NavigableSet<E>, Cloneable, java.io.Serializable {
 . . .
}
```

Wie wir inzwischen wissen, wird der Klasse aber nichts geschenkt (mal abgesehen von den Konstanten mancher Schnittstellen), sondern sie muss die Methoden aller Schnittstellen implementieren. Es ist *kein* Problem, wenn zwei implementierte Schnittstellen über Methoden mit identischem Definitionskopf verfügen, weil keine konkurrierenden Realisationen geerbt werden, sondern von der implementierenden Klasse *eine* Realisation neu erstellt werden muss.

Implementiert eine Klasse eine Schnittstelle mit (direkten und indirekten) Basisschnittstellen, dann muss sie die Methoden aller Schnittstellen in der Ahnenreihe realisieren. Weil z.B. die Klasse **TreeSet<E>** aus dem Java Collection Framework (siehe Abschnitt 8.4.3) neben den Schnittstellen **Cloneable** und **Serializable** auch die Schnittstelle **Navigatable<E>** implementiert (siehe oben), sammelt sich einiges an Lasten an, denn **Navigatable<E>** erweitert die Schnittstelle **SortedSet<E>**,

```
public interface NavigableSet<E> extends SortedSet<E> { . . . }
```

die ihrerseits auf **Set<E>** basiert:

```
public interface SortedSet<E> extends Set<E> { . . . }
```

Das Interface **Set<E>** basiert auf dem Interface **Collection<E>**,

```
public interface Set<E> extends Collection<E> { . . . }
```

das wiederum die Schnittstelle **Iterable<E>** erweitert:

```
public interface Collection<E> extends Iterable<E> { . . . }
```

Wer als Programmierer wissen möchte, welche Datentypen eine API-Klasse direkt oder indirekt erfüllt, muss aber keine Ahnenforschung betreiben, sondern wird in der API-Dokumentation zur Klasse komplett informiert, z.B. bei der Klasse **TreeSet<E>**:

java.util

Class TreeSet<E>

java.lang.Object
  java.util.AbstractCollection<E>
    java.util.AbstractSet<E>
      java.util.TreeSet<E>

Type Parameters:

E - the type of elements maintained by this set

All Implemented Interfaces:
Serializable, Cloneable, Iterable<E>, Collection<E>, NavigableSet<E>, Set<E>, SortedSet<E>

Wenn es im Beispiel für den **TreeSet<E>** - Programmierer gut gelaufen ist, …

- hat der **AbstractSet<E>** - Programmierer bereits einige Schnittstellenmethoden implementiert (und zwar nicht nur abstrakt),
- hat der **AbstractSet<E>** - Programmierer keine zusätzlichen Interface-Verträge abgeschlossen und unvollständig realisiert.

Auch Schnittstellen ändern nichts daran, dass für Java-*Klassen* eine Mehrfach*vererbung* (vgl. Abschnitt 10) ausgeschlossen ist. Allerdings erlauben Schnittstellen in vielen Fällen eine Ersatzlösung, denn:

- Eine Klasse darf beliebig viele Schnittstellen implementieren.
- Bei Schnittstellen ist Mehrfachvererbung erlaubt.

Im Zusammenhang mit dem Thema *Vererbung* ist noch von Bedeutung, dass eine abgeleitete Klasse die in Basisklassen implementierten Schnittstellen erbt. Wird z.B. die Klasse `Kreis` unter Verwendung des Schlüsselworts **extends** (siehe unten) von der oben vorgestellten Klasse `Figur` abgeleitet,

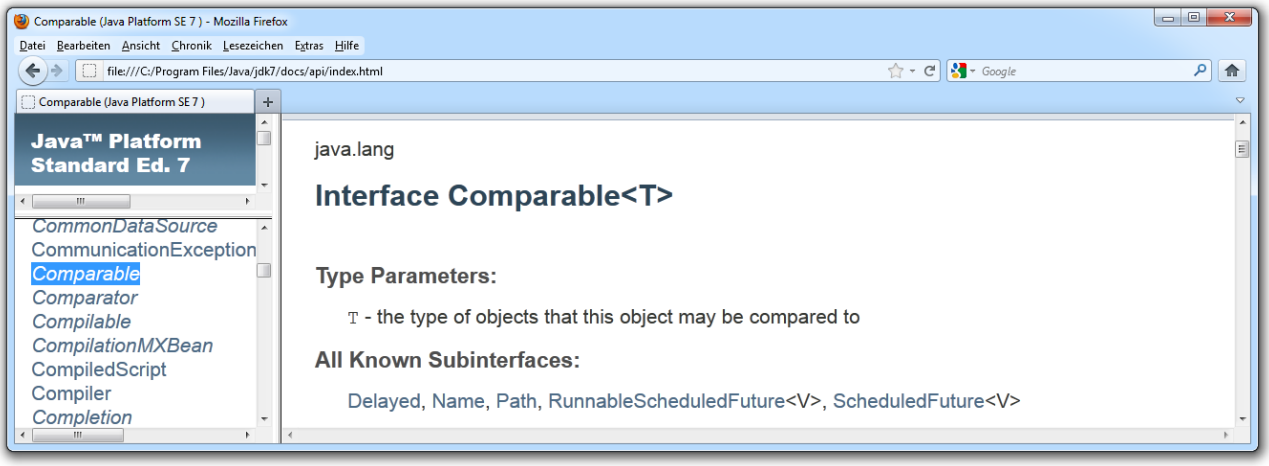
```
public class Kreis extends Figur {
 public int radius;
 public Kreis(String name_, int xpos_, int ypos_, int rad_) {
  super(name_, xpos_, ypos_);
  radius = rad_;
 }
}
```

so übernimmt sie auch die Schnittstelle **Comparable<`Figur`>**, und die statische **sort()**-Methode der Klasse **java.util.Arrays** kann auf Felder mit `Kreis`-Elementen angewendet werden, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Test {` `  public static void main(String[] args) {` `  Kreis[] ka = new Kreis[3];` `  ka[0] = new Kreis("C", 250, 50, 10);` `  ka[1] = new Kreis("B", 150, 50, 20);` `  ka[2] = new Kreis("A", 50, 50, 30);` `  for (Kreis ko : ka)` `  System.out.print(ko.name+" ");` `  java.util.Arrays.sort(ka);` `  System.out.println();` `  for (Kreis ko : ka)` `  System.out.print(ko.name+" ");` `  }` `}`	`C B A` `A B C`

Die Schnittstelle **Comparable<`Kreis`>** befindet sich weder im Erbe der `Kreis`-Klasse noch darf sie hier zusätzlich implementiert werden, wozu auch kein Anlass besteht.

In der Java-API – Dokumentation sind die Schnittstellen in der Paketübersicht (unten links) an den kursiv gesetzten Namen zu erkennen, z.B.:



7.3 Interfaces als Referenzdatentypen verwenden

Mit der Definition einer Schnittstelle wird ein neuer Referenzdatentyp vereinbart, der anschließend in Variablendeklarationen und Parameterlisten einsetzbar ist. Eine Referenzvariable des neuen Typs kann auf Objekte jeder Klasse zeigen, welche die Schnittstelle implementiert, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`interface Quatsch {` `  void sagWas();` `}` `class Ritter implements Quatsch {` `  void ritterlichesVerhalten() { ... }` `  public void sagWas() {` `   System.out.println("Bin ein Ritter.");` `  }` `}` `class Wolf implements Quatsch {` `  public void jagdausflug() { ... }` `  public void sagWas() {` `   System.out.println("Bin ein Wolf.");` `  }` `}` `class Intereferenz {` `  public static void main(String[] args) {` `   Quatsch[] demintiar = {new Ritter(), new Wolf()};` `   for (Quatsch di : demintiar)` `    di.sagWas();` `  }` `}`	`Bin ein Ritter.` `Bin ein Wolf.`

Damit wird es z.B. möglich, Objekte aus beliebigen Klassen (z.B. `Ritter` und `Wolf`) in einem Array gemeinsam zu verwalten, sofern alle Klassen dasselbe Interface implementieren. Zwar lässt sich derselbe Zweck auch mit **Object**-Referenzen erreichen, doch leidet unter so viel Liberalität die Typsicherheit. Mit einem Interface als Elementdatentyp ist sichergestellt, dass alle Elemente bestimmte Verhaltenskompetenzen besitzen (im Beispiel: die Methode `sagWas()`).

7.4 Annotationen

An Pakete, Typen (Klassen, Schnittstellen, Enumerationen, Annotationen), Methoden, Konstruktoren, Parameter und lokale Variablen lassen sich Annotationen anheften, um zusätzliche **Metainformationen** bereit zu stellen, die …

- vor dem Übersetzen,
- beim Übersetzen
- oder zur Laufzeit

berücksichtigt werden können.[1] Sie ergänzen die im Java - Sprachumfang verankerten *Modifikatoren* für Typen, Methoden etc. und bieten dabei eine enorme Flexibilität. Bei einfachen Annotationen besteht die Information über den Träger in der schlichten An- bzw. Abwesenheit der Annotation, jedoch kann eine Annotation auch Detailinformationen enthalten.

Neben den im Java-API enthalten Annotation (z.B. **Deprecated** für veraltete, nicht mehr empfehlenswerte Programmbestandteile) lassen sich auch eigene Exemplare definieren. Dabei ist eine an Schnittstellen erinnernde Syntax zu verwenden (siehe Abschnitt 7.4.1), und der Compiler erzeugt tatsächlich aus jeder Annotationsdefinition, die nicht auf den Quellcode beschränkt bleiben soll (siehe Abschnitt 7.4.4), ein Interface.

Eine angeheftete Annotation kann das Laufzeitverhalten eines Programms indirekt beeinflussen über ihre Signalwirkung auf Methoden, welche sich über die Existenz bzw. Ausgestaltung der Annotation informieren und ihr Verhalten daran orientieren (siehe Abschnitt 7.4.3). Wir lernen hier eine weitere Technik zur Kommunikation zwischen Programmbestandteilen kennen. In komplexen objektorientierten Softwaresystemen spielt generell die als *Reflexion* (engl.: *reflection*) bezeichnete Ermittlung von Informationen über Typen zur Laufzeit eine zunehmende Rolle. Dabei leisten Annotationen einen wichtigen Beitrag. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von *Meta-Programmierung*.

Viele Annotationen beeinflussen das Verhalten des Compilers, der z.B. durch die Annotation **Deprecated** zur Ausgabe einer Warnung veranlasst wird. Neben dem Compiler und reflektierenden Programmbestandteilen kommen auch Fremdprogramme (Werkzeuge) als Adressaten für Annotationen in Frage. Diese können z.B. den Quellcode analysieren und aufgrund von Annotationen zusätzlichen Code generieren, um dem Programmierer lästige und fehleranfällige Routinearbeiten abzunehmen. So bieten die Annotationen eine Option zur *deklarativen Programmierung*.

Unsere Entwicklungsumgebung Eclipse 3 bezeichnet Annotationen als *Anmerkungen*, und man kann daher die Unterstützung bei der Definition einer Annotation z.B. mit dem folgenden Menübefehl einleiten:

Datei > Neu > Anmerkung

Annotationen mit Sichtbarkeit **public** benötigen wie andere öffentliche Schnittstellen eine eigene Quellcode- und Bytecodedatei.

7.4.1 Definition

Wir starten mit der (im typischen Alltag nur selten erforderlichen) Definition von Annotationen und werden dabei ohne großen Aufwand einen guten Einblick in die Technik gewinnen. Als erstes Beispiel betrachten wir die eben erwähnte API-Annotation **Deprecated** (Paket **java.lang**) zur Kennzeichnung veralteter Programmbestandteile (siehe Abschnitt 7.4.4). Sie enthält keine Annotationselemente (siehe unten) und gehört daher zu den Marker-Annotationen:

---

[1] Wer die Programmiersprache C# kennt, fühlt sich zu Recht an die dortigen *Attribute* erinnert.

```
public @interface Deprecated {
}
```

Hinter dem optionalen Zugriffsmodifikator steht das Schlüsselwort **interface** mit dem Präfix „@“ zur Unterscheidung von gewöhnlichen Schnittstellendefinitionen. Dann folgen der Typname und der Definitionsrumpf.

Als **Annotationselemente** kann man (Name-Wert) - Paare mit Detailinformationen vereinbaren, die syntaktisch als Interface-Methoden mit Rückgabetyp und Name realisiert werden. Über die folgende selbstkreierte Annotation können Versionsinformationen an Programmbestandteile geheftet werden:

```
public @interface VersionInfo {
 String   version();
 int      build();
 String   date() default "unknown";
 String   maintainer() default "engineer at star soft";
 String[] contributors() default {};
}
```

Als Rückgabetypen sind bei Annotationen erlaubt:

- Primitive Typen
- Die Klassen **String** und **Class**
- Aufzählungstypen
- Annotationstypen
- Eindimensionale Arrays mit einem Basistyp aus der vorgenannten Liste

Verboten sind bei den Annotationselementen:

- Rückgabetyp **void**
- Parameter
- **throws** - Klauseln (zur Ausnahmebehandlung, siehe unten)

Nach dem Schlüsselwort **default** kann zu einem Annotationselement ein Voreinstellungswert angegeben werden, was zwei Vorteile bietet:

- Bei der Annotationsverwendung (siehe Abschnitt 7.4.2) spart man Aufwand, wenn der Voreinstellungswert zugewiesen werden soll, weil man in diesem Fall das Annotationselement weglassen kann.
- Bei der Erweiterung einer Annotation um ein Element mit Voreinstellungswert bleiben frühere Verwendungen der Annotation (ohne das hinzugekommenen Element) kompatibel.

Um bei einem Annotationselement mit Array-Typ eine leere Liste als Voreinstellung zu vereinbaren, setzt man hinter das Schlüsselwort **default** ein Paar geschweifter Klammern, z.B.:

```
String[] contributors() default {};
```

Hat eine Annotation nur ein einziges Element, sollte dieses den Namen **value()** erhalten, z.B.

```
public @interface Retention {
 RetentionPolicy value();
}
```

Dann genügt bei der Zuweisung (siehe Abschnitt 7.4.2) an Stelle einer (Name = Wert) - Notation eine Wertangabe, z.B.:

```
@Target(ElementType.METHOD)
@Retention(RetentionPolicy.SOURCE)
public @interface Override {
}
```

Wie das Beispiel **Override** zeigt, kann auch eine Annotation (wie jeder andere Typ) Träger von Annotationen werden (im Beispiel: **Target** und **Retention**), wobei man von *Meta-Annotationen* spricht. Die drei im Beispiel auftauchenden API-Annotationen werden in Abschnitt 7.4.4 näher beschrieben.

Alle Annotationstypen stammen implizit vom Interface **Annotation** im Paket **java.lang.annotation** ab. Eine explizite Ableitung von Annotationstypen ist *nicht* möglich.

7.4.2 Zuweisung

Eine zu vergebende Annotation wird im Quellcode dem Träger vorangestellt. In der Regel setzt man die Annotationen *vor* sonstige Dekorationen (also Modifikatoren), doch ist auch ein Mixen erlaubt. Eine Annotationsinstanz besteht aus einem Namen samt Präfix „@“ und einer Elementenliste mit (Name = Wert) - Paaren. Hier wird einer Methode die Annotation `VersionInfo` zugewiesen, deren Definition in Abschnitt 7.4.1 zu sehen war:

```
@VersionInfo(version = "7.1.4", build = 3124, maintainer = "Saft",
  contributors = {"Häcker", "Kwikki"})
public static void meth() {
 // Not yet implemented
}
```

Für die Elementenliste einer Annotationsinstanz gelten folgende Regeln:

- Sie wird durch runde Klammern begrenzt.
- Sie kann bei Marker-Annotationen (ohne Elemente) entfallen, z.B.:
  ```
  @Deprecated
  ```
- Ist nur ein Element namens **value** vorhanden, genügt die Wertangabe (ohne „**value** =“), z.B.:
  ```
  @Retention(RetentionPolicy.SOURCE)
  ```
- Elemente mit **default**-Wert dürfen weggelassen werden.
  Im Beispiel `VersionInfo` ist der Verzicht auf eine Datumsangabe erlaubt, weil das zugehörige Annotationselement einen **default**-Wert besitzt.
- Als Werte sind nur konstante Ausdrücke erlaubt (, die der Compiler berechnen kann).
- Bei Elementen mit Referenztyp ist der Wert **null** verboten.
- Sind bei einem Annotationselement mit Array-Typ mehrere Werte zu vergeben, werden diese mit geschweiften Klammern begrenzt, z.B.:
  ```
  contributors = {"Häcker", "Kwikki"}
  contributors = "Häcker"
  ```

7.4.3 Auswertung per Reflexion

Soll eine Annotation zwecks Auswertung per Reflexion auch noch zur Laufzeit an einem Träger haften, muss bei ihrer Definition die Meta-Annotation **Retention** (vgl. Abschnitt 7.4.4) entsprechend gesetzt werden:

```
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
```

Diese Zeile eignet sich auch für die in Abschnitt 7.4.1 vorgestellten Annotation `VersionInfo`, die im folgenden Beispielprogramm bei einer Methode zum Einsatz kommt:

```
import java.lang.reflect.Method;

class AnnoReflection {

 @VersionInfo(version = "7.1.4", build = 3124, maintainer = "Saft",
    contributors = {"Häcker", "Kwikki"})
 public static void meth() {
  // Not yet implemented
 }

 public static void main(String args[]) {
  for (Method meth : AnnoReflection.class.getMethods()) {
   System.out.println("\npublic method "+meth.getName()+"()");
   VersionInfo vi = meth.getAnnotation(VersionInfo.class);
   if (vi != null) {
    System.out.println(" "+vi.version()+" ("+vi.build()+") "+vi.date());
    System.out.print(" "+vi.maintainer()+" ");
    for (String s : vi.contributors())
     System.out.print(s+" ");
    System.out.println();
   }
  }
 }
}
```

Im Beispiel werden die Elementausprägungen der zur Methode `meth()` der Klasse `AnnoReflection` gehörigen `VersionInfo`-Instanz folgendermaßen ermittelt:

- Über das an den Klassennamen `AnnoReflection` per Punktoperator angehängte Schlüsselwort **class** wird ein Objekt der Klasse **Class** angesprochen, das diverse Kenntnisse über die Klasse `AnnoReflection` besitzt:
  ```
  AnnoReflection.class
  ```
  Dasselbe **Class**-Objekt liefert übrigens auch die Instanzmethode **getClass()**, wobei aber ein Objekt benötigt wird, dem diese Botschaft zugestellt werden kann.
- Mit der **Class**-Methode **getMethods()** erhält man einen Array mit Objekten der Klasse **Method** für alle öffentlichen Methoden der Klasse `AnnoReflection`:
  ```
  AnnoReflection.class.getMethods()
  ```
- Ein **Method**-Objekt kann mit der Methode **getAnnotation()** aufgefordert werden, ggf. eine Referenz zu der per Parameter vom Typ **Class** spezifizierten Annotation zu liefern:
  ```
  VersionInfo vi = meth.getAnnotation(VersionInfo.class);
  ```
- Nun lassen sich die Werte der Annotationselemente ermitteln, z.B.:
  ```
  vi.version()
  ```

Bei einem Lauf des Beispielprogramms erfährt man über die Methode `meth()` der Klasse `AnnoReflection`:

```
public method meth()
 7.1.4 (3124) unknown
 Saft Häcker Kwikki
```

7.4.4 API-Annotationen

Nun werden wichtige Annotationen aus dem Java-API beschrieben, die teilweise im bisherigen Verlauf von Abschnitt 7.4 bereits zum Einsatz kamen. Im Paket **java.lang** finden sich u.a. die folgenden Annotationen:

- **Deprecated**
  Diese Annotation wird an veraltete (überholte, abgewertete) Programmbestandteile (z.B. Methoden oder Klassen) geheftet, um Programmierer von ihrer weiteren Verwendung abzuhalten. Eventuell hat sich die Verwendung des Programmelements als problematisch herausgestellt, oder es ist eine bessere Lösung entwickelt worden. Im Kapitel 16 über Multithreading wird z.B. zu erfahren sein, dass die Methode **stop()** nicht mehr zum Stoppen von Threads verwendet werden sollte. Wie der Quellcode zur Klasse **Thread** zeigt, hat die Methode **stop()** die (Marker-)Annotation **Deprecated** erhalten:

```
@Deprecated
public final void stop() {
...
}
```

  Die Vergabe dieser Annotation sollte nach den Empfehlungen der Java-Designer von einem Dokumentationskommentar (vgl. Abschnitt 3.1.5) mit dem Tag **@deprecated** (kleiner Anfangsbuchstabe!) begleitet werden. Im Beispiel:

```
/**
 * Forces the thread to stop executing.
...
 * @deprecated This method is inherently unsafe.  Stopping a thread with
 *       Thread.stop causes it to unlock all of the monitors that it
 *       has locked (as a natural consequence of the unchecked
 *       <code>ThreadDeath</code> exception propagating up the stack).  If
 *        any of the objects previously protected by these monitors were in
 *        an inconsistent state, the damaged objects become visible to
 *        other threads, potentially resulting in arbitrary behavior.
...
 */
```

  Im Editor unserer Entwicklungsumgebung Eclipse 3.x sind abgewertete Programmelemente an einer durchgestrichenen Bezeichnung zu erkennen.

- **Override**
  Mit dieser Marker-Annotation kann man seine Absicht bekunden, bei einer Methodendefinition eine Basisklassenvariante zu überschreiben (siehe Abschnitt 10.4.1), z.B.:

```
@Override
public void wo() {
 super.wo();
 System.out.println("Unten Rechts: (" + (xpos+2*radius) +
                    ", " + (ypos+2*radius) + ")");
}
```

  Misslingt dieser Plan z.B. aufgrund eines Tippfehlers, warnt der Compiler.

Im Paket **java.lang.annotation** finden sich wichtige Meta-Annotationen, welche z.B. die erlaubte Verwendung oder den Gültigkeitsbereich einer Annotation betreffen:

- **Documented**
  Die Vergabe einer so dekorierten Annotation sollte in einem Dokumentationskommentar zum Träger erläutert werden.
- **Inherited**
  Eine so dekorierte Annotation wird von einer Klasse an ihre Ableitungen vererbt.
- **Retention**
  Über einen Wert vom Aufzählungstyp **java.lang.annotation.RetentionPolicy** wird festgelegt, wo eine Annotation verfügbar sein soll:
  - **SOURCE**
    Die Annotation ist nur in der Quellcodedatei vorhanden.
  - **CLASS** (= Voreinstellung)
    Die Annotation ist auch in der Bytecodedatei vorhanden, aber zur Laufzeit nicht verfügbar.

- **RUNTIME**
  Die Annotation ist auch noch zur Laufzeit verfügbar.

Um für eine Annotation die in Abschnitt 7.4.3 beschriebene Reflexion zu ermöglichen, muss sie bei der Meta-Annotation **Retention** den Wert **RUNTIME** erhalten.

- **Target**
  Über einen Array mit Werten vom Aufzählungstyp **java.lang.annotation.ElementType** wird festgelegt, für welche Programmelemente eine Annotation verwendbar ist. Eine folgendermaßen

```
@Target({ElementType.METHOD, ElementType.CONSTRUCTOR})
```

  dekorierte Annotation kann einer Methode oder einem Konstruktor angeheftet werden.

7.5 Übungsaufgaben zu Kapitel 7

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Eine Schnittstelle ist grundsätzlich (auch ohne Zugriffsmodifikator) als **public** definiert.
2. Die Methoden einer Schnittstelle sind grundsätzlich (auch ohne Zugriffsmodifikator) als **public** definiert.
3. Eine Schnittstelle muss mindestens eine Methode enthalten.
4. Die Felder einer Schnittstelle sind implizit als **public**, **static** und **final** deklariert.
5. Eine Schnittstelle kann auch optionale Methoden enthalten.
6. Annotationen sind spezielle Schnittstellen.

2) Man hat in Java auf die Mehrfachvererbung verzichtet, damit keine Klasse *mehrere* Methoden mit *identischen* Definitionsköpfen erben kann, woraus eine Unklarheit über die beim Aufruf tatsächlich auszuführende Methode resultieren würde. Kann es zu analogen Problemen kommen, wenn eine Klasse mehrere Schnittstellen implementiert, welche Methoden mit identischen Definitionsköpfen enthalten?

3) Erstellen Sie zur Klasse `Bruch`, die in Abschnitt 4 als zentrales Beispiel diente, eine Variante, welche die Schnittstelle **Comparable<Bruch>** implementiert, so dass z.B. ein `Bruch`-Array mit der statischen Methode **sort()** aus der Klasse **Arrays** sortiert werden kann.

4) Welche Methoden benötigt eine Klasse, um die generische Schnittstelle **Comparator<T>** zu implementieren?

5) Definieren Sie eine generische Methode mit einem Parameter, dessen Typ von einer bestimmten Klasse abstammen und zwei Interfaces implementieren muss.

8 Java Collection Framework

Die in diesem Kapitel vorgestellten Typen zur Verwaltung von Listen oder Mengen von Elementen oder (Schlüssel-Wert) - Paaren stammen aus dem **Java Collection Framework (JCF)**, dessen Weiterentwicklung seit der Einführung in Java 2 insbesondere von der seit Java 5 verfügbaren Generizität profitiert hat. In Abschnitt 6.1.1 haben Sie einen Eindruck davon erhalten, welchen Fortschritt eine generische Klasse gegenüber der auf unsicheren **Object**-Referenzen und expliziter Typumwandlung basierenden Vorgängerlösung bei der häufig benötigten Verwaltung von Elementen *desselben* Typs darstellt.

Wer nach der Lektüre von Kapitel 6 noch Zweifel am Nutzen der generischen Typen und Methoden hatte, lernt nun zahlreiche generische Interfaces und Klassen mit hohem praktischem Nutzwert kennen, was im Hinblick auf die Generizität zu einem Erfahrungs- und Motivationsgewinn führen sollte. Zugleich wird allgemein belegt, dass auch scheinbar abstrakte Java-Sprachmerkmale (wie die Generizität) die (professionelle) Praxis erleichtern.

Für die Objekte der im aktuellen Kapitel vorzustellenden Klassen wird im Manuskript alternativ zur offiziellen Bezeichnung *Kollektionen* aus sprachlichen Gründen oft auch die Bezeichnung *Container* verwendet. Dass später auch von Containern zur Verwaltung von GUI-Bedienelementen die Rede sein wird, sollte keine Verwirrung stiften.

Zur vertiefenden Lektüre werden die Bücher von Bloch (2008) sowie Naftalin & Wadler (2007) empfohlen.

8.1 Zur Rolle von Interfaces beim JCF-Design

Wie bei jedem Framework spielen auch beim Java Collection Framework JCF) Interfaces eine wichtige Rolle. In Kapitel 7 haben Sie erfahren, dass ein *Interface* meist aus einer Liste mit Methodendefinitionsköpfen besteht. Anschließend ist das in Abschnitt 8.2 vorzustellende Interface **Collection<E>** zu sehen, das (quasi als Pflichtenheft) grundlegende Kompetenzen einer Kollektionsklasse vorschreibt:

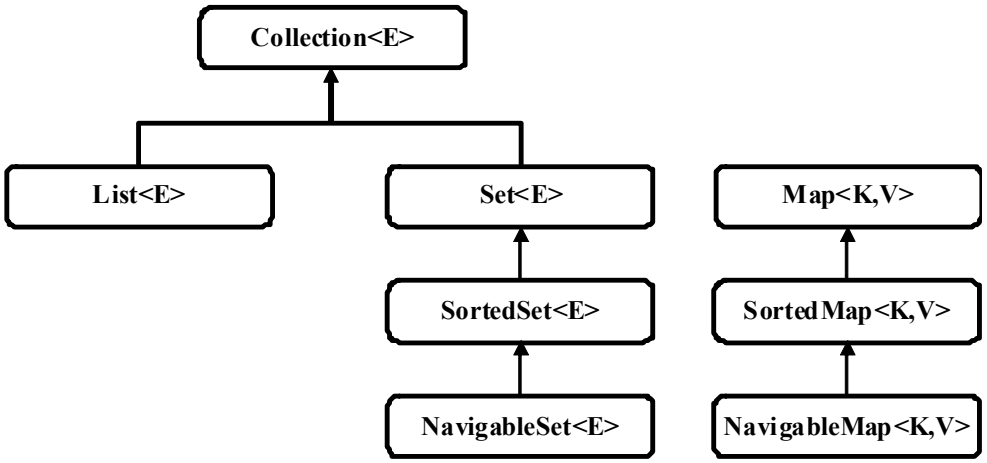
```
public interface Collection<E> extends Iterable<E> {
    int size();
    boolean isEmpty();
    boolean contains(Object o);
    Iterator<E> iterator();
    Object[] toArray();
    <T> T[] toArray(T[] a);
    boolean add(E e);
    boolean remove(Object o);
    boolean containsAll(Collection<?> c);
    boolean addAll(Collection<? extends E> c);
    boolean removeAll(Collection<?> c);
    boolean retainAll(Collection<?> c);
    void clear();
    boolean equals(Object o);
    int hashCode();
```

Will eine Klasse von sich behaupten, dieses Interface zu implementieren, muss sie alle Interface-Methoden implementieren.

Ein Interface ist aber nicht nur ein Pflichtenheft, sondern auch ein Datentyp. Wird ein Interface z.B. als Datentyp für einen Formalparameter einer Methode vorgeschrieben, ist beim Methodenaufruf als Aktualparameter-Datentyp jede Klasse erlaubt, die das Interface implementiert. So kann die Methode mit diversen, z.B. auch mit später definierten Klassen zusammenarbeiten. Damit leisten Inter-

faces einen wichtigen Beitrag zur Realisation von Software, die bei möglichst fixierter Code-Basis trotzdem anpassungsfähig ist (Open-Closed - Prinzip, vgl. Abschnitt 4.1.1.3).

Analog zur Erweiterung einer Klasse durch abgeleitete Klassen lassen sich zu einem Interface erweiterte (abgeleitete) Varianten definieren, die von implementierenden Klassen zusätzliche Methoden verlangen. Für das Java Collection Framework ist so eine Interface-Hierarchie entstanden, die einen guten Eindruck von den Kompetenzprofilen der im Framework natürlich auch enthaltenen Klassen vermittelt. In den folgenden Abschnitten werden die folgenden Interfaces (d.h. die jeweils geforderten Methoden) beschrieben und wichtige implementierende Klassen vorgestellt:



8.2 Das Interface Collection<E> mit Basiskompetenzen

Viele Klassen im Java Collection Framework implementieren direkt oder indirekt das generische Interface **Collection<E>** und beherrschen damit u.a. die folgenden Methoden:

- **public boolean add(E** *element***)**
  Wenn die Kollektion aufgrund der beantragten Neuaufnahme verändert wurde, liefert die Methode den Rückgabewert **true**, ansonsten **false**. Manche Kollektionen verweigern z.B. die Aufnahme von Dubletten.
- **public boolean addAll(Collection<? extends E** *collection***>)**
  Wenn die angesprochene Kollektion aufgrund der beantragten Neuaufnahme einer kompletten Kollektion verändert wurde, liefert die Methode den Rückgabewert **true**, ansonsten **false**. Durch eine gebundene Wildcard-Typdeklaration (siehe Abschnitt 6.4) wird für die Aufnahmekandidaten der Elementtyp der im **addAll()**-Aufruf angesprochenen Kollektion oder eine Spezialisierung vorgeschrieben.
- **public void clear()**
  Mit dieser Methode fordert man eine Kollektion auf, alle Elemente (d.h.: alle Objektreferenzen) zu löschen.
- **public boolean isEmpty()**
  Mit dieser Methode kann man ermitteln, ob die angesprochene Kollektion leer ist.
- **public boolean contains(Object** *object***)**
  Diese Methode informiert darüber, ob ein Element der Kollektion im Sinne der **equals()** - Methode mit dem Aktualparameter übereinstimmt.
- **public boolean containsAll(Collection<?>** *collection***)**
  Diese Methode informiert darüber, ob die angesprochene Kollektion im Sinne der **equals()** - Methode alle Elemente der Parameterkollektion enthält.

- **public Iterator<E> iterator()**
  Diese Methode liefert ein Iterator-Objekt, das ein sequentielles Aufsuchen der Kollektionselemente unterstützt (siehe Abschnitt 8.6). Sie gehört zum Interface **Iterable<E>**, das vom Interface **Collection<E>** erweitert wird.
- **public boolean remove(Object** *obj***)**
  Diese Methode entfernt ggf. *ein* Element aus der Kollektion, das sich vom Parameterobjekt gemäß **equals()**-Methode nicht unterscheidet. Mit dem Rückgabewert informiert die Methode darüber, ob die Kollektion tatsächlich geändert worden ist.
- **public boolean removeAll(Collection<?> Object** *collection***)**
  Diese Methode entfernt ggf. *alle* Elemente aus der angesprochenen Kollektion, die mit einem Element der Parameterkollektion gemäß **equals()**-Methode identisch sind. Mit dem Rückgabewert informiert die Methode darüber, ob die Kollektion tatsächlich geändert worden ist. Durch eine ungebundene Wildcard-Typdeklaration (siehe Abschnitt 6.4) wird für die Parameterkollektion das Implementieren einer Konkretisierung der generischen Schnittstelle **Collection<E>** mit beliebigem Elementtyp vorgeschrieben.
- **public boolean retainsAll(Collection<?> Object** *collection***)**
  Diese Methode entfernt ggf. *alle* Elemente aus der angesprochenen Kollektion, die *nicht* mit einem Element der Parameterkollektion gemäß **equals()**-Methode identisch sind. Mit dem Rückgabewert informiert die Methode darüber, ob die Kollektion tatsächlich geändert worden ist.
- **public int size()**
  Liefert die Anzahl der Elemente in der Kollektion

Alle zu einer Änderung der Kollektion führenden Methoden (z.B. **add()**, **addAll()**, **clear()**, **remove()** usw.) sind in der API-Dokumentation durch den Zusatz *optional operation* markiert (vgl. Abschnitt 7.1). Es ist einer Klasse erlaubt, sich in der Implementation solcher Methoden auf das Werfen einer **UnsupportedOperationException** zu beschränken. Es wird allerdings von jeder implementierenden Klasse erwartet, in der Dokumentation offen zu legen, für welche Methoden nur eine Pseudo-Implementation vorhanden ist.

Wo das Verhalten einer Methode von Übereinstimmungsprüfungen abhängt (z.B. **contains()**, **remove()**), ist bei der Interface-Implementierung die **equals()** - Methode des Elementtyps zu verwenden (statt des Identitätsoperators). Dementsprechend wird in der Elementklassendefinition für die von **Object** geerbte **equals()** - Methode eine sinnvolle Überschreibung erwartet.

8.3 Listen

Eine Liste enthält eine Sequenz von Elementen (Objektreferenzen), auf die man über einen nullbasierten Index zugreifen kann, und passt ihre Größe (im Unterschied zum Array) automatisch an die Aufgabenstellung an. Wir haben also einen größendynamischen Array zur Verfügung, der dank Typgenerizität Elemente von einem wählbaren Typ sortenrein (mit Compiler-Typsicherheit) verwaltet. Damit haben Listen offenbar extrem viele Einsatzmöglichkeiten bei der Softwareentwicklung.

Die Elemente einer Liste müssen (im Unterschied zu den Elementen einer Menge, vgl. Abschnitt 8.4) *nicht* verschieden sein, d.h.:

- Mehrere Elemente können dasselbe Objekt adressieren.
- Mehrere Referenzziele können im Sinn der **equals()**-Methode inhaltsgleich sein.

8.3.1 Das Interface List<E>

Zur Realisation von Listen enthält das Java Collection Framework mehrere Klassen mit unterschiedlichen Techniken zum Speichern der Elemente, die in verschiedenen Einsatzszenarien stark abweichende Leistungen zeigen. Alle implementieren das von **Collection<E>** abstammende Interface **List<E>**, und bieten folglich über die **Collection<E>** - Methoden hinaus u.a. die folgenden Kompetenzen:

- **public boolean add(E** *element***)**
  Es wird ein neues Element am Ende der Liste angehängt.
- **public void add(int** *index***, E** *element***)**
  Es wird ein neues Element an der gewünschten Indexposition eingefügt.
- **public E get(int** *index***)**
  Das Element mit dem gewünschten Index wird geliefert (wahlfreier Zugriff).
- **public E remove(int** *index***)**
  Diese Methode entfernt das Element an der Position *index* aus der Liste und liefert dessen Adresse zurück.
- **public E set(int** *index*, **E** *element***)**
  Das Element mit der im ersten Parameter genannten Position wird durch das Objekt im zweiten Parameter ersetzt.

Man sollte nach Möglichkeit für Variablen und Parameter den Interface-Datentyp **List<E>** verwenden, damit zur Lösung einer konkreten Aufgabe die optimale **List<E>** - Implementierung im OCP-Sinn (Open-Closed - Prinzip, vgl. Abschnitt 4.1.1.3), also praktisch ohne Quellcode-Änderungen, genutzt werden kann.

In Bezug auf die die eingesetzte Technik zum Speichern der Elemente bestehen zwischen den **List<E>** - Implementierungen im Java Collection Framework erhebliche Unterschiede, die nun behandelt werden.

8.3.2 Listenarchitekturen

Die Klasse **ArrayList<E>** arbeitet intern mit einem Array zum Speichern der Elemente und bietet daher einen schnellen wahlfreien Zugriff. Auch das Anhängen neuer Elemente am Ende der Liste verläuft flott, wenn nicht gerade die Kapazität des Arrays erschöpft ist. Dann wird es erforderlich, einen größeren Array zu erzeugen und alle Elemente dorthin zu kopieren. Beim Einfügen bzw. Löschen von *inneren* Elementen müssen die neuen bzw. früheren rechten Nachbarn zeitaufwändig nach rechts bzw. links verschoben werden.

Die Klasse **Vector<E>** ist schon sehr lange im Java-API enthalten, wurde zwar an das Java Collection Framework angepasst, steht aber trotzdem mittlerweile nicht mehr im besten Ruf. Sie enthält neben den empfohlenen Methoden aus dem Interface **List<E>** auch noch veraltete Methoden, die nicht mehr verwendet werden sollten, weil sie den Wechsel zu einer alternativen Container-Klasse verhindern, also die Flexibilität und Wiederverwendung von Software erschweren.

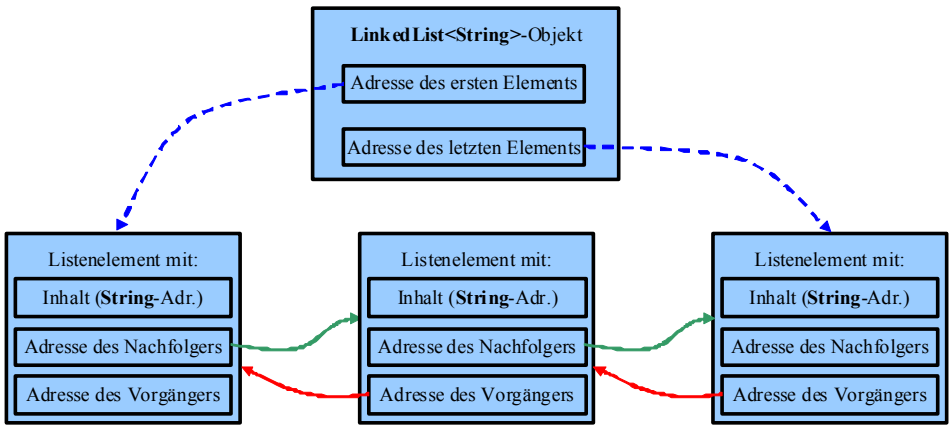
Ein weiterer wesentlicher Unterschied zur Klasse **ArrayList<E>** besteht darin, dass **Vector<E>** Thread-sicher implementiert ist, so dass ein Container-Objekt ohne Risiko simultan durch mehrere Threads benutzt werden kann. Was das genau bedeutet, werden Sie im Kapitel über Threads (nebenläufige Programmierung) erfahren. Allerdings ist die Sicherheit nicht kostenlos zu haben, so dass die Klasse **ArrayList<E>** performanter arbeitet und zu bevorzugen ist, wenn kein simultaner Container-Zugriff durch mehrere Threads auftreten kann. Wenn Sie die Klasse **ArrayList<E>** in einer Multithreading - Anwendung einsetzen, müssen Sie selbst für die Synchronisation der Threads sorgen. Weil eventuell der eine oder andere Leser schon davon profitieren kann, soll hier eine Synchronisationsmöglichkeit erwähnt werden, die dem momentanen Kursentwicklungsstand weit vor-

greift. Die Service-Klasse **Collections** (mit einem *s* am Ende des Namens, siehe Abschnitt 8.7) liefert über die statische Methode **synchronizedList()** zu einer das Interface **List<E>** implementierenden Klasse eine synchronisierte Hüllenklasse, z.B.:

```
List<String> sal = Collections.synchronizedList(new ArrayList<String>());
```

Diese Hüllenklasse kann allerdings bei der Verarbeitungsgeschwindigkeit nicht ganz mit der Klasse **Vector** mithalten.[1]

Die Klasse **LinkedList<E>** arbeitet intern mit einer **doppelt verlinkten Liste** bestehend aus selbständigen Objekten, die jeweils ihren Nachfolger und ihren Vorgänger kennen, z.B.:



Vorteile einer verlinkten Liste im Vergleich zu einem Array:

- Beim Einfügen und Löschen von Elementen müssen keine anderen Elemente verschoben, sondern nur einige Adressen geändert werden.
- Die Länge der Liste ist zu keiner Zeit festgelegt.

Um ein Listenelement mit bestimmtem Indexwert aufzufinden, muss die Liste ausgehend vom ersten oder letzten Element durchlaufen werden. Folglich ist die verkettete Liste beim wahlfreien Zugriff auf vorhandene Elemente einem Array deutlich unterlegen, weil dessen Elemente im Speicher hintereinander liegen und nach einer einfachen Adressberechnung direkt angesprochen werden können.

Insgesamt sind verlinkte Listen besonders geeignet für Algorithmen, die …

- häufig Elemente einfügen oder entfernen und sich dabei nicht auf das Listenende beschränken,
- betroffene Elemente überwiegend sequentiell aufsuchen.

Zum sequentiellen Aufsuchen der Listenelemente muss bei der Klasse **LinkedList<E>** aus Performanzgründen an Stelle eines Index-Parameters unbedingt ein Iterator-Objekt verwendet werden (siehe Abschnitt 8.6).

Wie die Klasse **ArrayList<E>** bietet auch die Klasse **LinkedList<E>** aus Performanzgründen keine Thread-Sicherheit, so dass Sie ggf. selbst für die Synchronisation von Threads sorgen müssen (siehe den obigen Hinweis auf die **Collections**-Methode **synchronizedList()**).

8.3.3 Leistungsunterschiede und Einsatzempfehlungen

Bei der Klasse **LinkedList<E>** machen es die **List<E>** - Methoden mit Index-Parameter (z.B. **get()**, **remove()**) erforderlich, sich vom Startpunkt (Index ≤ halbe Länge) oder Endpunkt (Index >

[1] Quelle: http://docs.oracle.com/javase/tutorial/collections/implementations/list.html

halbe Länge) ausgehend bis zur gesuchten Position vorzuarbeiten, wobei diese aufwendige Prozedur bei jedem Methodenaufruf neu startet. Genügt ein sequentieller Zugriff, sollte bei einer verlinkten Liste unbedingt ein **Iterator**-Objekt verwendet werden, um die Elemente nacheinander zu besuchen (siehe Abschnitt 8.6). Wird ein wahlfreier Zugriff benötigt, ist eine Array-basierte Klasse zu bevorzugen.

Bei den Klassen **ArrayList<E>** und **Vector<E>** entsteht ein großer Aufwand, wenn ein inneres Array-Element eingefügt oder entfernt werden muss.

Man kann je nach Einsatzschwerpunkt und benötigter Thread-Sicherheit zwischen den Listenverwaltungsklassen aus dem Java Collection Framework wählen und sogar unproblematisch wechseln, wenn man ...

- als Datentyp für Variablen und Parameter das Interface **List<E>** verwendet
- und ausschließlich die gemeinsamen, durch das Interface **List<E>** vorgeschriebenen Methoden einsetzt.

Im folgenden Programm

```
import java.util.*;
class Listen {
 static final int ANZ = 20000;

 static void testList(List<String> lis_) {
  List<String> liste = lis_;
  StringBuilder sb = new StringBuilder();
  Random ran = new Random();

  // Füllen
  System.out.println("Kollektionsklasse:\t" + liste.getClass());
  long start = System.currentTimeMillis();
  for (int i = 0; i < ANZ; i++) {
   sb.delete(0, 6);
   for (int j = 0; j < 5; j++)
    sb.append((char) (65 + ran.nextInt(26)));
   liste.add(sb.toString());
  }
  System.out.println(" Zeit zum Fuellen:\t" +
     (System.currentTimeMillis()-start));

  // Abrufen per Index-Zugriff
  start = System.currentTimeMillis();
  for (int i = 0; i < ANZ; i++)
   liste.get(ran.nextInt(ANZ));
  System.out.println(" Zeit zum Abrufen:\t" +
     (System.currentTimeMillis()-start));

  // Einfügen am Listenanfang
  start = System.currentTimeMillis();
  for (int i = 0; i < ANZ; i++)
   liste.add(0, "neu");
  System.out.println(" Zeit zum Einfuegen:\t" +
     (System.currentTimeMillis()-start));

  // Löschen am Listenanfang
  start = System.currentTimeMillis();
  for (int i = 0; i < 2*ANZ; i++)
   liste.remove(0);
  System.out.println(" Zeit zum Loeschen:\t" +
     (System.currentTimeMillis()-start) + "\n");
 }
```

```
    public static void main(String[] args) {
      testList(new ArrayList<String>());
      testList(new Vector<String>());
      testList(new LinkedList<String>());
    }
}
```

mit den Aufgaben

- eine Liste mit 20.000 Zeichenketten füllen
- aus der Liste 20.000 Elemente mit zufällig bestimmter Indexposition abrufen
- 20.000 neue Elemente einzeln am Anfang der Liste einfügen
- 40.000 Elemente einzeln am Listenanfang löschen

zeigen die drei Klassen **ArrayList<String>**, **Vector<String>** und **LinkedList<String>** folgende Leistungen:[1]

```
Kollektionsklasse:     class java.util.ArrayList
 Zeit zum Fuellen:     29
 Zeit zum Abrufen:     2
 Zeit zum Einfuegen:   149
 Zeit zum Loeschen:    203

Kollektionsklasse:     class java.util.Vector
 Zeit zum Fuellen:     11
 Zeit zum Abrufen:     2
 Zeit zum Einfuegen:   143
 Zeit zum Loeschen:    183

Kollektionsklasse:     class java.util.LinkedList
 Zeit zum Fuellen:     14
 Zeit zum Abrufen:     386
 Zeit zum Einfuegen:   6
 Zeit zum Loeschen:    8
```

Wir beobachten:

- Das Befüllen verläuft bei allen Klassen recht flott, wobei die Thread-sichere Klasse **Vector<String>** *nicht* mehr Zeit benötigt als die anderen Container.
- Beim Abrufen von Werten sind die Array-basierten Klassen erheblich schneller als die verkettete Liste.
- Beim Einfügen und Löschen ist umgekehrt die verkettete Liste überlegen. Allerdings hat sie einen etwas künstlichen Wettbewerbsvorteil erhalten: Weil das Einfügen und Löschen stets am Listenanfang stattfindet, muss das **LinkedList<String>** - Objekt keine Adressen per Listenverfolgung ermitteln und schneidet daher sehr gut ab.

Das Beispielprogramm macht sich zu Nutze, dass eine Schnittstelle (ein Interface) als Datentyp zugelassen ist, und dass eine entsprechende Referenzvariable auf ein Objekt aus einer beliebigen implementierenden Klasse zeigen kann (siehe die Definition der Methode `testList()` und deren Aufrufe in der Methode **main()**). Im Beispiel hätten wir dieselbe Eleganz auch mit einem Vorgriff auf das Kapitel 10 über Vererbung erreichen können, weil die Klassen **ArrayList<E>**, **Vector<E>** und **LinkedList<E>** von der gemeinsamen Basisklasse **AbstractList<E>** abstammen, welche ebenfalls das Interface **List<E>** implementiert und somit die benötigten Methoden beherrscht.

[1] Die Zeiten stammen von einem PC unter Windows 7 (64 Bit) mit Intel-CPU Core i3 (3,2 GHz) mit vier virtuellen Kernen.

8.4 Mengen

Zur Verwaltung einer *Menge* von Elementen, die im Unterschied zu einer Liste keine Dubletten (im Sinne der **equals()**-Methode) aufweisen darf, enthält das Java Collection Framework u.a. die generischen Klassen **HashSet<E>**, **LinkedHashSet<E>** und **TreeSet<E>**.

8.4.1 Das Interface Set<E>

Alle Mengenverwaltungsklassen im Java Collection Framework implementieren das von **Collection<E>** abstammende Interface **Set<E>** und beherrschen daher u.a. die folgenden Instanzmethoden:

- **public boolean add(E** *element***)**
  Das Parameterelement wird in die Menge aufgenommen, falls es dort noch nicht existiert.
- **public boolean addAll(Collection<? extends E>** *collection***)**
  Die Elemente der übergebenen Kollektion werden in die Menge aufgenommen, falls sie dort noch nicht vorhanden sind. Ihr Typ muss mit dem Elementtyp der angesprochenen Mengenklasse übereinstimmen oder diesen spezialisieren. Nach einem erfolgreichen Methodenaufruf enthält das angesprochene Objekt die **Vereinigung** der beiden Mengen.
- **public boolean contains(Object** *object***)**
  Diese Methode informiert darüber, ob das fragliche Element in der Kollektion vorhanden ist und arbeitete bei den Mengenverwaltungsklassen erheblich flotter als bei den Listenverwaltungsklassen (siehe Abschnitt 8.3).
- **public boolean remove(Object** *element***)**
  Das angegebene Element wird aus der Menge entfernt, falls es dort vorhanden ist.
- **public boolean removeAll(Collection<?>** *collection***)**
  Die Elemente der übergebenen Kollektion werden ggf. aus der angesprochenen Kollektion entfernt, so dass man nach einem erfolgreichen Methodenaufruf die **Differenz** der beiden Mengen erhält.
- **public boolean retainAll(Collection<?>** *collection***)**
  Aus der angesprochenen Kollektion werden alle Elemente entfernt, die nicht zur übergebenen Kollektion gehören, so dass man nach einem erfolgreichen Methodenaufruf den **Durchschnitt** der beiden Mengen erhält.

Die Methoden **add()**, **addAll()**, **remove()**,**removeAll()** und **retainAll()** informieren mit ihrem **boolean**-Rückgabewert darüber, ob die Menge durch den Aufruf verändert worden ist.

Wo das Verhalten einer Methode von Übereinstimmungsprüfungen abhängt (z.B. **contains()**, **remove()**), ist bei der Interface-Implementierung die **equals()** - Methode des Elementtyps zu verwenden (statt des Identitätsoperators). Dementsprechend wird in der Elementklassendefinition für die von **Object** geerbte **equals()** - Methode eine sinnvolle Überschreibung erwartet.

Einen Indexzugriff auf ihre Elemente bieten die Kollektionsklassen zur Mengenverwaltung nicht, Iteratoren (vgl. Abschnitt 8.6) sind jedoch verfügbar.

Wie Ullenboom (2012a, Abschnitt 13.1.6) zu Recht feststellt, kann eine **Set<E>** - Implementierung Dubletten *nicht* verhindern, wenn die Objekte des Elementtyps nach Aufnahme in die Menge geändert werden. Bei manchen Klassen ist eine Änderung von Objekten grundsätzlich ausgeschlossen (z.B. **String**, alle Wrapper-Klassen). In der Regel sind Objekte aber veränderbar, z.B. bei der Klasse `Mint`, die Sie in einer Übungsaufgabe als **int**-Hüllenklasse entworfen haben (vgl. Abschnitt 5.5). Im folgenden Programm entsteht ein **HashSet<Mint>** - Container mit Dublette:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `   HashSet<Mint> mint =  new HashSet<>();` `   Mint m1 = new Mint(1);` `   Mint m2 = new Mint(2);` `   mint.add(m1); mint.add(m1);` `   mint.add(m2);` `   System.out.println(mint);` `   m2.val = 1;` `   System.out.println(mint);` `  }` `}`	`[1, 2]` `[1, 1]`

Aus Performanzgründen sind die Klassen **HashSet<E>**, **LinkedHashSet<E>** und **TreeSet<E>** *nicht* Thread-sicher implementiert. Allerdings liefert die Klasse **Collections** über die statische Methode **synchronizedSet()** zu einer das Interface **Set<E>** implementierenden Klasse eine synchronisierte Hüllenklasse, z.B.:

```
HashSet<String > shs = Collections.synchronizedSet(new HashSet<String>());
```

In einem Testprogramm mit den Aufgaben

- eine Menge mit 20.000 **String**-Objekten füllen
- für 20.000 neue **String**-Objekte prüfen, ob sie bereits in der Menge vorhanden sind

zeigen die Klassen **ArrayList<String>**, **LinkedList<String>**, **HashSet<String>** und **TreeSet<String>**folgende Leistungen:[1]

```
Kollektionsklasse:                 class java.util.ArrayList
 Zeit zum Fuellen:                 30
 Zeit fuer die Existenzpruefungen: 1704

Kollektionsklasse:                 class java.util.LinkedList
 Zeit zum Fuellen:                 13
 Zeit fuer die Existenzpruefungen: 2258

Kollektionsklasse:                 class java.util.HashSet
 Zeit zum Fuellen:                 26
 Zeit fuer die Existenzpruefungen: 16

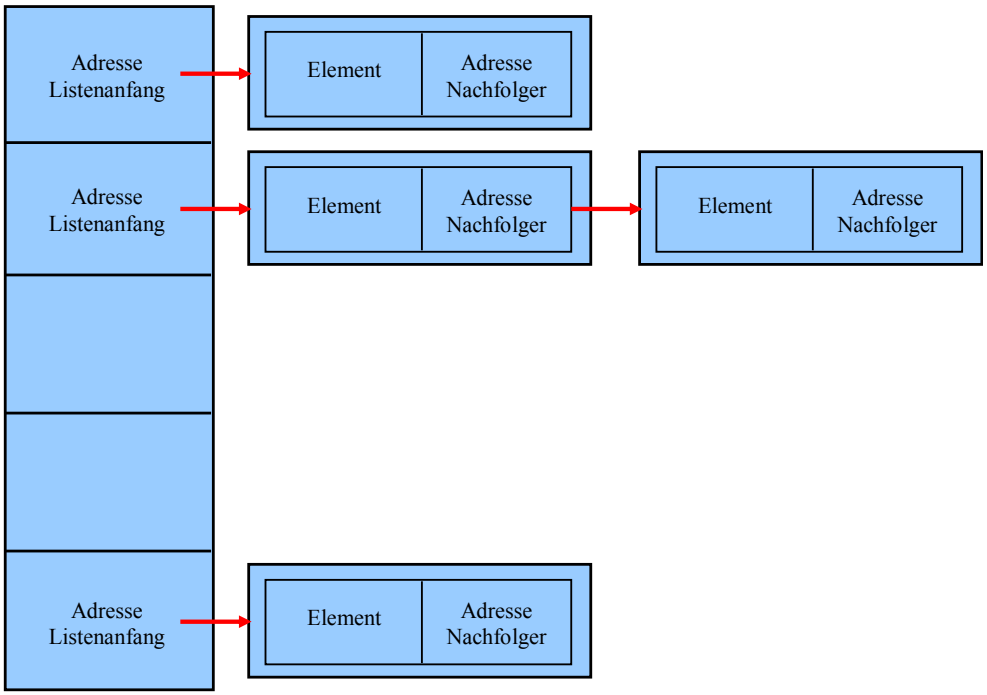
Kollektionsklasse:                 class java.util.TreeSet
 Zeit zum Fuellen:                 42
 Zeit fuer die Existenzpruefungen: 29
```

Die Klassen **HashSet<E>**, **LinkedHashSet<E>** und **TreeSet<E>** sind nützlich, wenn Mengenzugehörigkeitsprüfungen in großer Zahl anfallen. Außerdem bieten sie bequeme Lösungen für Aufgaben aus dem Bereich der Mengenlehre (z.B. Durchschnitt, Vereinigung oder Differenz von zwei Mengen bilden).

8.4.2 Hashtabellen

Benötigt ein Algorithmus zahlreiche Existenzprüfungen, sind Kollektionen mit Listenbauform wenig geeignet, weil ein fragliches Element potentiell mit jedem vorhandenen über einen Aufruf der **equals()** - Methode verglichen werden muss. Um diese Aufgabe schneller lösen zu können, kommt bei der Klasse **HashSet<E>** eine so genannte **Hashtabelle** zum Einsatz. Dies ist ein Array mit einfach verketteten Listen als Einträgen:

[1] Die Zeiten stammen von einem PC unter Windows 7 (64 Bit) mit Intel-CPU Core i3 (3,2 GHz).



Bei der Aufnahme eines neuen Elements entscheidet die typspezifische Implementierung der bereits in der Urahnklasse **Object** definierten **hashCode()** - Instanzmethode

public int hashCode()

über den Array-Index der zu verwendenden Liste. Im günstigsten Fall ist die Liste noch leer. Anderenfalls spricht man von einer *Hash-Kollision*. Wegen der folgenden Anforderungen an eine zum Befüllen einer Hashtabelle einzusetzende **hashCode()**-Methode (bzw. an die in dieser Methode realisierte Hash-Funktion) ist in der Regel in der **E**-Konkretisierungsklasse das **Object**-Erbstück durch eine sinnvolle Implementierung zu ersetzen:

- Während eines Programmlaufs müssen alle Methodenaufrufe für ein Objekt denselben Wert liefern, solange bei diesem Objekt keine Veränderungen mit Relevanz für die **equals()**-Methode auftreten.
- Sind zwei Objekte identisch im Sinne der **equals()**-Methode, dann müssen sie denselben **hashCode()**-Wert erhalten.
- Die **hashCode()**-Rückgabewerte sollten möglichst gleichmäßig über den möglichen Wertebereich verteilt sein.

Aus dem Hashcode eines Objekts wird der Array-Index per Modulo-Operation ermittelt.[1] Bei der API-Klasse **String** kommt z.B. die folgende Hash-Funktion zum Einsatz:

$$s[0]\cdot 31^{(n-1)} + s[1]\cdot 31^{(n-2)} + ... + s[n-1]$$

Dabei steht ***s[i]*** für Unicode-Nummer des Zeichens an Position ***i*** und ***n*** für die Länge des Strings. Für den **String** "Theo" erhält man z.B.:

$$84 \cdot 31^3 + 104 \cdot 31^2 + 101 \cdot 31^1 + 111 = 2605630$$

Bei einer Hashtabellen-Kapazität von 1024 resultiert der Array-Index

---

[1] Im API-Quellcode wird aus Performanzgründen die Modulo-Operation äquivalent über die bitweise UND-Operation (siehe Abschnitt 3.5.6) realisiert:

```
static int indexFor(int h, int length) {
  return h & (length-1);
}
```

Außerdem wird Hash-Funktion optimiert, um die Anzahl der Kollisionen zu reduzieren.

2605630 % 1024 = 574

Um für ein Objekt mit der **Collection<E>** - Methode **contains()** festzustellen, ob es bereits in der Hashtabelle (Menge) enthalten ist, muss es nicht über **equals()**-Aufruf mit allen Insassen verglichen werden. Stattdessen wird sein Hashcode berechnet und sein Array-Index ermittelt. Befindet sich hier noch kein Listenanfang, ist die Existenzfrage geklärt (**contains()**-Rückmeldung **false**). Anderenfalls ist nur für die Objekte der im Array-Element startenden verketteten Liste eine **equals()**-Untersuchung erforderlich.

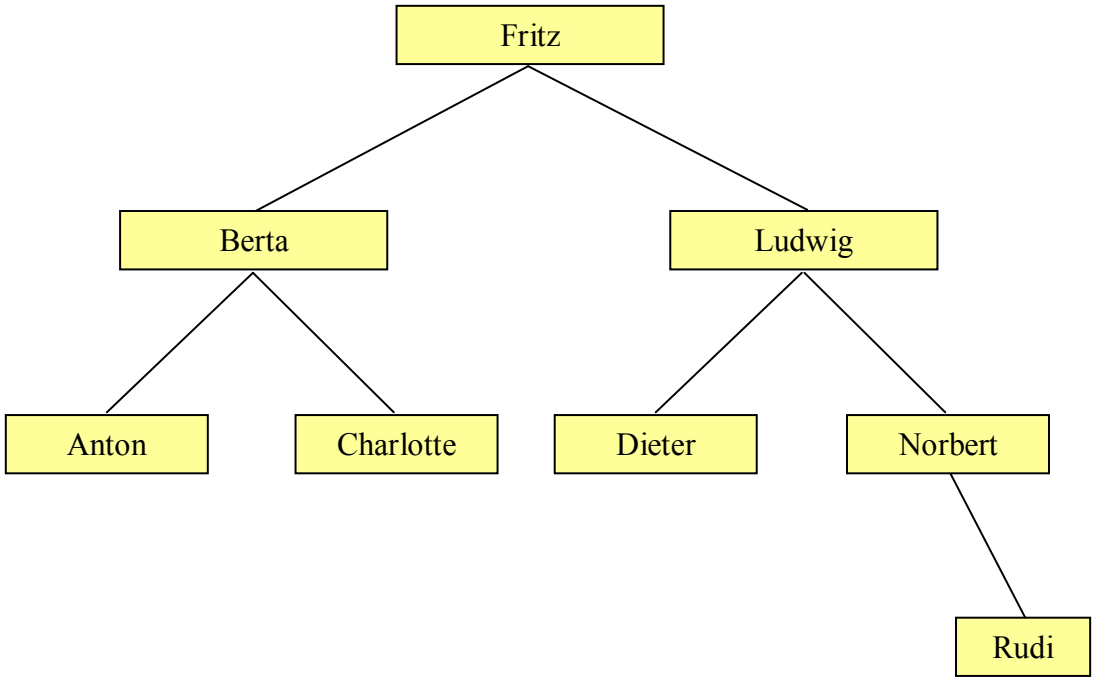
Damit es selten zu Hash-Kollisionen kommt, sollte die Array-Größe ungefähr das 1,5 - fache der Anzahl aufzunehmender Elemente betragen (Horstmann & Cornell, 2002, S. 137). Über den **Ladungsfaktor** der Hashtabelle legt man fest, bei welchem Füllungsgrad in einen neuen, ca. doppelt so großen Array umgezogen werden soll (Voreinstellung: 0,75).

Weil die Klasse **HashSet<E>** das Interface **Collection<E>** (siehe Abschnitt 8.2) implementiert, kann sie (als Rückgabe der Methode **iterator()**) einen Iterator (siehe Abschnitt 8.6) zur Verfügung stellen, der sukzessive alle Elemente aufsucht und dabei erwatungsgemäß eine zufällig wirkende Reihenfolge verwendet. Mit der Klasse **LinkedHashSet<E>** steht eine **HashSet<E>** - Ableitung zur Verfügung, deren Objekte sich die Einfügereihenfolge der Elemente merken. Dies wird durch den Zusatzaufwand einer doppelt verlinkten Liste realisiert, und im Ergebnis erhalten wir einen Iterator, der die Einfügereihenfolge verwendet.

8.4.3 Balancierte Binärbäume

Existiert über den Elementen einer Menge eine **vollständige Ordnung** (z.B. Zeichenketten mit der lexikografischen Ordnung), kann man über einen Binärbaum die Elemente im sortierten Zustand halten, ohne den Aufwand bei den zentralen Mengenverwaltungsmethoden (z.B. **add()**, **contains()** und **remove()**) im Vergleich zur Hashtabelle wesentlich steigern zu müssen.

In einem Binärbaum hat jeder Knoten maximal zwei direkte Nachfolger, wobei der linke Nachfolger einen kleineren und der rechte Nachfolger einen höheren Rang hat, was die folgende Abbildung für Zeichenketten illustriert:

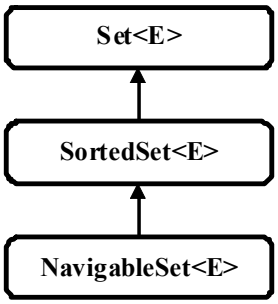


Bei einem **balancierten** Binärbaum kommen Forderungen zum maximal erlaubten Unterschied zwischen der kürzesten und der längsten Entfernung zwischen der Wurzel und einem Endknoten hinzu, um den Aufwand beim Suchen und Einfügen von Elementen zu begrenzen.

Im Java Collection Framework nutzt u.a. die Klasse **TreeSet<E>** das Prinzip des balancierten Binärbaums, wobei durch die so genannte **Rot-Schwarz** -Architektur sicher gestellt wird, dass der längste Pfad höchstens doppelt so lang ist wie der kürzeste.

8.4.4 Interfaces für geordnete Mengen

Die Klasse **TreeSet<E>** implementiert über das Interface **Set<E>** hinaus auch das traditionelle Interface **SortedSet<E>** mit Methoden für geordnete Mengen und das mit Java 6 als **SortedSet<E>** - Erweiterung und designierter Nachfolger hinzu gekommene Interface **NavigableSet<E>**. Hier sind die drei Interfaces und Ihre Beziehungen zu sehen:



Das Interface **SortedSet<E>** fordert von implementierenden Klassen u.a. die folgenden Methoden:

- **public E first()**
  Liefert das erste (kleinste) Element in der sortierten Menge
- **public E last()**
  Liefert das letzte (größte) Element in der sortierten Menge
- **public SortedSet<E> headSet(E** *obereSchranke***)**
  Man erhält als so genannte **Sicht** (engl.: *View*) auf die Teilmenge mit allen Elementen der angesprochenen Kollektion, die *kleiner* als die obere Schranke sind, ein Objekt aus einer Klasse, welche das Interface **SortedSet<E>** erfüllt. Alle Methoden des View-Objekts wirken sich auf die Originalkollektion aus, so dass man z.B. mit der **SortedSet<E>** - Methode **clear()** die komplette **headSet()** - Teilmenge löschen kann:

Quellcode	Ausgabe

```
import java.util.*;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  TreeSet<String> tss = new TreeSet<>();
  tss.add("a");tss.add("b");tss.add("c");tss.add("d");
  System.out.println(tss);
  SortedSet<String> soSet = tss.headSet("c");
  soSet.clear();
  System.out.println(tss);
 }
}
```

```
[a, b, c, d]

[c, d]
```

- **public SortedSet<E> tailSet(E** *untereSchranke***)**
  Man erhält ein View-Objekt, dessen Methoden sich auf die Teilmenge mit allen Elementen der angesprochenen Kollektion auswirken, die größer als die untere Schranke sind.

- **public SortedSet<E> subSet(E** *untereSchranke*, **E** *obereSchranke***)**
  Man erhält ein View-Objekt, dessen Methoden sich auf die Teilmenge mit allen Elementen der angesprochenen Kollektion auswirken, die größer als die untere Schranke und kleiner als die obere Schranke sind.

Es gibt zwei Möglichkeiten, die Ordnung der von einem **TreeSet<E>** - Objekt verwalteten Elemente zu begründen:

- Der Elementtyp **E** erfüllt das Interface **Comparable<E>**, besitzt also eine Instanzmethode **compareTo()**.
- Man übergibt dem **TreeSet<E>** - Konstruktor ein Objekt, das die Schnittstelle **Comparator<E>** erfüllt und folglich eine für den Typ **E** geeignete Vergleichsmethode

  public int compare(E *e1*, **E** *e2***)**

  bietet. Diese muss einen Wert kleiner, gleich oder größer Null liefern, wenn der Rang von *e1* im Vergleich zum Rang von *e2* kleiner, gleich oder größer ist. In der Regel sollte die Rückgabe Null genau dann erfolgen, wenn die beiden Objekte im Sinne der **equals()**-Methode gleich sind.

Im folgenden Beispielprogramm verwendet das **TreeSet<String>** - Objekt `tss` die natürliche Ordnung der Klasse **String**, während im **TreeSet<String>** - Objekt `tssc` ein Objekt der Klasse `CompaS`, welche die Schnittstelle **Comparator<String>** erfüllt, dafür sorgt, dass Otto immer vorne steht:

Quellcode	Ausgabe
`import java.util.*;` `class CompaS implements Comparator<String> {` `  public int compare(String s1, String s2) {` `   if (s1.equals(s2))` `    return 0;` `   if (s1.equals("Otto"))` `    return -1;` `   if (s2.equals("Otto"))` `    return 1;` `   return s1.compareTo(s2);` `  }` `}` `class ComparatorTest {` `  public static void main(String[] args) {` `   TreeSet<String> tss = new TreeSet<>();` `   tss.add("Otto");tss.add("Werner");tss.add("Ludwig");` `   System.out.println(tss);` `   TreeSet<String> tssc = new TreeSet<>(new CompaS());` `   tssc.add("Otto");tssc.add("Werner");tssc.add("Ludwig");` `   System.out.println(tssc);` `  }` `}`	`[Ludwig, Otto, Werner]` `[Otto, Ludwig, Werner]`

Das seit Java 6 vorhandene Interface **NavigableSet<E>** erweitert das Interface **SortedSet<E>** und ist als Nachfolger vorgesehen. U.a. werden zusätzlich die folgenden Methoden gefordert:

- **public E pollFirst()**
  Das erste (kleinste) Element in der navigierbaren Menge wird als Rückgabe geliefert und gelöscht.

- **public E pollLast()**
  Das letzte (größte) Element in der navigierbaren Menge wird als Rückgabe geliefert und gelöscht. Existiert kein Element, wird **null** geliefert.
- **public E ceiling(E** *argument***)**
  Man erhält als Rückgabe das kleinste Element in der navigierbaren Menge, das mindest ebenso groß ist wie das Argument.
- **public E floor(E** *argument***)**
  Man erhält als Rückgabe das größte Element in der navigierbaren Menge, welches das Argument nicht übertrifft.
- **public E higher(E** *argument***)**
  Man erhält als Rückgabe das kleinste Element in der navigierbaren Menge, welches das Argument übertriff.
- **public E lower(E** *argument***)**
  Man erhält als Rückgabe das größte Element in der navigierbaren Menge, welches dem Argument unterlegen ist.
- **public Iterator<E> descendingIterator()**
  Diese Methode liefert ein Iterator-Objekt, das ein sequentielles Aufsuchen der Kollektionselemente in umgekehrter Reihenfolge unterstützt (siehe Abschnitt 8.6).

Existiert kein passendes Element, liefern die Methoden **pollFirst()**, **pollLast()**, **ceiling()**, **floor()**, **higher()** und **lower()** den Wert **null**. Im folgenden Programm sind die genannten Methoden bei der Arbeit zu beobachten:

Quellcode	Ausgabe

```
import java.util.*;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  TreeSet<String> tss = new TreeSet<>();
  tss.add("a");tss.add("c");
  System.out.println(tss.ceiling("c"));
  System.out.println(tss.floor("b"));
  System.out.println(tss.higher("a"));
  System.out.println(tss.lower("b"));
 }
}
```

```
c
a
c
a
```

8.5 Mengen von Schlüssel-Wert - Paaren (Abbildungen)

Zur Verwaltung einer Menge von Schlüssel-Wert - Paaren stellt das Java Collection Framework Klassen zur Verfügung, die das Interface **Map<K,V>** erfüllen. Die Schlüssel (mit einer Konkretisierung des Typformalparameters **K** als Datentyp) werden wie eine Menge verwaltet, so dass also Eindeutigkeit herrscht (ohne Dubletten). Über einen Schlüssel ist sein Wert ansprechbar (mit einer Konkretisierung des Typformalparameters **V** als Datentyp), wobei es sich um ein (eventuell komplexes) Objekt handelt. Man könnte z.B. eine kleine Personalverwaltungsdatenbank realisieren mit ...

- einer eindeutigen Personalnummer (Typ **Integer** als **K**-Konkretisierung)
- und einer geeigneten Klasse `Personal` (mit Instanzvariablen für den Namen, die Telefonnummer etc.) als **V**- Konkretisierung.

Hinsichtlich der zur Schlüsselverwaltung eingesetzten Technik unterscheiden sich die beiden bekanntesten, das Interface **Map<K,V>** implementierenden, Klassen:

- **HashMap<K,V>**
  Die Schlüssel werden in einer Hashtabelle verwaltet (vgl. Abschnitt 8.4.2), sind also sehr schnell auffindbar, aber unsortiert.
- **TreeMap<K,V>**
  Die Schlüssel werden in einen Binärbaum verwaltet (vgl. Abschnitt 8.4.3), sind nicht ganz so schnell auffindbar, aber stets sortiert.

Im Unterschied zur traditionsreichen Klasse **Hashtable<K,V>** (kleines *t*!), die mittlerweile ebenfalls das generische Interface **Map<K,V>** implementiert, sind die Klassen **HashMap<K,V>** und **TreeMap<K,V>** aus Performanzgründen *nicht* Thread-sicher. Allerdings liefert die Klasse **Collections** über die statische Methode **synchronizedMap()** zu einer das Interface **Map<K,V>** implementierenden Klasse eine synchronisierte Hüllenklasse, z.B.:

```
HashMap<String,Person> shm =
 Collections.synchronizedMap(new HashMap<String,Person>());
```

Wie die Klasse **Vector<E>** (siehe Abschnitt 8.3.2) steht auch die Klasse **Hashtable** trotz Anpassung an das Java Collection Framework mittlerweile nicht mehr auf der *Best Practice* - Empfehlungsliste für Java-Entwickler. Sie enthält neben den empfohlenen Methoden aus dem Interface **Map<K,V>** auch noch veraltete Methoden, die nicht mehr verwendet werden sollten, weil sie den Wechsel zu einer alternativen Container-Klasse verhindern, also die Flexibilität und Wiederverwendung von Software erschweren.

8.5.1 Das Interface Map<K,V>

Im Interface **Map<K,V>** und seinen Methoden werden *zwei* Typformalparameter (für ***K****ey* und ***V****alue*) benötigt, und **Map<K,V>** stammt (im Unterschied zu **List<E>** und **Set<E>**) *nicht* von **Collection<E>** ab. Das Interface **Map<K,V>** verlangt von einer implementierenden Klasse u.a. die folgenden Instanzmethoden:

- **public V put(K** *key*, **V** *value***)**
  Wenn der Schlüssel noch nicht existiert, wird ein neues (Schlüssel-Wert) - Paar angelegt. Anderenfalls wird der alte Wert überschrieben. Um ein neues Paar mit noch unbekanntem Wert anzulegen oder einen vorhandenen Wert zu löschen, kann man das Referenzliteral **null** als Wert angeben. Als Rückgabe liefert die Methode den aktuellen Wert.
- **public void putAll (Map<? extends K,? extends V>** *map***)**
  Beim Import der (Schlüssel-Wert) - Paare aus der Parameterkollektion werden ggf. für vorhandene Schlüssel die Werte geändert. Durch gebundene Wildcard-Typdeklarationen (siehe Abschnitt 6.4) wird für die Kollektion mit den Aufnahmekandidaten gefordert, denselben **K**- bzw. **V**-Typ wie die im **putAll()**-Aufruf angesprochene Abbildung zu verwenden oder eine Spezialisierung (Ableitung).
- **public void clear()**
  Mit dieser Methode fordert man eine Abbildung auf, alle (Schlüssel-Wert) - Paare zu löschen.
- **public boolean isEmpty()**
  Mit dieser Methode kann man ermitteln, ob die angesprochene Abbildung leer ist.
- **public V get(Object** *key***)**
  Man erhält den zum angegebenen Schlüssel gehörigen Wert oder **null**, falls der Schlüssel nicht vorhanden ist.

- **public V remove(Object** *key***)**
  Existiert ein Eintrag mit dem angegebenen Schlüssel, wird dieser Eintrag gelöscht und sein ehemaliger Wert an den Aufrufer geliefert. Anderenfalls erhält der Aufrufer die Rückgabe **null**.
- **public int size()**
  Liefert die Anzahl der Elemente in der Abbildung
- **public boolean containsKey(Object** *key***)**
  Die Methode liefert **true** zurück, wenn der angegebene Schlüssel in der Abbildung vorhanden ist, sonst **false**.
- **public boolean containsValue(Object** *value***)**
  Die Methode liefert **true** zurück, wenn der angegebene Wert in der Abbildung vorhanden ist (eventuell auch mehrfach), sonst **false**. Eine Abbildungsklasse ist für die schnelle Schlüsselsuche konstruiert und muss bei einer Wertsuche zeitaufwendig nacheinander alle Elemente bis zum ersten Treffer inspizieren.
- **public Set<K> keySet()**
  Diese Methode liefert ein Objekt, das die Schnittstelle **Set<K>** - erfüllt (vgl. Abschnitt 8.4) und als **Sicht** (engl.: *View*) auf der Menge aller Schlüssel aus der angesprochenen Abbildung operiert. Man kann z.B. mit der **Set<K>** - Methode **clear()** sämtliche Schlüssel und damit sämtliche Elemente der Abbildung, löschen:

Quellcode-Fragment	Ausgabe
`Map<Integer,String> c = new TreeMap<>();` `c.put(1, "A");` `c.put(3, "C");` `c.put(2, "B");` `System.out.println(c);` `c.keySet().clear();` `System.out.println(c);`	`{1=A, 2=B, 3=C}` `{}`

- **public Set<Map.Entry<K,V>> entrySet()**
  Diese Methode liefert ein Objekt, das die Schnittstelle **Set<Map.Entry<K,V>>** - erfüllt (vgl. Abschnitt 8.4) und als **Sicht** auf der Menge aller (Schlüssel-Wert) - Paare aus der angesprochenen Abbildung operiert. Es bietet als Mengenverwaltungsobjekt einen Iterator, mit dem sich die Elemente der Abbildung nacheinander ansprechen lassen.
  Die Kompetenzen eines Elements der Ergebnismenge werden durch das Interface **Map.Entry<K,V>** beschrieben, das als *internes* Interface (vgl. Abschnitt 7.1) innerhalb von **Map<K,V>** definiert wird:

```
public interface Map<K,V> {
   . . .
     interface Entry<K,V> {
        K getKey();
        V getValue();
        V setValue(V value);
        boolean equals(Object o);
        int hashCode();
     }
   . . .
}
```

Alle zu einer Änderung der Kollektion führenden Methoden (z.B. **put()**, **putAll()**, **clear()**, **remove()** usw.) sind in der API-Dokumentation durch den Zusatz *optional operation* markiert. Es ist einer Klasse erlaubt, sich in der Implementation solcher Methoden auf das Werfen einer **UnsupportedOperationException** zu beschränken. Es wird allerdings von jeder implementieren-

den Klasse erwartet, in der Dokumentation offen zu legen, für welche Methoden nur eine Pseudo-Implementation vorhanden ist.

Wo das Verhalten einer Methode von Übereinstimmungsprüfungen abhängt (z.B. **containsKey()**, **remove()**, **containsValue()**) ist bei der Interface-Implementierung die **equals()** - Methode des Schlüssel- bzw. Werttyps zu verwenden (statt des Identitätsoperators). Dementsprechend wird in der Schlüssel- bzw. Wertklasse für die von **Object** geerbte **equals()** - Methode eine sinnvolle Überschreibung erwartet.

8.5.2 Die Klasse HashMap<K,V>

Über einen Mengenverwaltungscontainer (z.B. aus der Klasse **HashMap<E>**) kann man für Objekte eines Typs festhalten, ob sie sich in einer Menge befinden oder nicht. Ein einfaches Beispiel ist etwa die Menge aller Zeichen (**Character**-Objekte), die in einem Text auftreten. Mit den im aktuellen Abschnitt 8.5 behandelten Abbildungsklassen lassen sich zu jedem Objekt im Container noch zusätzliche Informationen aufbewahren. Im gerade erwähnten Beispiel könnte man zu jedem Zeichen noch die Häufigkeit des Auftretens speichern. Aus dem Text

"Otto spielt Lotto"

resultiert die folgende Tabelle mit den Zeichen und ihren Auftretenshäufigkeiten:

```
e --> 1
t --> 5
s --> 1
p --> 1
L --> 1
o --> 3
l --> 1
O --> 1
i --> 1
```

Durch die Pfeilnotation wird betont, dass hier tatsächlich eine Abbildung im mathematischen Sinn (von einer Teilmenge der Buchstaben in die Menge der natürlichen Zahlen) geleistet wird.

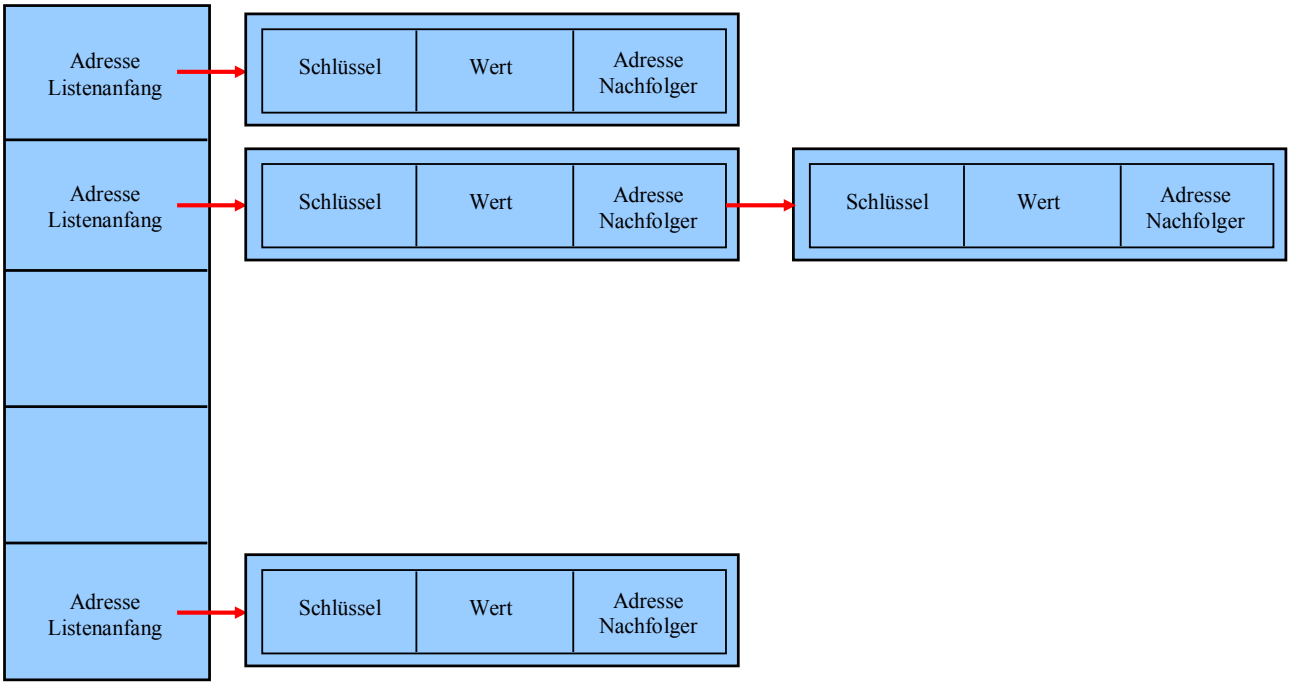
Die Paare aus einem Schlüssel vom Typ **Character** und einem Wert vom Typ `Mint` (eine selbst entworfene **int**-Hüllenklasse, vgl. Übungsaufgabe in Abschnitt 5.5) liefert die folgende Methode `countLetters()` als Elemente eines **HashMap<Character,**`Mint`**>** - Objekts:

```
public static HashMap<Character, Mint> countLetters(String text) {
 HashMap<Character,Mint> fred = new HashMap<Character,Mint>();
 Mint temp;
 for (int i = 0; i < text.length(); i++)
  if (Character.isLetter(text.charAt(i))) {
   Character c = new Character(text.charAt(i));
   if (fred.containsKey(c)) {
    temp = fred.get(c);
    temp.val++;
    fred.put(c, temp);
   } else
    fred.put(c, new Mint(1));
  }
 return fred;
}
```

Wie die in Abschnitt 8.4.2 beschriebene Klasse **HashSet<E>** arbeitet auch die Klasse **HashMap<K,V>** mit einer Hashtabelle, d.h. einem Array aus einfach verketteten Listen. Folglich muss

in der **K**-Konkretisierungsklasse durch Überschreiben des **Object**-Erbstücks eine **hashCode()**-Implementierung vorliegen, welche die in Abschnitt 8.4.2 angegebenen Bedingungen erfüllt.[1]

Ein **HashMap<K,V>** - Objekt kann so skizziert werden:



Um die (Schlüssel-Wert) - Paare in einem **HashMap<K,V>** - Container sukzessive anzusprechen, kann man über die Methode **entrySet()** ein Mengenverwaltungsobjekt mit den (Schlüssel-Wert) - Paaren als Elementen anfordern und dessen Iterator (siehe Abschnitt 8.6) benutzen. Dabei zeigt sich erwartungsgemäß eine zufällig wirkende Reihenfolge. Mit der Klasse **LinkedHashMap<K,V>** steht eine **HashMap<K,V>** - Ableitung zur Verfügung, deren Objekte sich die Einfügereihenfolge der Elemente merken. Dies wird durch den Zusatzaufwand einer doppelt verlinkten Liste realisiert, und im Ergebnis erhält man einen Iterator, der die Einfügereihenfolge verwendet.

8.5.3 Interfaces für Abbildungen auf geordneten Mengen

Analog zu den Verhältnissen bei den Schnittstellen **Set<E>**, **SortedSet<E>** und **NavigableSet<E>** zur Mengenverwaltung (siehe Abschnitt 8.4) existieren für Abbildungen über geordneten Mengen zum Interface **Map<K,V>** die folgenden Erweiterungen:

---

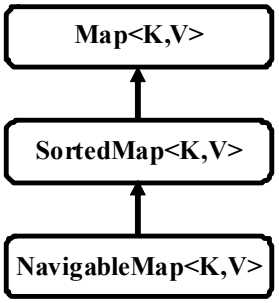
[1] Ein Blick in den API-Quellcode zeigt übrigens, dass die Klasse **HashSet<E>** intern ein **HashMap<E,V>** - Objekt verwendet, als **V**-Typ **Object** angibt und alle Elemente mit einem Dummy-Objekt als **V**-Wert anlegt:

```
// Dummy value to associate with an Object in the backing Map
private static final Object PRESENT = new Object();

/**
 * Constructs a new, empty set; the backing <tt>HashMap</tt> instance has
 * default initial capacity (16) and load factor (0.75).
*/
public HashSet() {
map = new HashMap<E,Object>();
}
```

- das traditionelle Interface **SortedMap<K,V>**
- das mit Java 6 als designierter Nachfolger hinzu gekommene Interface **NavigableMap<K,V>**

Hier sind die drei Interfaces und Ihre Beziehungen zu sehen:



Das Interface **SortedMap<K,V>** fordert von implementierenden Klassen u.a. die folgenden Methoden:

- **public K firstKey()**
  Liefert den ersten (kleinsten) Schlüssel in der sortierten Abbildung
- **public K lastKey()**
  Liefert den letzten (größten) Schlüssel in der sortierten Abbildung
- **public SortedMap<K,V> headMap(K** *obereSchranke***)**
  Man erhält ein Objekt aus einer Klasse, welche das Interface **SortedMap<E>** erfüllt, und als Sicht (engl.: *View*) auf der Teilmenge der (Schlüssel-Wert) - Paare aus der angesprochenen Abbildung mit einem Schlüssel *unterhalb* der oberen Schranke operiert. Alle Methoden des View-Objekts wirken sich auf die Originalkollektion aus, so dass man z.B. mit der Methode **clear()** die komplette **headMap()** - Teilmenge löschen kann.
- **public SortedMap<K,V> tailMap(K** *untereSchranke***)**
  Die Methoden des resultierenden View-Objekts wirken auf die Teilmenge der (Schlüssel-Wert) - Paare aus der angesprochenen Abbildung mit einem Schlüssel oberhalb der unteren Schranke.
- **public SortedMap<K,V> subMap(K** *untereSchranke,* **K** *obereSchranke***)**
  Die Methoden des resultierenden View-Objekts wirken auf die Teilmenge der (Schlüssel-Wert) - Paare aus der angesprochenen Abbildung mit einem Schlüssel, der größer als die untere Schranke und kleiner als die obere Schranke ist.

Das seit Java 6 vorhandene Interface **NavigableMap<K,V>** erweitert das Interface **SortedMap<K,V>** und ist als Nachfolger vorgesehen. U.a. werden zusätzlich die folgenden Methoden gefordert:

- **public Map.Entry<K,V> firstEntry()**
  Aus der navigierbaren Abbildung wird das Element mit dem ersten (kleinsten) Schlüssel als Rückgabe geliefert. Zum Interface-Datentyp **Map.Entry<K,V>** siehe die Beschreibung der **Map<K,V>** - Methode **entrySet()** in Abschnitt 8.5.1.
- **public Map.Entry<K,V> lastEntry()**
  Aus der navigierbaren Abbildung wird das Element mit dem letzten (größten) Schlüssel als Rückgabe geliefert.
- **public Map.Entry<K,V> pollFirstEntry()**
  Aus der navigierbaren Abbildung wird das Element mit dem ersten (kleinsten) Schlüssel als Rückgabe geliefert und gelöscht.

- **public Map.Entry<K,V> pollLastEntry()**
  Aus der navigierbaren Abbildung wird das Element mit dem letzten (größten) Schlüssel als Rückgabe geliefert und gelöscht.
- **public K ceilingKey(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den kleinsten Schlüssel in der navigierbaren Abbildung, der mindestens ebenso groß ist wie der Aktualparameter.
- **public K floorKey(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den größten Schlüssel in der navigierbaren Abbildung, welcher den Aktualparameter *nicht* übertrifft.
- **public K higherKey(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den kleinsten Schlüssel in der navigierbaren Abbildung, welcher den Aktualparameter übertrifft.
- **public K lowerKey(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den größten Schlüssel in der navigierbaren Abbildung, welcher dem Aktualparameter unterlegen ist.
- **public Map.Entry<K,V> ceilingEntry(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den Eintrag in der navigierbaren Abbildung mit dem kleinsten Schlüssel, der mindestens ebenso groß ist wie der Aktualparameter.
- **public Map.Entry<K,V> floorEntry(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den Eintrag in der navigierbaren Abbildung mit dem größten Schlüssel, welcher den Aktualparameter *nicht* übertrifft.
- **public Map.Entry<K,V> higherEntry(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den Eintrag in der navigierbaren Abbildung mit dem kleinsten Schlüssel, welcher den Aktualparameter übertrifft.
- **public Map.Entry<K,V> lowerEntry(K** *key***)**
  Man erhält als Rückgabe den Eintrag in der navigierbaren Abbildung mit dem größten Schlüssel, welcher dem Aktualparameter unterlegen ist.

Existiert kein passendes Element, liefert die Methoden **firstEntry()**, **lastEntry()**, **pollFirstEntry()**, **pollLastEntry()**, **ceilingKey()**, **floorKey()**, **higherKey()**, **lowerKey()**, **ceilingEntry()**, **floorEntry()**, **higherEntry()** und **lowerEntry()** den Wert **null**. Im Abschnitt 8.5.4 über die Klasse **TreeMap<K,V>** findet sich ein Beispielprogramm, das einige **NavigableMap<K,V>** - Methoden demonstriert.

8.5.4 Die Klasse TreeMap<K,V>

Analog zu den Verhältnissen bei den Mengenverwaltungsklasse **HashSet<E>** und **TreeSet<E>** gibt es zur Abbildungsverwaltungsklasse **HashMap<K,V>** für vollständig geordnete Schlüsseltypen eine Alternative namens **TreeMap<K,V>** mit einem balancierten Binärbaum zur Verwaltung der Schlüssel. Diese Klasse erfüllt neben dem Interface **Map<K,V>** auch die Schnittstellen **SortedMap<K,V>** und **NavigableMap<K,V>** für Abbildungen über geordneten Mengen.

Analog zur Klasse **TreeSet<E>** (siehe Abschnitt 8.4.3) gibt es auch bei der Klasse **TreeMap<K,V>** zwei Möglichkeiten, die Ordnung der Elemente zu begründen:

- Der Schlüsseltyp **K** erfüllt das Interface **Comparable<K>**, besitzt also eine Instanzmethode **compareTo()**.

- Man übergibt dem **TreeMap<K,V>** - Konstruktor ein Objekt, das die Schnittstelle **Comparator<K>** erfüllt und folglich für den Typ **K** eine geeignete Vergleichsmethode

  public int compare(K *k1*, **K** *k2***)**

  bietet.

Ersetzt man in der Buchstabenfrequenzen - Methode `countLetters()` aus Abschnitt 8.5.2 das **HashMap<Character,**`Mint`**>** - Objekt durch ein **TreeMap<Character,**`Mint`**>** - Objekt,

```
public static TreeMap<Character, Mint> countLetters(String text) {
 TreeMap<Character,Mint> fred = new TreeMap<Character,Mint>();
 Mint temp;
 for (int i = 0; i < text.length(); i++)
  if (Character.isLetter(text.charAt(i))) {
   Character c = new Character(text.charAt(i));
   if (fred.containsKey(c)) {
    temp = fred.get(c);
    temp.val++;
    fred.put(c, temp);
   } else
    fred.put(c, new Mint(1));
  }
 return fred;
}
```

dann sind die Elemente der Rückgabe gemäß der **compareTo()** - Implementierung in der Klasse **Character** sortiert:

```
L --> 1
O --> 1
e --> 1
i --> 1
l --> 1
o --> 3
p --> 1
s --> 1
t --> 5
```

Im folgenden Programm sind einige Methoden aus dem Interface **NavigableMap<Integer,String>** (vgl. Abschnitt 8.5.3) bei der Arbeit zu beobachten:

Quellcode	Ausgabe
`import java.util.*;` `class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `   TreeMap<Integer,String> tms = new TreeMap<>();` `   tms.put(1,"a"); tms.put(2,"b"); tms.put(4,"d");` `   System.out.println(tms);` `   Map.Entry<Integer,String> fi = tms.firstEntry();` `   System.out.println(fi.getValue());` `   fi = tms.pollFirstEntry();` `   System.out.println(tms);` `   System.out.println("\nceilingKey(3) = "+tms.ceilingKey(3));` `   System.out.println("floorKey(3)   = "+tms.floorKey(3));` `   System.out.println("heigherKey(4) = "+tms.higherKey(4));` `   System.out.println("lowerKey(4)   = "+tms.lowerKey(3));` `  }` `}`	`{1=a, 2=b, 4=d}` `a` `{2=b, 4=d}` `ceilingKey(3) = 4` `floorKey(3)   = 2` `heigherKey(4) = null` `lowerKey(4)   = 2`

8.5.5 Concurrent Collections

Das mit Java 5 (alias 1.5) eingeführte und später noch erweiterte Paket **java.util.concurrent** bietet Schnittstellen und Klassen zur Multithreading-Unterstützung bei Abbildungs-Kollektionen:

- Die Klasse **ConcurrentHashMap** erfüllt das von **java.util.Map<K,V>** abstammende Interface **ConcurrentMap<K,V>** und taugt als Thread-sichere Alternative zur Klasse **HashMap**.
- Die Klasse **ConcurrentSkipListMap** erfüllt das von **ConcurrentMap<K,V>** abstammende Interface **ConcurrentNavigableMap<K,V>** und taugt als Thread-sichere Alternative zur Klasse **TreeMap**.

Wer Abbildungs-Kollektionen in einem Multithreading - Programm (siehe Kapitel 16) einsetzt, sollte sich über diese Typen informieren (z.B. im Java-Tutorial, Oracle 2012).

8.6 Iteratoren

Die **Collection<E>** - Methode **iterator()** liefert ein Objekt, das die generische Schnittstelle **Iterator<E>** erfüllt und folglich u.a. die folgenden Methoden beherrscht:

- **public boolean hasNext()**
  Befindet sich hinter der aktuellen Iterator-Position noch ein weiteres Element, wird der Rückgabewert **true** geliefert, sonst **false**.

Position des Iterators (|)	**hasNext()**-Rückgabe
X|YZ	**true**
XYZ|	**false**

- **public E next()**
  Diese Methode liefert das nächste Element hinter dem Iterator und verschiebt den Iterator um eine Position nach rechts:

Position des Iterators (|) vor next()	**Position des Iterators (|) nach next()**
X|YZ	XY|Z

  Gibt es kein nächstes Element, wirft die Methode eine **NoSuchElementException** -Ausnahme (zur Ausnahmebehandlung siehe Kapitel 1).

- **public void remove()**
  Ein **remove()**-Aufruf entfernt das zuletzt per **next()** abgerufene Listenelement. Einem **remove()**-Aufruf muss also ein erfolgreicher **next()**-Aufruf vorangehen, der noch nicht durch einen anderen **remove()**-Aufruf verwertet worden ist.
  Dies ist die einzige zulässige Modifikation der Kollektion während einer Iteration. Bei sonstigen Änderungen ist das Verhalten des Iterators unspezifiziert.
  Die Methode **remove()** ist in der API-Dokumentation durch den Zusatz *optional operation* markiert (vgl. Abschnitt 7.1). Es ist einer Klasse erlaubt, sich in der Implementation dieser Methode auf das Werfen einer **UnsupportedOperationException** zu beschränken. Es wird allerdings von jeder implementierenden Klasse erwartet, es in der Dokumentation offen zu legen, wenn nur eine Pseudo-Implementation vorhandne ist.

Das folgende Programm demonstriert die Erstellung und Verwendung des Iterators zu einem **LinkedList<String>**-Objekt:

Quellcode	Ausgabe
`import java.util.*;` `class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `   LinkedList<String> ls = new LinkedList<String>();` `   ls.add("Otto"); ls.add("Luise"); ls.add("Rainer");` `   Iterator<String> ist = ls.iterator();` `   while (ist.hasNext())` `    System.out.println(ist.next());` `   ist.remove();// Letzte next()-Rückgabe entfernen` `   System.out.println("\nRest der Liste:");` `   for (String s : ls)` `    System.out.println(s);` `  }` `}`	`Otto` `Luise` `Rainer` `Rest der Liste:` `Otto` `Luise`

Iteratoren haben einen Einsatzschwerpunkt bei verketteten Listen (siehe Abschnitt 8.3.2), wo sie im Vergleich zum zeitaufwendigen Indexzugriff für einen Performanzschub sorgen, sie sind aber auch bei den Klassen zur Verwaltung von Mengen und Abbildungen verwendbar (vgl. Abschnitt 8.4 und 8.5). Bei einem **ArrayList<E>** - Objekt bietet die Verwendung eines Iterators den Vorteil, problemlos auf eine verkettete Liste umsteigen zu können.

Dank der **for**-Schleife für Kollektionen (vgl. Abschnitt 3.7.3.2) ist der Iterator-Einsatz oft ohne nennenswerten Aufwand zu realisieren:

for (*Elementtyp Iterationsvariable* **:** *Kollektion***)**
    Anweisung

Diese Schleife verlangt vom Kollektionsobjekt das Interface **Iterator<E>** und verwendet im Hintergrund den somit verfügbaren Iterator.

Das vom Interface **Iterator<E>** abstammende Interface **ListIterator<E>** enthält zur Unterstützung von bidirektionalen Listenpassagen zusätzlich die Methoden **hasPrevious()** und **previous()** und außerdem die Methode **set()** zum Ersetzen von Listenelementen:

- **public boolean hasPrevious()**
  Befindet sich vor der aktuellen Iterator-Position noch ein weiteres Listenelement, wird der Rückgabewert **true** geliefert, sonst **false**.
- **public E previous()**
  Diese Methode liefert das nächste Listenelement vor dem Iterator und verschiebt den Iterator um eine Position nach links.
- **public void set(E** *element***)**
  Das zuletzt von **next()** oder **previous()** gelieferte Element wird durch das Parameterobjekt ersetzt.

Über die Methode **listIterator()** der Klasse **LinkedList<E>** erhält man ein Objekt aus einer Klasse, welche das Interface **ListIterator<E>** implementiert.

8.7 Die Service-Klasse Collections

Über die bereits mehrfach erwähnte Fähigkeit, eine Thread-sichere (synchronisierte) Hülle zu einem Kollektionsobjekt zu liefern, besitzt die Service-Klasse **Collections** noch weitere, durch statische und teilweise generische Methoden realisierte Kompetenzen, z.B.:

- **public static <T extends Object & Comparable<? super T>>**
  T max(Collection<? extends T> *coll***)**
  Diese Methode liefert das größte Element einer Kollektion.
  Durch die erste, scheinbar überflüssige Restriktion (**T extends Object**) für den Typformalparameter **T**, wird aus Kompatibilitätsgründen dafür gesorgt, dass im Bytecode (nach der Typlöschung) der Rückgabetyp **Object** steht (statt **Comparable**).[1] Wie in Abschnitt 6.2 erläutert wurde, orientiert sich die Typlöschung bei multiplen Bindungen ausschließlich an der ersten Bindung.
  Mit der zweiten Restriktion (**T extends Comparable<? super T>**) wird vom Typ **T** eine Methode **compareTo()** verlangt, wobei **T** selbst oder eine Basisklasse von **T** als Parametertyp erlaubt sind. Damit ist insgesamt als **T**-Konkretisierung auch eine Kollektionsklasse möglich, welche die Methode **compareTo()** nicht selbst implementiert, sondern von einer Basisklasse erbt.
  Am Ende des Abschnitts folgen noch weitere Anmerkungen zum Kopf der **Collections**-Methode **max()**, der als komplexestes Exemplar seiner Gattung eine zweifelhafte Berühmtheit erlangt hat.
- **public static <T extends Comparable<? super T>> void sort(List<T>** *liste***)**
  Eine Kollektion wird unter Verwendung der **compareTo()** - Methode ihres Elementtyps sortiert.
- **public static void reverse(List<?> liste)**
  Die Elemente einer Liste erhalten eine umgekehrte Reihenfolge.
- **public static void shuffle(List<?> liste)**
  Diese Methode bringt die Elemente einer Liste in eine neue, zufällige Reihenfolge.
- **public <E> Collection<E> synchronizedCollection(Collection<E>** *coll***)**
  public <E> List<E> synchronizedList(List<E> *list***)**
  public <E> Set<E> synchronizedSet(Set<E> *set***)**
  public <K,V> Map<K,V> synchronizedMap(Map<K,V> *map***)**
  Zu einem Container, der die Schnittstelle **Collection<E>**, **List<E>**, **Set<E>** oder **Map<K,V>** erfüllt, erhält man eine Thread-sichere (synchronisierte) Verpackung. Was das genau bedeutet, wird im Kapitel über Multithreading behandelt.
- **public <E> Collection<E> unmodifiableCollection(Collection<? extends E>** *coll***)**
  public <E> List<E> unmodifiableList (List<? extends E> *list***)**
  public <E> Set<E> unmodifiableSet(Set<? extends E> *set***)**
  public <K,V> Map<K,V> unmodifiableMap(Map<? extends K, ? extends V> *map***)**
  Zu einem Container, der die Schnittstelle **Collection<E>**, **List<E>**, **Set<E>** oder **Map<K,V>** erfüllt, erhält man eine Sicht, die zwar einen lesenden, aber keinen schreibenden Zugriff auf die Elemente erlaubt.

Im folgenden Programm werden einige **Collections**-Methoden demonstriert:

[1] Diese Erklärung stammt von der Webseite
http://www.angelikalanger.com/GenericsFAQ/FAQSections/ProgrammingIdioms.html#FAQ104.

Quellcode	Ausgabe

```
import java.util.*;
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  LinkedList<String> ls = new LinkedList<>();
  ls.add("Otto"); ls.add("Luise"); ls.add("Rainer");
  System.out.println("Original: \t"+ls);
  Collections.sort(ls);
  System.out.println("Sortiert: \t"+ls);
  Collections.reverse(ls);
  System.out.println("Invertiert: \t"+ls);
  Collections.shuffle(ls);
  System.out.println("Verwirbelt: \t"+ls);
  System.out.println("Minimum: \t"+Collections.min(ls));
  System.out.println("Minimum: \t"+Collections.max(ls));
 }
}
```

```
Original:     [Otto, Luise, Rainer]

Sortiert:     [Luise, Otto, Rainer]

Invertiert:   [Rainer, Otto, Luise]

Verwirbelt:   [Otto, Luise, Rainer]
Minimum:      Luise
Minimum:      Rainer
```

Die **extends**-Bindungen für die Wildcard-Datentypen einiger Methodenparameter sind wenig relevant, was anschließend für das Beispiel

max(Collection<? extends T> *coll***)**

begründet werden soll. Beim Aufruf dieser generischen Methode verlässt man sich in der Regel auf die automatische Typinferenz (siehe Abschnitt 6.3). Der erschlossene Typ konkretisiert dann **T**, und es ist kein weiterer Typ im Spiel. Im folgenden Beispielprogramm wird ein Bedarf für die per **<? extends T>** erzwungene Kovarianz recht mühsam herbeikonstruiert:

Quellcode	Ausgabe

```
import java.util.*;

class A implements Comparable<A> {
 public int compareTo(A a) {
  return 0;
 }
 }

class B extends A {}

class Collections {
 public static <T extends Object & Comparable<? super T>> T
    min(Collection<? extends T> coll) {
  System.out.println(coll);
  return null;
 }
}

public class SigCollMax {
 public static void main(String[] args) {
  List<B> lib = new ArrayList<>();
  lib.add(new B());
  Collections.<A>min(lib);
  Collections.min(lib);
 }
}
```

```
[B@6fbdea60]
[B@6fbdea60]
```

Mit der alternativen **max()** - Parameterdeklaration

```
min(Collection<T> coll)
```

(ohne die erzwungene Kovarianz) scheitert der folgende Aufruf mit einer expliziten und überflüssigen Konkretisierung auf den Elementtyp `A` und einem **max()** - Aktualparameter mit dem von `A` abgeleiteten Elementtyp `B`:

```
Collections.<A>min(lib);
```

Der übliche Aufruf mit Nutzung der Typinferenz klappt aber immer noch, weil nun der konkretisierende Typ B erschlossen wird:

```
Collections.min(lib);
```

8.8 Übungsaufgaben zu Kapitel 1

1) Erstellen Sie ein Programm, das zu den Spalten einer Datenmatrix mit **double**-Elementen jeweils eine Häufigkeitstabelle erstellt und nach den Merkmalsausprägungen aufsteigend sortiert ausgibt, z.B.:

```
Datenmatrix mit 5 Fällen und 3 Merkmalen:
    1,00     2,00     4,00
    1,00     2,00     5,00
    2,00     2,00     6,00
    2,00     1,00     5,00
    3,00     1,00     4,00

Haeufigkeiten Merkmal 0:
    Wert       N
    1,00       2
    2,00       2
    3,00       1

Haeufigkeiten Merkmal 1:
    Wert       N
    1,00       2
    2,00       3

Haeufigkeiten Merkmal 2:
    Wert       N
    4,00       2
    5,00       2
    6,00       1
```

2) Erstellen Sie eine Klasse mit generischen, statischen und öffentlichen Methoden für elementare Operationen aus dem Bereich der Mengenlehre. Realisieren Sie zumindest den Schnitt, die Vereinigung und die Differenz von zwei Mengen (Kollektionsobjekten gem. Abschnitt 8.4) mit identischem (ansonsten beliebigem) Referenztyp. Für zwei Mengen

```
A = {'a', 'b', 'c'}, B = {'b', 'c', 'd'}
```

sollen ungefähr die folgenden Kontrollausgaben möglich sein:

```
Menge A
a
b
c

Menge B
b
c
d

Durchschnitt von A und B
b
c
```

```
Vereinigung von A und B
a
b
c
d

Differenz von A und B
a
```

9 Pakete

In der Standardbibliothek und auch in jeder größeren Einzelanwendung sind viele Klassen und Interfaces (Schnittstellen) anzutreffen.[1] Der Ordnung und Funktionalität halber wird jeder Typ in ein *Paket* (engl.: *package*) eingeordnet. Im Java-7-SE - API gibt es z.B. ca. 200 Pakete mit zusammengehörigen Klassen und Interfaces.

Pakete erfüllen in Java viele wichtige Aufgaben:

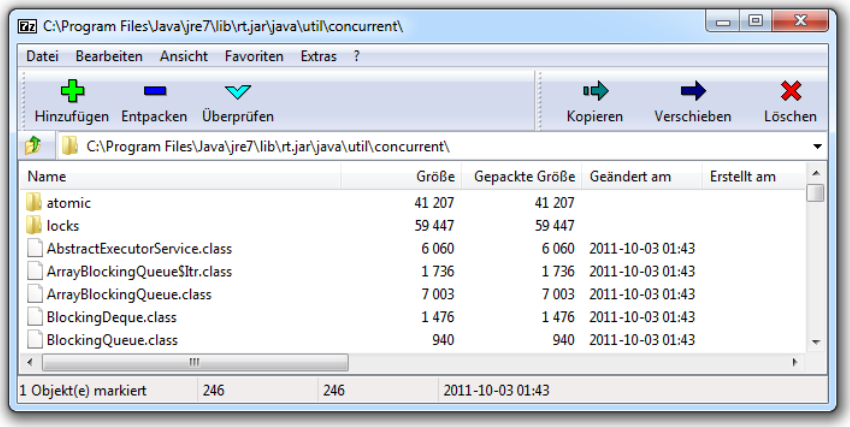
- **Große Projekte strukturieren**
  Wenn viele Typen vorhanden sind, sollte man diese nach funktionaler Verwandtschaft auf mehrere Pakete aufteilen. Ist die Paketorganisation auf ein Dateisystem abgebildet, werden alle **class**-Dateien eines Pakets in einem Ordner abgelegt, dessen Name mit dem Paketnamen übereinstimmt. Außerdem ist in jede Quellcodedatei, die zum Paket gehörige Typen (Klassen oder Interfaces) definiert, eine entsprechende **package**-Anweisung einzufügen (siehe Abschnitt 9.1), z.B.:

  ```
  package java.util.concurrent;
  ```

  Es ist auch ein *hierarchischer* Aufbau über *Unterpakete* möglich. Im Namen eines Unterpakets folgen dann die Namen aus dem Paketpfad durch Punkte getrennt aufeinander, z.B.:

  java.util.concurrent

  Bei Ablage in einem Dateisystem wird die Paketstruktur auf einen Dateiverzeichnisbaum abgebildet.
  Vor allem bei der Weitergabe von Programmen ist es nützlich, mehrere (eventuell hierarchisch organisierte) Pakete in eine **Java-Archivdatei** (mit Extension **.jar**) verpacken zu können (siehe Abschnitt 9.4). So befinden sich z.B. wesentliche Teile der Java-SE - Standardbibliothek in der Datei **rt.jar**, die man z.B. mit dem kostenlosen Hilfsprogramm 7-Zip (vgl. Abschnitt 2.1.2) öffnen kann. Hier ist der Unterordner mit dem Paket **java.util.concurrent** zu sehen:



- **Namenskonflikte vermeiden**
  Jedes Paket bildet einen eigenen Namensraum, und der vollqualifizierte Name eines Typs beginnt mit dem Namen des Pakets, in dem er sich befindet. Identische Bezeichner stellen also kein Problem dar, solange sie sich in verschiedenen Paketen befinden.
- **Zugriffskontrolle steuern**
  Per Voreinstellung ist eine Klasse nur innerhalb des eigenen Pakets sichtbar. Damit sie auch von Klassen aus fremden Paketen genutzt werden kann, muss in der Klassendefinition der

[1] Weil Enumerationen spezielle Klassen und Annotationen spezielle Interfaces sind, wurden sie nicht explizit aufgelistet.

Zugriffsmodifikator **public** gesetzt werden. In Abschnitt 9.3 wird die Rolle der Pakete bei der Zugriffsverwaltung genauer erläutert.

Bei der Paketierung handelt es sich nicht um eine *Option* für große Projekte, sondern um ein universelles Prinzip: Jeder Typ (Klasse oder Schnittstelle) gehört zu einem Paket. Wird ein Typ keinem Paket explizit zugeordnet, gehört er zum (unbenannten) **Standardpaket** (siehe unten).

Im Quellcode müssen fremde Typen (Klassen oder Schnittstellen) prinzipiell über ein durch Punkt getrenntes Paar aus Paketnamen und Typnamen angesprochen werden, wie Sie es schon bei etlichen Beispielen kennen gelernt haben. Bei manchen Typen ist aber *kein* Paketname erforderlich:

- Typen aus **demselben** Paket
  Bei unseren bisherigen Beispielprogrammen befanden sich alle Klassen im Standardpaket, so dass kein Paketname erforderlich war. Im speziellen Fall des Standardpakets existiert auch gar kein Name.
- Typen aus **importierten** Paketen
  Importiert man ein Paket per **import**-Anweisung in eine Quellcodedatei (siehe Abschnitt 9.2.2), können seine Typen *ohne* Paketnamen angesprochen werden. Das Paket **java.lang** mit besonders wichtigen Klassen (z.B. **Object**, **System**, **String**) wird bei jeder Anwendung *automatisch* importiert.

9.1 Pakete erstellen

9.1.1 package-Anweisung und Paketordner

Wir betrachten ein einfaches Paket namens `demopack` mit den Klassen `A`, `B` und `C`. An den Anfang jeder einzubeziehenden Quellcodedatei ist eine **package**-Anweisung mit dem Paketnamen zu setzen, der üblicherweise *komplett klein* geschrieben wird, z.B.:

```
package demopack;

public class A {
   private static int anzahl;
   private int objnr;

   public A() {
      objnr = ++anzahl;
   }

   public void prinr() {
      System.out.println("Klasse A, Objekt Nr. " + objnr);
   }
}
```

Vor der **package**-Anweisung dürfen höchstens Kommentar- oder Leerzeilen stehen.

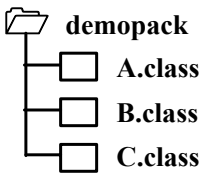
Sind in einer Quellcodedatei *mehrere* Typdefinitionen vorhanden, was in Java nur unter bestimmten Bedingungen erlaubt und generell nicht empfehlenswert ist, dann werden *alle* Typen (Klassen und Interfaces) dem Paket zugeordnet.

Die Typen eines Pakets können von Typen aus fremden Paketen nur dann verwendet werden, wenn durch den Modifikator **public** die Genehmigung erteilt wurde.

Zusätzlich müssen auch Methoden, Konstruktoren und Felder explizit per Zugriffsmodifikator für fremde Pakete freigegeben werden. Steht z.B. in einer Klasse kein **public**-Konstruktor zur Verfügung, können fremde Pakete eine Klasse zwar „sehen“, aber keine Objekte dieses Typs erzeugen. Mit den Zugriffsrechten für Klassen, Methoden und Felder werden wir uns in Abschnitt 9.3 ausführlich beschäftigen.

Bei der Paketablage in einem Dateisystem gehören die **class**-Dateien mit den Klassen und Interfaces eines Pakets in einen gemeinsamen Ordner, dessen Name mit dem Paketnamen identisch ist.[1] In unserem Beispiel mit den **public**-Klassen `A`, `B` und `C` im Paket `demopack` muss also folgende Situation hergestellt werden:

- Jede Klasse wird in einer eigenen Quellcodedatei implementiert. Wo diese Dateien abgelegt werden, ist nicht vorgeschrieben. In der Regel wird man (z.B. im Hinblick auf die Weitergabe eines Programms) die Quellcode- von den Bytecodedateien separieren.
- Die drei Bytecodedateien **A.class**, **B.class** und **C.class** befinden sich in einem Ordner namens **demopack**:



- Der Ordner **demopack** befindet sich im Suchpfad für **class**-Dateien (siehe Abschnitt 9.2.1). Per Voreinstellung ist der Suchpfad identisch mit dem aktuellen Verzeichnis.

In Abhängigkeit von der verwendeten Java-Entwicklungsumgebung geschieht das Erstellen des Paketordners und das Einsortieren der Bytecode-Dateien eventuell automatisch (siehe Abschnitt 9.1.3 für Eclipse 3.x).

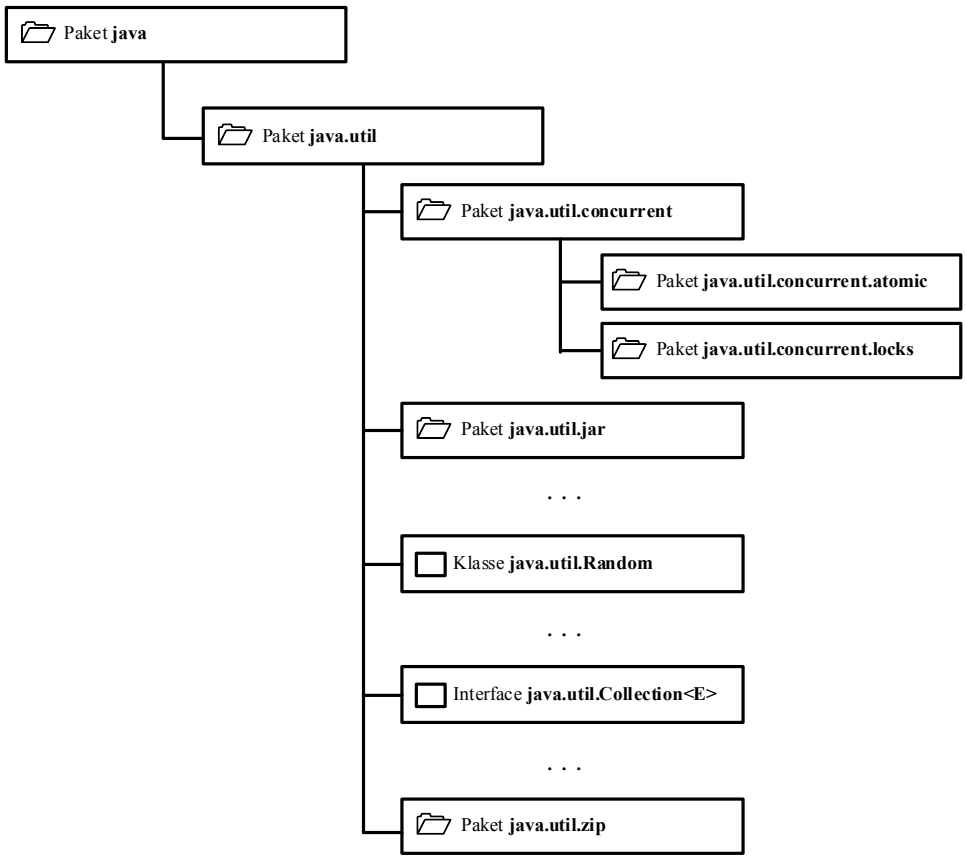
Ohne **package**-Definition am Beginn einer Quellcodedatei gehören die resultierenden Klassen und Schnittstellen zum (unbenannten) **Standardpaket** (engl. *default package* oder *unnamed package*). Diese Situation war bei all unseren bisherigen Anwendungen gegeben und aufgrund der geringen Komplexität dieser Projekte auch angemessen. Eine wesentliche Einschränkung für Typen im Standardpaket besteht darin, dass sie (auch bei einer Dekoration mit dem Zugriffsmodifikator **public**) nur paketintern, d.h. für andere Typen im Standardpaket sichtbar sind.

Um vom Compiler und von der JRE gefunden zu werden, müssen die **class**-Dateien mit den Typen des Standardpakets über den Suchpfad für Bytecode-Dateien erreichbar sein (siehe Abschnitt 9.3.1). Bei passender CLASSPATH-Definition dürfen sich die Dateien also in verschiedenen Ordnern oder auch Java-Archiven befinden. Wir haben z.B. im Kursverlauf die zum Standardpaket gehörige Klasse `Simput` in einem zentralen Ordner oder Java-Archiv abgelegt und für verschieden Projekte (d.h. die jeweiligen Typen im Standardpaket) nutzbar gemacht. Dazu wurde der Ordner oder das Archiv mit der Datei **Simput.class** per CLASSPATH-Definition oder eine äquivalente Technik unserer Entwicklungsumgebung Eclipse (vgl. Abschnitt 3.4.2) in den Suchpfad für **class**-Dateien aufgenommen.

9.1.2 Unterpakete

Mit Ausnahme des Standardpakets kann ein Paket **Unterpakete** enthalten, was bei den Java-API-Paketen in der Regel der Fall ist, z.B.:

[1] Alternative Optionen zur Ablage von Paketen (z.B. in einer Datenbank) werden in diesem Manuskript nicht behandelt (siehe Gosling et al. 2011, Abschnitt 7.2).



Auf jeder Stufe der Pakethierarchie können sowohl Typen (Klassen, Interfaces) als auch Unterpakete enthalten sein. So enthält z.B. das Paket **java.util** u.a.

- die Klassen **Arrays**, **Random**, **Vector<E>**, ...
- die Interfaces **Collection<E>**, **List<E>**, **Map<K,V>**, ...
- die Unterpakete **concurrent**, **jar**, **zip**, ...

Soll eine Klasse einem Unterpaket zugeordnet werden, muss in der **package**-Anweisung am Anfang der Quellcodedatei der gesamte Paketpfad angegeben werden, wobei die Namensbestandteile jeweils durch einen Punkt getrennt werden. Es folgt der Quellcode der Klasse `X`, die zusammen mit der analog definierten Klasse `Y` in das Unterpaket `sub1` des `demopack`-Pakets eingeordnet wird:

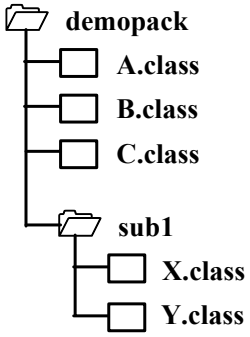
```
package demopack.sub1;

public class X {
   private static int anzahl;
   private int objnr;

   public X() {
      objnr = ++anzahl;
   }

   public void prinr() {
      System.out.println("Klasse X, Objekt Nr. " + objnr);
   }
}
```

Bei der Paketablage in einem Dateisystem müssen die **class**-Dateien in einem zur Pakethierarchie analog aufgebauten Dateiverzeichnisbaum abgelegt werden, der in unserem Beispiel folgendermaßen auszusehen hat:



Zu einem Paket gehören:

- Die in Quellcodedateien mit entsprechender **package**-Anweisung definieren Typen
- Unterpakete
  Damit kann ein Unterpaket nicht denselben Namen tragen wie ein Top-Level - Typ im Paket. Bei *internen* Typen (siehe z.B. Abschnitt 7.1 zu internen Schnittstellen) kann es nicht zu einer Namenskollision kommen.

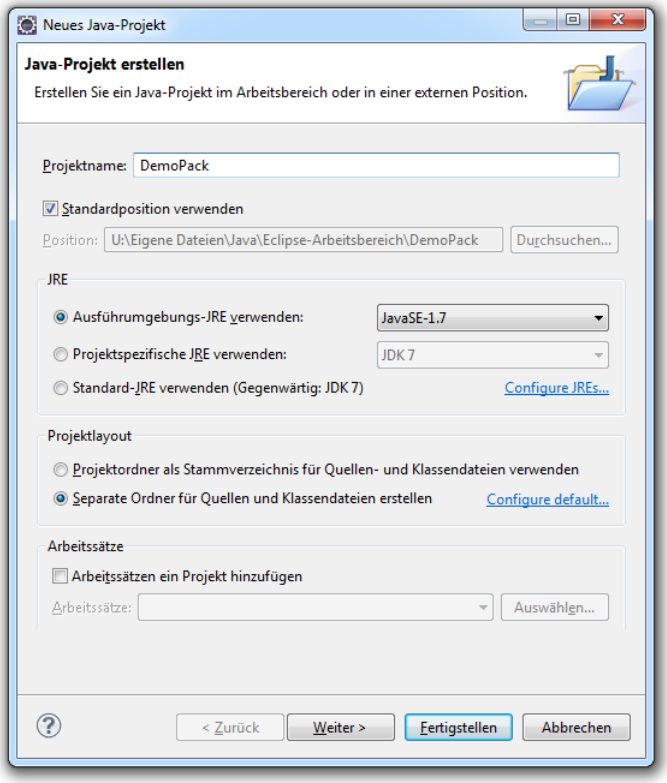
Mitglieder (z.B. Typen) eines Unterpakets gehören *nicht* zum übergeordneten Paket, was beim Importieren von Paketen (siehe Abschnitt 9.2.2) zu beachten ist. Außerdem haben gemeinsame Bestandteile im Paketnamen keine Relevanz für die wechselseitigen Zugriffsrechte (vgl. Abschnitt 9.3). Klassen im Paket `demopack.sub1` haben z.B. für Klassen im Paket `demopack` dieselben Rechte wie Klassen in beliebigen anderen Paketen.

9.1.3 Paketunterstützung in Eclipse 3.x

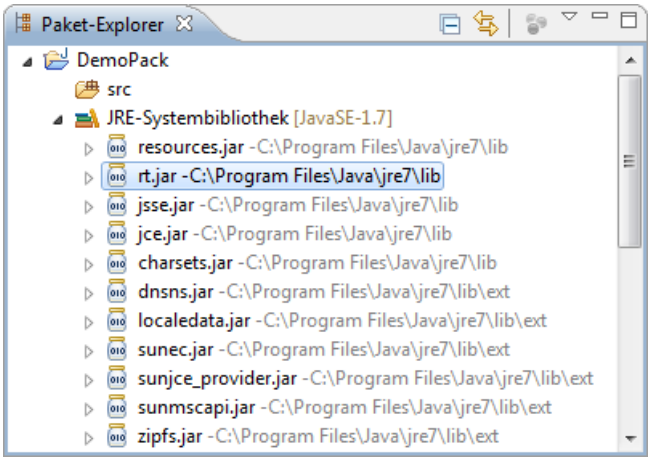
Nachdem schon einige Quellen aus dem Beispielpakt `demopack` zu sehen waren, geht es nun endlich an die Erstellung. Wir starten in Eclipse über

Datei > Neu > Java-Projekt

ein neues Java-Projekt mit dem Namen `DemoPack`:



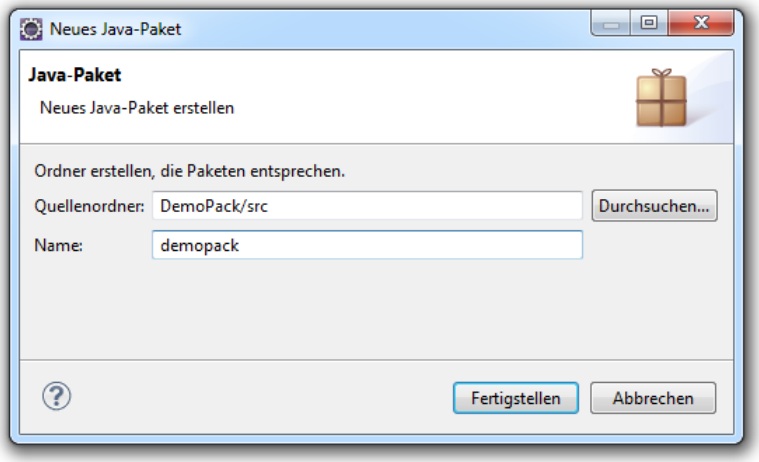
Zunächst zeigt der Paket-Explorer zum neuen Projekt nur die API-Klassenbibliothek an:



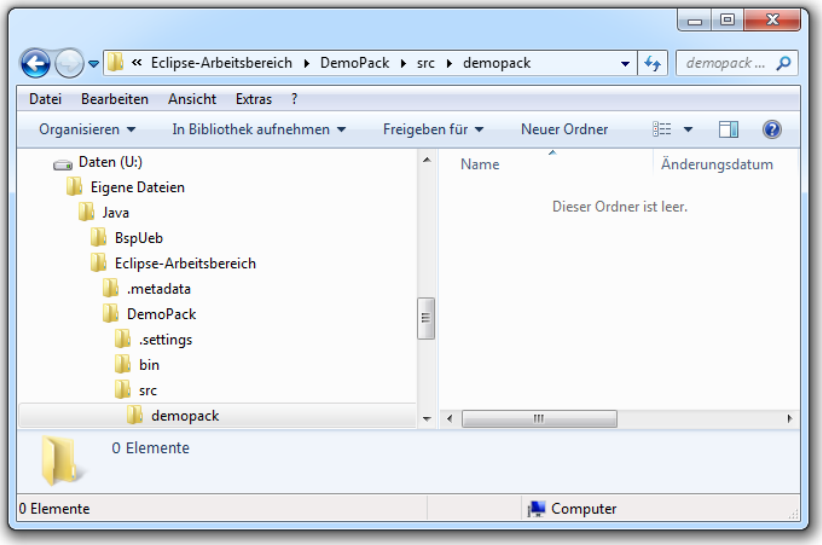
Aus dem Kontextmenü zum Projekteintrag im Paket-Explorer wählen wir die Option

Neu > Paket

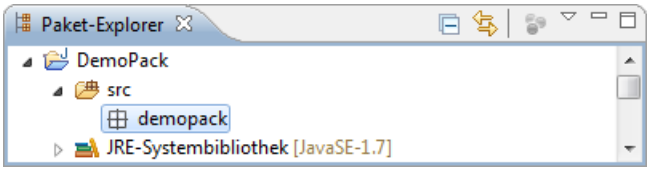
und geben in folgender Dialogbox den gewünschten Namen für das neue Paket an:



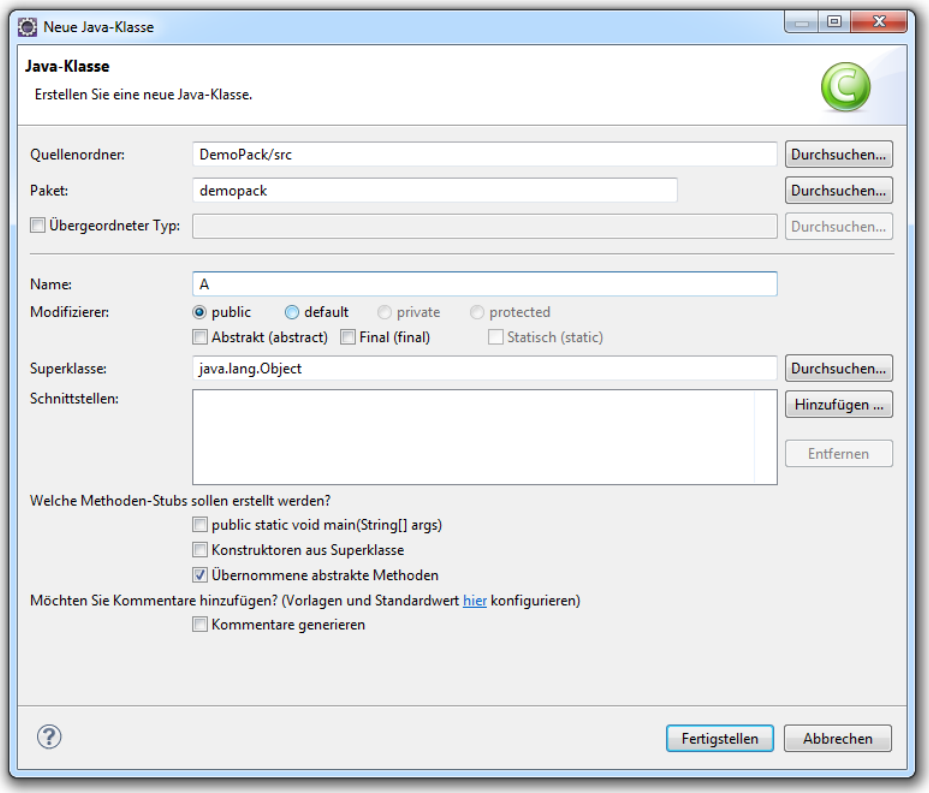
Anschließend erzeugt Eclipse im **src**- Unterordner des Projekts (zur Aufnahme der Quellcodedateien) und im **bin**-Unterordner des Projekts (zur Aufnahme der Bytecode-Dateien) jeweils einen Unterordner namens **demopack**, z.B.:



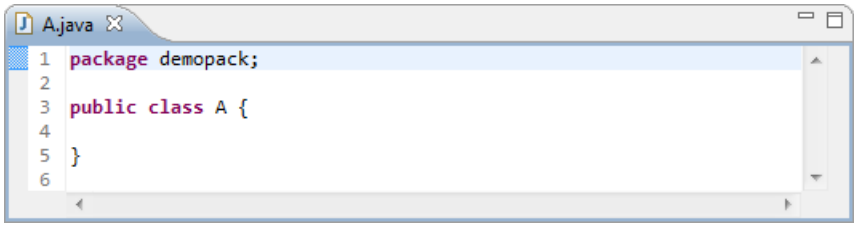
Im Paket-Explorer von Eclipse erscheint der **demopack**-Ordner zur Aufnahme der Quellcodedateien zum neuen Paket:



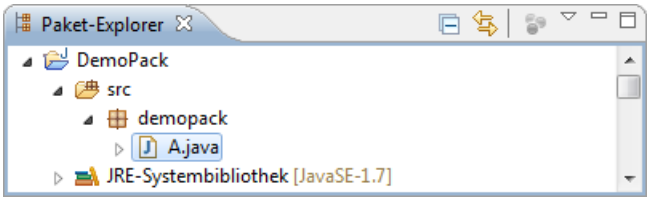
Nun legen wir im Paket `demopack` die Klasse `A` an, z.B. über den Eintrag **Neu > Klasse** im Kontextmenü zum Paket:



Nach dem **Fertigstellen** startet Eclipse im Editor eine Klassendefinition mit **package**-Anweisung



und zeigt im Paket-Explorer den aktuellen Projekt-Entwicklungsstand:



Wir vervollständigen den Quellcode der Klasse `A` (siehe Abschnitt 9.1.1) und legen analog auch die Klassen `B` und `C` im Paket `demopack` an:

```
package demopack;

public class B {
  private static int anzahl = 0;
  private int objnr;

  public B() {
    objnr = ++anzahl;
  }

  public void prinr() {
    System.out.println("Klasse B, Objekt Nr. " +
                       objnr);
  }
}
```

```
package demopack;

public class C {
  private static int anzahl;
  private int objnr;

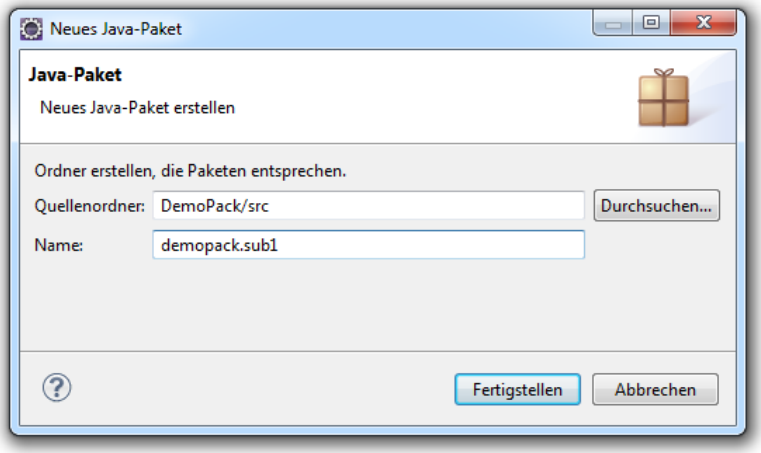
  public C() {
    objnr = ++anzahl;
  }

  public void prinr() {
    System.out.println("Klasse C, Objekt Nr. " +
                       objnr);
  }
}
```

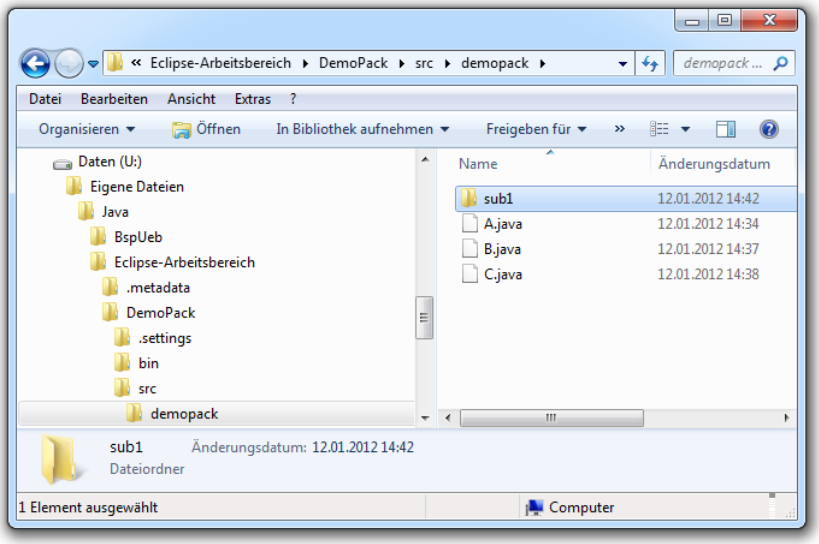
Um das Unterpaket `sub1` zu erzeugen, wählen wir im Paket-Explorer aus dem Kontextmenü zum Paket `demopack` das Item

Neu > Paket

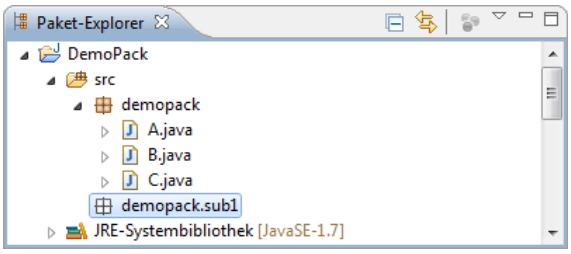
und geben in folgender Dialogbox den gewünschten Namen für das Unterpaket an:



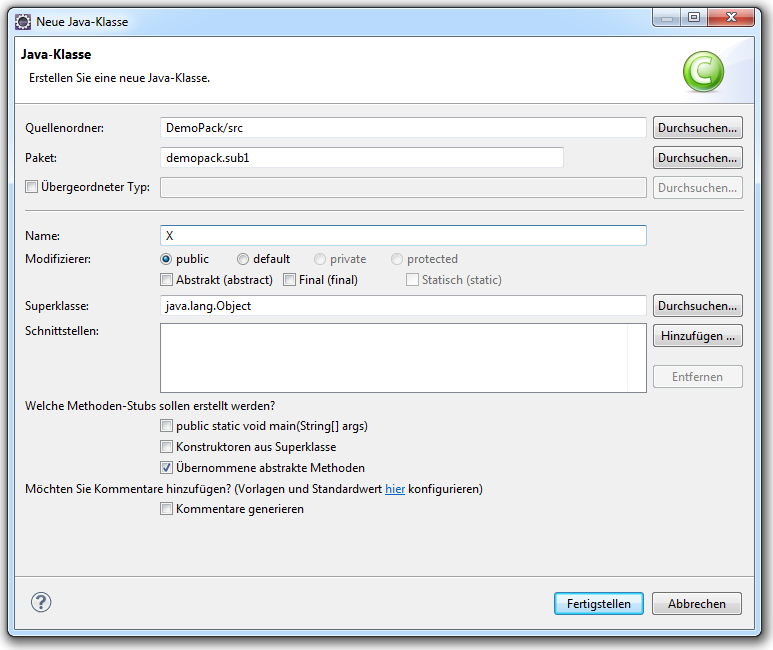
Anschließend erzeugt Eclipse den Ordner **demopack\sub1** im **src**- und im **bin**-Unterordner des Projekts, z.B.:



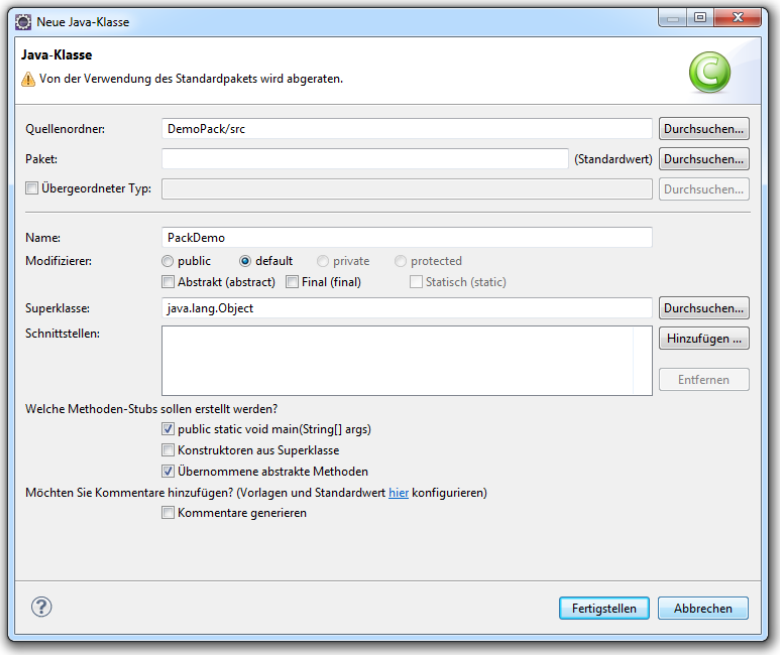
Im Paket-Explorer erscheint das Paket `demopack.sub1`:



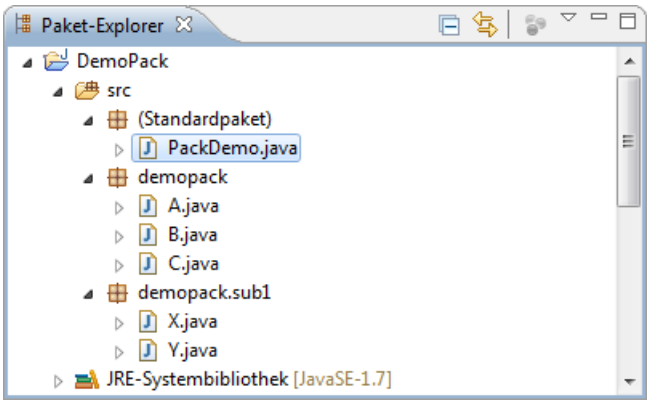
In diesem Unterpaket legen wir nun (z.B. über den Eintrag **Neu > Klasse** im Kontextmenü) die Klasse `X` an, deren Quellcode schon in Abschnitt 9.1.2 zu sehen war,



und danach die analog aufgebaute Klasse `Y`. Schließlich erstellen wir noch eine Startklasse namens `PackDemo` (bitte die Reihenfolge der Namensbestandteile beachten) im *Standardpaket* zu Testzwecken (Quellcode folgt in Abschnitt 9.2.2),



so dass im Paket-Explorer folgendes Bild entsteht:



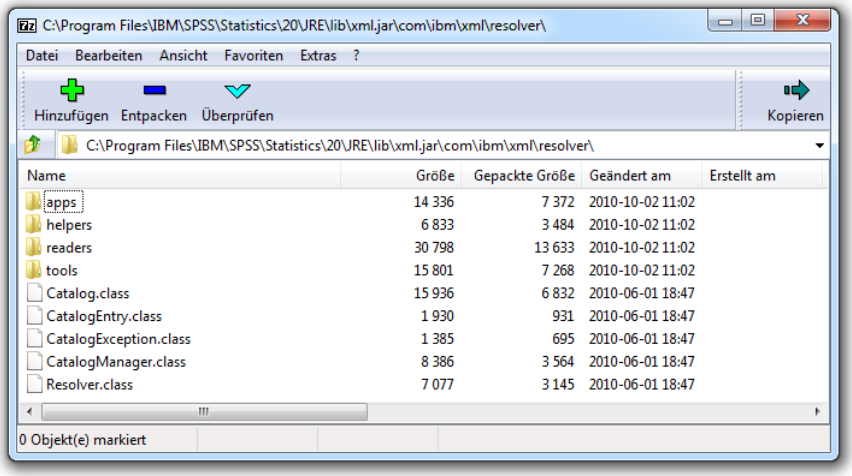
9.1.4 Konventionen für weltweit eindeutige Paketnamen

Bei Verwendung einfacher Paketnamen (wie im Beispiel `demopack`) kann es passieren, dass sich zwei Entwickler(teams) für denselben Namen entscheiden. Dies wird zum Problem, wenn irgendwann die beiden gleichnamigen Pakete in *einem* Programm verwendet werden sollen. Professionelle Software-Hersteller sollten daher durch Beachtung der folgenden Regeln für weltweit eindeutige Paketnamen sorgen:[1]

- Unter der Voraussetzung, dass eine eigene Internet-Domäne vorhanden ist, werden die Bestandteile des Domänennamens in umgekehrter Reihenfolge den Namen der eigenen Pakete vorangestellt. Erstellt z.B. die Firma **IBM** mit der Internet-Domäne **ibm.com** das Paket **xml.resolver**, dann sollte der folgende Name verwendet werden:

  com.ibm.xml.resolver

  Unter Beachtung dieser Regel hat die Firma **IBM** zusammen mit dem Programm **SPSS Statistics** (Version 20) in der Java-Archivdatei **xml.jar** das als Beispiel verwendete Paket ausgeliefert:



- Für die Vermeidung firmeninterner Namenskonflikte ist jeder Software-Hersteller selbst verantwortlich.

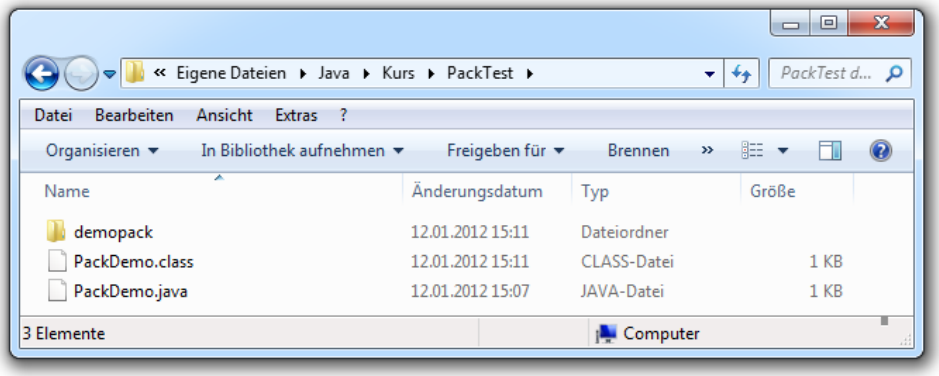
[1] Siehe: http://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/package/namingpkgs.html

9.2 Pakete verwenden

9.2.1 Verfügbarkeit der class-Dateien

Damit ein Paket genutzt werden kann, muss es sich an einem Ort befinden, der vom Compiler bzw. Interpreter bei Bedarf nach Klassen und Schnittstellen durchsucht wird. Die API-Pakete werden auf jeden Fall gefunden. Sonstige Pakete können auf unterschiedliche Weise in den Suchraum aufgenommen werden (vgl. Abschnitt 2.2.4). Wir ignorieren vorläufig Pakete in Java-Archiven (siehe Abschnitt 9.4) und beschränken uns passend zum Entwicklungsstadium des `demopack`-Beispiels auf Pakete in Verzeichnissen:

- Per Voreinstellung beschränkt sich der Suchpfad auf das **aktuellen Verzeichnis**
  Befindet sich das oberste Verzeichnis im Paketnamen (in unserem Beispiel: **demopack**) im selben Ordner wie die zu übersetzende oder auszuführende Klasse (im Beispiel: **PackDemo.java**), dann werden die Paketklassen vom JDK-Compiler bzw. von der JRE gefunden:

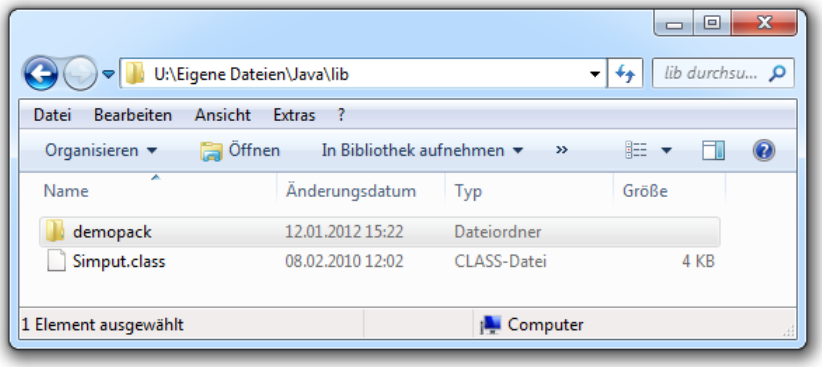


  Dies ist natürlich keine sinnvolle Option, wenn ein Paket in mehreren Projekten eingesetzt werden soll.

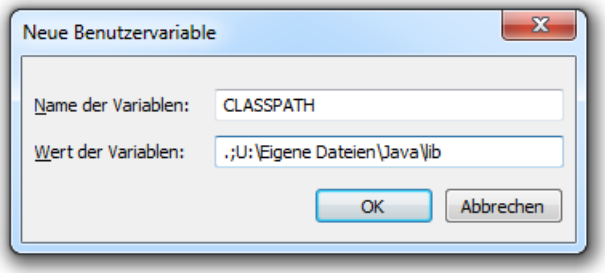
- Paketordner in der **CLASSPATH**-Umgebungsvariablen berücksichtigen
  Über die Betriebssystem-Umgebungsvariable CLASSPATH lässt sich der Suchpfad für **class**-Dateien anpassen. Bislang haben wir uns darauf beschränkt, den Ordner (oder die Archiv-Datei) mit der Standardpaket-Klasse **Simput.class** bekannt zu geben (vgl. Abschnitt 2.2.4). Auf diese Weise lassen sich aber auch komplette Pakete (samt Unterpaketen) verfügbar machen. Wenn sich z.B. der Ordner zur oberste Paketebene (in unserem Beispiel: **demopack**) im Ordner

  U:\Eigene Dateien\Java\lib

  befindet,



  kann die CLASSPATH-Definition etwa lauten:



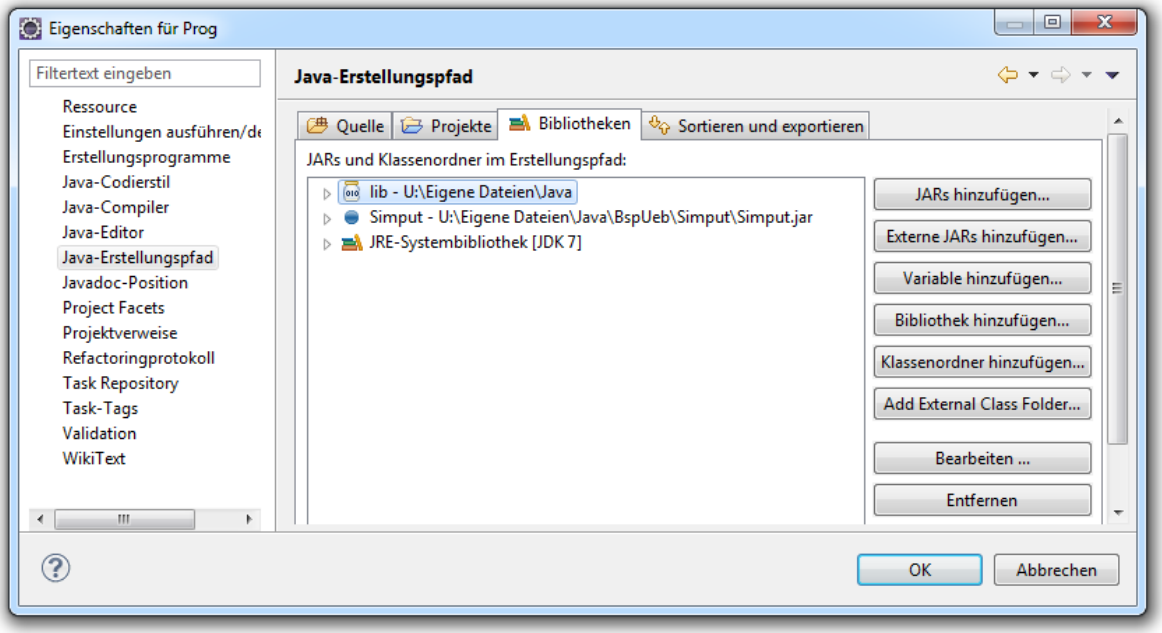
Der JDK-Compiler und die JRE finden z.B. den Bytecode der Klasse **demopack.A**, indem sie jedes Verzeichnis in der CLASSPATH-Definition nach der Datei **...\demopack\A.class** durchsuchen.

Unsere Entwicklungsumgebung Eclipse berücksichtigt die Umgebungsvariable CLASSPATH *nicht*, bietet aber eine alternative Möglichkeit zur Definition eines Suchpfads für **class**-Dateien (siehe Abschnitt 3.4.2).

- **classpath**-Befehlszeilenoption beim Aufruf des JDK-Compilers bzw. Interpreters angeben
  Bei Aufruf der JDK-Werkzeuge **javac.exe**, **java.exe** und **javaw.exe** lässt sich die CLASSPATH-Umgebungsvariable durch die **classpath**-Befehlszeilenoption (abzukürzen mit **cp**) dominieren, z.B.:

```
>javac -cp ".;U:\Eigene Dateien\Java\lib" PackDemo.java
>java -cp ".;U:\Eigene Dateien\Java\lib" PackDemo
```

In Eclipse kann man einen nicht zum Projekt gehörigen Paketordner verfügbar machen, indem man per Projekt-Eigenschaftsdialog das übergeordnete Verzeichnis als externen Klassenordner (engl.: *external class folder*) in den **Java-Erstellungspfad** aufnimmt, z.B.:



Für einen in vielen Projekten benötigten externen Klassenordner sollte man auf Arbeitsbereichsebene eine Klassenpfadvariable definieren (vgl. Abschnitt 3.4.2).

9.2.2 Typen aus fremden Paketen ansprechen

Für den (an entsprechende Rechte gebundenen) Zugriff auf die Typen eines fremden und von **java.lang** verschiedenen Pakets bietet Java folgende Möglichkeiten:

- **Verwendung des vollqualifizierten Namens**
  Dem Klassennamen ist der durch Punkt abgetrennte Paketnamen voranzustellen. Bei einem hierarchischen Paketaufbau ist der gesamte Pfad anzugeben, wobei die Unterpaketnamen wiederum durch Punkte zu trennen sind. Wir haben bereits mehrfach die Klasse **Random** im Paket **java.util** auf diese Weise angesprochen, z.B.:

```
java.util.Random zzg = new java.util.Random();
```

  Bei einem mehrfach benötigten Typ wird es schnell lästig, den vollqualifizierten Namen schreiben zu müssen. Außerdem erschweren zahlreich auftretende Paketnamen die Lesbarkeit des Quellcodes.

- **Import eines einzelnen Typs**
  Um die lästige Angabe von Paketnamen zu vermeiden, kann man eine Klasse oder Schnittstelle in eine Quellcodedatei *importieren*. Anschließend ist der Typ durch seinen einfachen Namen (ohne Paket-Präfix) anzusprechen. Die zuständige **import**-Anweisung ist an den Anfang einer Quellcodedatei zu setzen, ggf. aber *hinter* eine **package**-Deklaration (vgl. Abschnitt 9.1.1). In folgendem Programm wird die Klasse **Random** aus dem API-Paket **java.util** importiert und verwendet:

```
import java.util.Random;
class Prog {
  public static void main(String[] args) {
    Random zzg = new Random();
    System.out.println(zzg.nextInt(101));
  }
}
```

- **Import eines kompletten Pakets**
  Um z.B. *alle* Typen aus dem Paket **java.util** zu importieren, setzt man den Joker-Stern ein:

```
import java.util.*;
```

  Beachten Sie bitte, dass *Unterpakete* dabei *nicht* einbezogen werden. Für sie ist bei Bedarf eine separate **import**-Anweisung fällig.

  Weil durch die Verwendung des Jokerzeichens *keine* Rechenzeit- oder Speicherressourcen verschwendet werden, ist dieses bequeme Vorgehen im Allgemeinen sinnvoll, wenn aus einem Paket *mehrere* Typen benötigt werden. Eventuelle Namenskollisionen (durch identische Typnamen in verschiedenen Paketen) müssen durch die Verwendung des vollqualifizierten Namens aufgehoben werden.

  Zwei Pakete werden vom Compiler automatisch importiert:
  - Das API-Paket **java.lang** mit wichtigen Klassen wie **System**, **String**, **Math**
  - Das Paket, zu dem die aktuell übersetzte Quelle gehört

- **Import von statischen Methoden und Feldern einer Klasse**
  Seit Java 5 besteht die Möglichkeit, statische Methoden und Variablen fremder Klassen zu importieren, so dass sie wie klasseneigene Elemente genutzt werden können. Bisher haben wir die statischen Mitglieder der Klasse **Math** aus dem Paket **java.lang** wie im folgenden Beispielprogramm genutzt:

```
class Prog {
  public static void main(String[] args) {
    System.out.println("Sin(Pi/2) = " + Math.sin(Math.PI/2));
  }
}
```

  Seit Java 5 lassen sich die statischen Mitglieder einer Klasse einzeln

```
import static java.lang.Math.sin;
```

  oder insgesamt importieren:

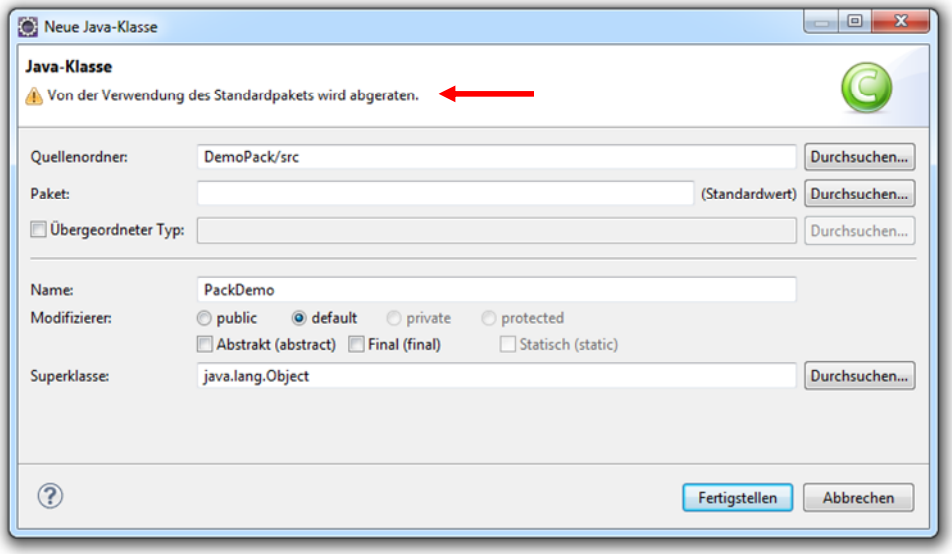
```
import static java.lang.Math.*;
class Prog {
   public static void main(String[] args) {
   System.out.println("Sin(Pi/2) = " + sin(PI/2));
   }
}
```

In der importierenden Quellcodedatei wird nicht nur der Paket- sondern auch noch der Klassenname eingespart.

In folgendem Programm, das unser `demopack`-Beispiel komplettiert, werden das Paket `demopack` und das Unterpaket `sub1` importiert:

Quellcode	Ausgabe
`import demopack.*;` `import demopack.sub1.*;` `class PackDemo {` `  public static void main(String[] args) {` `  A a1 = new A(), a2 = new A();` `  a1.prinr();` `  a2.prinr();` `  B b = new B();` `  b.prinr();` `  C c = new C();` `  c.prinr();` `  X x = new X();` `  x.prinr();` `  Y y = new Y();` `  y.prinr();` `  }` `}`	`Klasse A, Objekt Nr. 1` `Klasse A, Objekt Nr. 2` `Klasse B, Objekt Nr. 1` `Klasse C, Objekt Nr. 1` `Klasse X, Objekt Nr. 1` `Klasse Y, Objekt Nr. 1`

Die Typen im unbenannten Standardpaket sind in anderen Pakete generell (auch bei Zugriffsstufe **public**) *nicht* verfügbar. Diese gravierende Einschränkung haben wir der Einfachheit halber meist in Kauf genommen (z.B. auch bei den häufig verwendeten Beispielklassen `Bruch` und `Simput`), obwohl unsere Entwicklungsumgebung Eclipse stets warnt, z.B.:



9.3 Zugriffsschutz

Nach der Beschäftigung mit Paketen kann endlich präzise erläutert werden, wie in Java die Zugriffsrechte für Klassen, Interfaces, Felder, Methoden und Konstruktoren festgelegt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass für den aktuell angemeldeten Entwickler bzw. Benutzer auf der Ebene des Betriebs- bzw. Dateisystems zumindest Leserechte bestehen.

9.3.1 Zugriffsschutz für Klassen und Interfaces

Bisher haben wir uns nahezu ausschließlich mit *äußeren Klassen* (*Top-Level - Klassen*) beschäftigt, die *nicht* innerhalb des Quellcodes anderer Klassen definiert werden. Von den internen Klassen wurden bislang die lokalen Klassen (siehe Abschnitt 4.3.1.4) und die anonymen Klassen (siehe Abschnitt 4.8.6) kurz erwähnt. Mitgliedsklassen, die Sie noch nicht kennen gelernt haben (siehe Abschnitt 12.6.6.1), sind beim Zugriffsschutz wie andere Mitglieder (Felder und Methoden) zu behandeln (siehe Abschnitt 9.3.2). Für die sonstigen internen Klassen (z.B. lokale Klassen) sind Zugriffsmodifikatoren irrelevant und verboten.

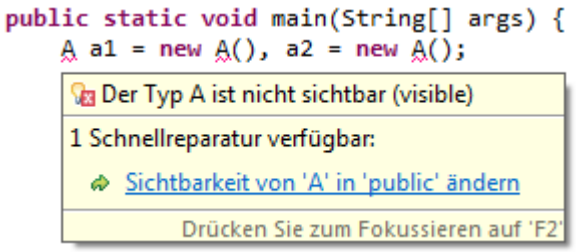
Die in Abschnitt 7.1 kurz behandelten internen Schnittstellen sind wie alle anderen Schnittstellen-Mitglieder grundsätzlich **public**, wobei der Modifikator überflüssig ist und in der Regel weggelassen wird.

Bei den Top-Level - Typen (Klassen oder Schnittstellen) ist nur der Zugriffsmodifikator **public** erlaubt, so dass zwei Schutzstufen möglich sind:

- Ohne Zugriffsmodifikator ist der Typ nur innerhalb des eigenen Pakts verwendbar.
- Durch den Zugriffsmodifikator **public** wird die Verwendung in beliebigen Paketen erlaubt, z.B.:

```
package demopack;
public class A {
   . . .
   . . .
}
```

Wird im `demopack`-Paket die Klasse `A` ohne **public**-Zugriffsmodifikator definiert, scheitert das Übersetzen des in Abschnitt 9.2.2 vorgestellten Programms `PackDemo`. Der Eclipse-Compiler hilft durch Markieren der Fehlerstellen und mit einem sinnvollen Vorschlag zur **Schnellreparatur**:



Auch der JDK-Compiler liefert eine hilfreiche Problembeschreibung:

```
> javac PackDemo.java
PackDemo.java:6: error: A is not public in demopack;
cannot be accessed from outside package
                A a1 = new A(), a2 = new A();
                ^
```

Pro Quellcodedatei darf nur *eine* Klasse als **public** deklariert werden. Eventuell vorhandene zusätzliche Klassen sind also nur paketintern zu verwenden. Ein Interface mit Schutzstufe **public** muss prinzipiell in einer eigenen Datei (ohne weitere Top-Level - Typen) definiert werden. Diese Vorschriften stellen allerdings keine Einschränkungen dar, weil man in der Regel ohnehin für *jede* Klasse oder Schnittstelle eine eigene Quellcodedatei verwendet (mit dem Namen des Typs plus angehängter Erweiterung **.java**).

Die in einer gemeinsamen Namenshierarchie befindlichen Pakete sind untereinander genauso fremd wie x-beliebige Pakete. Gemeinsame Bestandteile im Paketnamen haben also keine Relevanz für die wechselseitigen Zugriffsrechte. Folglich haben z.B. die Klassen im Paket `demopack.sub1` für Klassen im Paket `demopack` dieselben Rechte wie Klassen aus beliebigen anderen Paketen.

Bei aufmerksamer Lektüre der (z.B. im Internet) zahlreich vorhandenen Java-Beschreibungen stellt man fest, dass bei **ausführbaren Klassen** neben der statischen Methode **main()** oft auch die Klasse selbst als **public** definiert wird, z.B.:

```
public class Hallo {
 public static void main(String[] args) {
  System.out.println("Hallo Allerseits!");
 }
}
```

Diese Praxis erscheint durchaus plausibel und systematisch, wird jedoch vom Java-Compiler bzw. –Interpreter *nicht* gefordert und stellt daher eine vermeidbare Mühe dar. Bei der Wahl einer Regel für dieses Manuskript habe ich mich am Verhalten der Java-Urheber orientiert: Gosling et at. (2011) lassen bei ausführbaren Klassen den Modifikator **public** systematisch weg.

9.3.2 Zugriffsschutz für Klassenmitglieder

Zunächst einmal soll in Erinnerung gerufen werden, dass in Java der Zugriffsschutz nicht objekt-, sondern **klassenbezogen** organisiert ist (Goll et al. 2000, S. 322). Ist z.B. eine Klasse `A` als **public** definiert, können Objekte dieses Typs durch beliebige andere Klassen genutzt werden. Typischerweise sind die Felder der `A`-Klasse durch den Modifikator **private** geschützt (Datenkapselung), während die Methoden der `A`-Klasse durch den Modifikator **public** der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen.

Methoden einer Klasse `B` (ausgeführt von einem beliebigen `B`-Objekt oder der `B`-Klasse selbst) ...

- können bei vorhandener Referenz ein `A`-Objekt `a1` auffordern, eine Methode auszuführen,
- haben aber keinen Zugriff auf die Felder des `A`-Objekts.

Methoden der eigenen Klasse `A` (z.B. ausgeführt von einem `A`-Objekt `a2`) ...

- können bei vorhandener Referenz nicht nur das `A`-Objekt `a1` auffordern, eine Methode auszuführen,
- sondern haben auch vollen Zugriff auf die Felder von `a1`.

Das Objekt `a1` ist also nicht vor anderen `A`-Objekten geschützt (außer durch die Klugheit des `A`-Programmierers), sondern vor der Klasse `B`, deren Programmierer in der Regel nur beschränktes Wissen von der `A`-Klasse hat.

Bei der Deklaration bzw. Definition von Feldern, Methoden und Mitgliedklassen[1] (objekt- oder klassenbezogen) können die Modifikatoren **private**, **protected** und **public** angegeben werden, um die Zugriffsrechte festzulegen. In der folgenden Tabelle wird die Wirkung für Mitglieder einer Top-Level - Klasse beschrieben, die selbst als **public** definiert ist. Auch bei den „Zugriffsbewerbern“ soll es sich um Top-Level - Klassen handeln.

[1] Mitgliedsklassen haben wir bisher noch nicht verwendet (siehe Abschnitt 12.6.6.1).

Modifikator	Der Zugriff ist erlaubt für ...			
	die eigene Klasse	andere Klassen im eigenen Paket	abgeleitete Klassen in fremden Paketen	sonstige Klassen
ohne	ja	ja	nein	nein
private	ja	nein	nein	nein
protected	ja	ja	nur geerbte Elemente	nein
public	ja	ja	ja	ja

Mit abgeleiteten Klassen und dem nur hier relevanten Zugriffsmodifikator **protected** werden wir uns bald beschäftigen.

Wird im `demopack`-Beispiel die Klasse `A` mit **public**-Zugriffsmodifikator versehen, ihre `prinr()`-Methode jedoch nicht, dann scheitert das Übersetzen des Programms `PackDemo` durch den JDK-Compiler mit folgender Meldung:

```
>javac PackDemo.java
PackDemo.java:8: error: prinr() is not public in A;
cannot be accessed from outside package
                a1.prinr();
                  ^
```

Für Konstruktoren gilt:

- Bei expliziten Konstruktoren sind wie bei Methoden die Modifikatoren **public**, **private** und **protected** erlaubt. Ein als **protected** deklarierter Konstruktor darf im eigenen Paket und von abgeleiteten Klassen in beliebigen Paketen genutzt werden.
- Der vom Compiler bereitgestellte Standardkonstruktor (vgl. Abschnitt 4.4.3) hat den Zugriffsschutz der Klasse.

Für die *voreingestellte* Schutzstufe (nur das eigene Paket darf zugreifen) wird gelegentlich die Bezeichnung *package* verwendet.

Bei der Interface-Definition (siehe Abschnitt 7.1) wird kein großes Regelwerk für den Zugriffsschutz benötigt, weil *alle* Mitglieder (inkl. interne Interfaces) grundsätzlich **public** sind. Der Modifikator ist überflüssig und wird in der Regel weggelassen (vgl. Abschnitt 7.1).

9.4 Java-Archivdateien

Wenn zu einem Programm zahlreiche **class**-Dateien (eventuell aufgeteilt in mehrere Pakete) und zusätzliche Hilfsdateien (z.B. mit Multimedia-Inhalten) gehören, dann bietet die Zusammenfassung zu *einer* Java-Archivdatei (Namenserweiterung **.jar**) Vorteile bei der Weitergabe des Programms (z.B. an Kunden).

9.4.1 Eigenschaften von Archivdateien

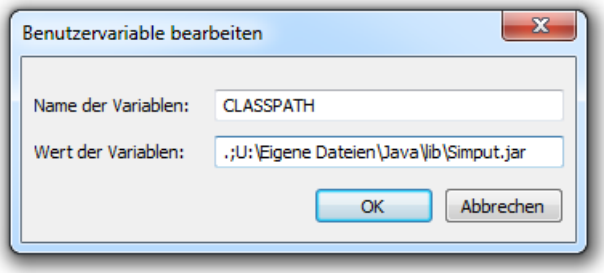
Java-Archivdateien bieten viele Vorteile, z.B.:

- **Übersichtlichkeit, Bequemlichkeit**
  Im Vergleich zu zahlreichen Einzeldateien ist ein Archiv für den Anwender deutlich bequemer. Ein per Archiv ausgeliefertes Programm kann sogar direkt über die Archivdatei gestartet werden (siehe unten), bei entsprechender Konfiguration des Betriebssystems auch per Maus(doppel)klick.
- **Verkürzte Zugriffs- bzw. Übertragungszeiten**
  Eine einzelne Archivdatei reduziert im Vergleich zu zahlreichen einzelnen Dateien die Wartezeit beim Laden von einer Festplatte oder über ein Netzwerk.

- **Kompression**
  Java-Archivdateien können komprimiert werden, was für Applets wegen des beschleunigten Internet-Transports sinnvoll, bei lokal installierten Anwendungen jedoch wegen der erforderlichen Dekomprimierung eher nachteilig ist. Die Archivdateien mit den Java-API - Paketen (z.B. **rt.jar**) sind daher *nicht* komprimiert.
- **Sicherheit**
  Bei *signierten* JAR-Dateien kann sich der Anwender Gewissheit über den Urheber verschaffen und der Software entsprechende Rechte einräumen.
- **Versionsangaben**
  In einem Archiv kann man Hersteller- und Versionsangaben zu den enthaltenen Paketen unterbringen.

Mit den beiden zuletzt genannten Vorteilen können wir uns in diesem Manuskript aus Zeitgründen leider nicht beschäftigen.

Eine Archivdatei kann beliebig viele Pakete enthalten. Damit die dortigen **class**-Dateien vom Compiler und von der JRE gefunden werden, muss die Archivdatei analog zu einem Dateiordner in den **Suchpfad** für **class**-Dateien aufgenommen werden (vgl. Abschnitte 3.4.2 und 9.2.1), z.B. über die Umgebungsvariable CLASSPATH:

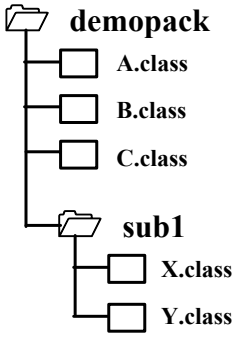


Bei den Archiven mit den Java-API - Paketen ist dies allerdings *nicht* erforderlich.

Weil Java-Archive das ZIP-Dateiformat besitzen, können sie von diversen (De-)Komprimierungsprogrammen geöffnet werden. Das *Erzeugen* von Java-Archiven sollte man aber dem speziell für diesen Zweck entworfenen JDK-Werkzeug **jar.exe** (siehe Abschnitte 9.4.2 und 9.4.4) oder einer entsprechend ausgestatteten Entwicklungsumgebung überlassen (siehe Eclipse 3.x - Lösung in Abschnitt 9.4.5).

9.4.2 Archivdateien mit dem JDK-Werkzeug jar erstellen

Zum Erstellen und Verändern von Java-Archivdateien kann das JDK-Werkzeug **jar.exe** verwendet werden Wir nutzen es, um eine Archivdatei mit dem Paket `demopack` (siehe Abschnitt 9.1) samt Unterpaket `sub1`



zu erzeugen.

Wir öffnen ein Konsolenfenster und wechseln zum Verzeichnis, das den **demopack**-Ordner enthält. Dann lassen wir mit folgendem **jar**-Aufruf das Archiv **demarc.jar** mit der gesamten Paket-Hierarchie erstellen:[1]

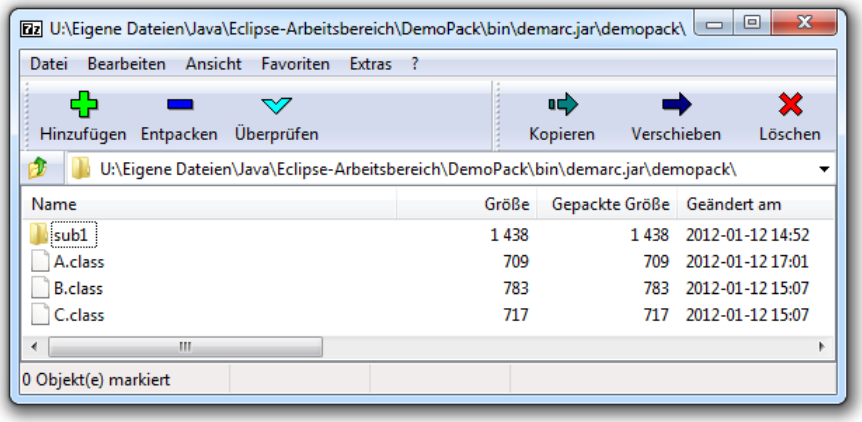
```
>jar cf0 demarc.jar demopack
```

Darin bedeuten:

- 1. Parameter: Optionen
  Die Optionen bestehen aus jeweils einem Zeichen und müssen unmittelbar hintereinander geschrieben werden:
  - **c**
    Mit einem **c** (für *create*) wird das Erstellen eines Archivs angefordert.
  - **f**
    Mit **f** (für *file*) wird ein Name für die Archivdatei angekündigt, der als weiterer Kommandozeilenparameter auf die Optionen zu folgen hat.
  - **0**
    Mit der Ziffer **0** wird die ZIP-Kompression abgeschaltet.
- 2. Parameter: Archivdatei
  Der Archivdateiname muss einschließlich Extension (üblicherweise **.jar**) angegeben werden.
- 3. Parameter: zu archivierende Dateien und Ordner
  Bei einem Ordner wird rekursiv der gesamte Verzeichnisast einbezogen. Ein Ordner kann die **class**-Dateien eines Pakets oder auch sonstige Dateien (z.B. mit Medien) enthalten. Selbstverständlich kann eine Archivdatei auch mehrere Pakete bzw. Ordner aufnehmen, was z.B. die ca. 33 MB große Datei **rt.jar** demonstriert, die praktisch alle Java-API - Pakete enthält.

Weitere Informationen über das Archivierungswerkzeug finden Sie z.B. in der JDK-Dokumentation über den Link **jar**.

Aus obigem **jar**-Aufruf resultiert die folgende JAR-Datei (hier angezeigt vom kostenlosen Hilfsprogramm **7-Zip**, vgl. Abschnitt 2.1.2):



Es ist übrigens erlaubt, dass sich die zu einem Paket gehörigen **class**-Dateien in verschiedenen JAR-Dateien befinden.

---

[1] Sollte der Aufruf nicht klappen, befindet sich vermutlich das JDK-Unterverzeichnis **bin** (z.B. **C:\Program Files\Java\jdk7\bin**) nicht im Suchpfad für ausführbare Programme. In diesem Fall muss das Programm mit kompletter Pfadangabe gestartet werden.

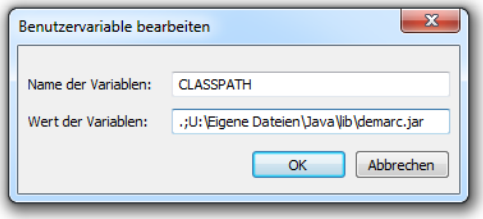
Die Quellcodedateien sind für die Verwendung eines Archivs (als Programm oder Klassenbibliothek) nicht erforderlich und können daher (z.B. aus urheberrechtlichen Gründen) durch Ablage in einer separaten Ordnerstruktur aus dem Archiv herausgehalten werden.

9.4.3 Archivdateien verwenden

Um ein Archiv mit seinen Paketen bequem als Klassenbibliothek in verschiedenen Projekten nutzen zu können, kann es in den Suchpfad des Compilers bzw. Interpreters für **class**-Dateien aufgenommen werden. Befindet z.B. die eben erstellte Archivdatei **demarc.jar** im Ordner **U:\Eigene Dateien\Java\lib** und die Quellcodedatei der Klasse `PackDemo`, die das Paket `demopack` importiert, im aktuellen Verzeichnis, dann kann das Übersetzen und Ausführen dieser Klasse mit folgenden Aufrufen der JDK-Werkzeuge **javac** und **java** erfolgen:

```
>javac -cp "U:\Eigene Dateien\Java\lib\demarc.jar" PackDemo.java
>java -cp ".;U:\Eigene Dateien\Java\lib\demarc.jar" PackDemo
```

Analog zur **classpath**-Option in den Werkzeug-Aufrufen kann eine Archivdatei in die CLASSPATH-Umgebungsvariable des Betriebssystems aufgenommen werden, z.B.:



Danach lassen sich die obigen Werkzeug-Aufrufe vereinfachen:

```
>javac PackDemo.java
>java PackDemo
```

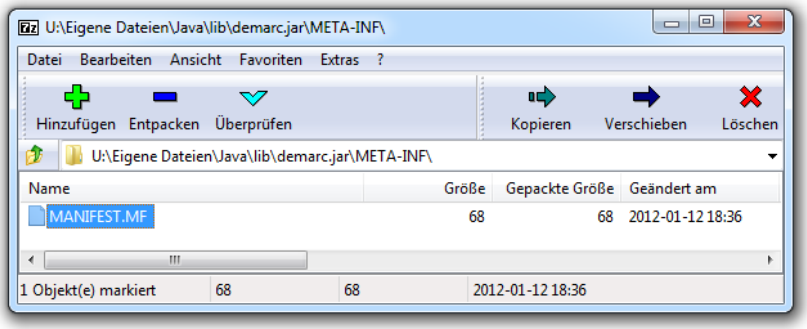
Für die Nutzung von Archivdateien in Eclipse ist das Setzen von Klassenpfadvariablen sehr zu empfehlen (siehe Abschnitt 3.4.2).

9.4.4 Ausführbare JAR-Dateien

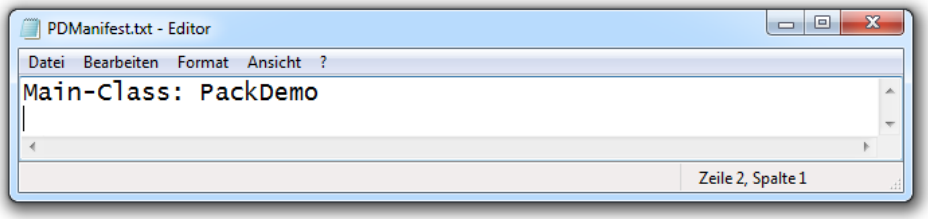
Um eine als Applikation ausführbare JAR-Datei zu erstellen, nimmt man die gewünschte Startklasse in das Archiv auf. Diese Klasse muss bekanntlich eine Methode **main()** mit folgendem Definitionskopf besitzen:

```
public static void main(String[] args)
```

Außerdem muss die Klasse im so genannten **Manifest** des Archivs, dem wir bisher noch keine Beachtung geschenkt haben, als **Main-Class** eingetragen werden. Das Manifest befindet sich in der Datei **MANIFEST.MF**, die das **jar**-Werkzeug im Archiv-Ordner **META-INF** anlegt, z.B. bei **demarc.jar**:



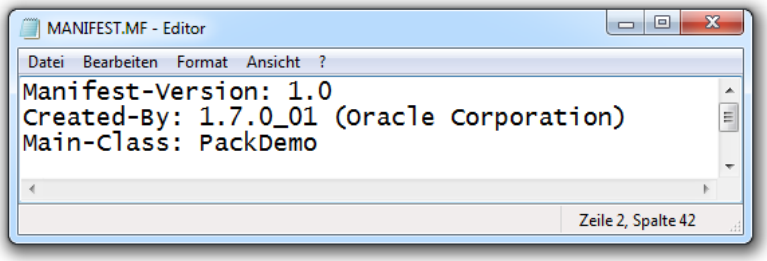
Im **jar**-Aufruf kann man eine Textdatei mit Manifestinformationen übergeben. Um z.B. die Hauptklasse `PackDemo` auszuzeichnen, legt man eine Textdatei an, die folgende Zeile und eine anschließende Leerzeile (!) enthält:



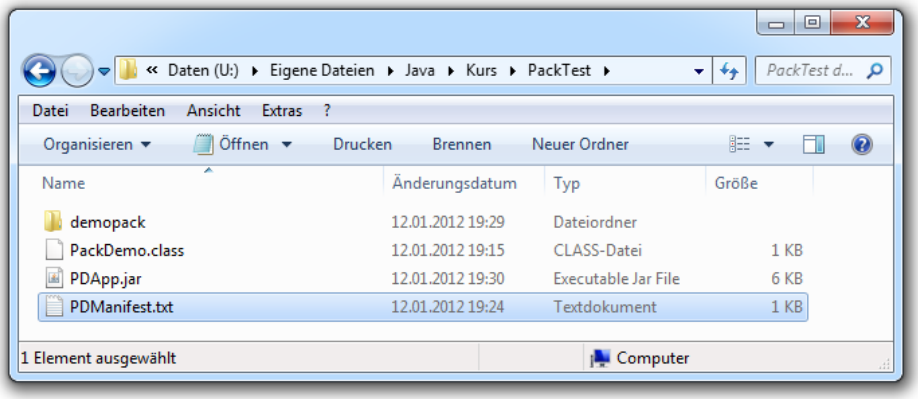
Im **jar**-Aufruf zum Erstellen des Archivs wird über die Option **m** eine Datei mit Manifestinformationen angekündigt, z.B. mit dem Namen **PDManifest.txt**:

```
>jar cmf0 PDManifest.txt PDApp.jar PackDemo.class demopack
```

Beachten Sie bitte, dass die Namen der Manifest- und der Archivdatei in derselben Reihenfolge wie die zugehörigen Optionen auftauchen müssen. Es resultiert eine **jar**-Datei mit dem folgenden Manifest:



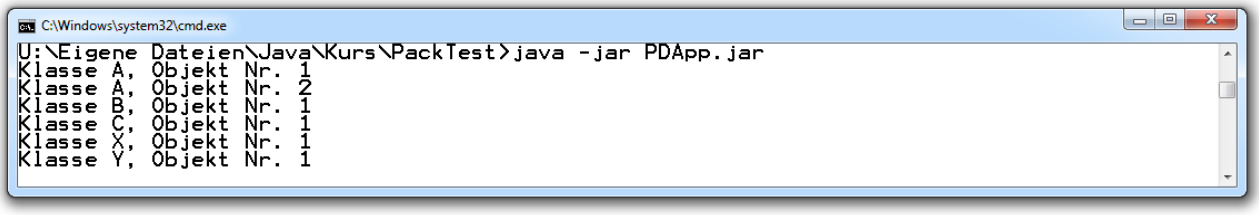
Der obige **jar**-Aufruf klappt ohne CLASSPATH-Definition, wenn sich die Datei **PDManifest.txt** mit den Manifestinformationen, die Datei **PackDemo.class** mit der Startklasse und das Paketverzeichnis **demopack** im aktuellen Ordner befinden, z.B.:



Auf eine Manifestinformationsdatei, die lediglich den Namen der Startklasse verrät, kann man seit Java 6 verzichten und stattdessen im **jar**-Aufruf die Option **e** (für *entry point*) verwenden, z.B.:

```
>jar cef0 PackDemo PDApp.jar PackDemo.class demopack
```

Unter Verwendung der Archivdatei **PDApp.jar** lässt sich das Programm `PackDemo` so starten:



Damit dies auf einem Kundenrechner nach dem Kopieren der Datei **PDApp.jar** sofort möglich ist, muss dort natürlich eine JRE mit geeigneter Version installiert sein.

Wenn mit dem Betriebssystem die Behandlung von **jar**-Dateien passend vereinbart wird, klappt der Start sogar per Maus(doppel)klick auf die Archivdatei. Unter Windows sind dazu folgende Registry-Einträge geeignet:

```
[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Classes\.jar]
@="jarfile"

[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Classes\jarfile]
@="Executable Jar File"

[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Classes\jarfile\shell]

[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Classes\jarfile\shell\open]

[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Classes\jarfile\shell\open\command]
@="\"C:\\Program Files\\Java\\jre7\\bin\\java.exe\" -jar \"%1\" %*"
```

An Stelle des für Konsolenprogramme erforderlichen Starters **java.exe** wird bei der JRE-Installation allerdings das für GUI-Anwendungen sinnvollere Startprogramm **javaw.exe** in die Windows-Registry eingetragen, z.B.:

```
[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Classes\jarfile\shell\open\command]
@="\"C:\\Program Files\\Java\\jre7\\bin\\javaw.exe\" -jar \"%1\" %*"
```

Weil **javaw.exe** kein Konsolenfenster anzeigt, bleibt der Doppelklick auf **PDApp.jar** ohne sichtbare Folgen.

Wird ein Java-Programm per JAR-Datei gestartet, dann legt allein das Manifest den **class**-Suchpfad fest. Weder die Umgebungsvariable CLASSPATH, noch die Kommandozeilenoption –classpath sind wirksam. Die Klassen im Java-API werden aber auf jeden Fall gefunden. Über das **jar**-Werkzeug lässt sich der **class**-Suchpfad einer JAR-Datei so konfigurieren, dass Klassen in anderen Archivdateien gefunden werden.[1] Dabei entsteht in der Manifestdatei ein **Class-Path**-Eintrag.

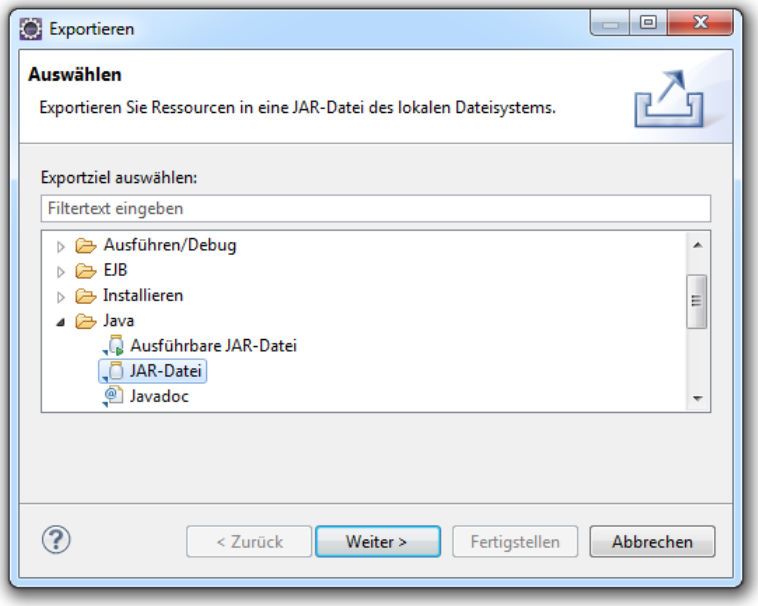
9.4.5 Archivdateien in Eclipse erstellen

In Eclipse 3.x ist ein bequemer Assistent zum Erstellen von JAR-Dateien verfügbar. Wählen Sie z.B. aus dem Kontextmenü zum Projekt `demopack` das Item

Exportieren

und entscheiden Sie sich im ersten Assistentendialog

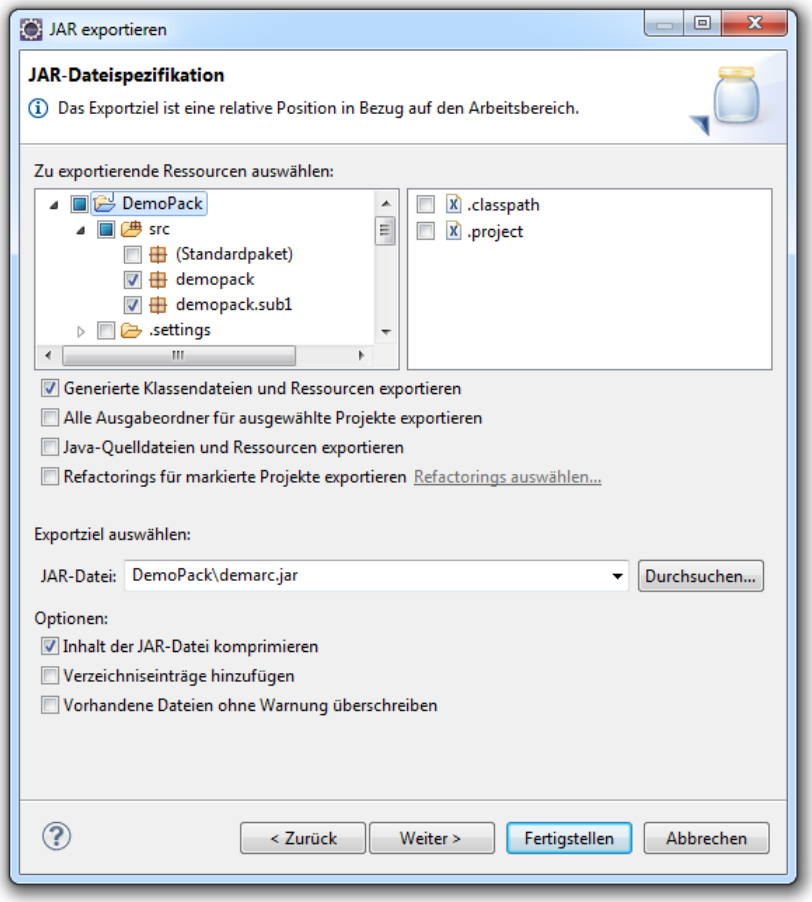
[1] Siehe: http://docs.oracle.com/javase/tutorial/deployment/jar/downman.html



für die Option

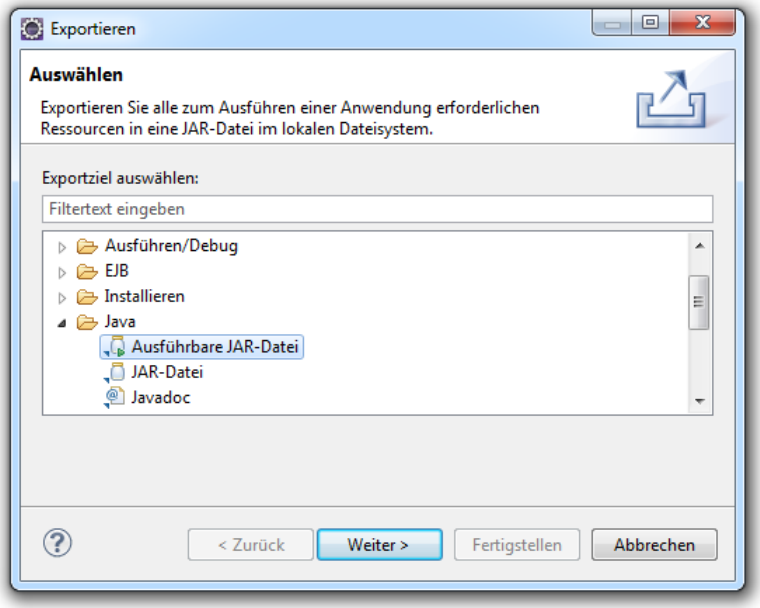
Java > JAR-Datei

Mit der folgenden Wahl von Exportumfang und -ziel:

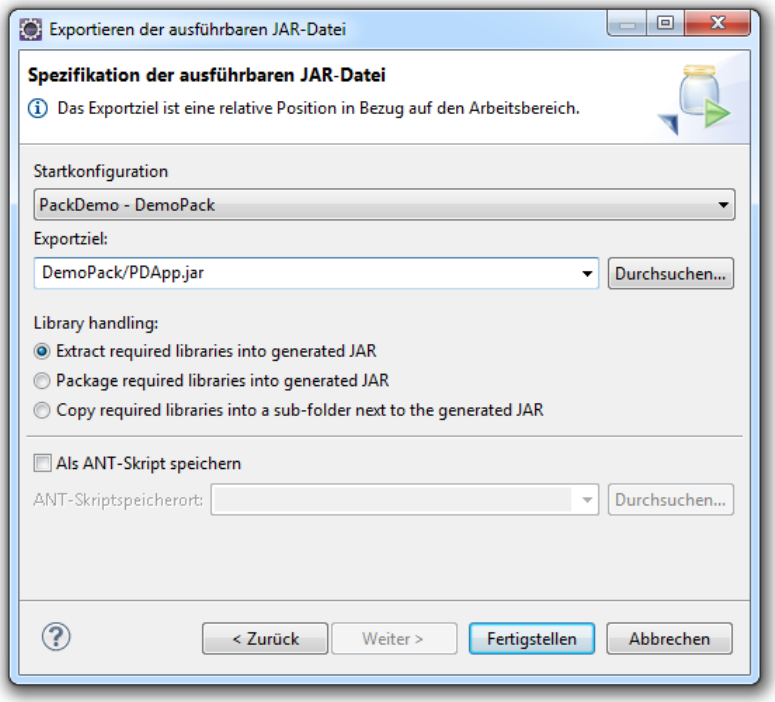


liefert der Assistent nach dem **Fertigstellen** (bis auf irrelevante Unterschiede in der Manifestdatei) dasselbe Ergebnis wie das in Abschnitt 9.4.2 vorgestellte **jar**-Kommando.

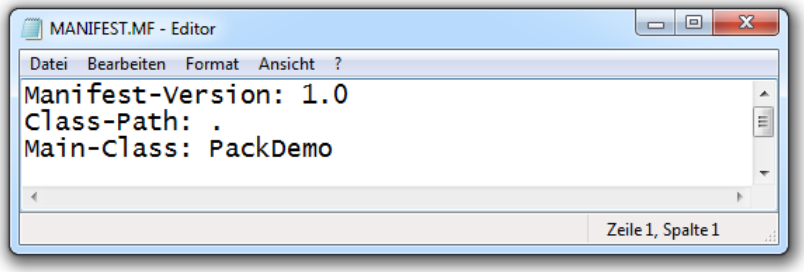
Wählt man im ersten Exportassistentendialog eine **ausführbare JAR-Datei**,



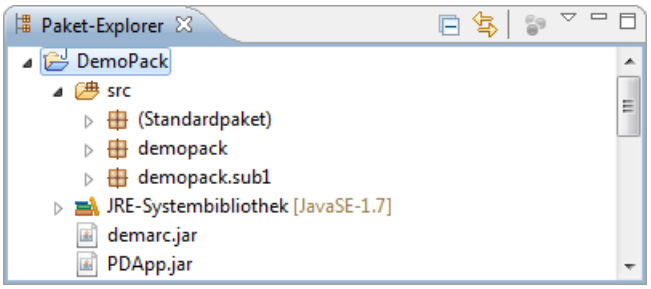
kann man im nächsten Schritt eine (nötigenfalls vorher angelegte) **Startkonfiguration** (siehe Abschnitt 3.7.2.4) wählen, das **Exportziel** nennen



und die Anwendung **fertigstellen**. Eclipse fügt selbständig die benötigten Paket-Dateien in das Archiv ein und erstellt eine geeignete Manifestdatei:



Die eben über Eclipse produzierten JAR-Dateien sind auch im Paket-Explorer zu sehen:



9.5 Das API der Java Standard Edition

Zur Java-Plattform gehören zahlreiche Pakete, die Klassen und Schnittstellen für wichtige Aufgaben der Programmentwicklung (z.B. Zeichenkettenverarbeitung, Netzwerkverbindungen, Datenbankzugriffe) enthalten. Die Zusammenfassung dieser Pakete wird oft als **Java-API** (***A**pplication **P**rogramming **I**nterface*) bezeichnet. Allerdings kann man nicht von *dem* Java-API sprechen, denn neben der **Java Standard Edition (JSE)**, auf die wir uns bisher beschränkt haben, bietet die Firma Oracle noch weitere Java-APIs an, z.B.:

- Java Enterprise Edition (JEE)
- Java Micro Edition (JME)

Nähere Informationen finden Sie z.B. auf der Webseite

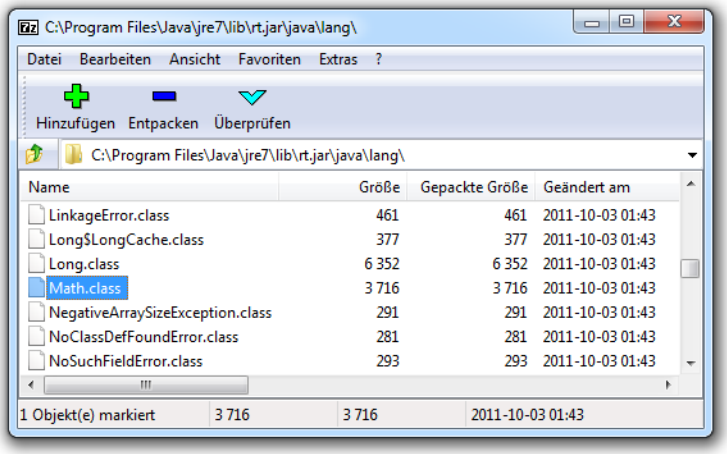
http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html

In der JDK-Dokumentation zur Standard Edition sind deren Pakete umfassend dokumentiert:

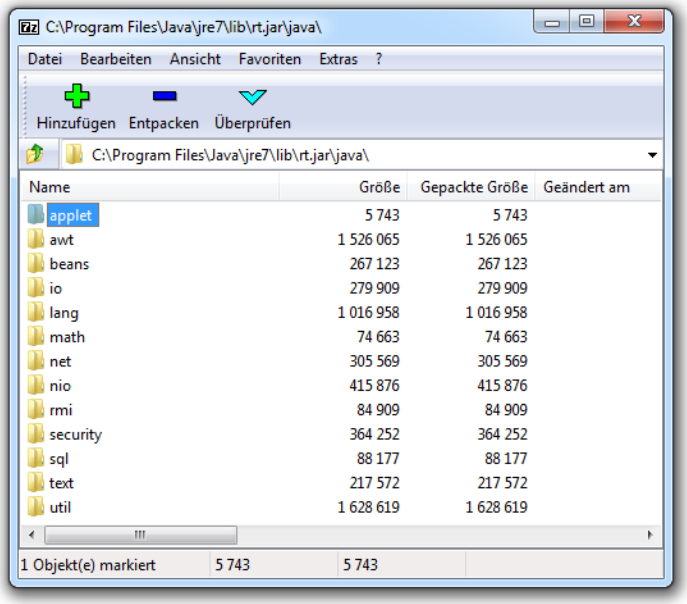
- Klicken Sie nach dem Start auf den Link **Java SE API**.
- Im linken oberen Rahmen kann ein Paket oder die Option **All Classes** gewählt werden, und im linken unteren Rahmen erscheinen alle zur Auswahl gehörigen Typen (die Klassen in normaler und die Interfaces in kursiver Schrift).
- Nach dem Anklicken einer Klasse oder Schnittstelle wird diese im Hauptrahmen ausführlich erläutert (z.B. mit einer Beschreibung der öffentlichen Methoden).

Vermutlich haben Sie schon mehrfach von diesem Informationsangebot Gebrauch gemacht.

Die zum Java-API gehörigen Bytecode-Dateien sind auf mehrere Java-Archivdateien (***.jar**) verteilt, die sich im **lib**-Unterordner der JRE befinden (z.B. in **C:\Program Files\Java\jre7\lib**). Den größten Brocken bildet die Datei **rt.jar**. Dort befindet sich z.B. das Paket **java.lang**, das u.a. die Bytecode-Datei zur Klasse **Math** enthält, deren Klassenmethoden wir schon mehrfach benutzt haben:



Hier ist das Paket **java** mit seinen Unterpaketen zu sehen:



Es folgen kurze Beschreibungen wichtiger Pakete im API der Java Standard Edition:

- **java.applet**
  Dieses Paket enthält Klassen zum Programmieren von Applets. Das sind kleine Programm, die per Web-Browser via Internet von einem Web-Server geholt und dann im Rahmen des Browsers ausgeführt werden.
- **java.awt**
  Das Paket **java.awt** (***A**bstract **W**indowing **T**oolkit*) enthält Typen zur Gestaltung von graphischen Bedienoberflächen. Heute werden allerdings meist die Komponenten aus dem aktuelleren Swing-Paket bevorzugt (siehe unten). Außerdem unterstützt das AWT die Ausgabe von 2D-Grafiken und Bildern.
- **java.awt.event**
  Das Paket **java.awt.event** enthält Klassen zur Ereignisverwaltung (siehe unten), die für Komponenten aus den Paketen **java.awt** und **javax.swing** relevant sind.
- **java.beans**
  Dieses Paket enthält Typen zum Programmieren von Java-Komponenten (*beans* genannt).
- **java.io**, **java.nio**
  Mit Klassen aus diesen Paketen werden wir in Dateien schreiben und aus Dateien lesen.
- **java.lang**
  Dieses Paket mit fundamentalen Typen (z.B. **Object**, **System**, **String**) wird vom Compiler automatisch in jede Quellcodedatei importiert, so dass seine Typen generell ohne Paketnamen angesprochen werden können.
- **java.math**
  Das Paket enthält u.a. die Klassen **BigDecimal** und **BigInteger** für Berechnungen mit beliebiger Genauigkeit. Das *Paket* **java.math** darf nicht verwechselt werden mit der *Klasse* **Math** im Paket **java.lang**.
- **java.net**
  Dieses Paket enthält Klassen für die Netzwerkprogrammierung.
- **javax.swing**
  Im Paket **javax.swing** sind GUI-Klassen enthalten, die sich im Unterschied zu den Klassen im Paket **java.awt** kaum auf die GUI-Komponenten des jeweiligen Betriebssystems stützen, sondern eigene Steuerelemente realisieren, was eine höhere Flexibilität und Portabilität mit sich bringt. Wir werden uns noch ausführlich mit den Swing-Klassen beschäftigen.

- **java.text**
  Hier geht es um die Formatierung von Textausgaben und die Internationalisierung von Programmen.
- **java.util**
  Dieses Paket enthält neben Typen aus dem Java Collection Framework (z.B. **List<E>**, **ArrayList<E>**) wichtige Hilfsmittel wie den Pseudozufallszahlengenerator **Random**.

9.6 Übungsaufgaben zu Kapitel 9

1) Legen Sie das seit Abschnitt 9.1 als Beispiel verwendete Paket `demopack` an. Es sind folgende Klassen zu erstellen:

- im Paket `demopack`: `A`, `B`, `C`
- im Unterpaket `sub1`: `X`, `Y`

Erstellen Sie aus dem Paket eine Archivdatei, und verwenden Sie diese beim Übersetzen und Ausführen der im Abschnitt 9.2 wiedergegebenen Klasse `PackDemo`.

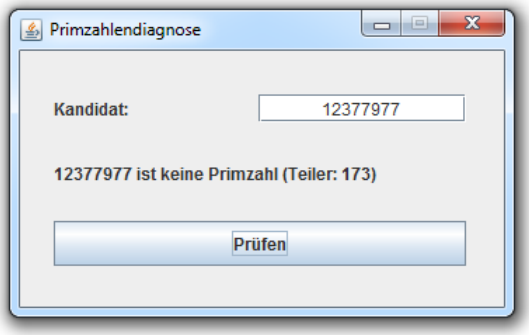
2) Im folgenden Programm

```
class Worker {
 void work() {
  System.out.println("geschafft!");
 }
}

class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  Worker w = new Worker();
  w.work();
 }
}
```

erzeugt und verwendet die **main()**-Methode der Klasse `Prog` ein Objekt der fremden Klasse `Worker`, obwohl die Klasse `Worker` und ihre Methode `work()` *nicht* als **public** deklariert wurden. Wieso ist dies möglich?

3) Erstellen Sie eine ausführbare JAR-Datei mit dem in einer Übungsaufgabe zu Kapitel 4 (siehe Abschnitt 4.9) erstellten Primzahlendiagnoseprogramm mit graphischer Bedienoberfläche:



Benutzen Sie zunächst das JDK-Werkzeug **jar.exe**. Wenn Sie z.B. die für die Hauptfensterklasse den Namen `PrimDiagWB` vergeben haben, sind folgenden **class**-Dateien einzupacken:

- **PrimDiagWB.class**
- **PrimDiagWB$1.class**
- **PrimDiagWB$2.class**

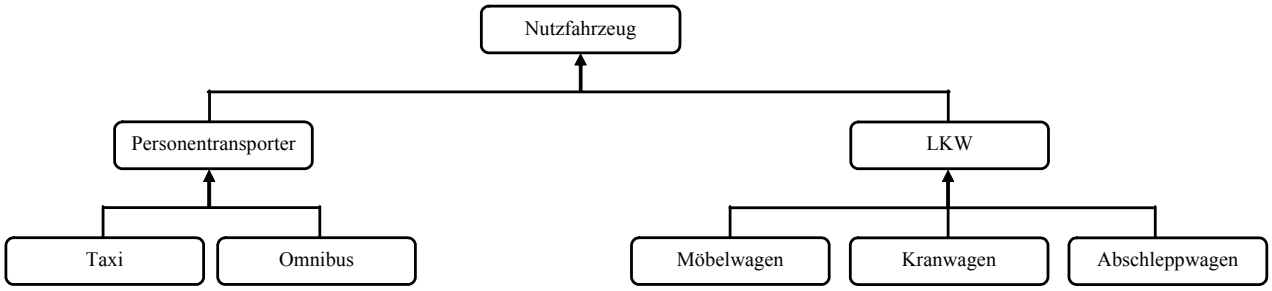
Testen Sie anschließend auch die bequeme Erstellung der JAR-Datei mit Eclipse (vgl. Abschnitt 9.4.5).

10 Vererbung und Polymorphie

Im Manuskript war schon mehrfach davon die Rede, dass sich die Java – Klassen nicht auf einer Ebene befinden, sondern in eine strenge Abstammungshierarchie eingeordnet sind. Nun betrachten wir die Vererbungsbeziehung zwischen Klassen und die damit verbundenen Vorteile für die Softwareentwicklung im Detail.

Modellierung realer Klassenhierarchien

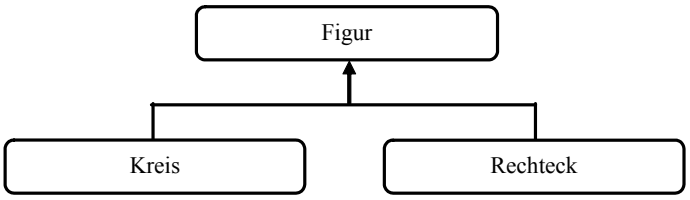
Beim Modellieren eines Gegenstandbereiches durch Klassen, die durch Eigenschaften (Instanz- und Klassenvariablen) sowie Handlungskompetenzen (Instanz- und Klassenmethoden) gekennzeichnet sind, müssen auch die Spezialisierungs- bzw. Generalisierungsbeziehungen zwischen real existierenden Klassen abgebildet werden. Eine Firma für Transportaufgaben aller Art mag ihre Nutzfahrzeuge folgendermaßen klassifizieren:



Einige Eigenschaften sind für alle Nutzfahrzeuge relevant (z.B. Anschaffungspreis, momentane Position), andere betreffen nur spezielle Klassen (z.B. maximale Anzahl der Fahrgäste, maximale Anhängelast). Ebenso sind einige Handlungsmöglichkeiten bei allen Nutzfahrzeugen vorhanden (z.B. eigene Position melden, ein Ziel ansteuern), während andere speziellen Fahrzeugen vorbehalten sind (z.B. Fahrgäste befördern, Lasten transportieren). Ein Programm zur Einsatzplanung und Verwaltung des Fuhrparks sollte diese Klassenhierarchie abbilden.

Übungsbeispiel

Bei unseren Beispielprogrammen bewegen wir uns in einem bescheideneren Rahmen und betrachten eine einfache Hierarchie mit Klassen für geometrische Figuren:[1]



Die Vererbungstechnik der OOP

In objektorientierten Programmiersprachen wie Java ist es weder sinnvoll noch erforderlich, jede Klasse einer Hierarchie komplett neu zu definieren. Es steht eine mächtige und zugleich einfach handhabbare Vererbungstechnik zur Verfügung: Man geht von der allgemeinsten Klasse aus und leitet durch Spezialisierung neue Klassen ab, nach Bedarf in beliebig vielen Stufen. Eine abgeleitete Klasse erbt alle Felder und Methoden ihrer **Basis**- oder **Superklasse** (jedoch keine Konstruktoren)

---

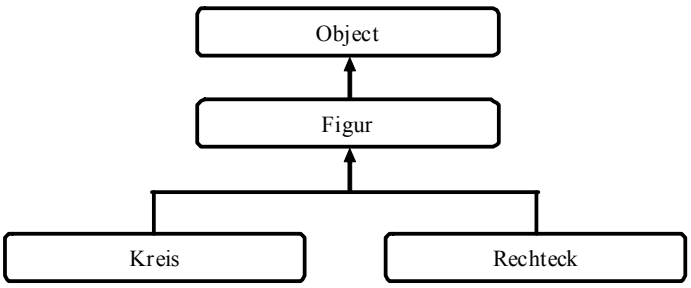
[1] Vielleicht haben manche Leser als Gegenstück zum Rechteck (auf derselben Hierarchieebene) die *Ellipse* erwartet, die ebenfalls zwei ungleiche lange „Hauptachsen" besitzt. Weiterhin liegt es auf den ersten Blick nahe, den Kreis als Spezialisierung der Ellipse (und das Quadrat als Spezialisierung des Rechtecks) zu betrachten. Wir werden aber in Abschnitt 10.8 über das *Liskovsche Substitutionsprinzip* genau diese Ableitungen (von Kreis aus Ellipse bzw. von Quadrat aus Rechteck) kritisieren. Daher ist es akzeptabel, an Stelle der Ellipse den Kreis neben das Rechteck zu stellen, um das Erlernen der neuen Konzepte durch ein möglichst einfaches Beispiel zu erleichtern.

und kann nach Bedarf Anpassungen bzw. Erweiterungen zur Lösung spezieller Aufgaben vornehmen, z.B.:

- zusätzliche Felder deklarieren
- zusätzliche Methoden definieren
- geerbte Methoden überschreiben, d.h. unter Beibehaltung der Signatur umgestalten

Ihre Konstruktoren muss eine abgeleitete Klasse neu definieren, wobei es aber leicht möglich ist, einen Basisklassenkonstruktor zur Initialisierung von geerbten Instanzvariablen einzuspannen (siehe unten).

In Java stammen *alle* Klassen (sowohl die im API mitgelieferten als auch die vom Anwendungsprogrammierer definierten) von der Klasse **Object** aus dem Paket **java.lang** ab. Wird (wie bei unseren bisherigen Beispielen) in der Definition einer Klasse keine Basisklasse angegeben, dann stammt sie auf direktem Wege von **Object** ab, anderenfalls indirekt. Bei der Implementation in Java wird die oben dargestellte Figuren-Klassenhierarchie so eingehängt:



Software-Recycling

Mit ihrem Vererbungsmechanismus bietet die objektorientierte Programmierung ideale Voraussetzungen dafür, vorhandene Software auf rationelle Weise zur Lösung neuer Aufgaben zu verwenden. Dabei können allmählich umfangreiche Softwaresysteme entstehen, die gleichzeitig robust und wartungsfreundlich sind. Die verbreitete Praxis, vorhanden Code per *Copy & Paste* in neuen Projekten bzw. Klassen zu verwenden, hat gegenüber einer sorgfältig geplanten Klassenhierarchie offensichtliche Nachteile. Natürlich kann auch Java nicht garantieren, dass jede Klassenhierarchie exzellent entworfen ist und langfristig von einer stetig wachsenden Programmierergemeinde eingesetzt wird.

10.1 Definition einer abgeleiteten Klasse

Wir definieren im angekündigten Beispiel zunächst die Basisklasse `Figur`, die Instanzvariablen für die X- und die Y-Position der linken oberen Ecke einer zweidimensionalen Figur sowie zwei Konstruktoren besitzt:

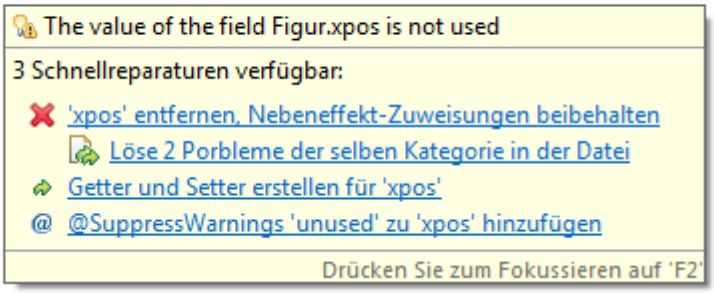
```
public class Figur {
   private double xpos = 100.0, ypos = 100.0;

   public Figur(double x, double y) {
      if (x >= 0 && y >= 0) {
         xpos = x;
         ypos = y;
      }
      System.out.println("Figur-Konstruktor");
   }

   public Figur() {}
}
```

Eclipse sieht keinen Nutzen in den privaten Instanzvariablen `xpos` und `ypos`, weil die Entwicklungsumgebung abgeleitete Klassen nicht berücksichtigen kann:

```
public class Figur {
    private double xpos = 100.0, ypos = 100.0;
```



Wir planen aber, die kritisierten Instanzvariablen an abgeleitete Klassen zu vererben und dort auch zu verwenden, womit die Deklaration in der Basisklasse gerechtfertigt ist. (Außerdem wird die Klasse `Figur` später noch Methoden erhalten, welche die Instanzvariablen `xpos` und `ypos` verwenden.)

Mit Hilfe des Schlüsselwortes **extends** wird die Klasse `Kreis` als Spezialisierung der Klasse `Figur` definiert. Sie erbt die beiden Positionsvariablen und ergänzt eine zusätzliche Instanzvariable für den Radius:

```
public class Kreis extends Figur {
   private double radius = 50.0;

   public Kreis(double x, double y, double rad) {
      super(x, y);
      if (rad >= 0)
         radius = rad;
      System.out.println("Kreis-Konstruktor");
   }

   public Kreis() {}
}
```

Es wird ein parametrisierter `Kreis`-Konstruktor definiert, der über das Schlüsselwort **super** den parametrisierten Konstruktor der Basisklasse aufruft. Ein direkter Zugriff auf die privaten Instanzvariablen `xpos` und `ypos` der Klasse `Figur` wäre dem Konstruktor der Klasse `Kreis` auch nicht erlaubt. Das Schlüsselwort **super** hat übrigens den oben eingeführten Begriff *Superklasse* motiviert. In Abschnitt 10.3 werden wir uns mit einigen Regeln für **super**-Konstruktoren beschäftigen.

In der `Kreis`-Klasse wird (wie in der Basisklasse `Figur`) auch ein parameter*freier* Konstruktor definiert. Vielleicht hat jemand gehofft, die `Kreis`-Klasse könnte den parameterfreien Konstruktor ihrer Basisklasse (bei Anpassung des Namens) übernehmen. Konstruktoren werden jedoch grundsätzlich **nicht** vererbt.

Das folgende Programm erzeugt ein Objekt aus der Basisklasse und ein Objekt aus der abgeleiteten Klasse:

Quellcode	Ausgabe
`class FigurenDemo {` `  public static void main(String[] args) {` `  Figur fig = new Figur(50.0, 50.0);` `  System.out.println();` `  Kreis krs = new Kreis(10.0, 10.0, 5.0);` `  }` `}`	`Figur-Konstruktor` `Figur-Konstruktor` `Kreis-Konstruktor`

In Java ist **keine Mehrfachvererbung** möglich: Man kann also in einer Klassendefinition nur *eine* Basisklasse angeben. Im Sinne einer realitätsnahen Modellierung wäre eine Mehrfachvererbung gelegentlich durchaus wünschenswert. So könnte z.B. die Klasse `Receiver` von den Klassen

`Tuner` und `Amplifier` erben. Man hat auf die in anderen Programmiersprachen (z.B. C++) erlaubte Mehrfachvererbung bewusst verzichtet, um von vornherein den kritischen Fall auszuschließen, dass eine abgeleitete Klasse *mehrere* Methoden mit *identischer* Signatur erbt, woraus leicht Missverständnisse zwischen Programmierer und Compiler bzw. Laufzeitsystem über die tatsächlich auszuführende Methode resultieren können. Einen gewissen Ersatz bieten die in Kapitel 7 behandelten Schnittstellen (Interfaces).

Gelegentlich gibt es Gründe dafür, eine Klasse mit dem Modifikator **final** zu deklarieren, so dass sie zwar verwendet (instantiiert), aber nicht mehr beerbt werden kann. Für das Finalisieren der Klasse **String** im API-Paket **java.lang**

```
public final class String
```

sprach vermutlich ihre spezielle Behandlung durch den Compiler, z.B. beim impliziten Instantiieren (siehe Abschnitt 5.2.1.1) und beim Überladen des Plusoperators (siehe Abschnitt 5.2.1.4.1).

10.2 Der Zugriffsmodifikator protected

Die folgende Variante des Figurenbeispiels soll den Effekt des bei Klassenmitgliedern erlaubten Zugriffsmodifikators **protected** demonstrieren (vgl. Abschnitt 9.3.2). Zunächst wird dafür gesorgt, dass die Klasse `Figur` zu einem anderen Paket gehört wie die abgeleitete Klasse `Kreis` und die Startklasse `FigurenDemo`, weil *innerhalb* eines Pakets die abgeleiteten Klassen dieselben Zugriffsrechte haben wie beliebige andere Klassen.

```
package fipack;

public class Figur {
   protected double xpos=100.0, ypos=100.0;

   public Figur(double x, double y) {
      if (x >= 0 && y >= 0) {
         xpos = x;
         ypos = y;
      }
   }

   public Figur() {}
}
```

Weil die renovierte Basisklasse `Figur` die Instanzvariablen `xpos` und `ypos` als **protected** deklariert, können Methoden abgeleiteter Klassen unabhängig von ihrer Paketzugehörigkeit direkt darauf zugreifen. Dies geschieht in der neuen `Kreis`-Methode `abstand()`, die für einen beliebigen Punkt (mit X- und Y-Koordinate) über den Satz von Pythagoras den Abstand zum Kreismittelpunkt berechnet:[1]

```
import fipack.Figur;

public class Kreis extends Figur {
 protected double radius = 50.0;
```

[1] Falls Sie sich über die Berechnung des Kreismittelpunkts wundern: In der Computergrafik ist die Position (0, 0) in der *oberen* linken Ecke des Bildschirms bzw. des aktuellen Fensters angesiedelt. Die X-Koordinaten wachsen (wie aus der Mathematik gewohnt) von links nach rechts, während die Y-Koordinaten von oben nach unten wachsen. Wir wollen uns im Hinblick auf die in absehbarer Zukunft anstehende Programmierung grafischer Bedienoberflächen schon jetzt daran gewöhnen.

```
  public Kreis(double x, double y, double rad) {
   super(x, y);
   if (rad >= 0)
    radius = rad;
  }

  public Kreis() {}

  public double abstand(double x, double y) {
   return Math.sqrt(Math.pow(xpos+radius-x,2) + Math.pow(ypos+radius-y,2));
  }
}
```

Es ist zu beachten, dass die `Kreis`-Methode `abstand()` auf *geerbte Instanzvariablen* von `Kreis`-Objekten zugreift, um deren Mittelpunkt zu berechnen. Auf das `xpos`-Feld eines `Figur`-Objekts könnte eine Methode der `Kreis`-Klasse *nicht* direkt zugreifen.

Während Objekte aus abgeleiteten Klassen ihre geerbten **protected**-Elemente direkt ansprechen können, haben andere paketfremde fremde Klassen auf Elemente mit dieser Schutzstufe grundsätzlich *keinen* Zugriff:

```
class FigurenDemo {
 public static void main(String[] args) {
  Kreis  k1 = new Kreis(50.0, 50.0, 30.0);
  System.out.println("Abstand von (100,100): "+ k1.abstand(100.0,100.0));
  //klappt nicht: System.out.println(k1.xpos);
 }
}
```

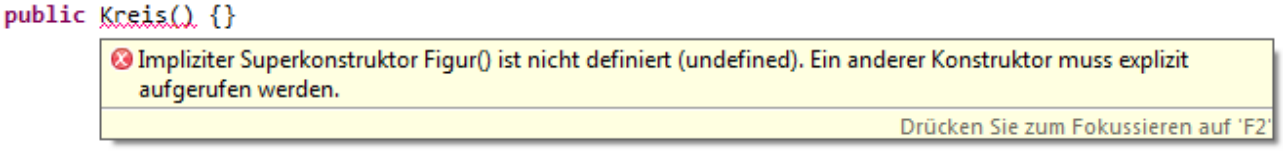
10.3 super-Konstruktoren und Initialisierungsmaßnahmen

Abgeleitete Klassen erben die Basisklassenkonstruktoren zwar nicht, können diese aber in eigenen Konstruktoren über das Schlüsselwort **super** aufrufen. Dieser Aufruf muss am Anfang eines Konstruktors stehen. Dadurch ist es z.B. möglich, geerbte Instanzvariablen zu initialisieren, die in der Basisklasse als **private** deklariert wurden. Diese Konstellation war in der ursprünglichen Figurenhierarchie gegeben (siehe Abschnitt 10.1).

Wird in einem Konstruktor einer abgeleiteten Klasse kein Basisklassenkonstruktor aufgerufen, dann ruft der Compiler implizit den *parameterfreien* Konstruktor der Basisklasse auf. Fehlt ein solcher, weil der Basisklassenprogrammierer einen eigenen, parametrisierten Konstruktor erstellt und nicht durch einen expliziten parameterfreien Konstruktor ergänzt hat, dann protestiert der Compiler. Um die folgende Fehlermeldung des JDK-Compilers zu provozieren, wurde in der Klasse `Figur` der parameterfreie Konstruktor auskommentiert:

```
Kreis.java:11: error: constructor Figur in class Figur cannot be
applied to given types;
        public Kreis() {}
                       ^
```

Eclipse liefert eine bessere Problembeschreibung:



Es gibt zwei offensichtliche Möglichkeiten, das Problem zu lösen:

- Im Konstruktor der abgeleiteten Klasse über das Schlüsselwort **super** einen parametrisierten Basisklassenkonstruktor aufrufen.
- In der Basisklasse einen parameterfreien Konstruktor definieren.

Der parameterfreie Basisklassenkonstruktor wird auch vom Standardkonstruktor der abgeleiteten Klasse aufgerufen, so dass jede potentiell als Erblasser in Frage kommende Klasse einen parameterfreien Konstruktor haben sollte.

Beim Erzeugen eines Unterklassenobjekts laufen folgende Initialisierungsmaßnahmen ab (vgl. Gosling et al. 2011, Abschnitt 12.5):

- Das Objekt wird mit allen Instanzvariablen (auch den geerbten) auf dem Heap angelegt, und die Instanzvariablen werden mit den typspezifischen Nullwerten initialisiert.
- Der Unterklassenkonstruktor beginnt seine Tätigkeit mit dem (impliziten oder expliziten) Aufruf eines Basisklassenkonstruktors. Falls in der Vererbungshierarchie der Urahn **Object** noch nicht erreicht ist, wird am Anfang des Basisklassenkonstruktors ein Konstruktor der Super-Superklasse aufgerufen, bis diese Sequenz schließlich mit dem Aufruf eines **Object**-Konstruktors endet.

  Auf jeder Hierarchieebene (beginnend bei **Object**) laufen zwei Teilschritte ab:
  - Die Instanzvariablen der Klasse werden initialisiert gemäß Deklaration.
  - Der Rumpf des Konstruktors wird ausgeführt.

Betrachten wir als Beispiel das Geschehen bei einem `Kreis`-Objekt, das mit dem Konstruktoraufruf

```
Kreis(150.0, 200.0, 30.0)
```

erzeugt wird:

- Das `Kreis`-Objekt wird mit allen Instanzvariablen (`xpos`, `ypos`, `radius`) auf dem Heap angelegt, und die Instanzvariablen werden mit Nullen initialisiert.
- Aktionen für die Klasse **Object**:
  - Mangels Existenz sind keine Instanzvariablen der Klasse **Object** auf den deklarierten Initialisierungswert zu setzen.
  - Der Rumpf des parameterfreien **Object**-Konstruktors wird ausgeführt.
- Aktionen für die Klasse `Figur`:
  - Die Instanzvariablen `xpos` und `ypos` erhalten den Initialisierungswert laut Deklaration (jeweils 100,0).
  - Der Rumpf des Konstruktoraufrufs `Figur(150.0, 200.0)` wird ausgeführt, wobei `xpos` und `ypos` die Werte 150,0 bzw. 200,0 erhalten.
- Aktionen für die Klasse `Kreis`:
  - Die Instanzvariable `radius` erhält den Initialisierungswert 50,0 aus der Deklaration.
  - Der Rumpf des Konstruktoraufrufs `Kreis(150.0, 200.0, 30.0)` wird ausgeführt, wobei `radius` den Wert 30,0 erhält.

10.4 Überschreiben und Überdecken

10.4.1 Überschreiben von Instanzmethoden

Eine Basisklassenmethode darf in einer Unterklasse durch eine Methode mit gleichem Namen und gleicher Parameterliste (also mit gleicher Signatur, vgl. Abschnitt 4.3.4) überschrieben werden, die ein spezialisiertes Unterklassenverhalten realisiert. Es liegt übrigens *keine* Überschreibung vor, wenn in der Unterklasse eine Methode mit gleichem Namen, aber abweichender Parameterliste de-

klariert wird. In diesem Fall sind die beiden Signaturen verschieden, und es handelt sich um eine Über*ladung*.

Um das Überschreiben demonstrieren zu können, erweitern wir die `Figur`-Basisklasse um eine Methode namens `wo()`, welche die Position der linken oberen Ecke ausgibt:

```
public class Figur {
   public static void sm() {
      System.out.println("Statische Figur-Methode");
   }

   protected double xpos = 100.0, ypos = 100.0;

   public Figur(double x, double y) {
      if (x >= 0 && y >= 0) {
         xpos = x;
         ypos = y;
      }
   }

   public Figur() {}

   public void wo() {
      System.out.println("\nOben Links: (" + xpos + ", " + ypos + ") ");
   }
}
```

In der `Kreis`-Klasse kann eine bessere Ortsangabenmethode realisiert werden, weil hier auch die rechte untere Ecke definiert ist:

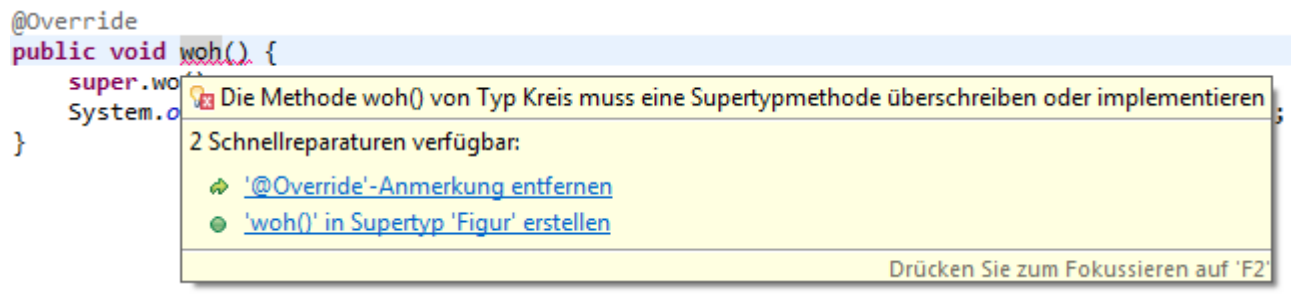
```
public class Kreis extends Figur {
   protected double radius = 50.0;

   public Kreis(double x, double y, double rad) {
      super(x, y);
      if (rad >= 0)
         radius = rad;
   }
   public Kreis() {}

   public double abstand(double x, double y) {
      return Math.sqrt(Math.pow(xpos+radius-x,2) + Math.pow(ypos+radius-y,2));
   }

   @Override
   public void wo() {
      super.wo();
      System.out.println("Unten Rechts: (" + (xpos+2*radius) +
                         ", " + (ypos+2*radius) + ")");
   }
}
```

Mit der Marker-Annotation **Override** (vgl. Abschnitt 7.4) kann man seine Absicht bekunden, bei einer Methodendefinition eine Basisklassenvariante zu überschreiben. Misslingt dieser Plan z.B. aufgrund eines Tippfehlers, warnt der Compiler, z.B.:



In der überschreibenden Methode kann man sich oft durch Rückgriff auf die überschriebene Methode die Arbeit erleichtern, wobei wieder das Schlüsselwort **super** zum Einsatz kommt. Das folgende Programm schickt an eine `Figur` und an einen `Kreis` jeweils die Nachricht `wo()`, und beide zeigen ihr artspezifisches Verhalten:

Quellcode	Ausgabe
`class Test {` `  public static void main(String[] ars) {` `  Figur f = new Figur(10.0, 20.0);` `  f.wo();` `  Kreis k = new Kreis(50.0, 100.0, 25.0);` `  k.wo();` `  }` `}`	`Oben Links: (10.0, 20.0)` `Oben Links: (50.0, 100.0)` `Unten Rechts: (100.0, 150.0)`

Auch bei den vom Urahntyp **Object** geerbten Methoden kommt ein Überschreiben in Frage. Die **Object**-Methode **toString()** liefert neben dem Klassennamen den (meist aus der Speicheradresse abgeleiteten) Hashcode des Objekts. Sie wird z.B. von der **String**-Methode **println()** automatisch genutzt, um die Zeichenfolgendarstellung zu einem Objekt zu ermitteln, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  Prog tst1 = new Prog(), tst2 = new Prog();` `  System.out.println(tst1 + "\n"+ tst2);` `  }` `}`	`Prog@15e8f2a0` `Prog@7090f19c`

In der API-Dokumentation zur Klasse **Object** wird das Überschreiben der Methode **toString()** explizit für alle Klassen empfohlen.

Diese Empfehlung wird in der folgenden Klasse `Mint` (ein **int**-Wrapper, siehe Übungsaufgabe zu Abschnitt 5.3) umgesetzt:

```
public class Mint {
  public int val;

  public Mint(int val_) {
    val = val_;
  }

  public Mint() {}

  @Override
  public String toString() {
    return String.valueOf(val);
  }
}
```

Ein `Mint`-Objekt antwortet auf die **toString**()-Botschaft mit der Zeichenfolgendarstellung des gekapselten **int**-Werts:

Quellcode	Ausgabe
`class Test {` `  public static void main(String[] args) {` `   Mint zahl = new Mint(4711);` `   System.out.println(zahl);` `  }` `}`	`4711`

Den sinnlosen Versuch, eine Instanzmethode der Basisklasse durch eine statische Methode der abgeleiteten Klasse zu überschreiben, verhindert der Compiler.

10.4.2 Überdecken von statischen Methoden

Wie sich gleich im Abschnitt 10.6 über die Polymorphie zeigen wird, besteht der Clou bei überschriebenen Instanzmethoden darin, dass erst zur Laufzeit in Abhängigkeit vom tatsächlichen Typ das handelnden Objekts entschieden wird, ob die Basisklassen- oder die Unterklassenmethode zum Einsatz kommt. Der Typ des handelnden Objekts ist in vielen Fällen zur Übersetzungszeit noch nicht bekannt, weil:

- über eine Basisklassenreferenzvariable durchaus auch ein Unterklassenobjekt verwaltet werden kann (siehe Abschnitt 10.5),
- und sich der konkrete Typ oft erst zur Laufzeit entscheidet, z.B. in Abhängigkeit von einer Wahl des Benutzers.

Es ist selbstverständlich möglich, in einer abgeleiteten Klasse eine statische Methode zu definieren, welche die Signatur einer Basisklassenmethode besitzt (selber Name und selbe Parameterliste). Zur eben beschriebenen späten Entscheidung durch das Laufzeitsystem kann es aber nicht kommen. Die auszuführende statische Methode steht grundsätzlich schon zur Übersetzungszeit fest, und man spricht hier vom *Überdecken* oder *Verstecken* der Basisklassenmethode. Dabei bleibt die Basisklassenvariante durch Voranstellen des Klassennamens in den Methoden der abgeleiteten Klasse weiterhin ansprechbar, z.B.:

```
public class Figur {
 public static void sm() {
  System.out.println("Statische Figur-Methode");
 }

   . . .
}
public class Kreis extends Figur {
 public static void sm() {
  System.out.println("\nStatische Kreis-Methode");
  Figur.sm();
 }
   . . .
}
```

Den sinnlosen Versuch, eine statische Methode der Basisklasse durch eine Instanzmethode der abgeleiteten Klasse zu überdecken, verhindert der Compiler.

10.4.3 Finalisierte Methoden

Gelegentlich ist es sinnvoll, die Flexibilität der objektorientierten Vererbungstechnik gezielt einzuschränken, um das Auftreten von Unterklassenobjekten zu verhindern, die essentielles Basisklassenverhalten auf unerwünschte Weise neu definieren. Wie Sie aus Abschnitt 10.1 wissen, kann man für eine Klasse generell verbieten, abgeleitete Klassen zu definieren. Finalisiert man statt der ge-

samten Klasse eine Methode, darf zwar eine abgeleitete Klasse definiert, dabei aber das finalisierte Erbstück nicht überschrieben bzw. überdeckt werden. Dient etwa die Methode `passwd()` einer Klasse `Acl` zum Abfragen eines Passwortes, will ihr Programmierer eventuell verhindern, dass `passwd()` in einer von `Acl` abstammenden Klasse `Bcl` überschrieben wird. Ein guter Grund zum Finalisieren besteht meist auch bei Methoden, die von einem Konstruktor aufgerufen werden.

Um das Überscheiben einer Instanzmethode oder das Überdecken einer statischen Methode zu verbieten, setzt man bei der Definition den Modifikator **final**. Unsere Klasse `Figur` (siehe Abschnitt 10.4.1) könnte z.B. eine Methode `oleck()` zur Ausgabe der oberen linken Ecke erhalten, die von den spezialisierten Klassen nicht geändert werden soll und daher als **final** (endgültig) deklariert wird:

```
final public void oleck() {
  System.out.print("\nOben Links: (" + xpos + ", " + ypos + ") ");
}
```

Neben der beschriebenen Anwendungssicherheit bringt das Finalisieren einer Instanzmethode noch einen kleinen Performanzvorteil: Während bei nicht-finalisierten Instanzmethoden *das Laufzeitsystem* feststellen muss, welche Variante in Abhängigkeit von der faktischen Klassenzugehörigkeit des angesprochenen Objekts tatsächlich ausgeführt werden soll (vgl. Abschnitt 10.6 über Polymorphie), steht eine **final**-Methode schon beim Übersetzen fest.

10.4.4 Felder überdecken

Wird in der abgeleiteten Klasse `Spezial` für eine Instanz- oder Klassenvariable ein Name verwendet, der bereits eine Variable der beerbten Klasse `General` bezeichnet, dann wird die Basisklassenvariable überdeckt. Sie ist jedoch weiterhin vorhanden und kommt in folgenden Situationen zum Einsatz:

- Von `General` geerbte Methoden verwenden weiterhin die `General`-Variable. In der `Spezial`-Klasse implementierte Methoden (zusätzliche, überschreibende oder überdeckende) greifen auf die `Spezial`-Variable zu.
- In der `Spezial`-Klasse implementierte Methoden können auf die `General`-Variable zugreifen:
  - auf eine überdeckte Instanzvariable durch das vorangestellte Schlüsselwort **super**
  - auf eine überdeckte statische Variable durch den vorangestellten Klassennamen.

Im folgenden Beispielprogramm führt ein `Spezial`-Objekt eine `General`- und eine `Spezial`-Methode aus, um den Zugriff auf eine überdeckte Instanzvariable zu demonstrieren:

Quellcode	Ausgabe
`// Datei General.java` `class General {` `  String x = "x-Gen";` `  void gm() {` `    System.out.println("x in gm():\t\t "+x);` `  }` `}` `// Datei Spezial.java` `class Spezial extends General {` `  int x = 333;` `  void sm() {` `   System.out.println("x in sm().:\t\t "+x);` `   System.out.println("\nsuper-x in sm():\t "+` `                      super.x);` `  }` `}`	`x in gm():  x-Gen` `x in sm():  333` `super-x in sm():  x-Gen`

Quellcode	Ausgabe
`// Datei Test.java` `class Test {` `  public static void main(String[] args) {` `  Spezial sp = new Spezial();` `  sp.gm();` `  sp.sm();` `  }` `}`	

Während das Überschreiben von Methoden oft von entscheidender Bedeutung bei der Entwicklung guter Lösungen ist, finden sich für das potentiell verwirrende Überdecken von Feldern nur wenige sinnvolle Einsatzzwecke.

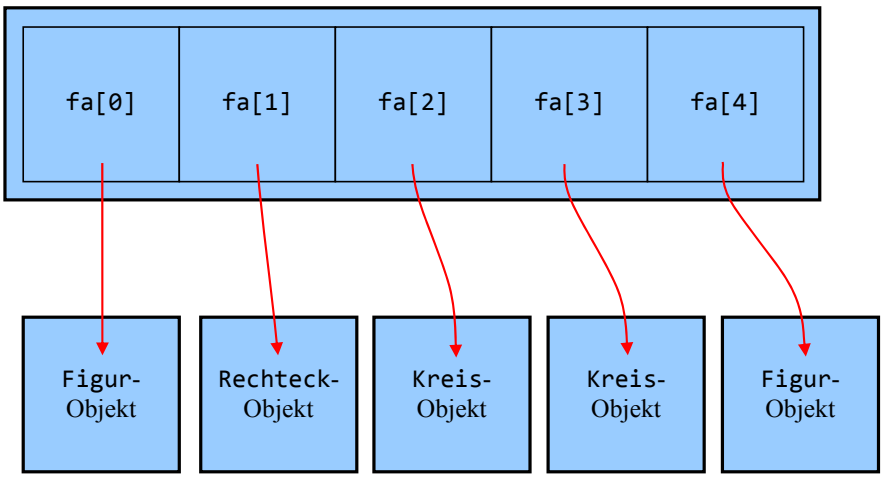
10.5 Verwaltung von Objekten über Basisklassenreferenzen

Eine Basisklassenreferenzvariable darf die Adresse eines beliebigen Unterklassenobjektes aufnehmen. Schließlich besitzt Letzteres die komplette Ausstattung der Basisklasse und kann z.B. dort definierte Methoden ausführen. Ein Objekt steht nicht nur zur eigenen Klasse in der „ist-ein“-Beziehung, sondern erfüllt diese Relation auch in Bezug auf die direkte Basisklasse sowie in Bezug auf alle indirekten Basisklassen in der Ahnenreihe. Angewendet auf das Beispiel in Abschnitt 10.1 ergibt sich die sehr plausible Feststellung, dass jeder Kreis auch eine Figur ist.

Andererseits verfügt ein Basisklassenobjekt in der Regel *nicht* über die Ausstattung von abgeleiteten (erweiterten bzw. spezialisierten) Klassen. Daher ist es sinnlos und verboten, die Adresse eines Basisklassenobjektes in einer Unterklassen-Referenzvariablen abzulegen.

Über Referenzvariablen vom Typ einer gemeinsamen Basisklasse lassen sich also Objekte aus unterschiedlichen Klassen verwalten. Im Rahmen eines Grafik-Programms kommt vielleicht ein Array mit dem Elementtyp `Figur` zum Einsatz, dessen Elemente auf Objekte aus der Basisklasse oder aus einer abgeleiteten Klasse wie `Kreis` oder `Rechteck` zeigen:

Array `fa` mit Elementtyp `Figur`



Das folgende Programm verwaltet Referenzen auf Figuren und Kreise in einem Array vom Typ `Figur`:

Quellcode	Ausgabe
`class Test {` `  public static void main(String[] ars) {` `  Figur[] fa = new Figur[4];` `  fa[0] = new Figur(10.0, 20.0);` `  fa[1] = new Kreis(50.0, 50.0, 25.0);` `  fa[2] = new Figur(0.0, 30.0);` `  fa[3] = new Kreis(100.0, 100.0, 10.0);` `  for (int i = 0; i < fa.length; i++)` `  if (fa[i] instanceof Kreis)` `  System.out.println("Figur "+i+": Radius = "+` `  ((Kreis)fa[i]).gibRadius());` `  else` `  System.out.println("Figur "+i+": kein Kreis");` `  }` `}`	`Figur 0: kein Kreis` `Figur 1: kein Kreis` `Figur 2: Radius = 25.0` `Figur 3: Radius = 10.0` `Figur 4: kein Kreis`

Über eine `Figur`-Referenzvariable, die auf ein `Kreis`-Objekt zeigt, sind Erweiterungen der `Kreis`-Klasse (zusätzliche Felder und Methoden) *nicht* unmittelbar zugänglich. Wenn (auf eigene Verantwortung des Programmierers) eine Basisklassenreferenz als Unterklassenreferenz behandelt werden soll, um eine unterklassenspezifische Methode oder Variable anzusprechen, dann muss eine explizite Typumwandlung vorgenommen werden, z.B.:

```
((Kreis)fa[i]).gibRadius())
```

Im Zweifelsfall sollte man sich über den **instanceof**-Operator vergewissern, ob das referenzierte Objekt tatsächlich zur vermuteten Klasse gehört.

```
if (fa[i] instanceof Kreis)
  System.out.println("Figur "+i+": Radius = "+((Kreis)fa[i]).gibRadius());
```

Um den Zugriff auf Unterklassenerweiterungen demonstrieren zu können, hat die Klasse `Figur` im Vergleich zur Version in Abschnitt 10.4.1 die zusätzliche Methode `gibRadius()` erhalten:

```
public int gibRadius() {
  return radius;
}
```

10.6 Polymorphie

Werden Objekte aus verschiedenen Klassen über Referenzvariablen eines gemeinsamen Basistyps verwaltet, sind nur Methoden nutzbar, die schon in der Basisklasse definiert sind. Bei überschriebenen Methoden reagieren die Objekte jedoch unterschiedlich (jeweils unterklassentypisch) auf dieselbe Botschaft. Genau dieses Phänomen bezeichnet man als **Polymorphie**. Wer sich hier mit einem exotischen und nutzlosen Detail konfrontiert glaubt, sei an die Auffassung von Alan Kay erinnert, der wesentlich zur Entwicklung der objektorientierten Programmierung beigetragen hat. Er zählt die Polymorphie neben der Datenkapselung und der Vererbung zu den Grundelementen dieser Softwaretechnologie (siehe Abschnitt 4.1.1).

Gegen die unvermeidlichen Gewöhnungsprobleme mit dem Konzept der Polymorphie hilft am besten praktische Erfahrung. In welchem Ausmaß durch Polymorphie die Programmierpraxis erleichtert wird, kann leider durch die notwendigerweise kurzen Demonstrationsbeispiele nur ansatzweise vermittelt werden.

Das Figurenprojekt besitzt bereits alle Voraussetzungen zur Demonstration der Polymorphie im folgenden Beispielprogramm:

```
class Test {
 public static void main(String[] ars) {
  Figur[] fa = new Figur[3];
  fa[0] = new Figur(10.0, 20.0);
  fa[1] = new Kreis(50.0, 50.0, 25.0);
  fa[0].wo();
  fa[1].wo();
  System.out.print("\nWollen Sie zum Abschluss noch eine"+
   " Figur oder einen Kreis erleben?"+
   "\nWaehlen Sie durch Abschicken von \"f\" oder \"k\": ");
  if (Character.toUpperCase(Simput.gchar()) == 'F')
   fa[2] = new Figur();
  else
   fa[2] = new Kreis();
  fa[2].wo();
  if (fa[2] instanceof Kreis)
   System.out.println("Radius: "+((Kreis)fa[2]).gibRadius());
 }
}
```

Hier werden Referenzen auf `Figur`- und `Kreis`-Objekte in einem Array vom gemeinsamen Basistyp `Figur` verwaltet (vgl. Abschnitt 10.5). Beim Ausführen der `wo()`-Methode, stellt das Laufzeitsystem die tatsächliche Klassenzugehörigkeit fest und wählt die passende Methode aus (spätes bzw. dynamisches Binden):

```
Oben Links: (10.0, 20.0)

Oben Links: (50.0, 50.0)
Unten Rechts: (100.0, 100.0)

Wollen Sie zum Abschluss noch eine Figur oder einen Kreis erleben?
Waehlen Sie durch Abschicken von "f" oder "k": k

Oben Links: (100.0, 100.0)
Unten Rechts: (200.0, 200.0)
Radius: 50.0
```

Zum „Beweis“, dass tatsächlich eine späte Bindung stattfindet, darf im Beispielprogramm der Laufzeittyp des Array-Elements `fa[2]` vom Benutzer festgelegt werden.

Wird in einer Klasse zur Verwendung von geometrischen Objekten der breite Elementdatentyp `Figur` deklariert, führen die zu diversen `Figur`-Unterklassen gehörigen Objekte bei einem Methodenaufruf ihr artspezifisches Verhalten aus. Später können neue `Figur`-Ableitungen einbezogen werden, ohne den Quellcode der bereits vorhandenen Klassen ändern zu müssen. So sorgen Vererbung und Polymorphie für produktives Software-Recycling im Sinn des Open-Closed - Prinzips (vgl. Abschnitt 4.1.1.3).

Sehr verwandt zur eben beschriebenen *Basisklassen - Polymorphie* ist die *Interface - Polymorphie*, wobei als Datentyp für die flexiblen Referenzen an Stelle einer gemeinsamen Basisklasse ein Interface steht, das alle beteiligten Klassen implementieren. In Abschnitt 7.3 wurde ein Beispiel vorgestellt, ohne den Begriff *Polymorphie* zu erwähnen.

10.7 Abstrakte Methoden und Klassen

Um die eben beschriebene gemeinsame Verwaltung von Objekten aus diversen Unterklassen über Referenzvariablen von einem Basisklassentyp nutzen und dabei artgerechte Methodenaufrufe realisieren zu können, müssen die betroffenen Methoden in der Basisklasse vorhanden sein. Wenn es für die Basisklasse zu einer Methode keine sinnvolle Implementierung gibt, erstellt man dort eine **abstrakte** Methode:

- Man beschränkt sich auf den Methodenkopf und setzt dort den Modifikator **abstract**.
- Den Methodenrumpf ersetzt man durch ein Semikolon.

Im Figurenbeispiel ergänzen wir eine Methode namens `meldeInhalt()` zum Ermitteln des Flächeninhalts in der Klasse `Kreis`

```
public double meldeInhalt() {
   return 2 * Math.PI * radius*radius;
}
```

sowie in der von Ihnen im Rahmen einer Übungsaufgabe zu erstellenden Klasse `Rechteck`:

```
public double meldeInhalt() {
   return breite * hoehe;
}
```

Weil die Methode zum Ermitteln des Flächeninhalts in der Basisklasse `Figur` nicht sinnvoll realisierbar ist, wird sie hier abstrakt definiert:

```
public abstract class Figur {
   ...
   public abstract double meldeInhalt();
   ...
}
```

Enthält eine Klasse mindestens eine abstrakte Methode, dann handelt es sich um eine **abstrakte Klasse**, und bei der Klassendefinition muss der Modifikator **abstract** vergeben werden.

Aus einer abstrakten Klasse kann man zwar keine Objekte erzeugen, aber andere Klassen ableiten. Implementiert eine abgeleitete Klasse die abstrakten Methoden, lassen sich Objekte daraus herstellen; anderenfalls ist sie ebenfalls abstrakt. Im Beispiel werden aus der nunmehr abstrakten Klasse `Figur` die beiden „konkreten“ Klassen `Kreis` und `Rechteck` abgeleitet.

Außerdem eignet sich eine abstrakte Klasse bestens als Datentyp. Referenzen dieses Typs sind ja auch unverzichtbar, wenn Objekte diverser Unterklassen polymorph verwaltet werden sollen. Das folgende Programm:

```
class Test {
 public static void main(String[] ars) {
  Figur[] fa = new Figur[2];
  fa[0] = new Kreis(50.0, 50.0, 25.0);
  fa[1] = new Rechteck(10.0, 10.0, 100.0, 200.0);
  double ges = 0.0;
  for (int i = 0;  i < fa.length; i++) {
   System.out.printf("Fläche Figur %d (%-15s): %10.2f\n",
                     i, fa[i].getClass(), fa[i].meldeInhalt());
   ges += fa[i].meldeInhalt();
  }
  System.out.printf("\nGesamtflaeche:  %10.2f",ges);
 }
}
```

liefert die Ausgabe:

```
Fläche Figur 0 (class Kreis    ):    3926,99
Fläche Figur 1 (class Rechteck ):   20000,00

Gesamtflaeche:    23926,99
```

Die Methode `meldeInhalt()` eignet sich dazu, den Nutzen der Polymorphie noch einmal zu demonstrieren. Ein Programm für das Malerhandwerk könnte zur Planung der benötigten Farbmenge seinem Benutzer erlauben, beliebig viele Objekte aus diversen `Figur`-Unterklassen anzulegen, und dann die gesamte Oberfläche in einer Schleife durch polymorphe Methodenaufrufe ermitteln.

Statische Methoden dürfen *nicht* abstrakt definiert werden.

10.8 Vertiefung: Das Liskovsche Substitutionsprinzip (LSP)

Nachdem wir uns mit den konkreten Vorteilen von abstrakten Klassen und polymorphen Methodenaufrufen beschäftigt haben, muten wir uns in diesem Abschnitt eine etwas formale, aber keinesfalls praxisfremde Vertiefung zum Thema *Vererbung* zu. Das nach Barbara Liskov benannte Substitutionsprinzip (dt.: *Ersetzbarkeitsprinzip*) verlangt von einer Klassenhierarchie (Liskov & Wing 1999, S. 1):

> Let $\phi(x)$ be a property provable about objects x of type T. Then $\phi(y)$ should be true for objects y of type S where S is a subtype of T.

Wird beim Entwurf einer Klassenhierarchie das Liskovsche Substitutionsprinzip (LSP) beachtet, dann können Objekte einer abgeleiteten Klasse stets die Rolle von Basisklassenobjekten perfekt übernehmen, d.h. u.a.:

- Das „vertraglich" zugesicherte Verhalten der Basisklassenmethoden wird auch von den überschreibenden Unterklassenvarianten eingehalten.
- Unterklassenobjekte werden bei Verwendung in der Rolle von Basisklassenobjekten nicht beschädigt.

Eine Verletzung der Ersetzbarkeitsregel kann auch bei einfachen Beispielen auftreten, wobei oft eine aus dem Anwendungsbereich stammende Plausibilität zum fehlerhaften Design verleitet. So ist z.B. ein Quadrat aus mathematischer Sicht ein spezielles Rechteck. Definiert man in einer Klasse für Rechtecke die Methoden `SkaliereX()` und `SkaliereY()` zur Änderung der Länge in X- bzw. - Y-Richtung, so gehört zum „vertraglich" zugesicherten Verhalten dieser Methoden:

- Bei einem Zuwachs in X-Richtung bleibt die Y-Ausdehnung unverändert.
- Verdoppelt man die Breite eines Objekts, verdoppelt sich auch der Flächeninhalt.

Die simple Tatsache, dass aus mathematischer Perspektive jedes Quadrat ein Rechteck ist, rät offenbar dazu, eine Klasse für Quadrate aus der Klasse für Rechtecke abzuleiten. In der neuen Klasse ist allerdings die Konsistenzbedingung zu ergänzen, dass bei einem Quadrat stets alle Seiten gleich lang bleiben müssen. Um das Auftreten irregulärer Objekte der Klasse `Quadrat` zu verhindern, wird man z.B. die Methode `SkaliereX()` so überschreiben, dass bei einer X-Modifikation automatisch auch die Y-Ausdehnung angepasst wird. Damit ist aber der `SkaliereX()`–Vertrag verletzt, wenn ein Quadrat die Rechteckrolle übernimmt. Eine verdoppelte X-Länge führt etwa nicht zur doppelten, sondern zur vierfachen Fläche. Verzichtet man andererseits in der Klasse `Quadrat` auf das Überschreiben der Methode `SkaliereX()`, ist bei den Objekten dieser Klasse die Konsistenzbedingung identischer Seitenlängen massiv gefährdet. Offenbar haben Plausibilitätsüberlegungen zu einer schlecht entworfenen Klassenhierarchie geführt.

Eine exakte Verhaltensanalyse zeigt, dass ein Quadrat in funktionaler Hinsicht eben doch kein Rechteck ist. Es fehlt die für Rechtecke typische Option, die Ausdehnung in X- bzw. Y-Richtung separat zu verändern. Diese Option könnte in einem Algorithmus, der den Datentyp `Rechteck` voraussetzt, von Bedeutung sein. Es muss damit gerechnet werden, dass der Algorithmus irgendwann (bei einer Erweiterung der Software) auf Objekte mit einem von `Rechteck` abstammenden Datentyp trifft. Passiert dies mit der Klasse `Quadrat` könnte es zum Crash kommen, weil z.B. ein automatisch an die Länge eines Transporters angepasstes Objekt unbemerkt an Höhe zulegt und unterwegs gegen eine Brücke stößt.

Derartige Designfehler können vom Compiler nicht verhindert werden. Java bietet alle Voraussetzungen für eine erfolgreiche objektorientierte Analyse und Programmierung, kann aber z.B. eine Verletzung des Substitutionsprinzips nicht verhindern.

10.9 Übungsaufgaben zu Kapitel 10

1) Warum kann der folgende Quellcode (mit zwei Klassen im Standardpaket) nicht übersetzt werden?

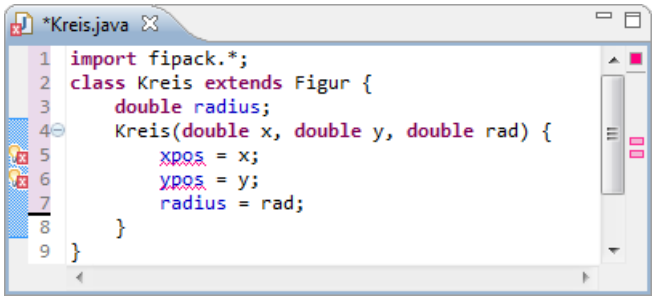
```
// Datei General.java
class General {
   int ig;
   General(int igp) {
      ig = igp;
   }
   void hallo() {
      System.out.println("hallo-Methode der Klasse General");
   }
}
// Datei Spezial.java
class Spezial extends General {
   int is = 3;
   void hallo() {
      System.out.println("hallo-Methode der Klasse Spezial");
   }
}
```

2) Im folgenden Beispiel wird die Klasse `Kreis` aus der Klasse `Figur` abgeleitet:

```
// Datei Figur.java
package fipack;
public class Figur {
   double xpos, ypos;
}

// Datei Kreis.java
import fipack.*;
class Kreis extends Figur {
   double radius;
   Kreis(double x, double y, double rad) {
      xpos = x;
      ypos = y;
      radius = rad;
   }
}
```

Trotzdem erlaubt der Compiler dem `Kreis`-Konstruktor keinen Zugriff auf die geerbten Instanzvariablen `xpos` und `ypos` eines neuen `Kreis`-Objekts:



Wie ist das Problem zu erklären und zu lösen?

3) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Aus einer abstrakten Klasse lassen sich keine Objekte erzeugen.
2. Aus einer abstrakten Klasse lassen sich keine Klassen ableiten.
3. In einer abstrakten Klasse müssen alle Methoden abstrakt sein.
4. Wird eine abstrakte Basisklasse beerbt, muss die abgeleitete Klasse alle abstrakten Methoden implementieren.
5. Für ein per Basisklassenreferenz ansprechbares Objekt kann zur Laufzeit über den **instanceof** - Operator festgestellt werden, ob es zu einer bestimmten abgeleiteten Klasse gehört.

4) Im Ordner

...\BspUeb\Vererbung und Polymorphie\abstract

finden Sie das Figurenbeispiel auf dem Entwicklungsstand von Abschnitt 10.7. Neben der im Manuskript diskutierten `Kreis`-Klasse ist die ebenfalls von `Figur` abgeleitete Klasse `Rechteck` vorhanden mit …

- zusätzlichen Instanzvariablen für Breite und Höhe,
- einer `wo()`-Methode, welche die geerbte `Figur`-Version überschreibt und
- einer `meldeInhalt()`-Methode, welche die abstrakte `Figur`-Version implementiert.

In der `Kreis`-Klasse ist seit Abschnitt 10.2 die Methode `abstand()` vorhanden, welche die Entfernung einer bestimmten Position vom Kreismittelpunkt liefert. Implementieren Sie diese Methode analog auch in der Klasse `Rechteck`. Damit die Methode polymorph verwendbar ist, muss sie in der Basisklasse `Figur` vorhanden sein, wobei eine Implementation aber wohl nicht sinnvoll ist. Erstellen Sie ein Testprogramm, das polymorphe Objektverwaltung und entsprechende Methodenaufrufe demonstriert.

5) Wird in einer Basisklasse die Implementation einer Methode verbessert, dann profitieren auch alle abgeleiteten Klassen. Was muss geschehen, damit die Objekte einer abgeleiteten Klasse bei einer geerbten Methode die verbesserte Variante benutzen?

a) Es genügt, die Basisklasse neu zu übersetzen und (z.B. per Klassensuchpfad) dafür zu sorgen, dass die aktualisierte Basisklasse von der JRE geladen wird.
b) Man muss sowohl die Basisklasse als auch die abgeleitete Klasse neu übersetzen.

11 Ausnahmebehandlung

Durch Programmierfehler (z.B. versuchter Array-Zugriff mit ungültigem Indexwert) oder durch besondere Umstände (z.B. irreguläre Eingabedaten, Speichermangel, unterbrochene Netzverbindungen) kann die reguläre Ausführung einer Methode scheitern. Solche Probleme sollten entdeckt, behoben oder zusammen mit hilfreichen Informationen an den Aufrufer der Methode und eventuell schlussendlich an den Benutzer gemeldet werden, statt zu einem Absturz des Programms und sogar zu einem Datenverlust zu führen.

Java bietet ein modernes Verfahren zur Meldung und Behandlung von Problemen: An der Unfallstelle wird ein Ausnahmeobjekt aus der Klasse **Exception** aus dem Paket **java.lang** oder aus einer problemspezifischen Unterklasse erzeugt und der unmittelbar verantwortlichen Methode „zugeworfen". Diese wird über das Problem informiert und mit relevanten Daten für die Behandlung versorgt.

Die Initiative beim Auslösen einer Ausnahme kann ausgehen …

- vom **Laufzeitsystem**
  Wir dürfen annehmen, dass die JRE praktisch immer stabil bleibt. Entdeckt sie einen Fehler, der nicht zu schwerwiegend ist und vom Benutzerprogramm prinzipiell behoben werden kann, wirft sie ein Ausnahmeobjekt, bei einem versuchten Feldzugriff mit ungültigem Indexwert z.B. ein Objekt aus der Klasse **IndexOutOfBoundsException**.
- vom **Programm**, wozu auch die verwendeten Bibliotheksklassen gehören
  In jeder Methode kann mit der **throw**-Anweisung (siehe Abschnitt 11.6) eine Ausnahme erzeugt werden.

Die unmittelbar von einer Ausnahme betroffene Methode steht oft am Ende einer Sequenz verschachtelter Methodenaufrufe, und entlang der Aufrufersequenz haben die beteiligten Methoden jeweils folgende Reaktionsmöglichkeiten:

- Ausnahmeobjekt abfangen und das Problem behandeln
  Dabei ist der im Ausnahmeobjekt enthaltene Unfallbericht von Nutzen. Scheidet die Fortführung des ursprünglichen Handlungsplans auch nach der Ausnahmebehandlung aus, sollte erneut ein Ausnahmeobjekt geworfen werden, entweder das ursprüngliche oder ein informativeres.
- Ausnahmeobjekt ignorieren und dem Vorgänger in der Aufrufersequenz überlassen

Wir werden uns anhand verschiedener Versionen eines Beispielprogramms damit beschäftigen,

- was bei unbehandelten Ausnahmen geschieht,
- wie man Ausnahmen abfängt,
- wie man selbst Ausnahmen wirft,
- wie man eigene Ausnahmeklassen definiert.

Man kann von keinem Programm erwarten, dass es unter allen widrigen Umständen normal funktioniert. Doch müssen Datenverluste verhindert werden, und der Benutzer sollte nach Möglichkeit eine nützliche Information zum aufgetretenen Problem erhalten. Bei vielen Methodenaufrufen ist es realistisch und erforderlich, auf ein Scheitern vorbereitet zu sein. Dies folgt schon aus **Murphy's Law** (zitiert nach Wikipedia):

„Whatever can go wrong, will go wrong."

11.1 Unbehandelte Ausnahmen

Findet die JRE zu einer Ausnahme entlang der Aufrufersequenz bis hinauf zur **main()**-Methode keine Behandlungsroutine, dann bringt sie den im Ausnahmeobjekt enthaltenen Unfallbericht auf die Konsole und beendet das Programm, z.B.:

```
Exception in thread "main" java.lang.NumberFormatException: For input string: "vier"
        at java.lang.NumberFormatException.forInputString(Unknown Source)
        at java.lang.Integer.parseInt(Unknown Source)
        at java.lang.Integer.parseInt(Unknown Source)
        at Fakul.convertInput(Fakul.java:3)
        at Fakul.main(Fakul.java:14)
```

Wird ein Programm im Rahmen unsere Entwicklungsumgebung Eclipse ausgeführt, besitzt der Unfallbericht eine auffällige Färbung und klickbare Verknüpfungen zu den Quellcodezeilen der betroffenen Methoden in der Aufrufsequenz, z.B.:

```
Exception in thread "main" java.lang.NumberFormatException: For input string: "vier"
 at java.lang.NumberFormatException.forInputString(NumberFormatException.java:65)
 at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:492)
 at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:527)
 at Fakul.convertInput(Fakul.java:3)
 at Fakul.main(Fakul.java:14)
```

Wenn Sie zu den API-Methoden in der Aufrufsequenz statt einer Ortsangabe (aus Dateinamen und Zeilennummer) nur *Unknown Source* sehen, müssen Sie in Eclipse eine JRE *mit* begleitenden Quellcode einstellen (siehe Abschnitt 2.4.7.3).

Das folgende Programm soll die Fakultät zu einer Zahl ausrechnen, die beim Start als Programmargument übergeben wird. Dabei beschränkt sich die **main()**-Methode auf die eigentliche Fakultätsberechnung und überlässt die Konvertierung und Validierung des übergebenen Strings der Methode `convertInput()`. Diese wiederum stützt sich bei der Konvertierung auf die statische Methode **parseInt()** der Klasse **Integer**:

```
class Fakul {
 static int convertInput(String instr) {
  int arg = Integer.parseInt(instr);
  if (arg >= 0  &&  arg <= 170)
   return arg;
  else
   return -1;
 }

 public static void main(String[] args) {
  int argument = -1;

  if (args.length > 0)
   argument = convertInput(args[0]);
  else {
   System.out.println("Kein Argument angegeben");
   System.exit(1);
  }

  if (argument != -1) {
   double fakul = 1.0;
   for (int i = 1; i <= argument; i++)
      fakul = fakul * i;
   System.out.printf("%s! = %.0f", args[0], fakul);
  } else
   System.out.printf("Keine ganze Zahl im Intervall [0, 170]: " + args[0]);
 }
}
```

Das Programm ist durchaus bemüht, einige kritische Fälle zu vermeiden. Die Methode **main()** überprüft, ob `args[0]` tatsächlich vorhanden ist, bevor diese **String**-Referenz beim Aufruf der Methode `convertInput()` als Parameter verwendet wird. Damit wird verhindert, dass es zu einer **ArrayIndexOutOfBoundsException** kommt, wenn der Benutzer das Programm ohne Kommandozeilenparameter startet. Weil das Programm in dieser Situation kein Fakultätsargument und auch keine Fähigkeiten zum Befragen des Benutzers besitzt, belehrt es den Benutzer und beendet sich durch Aufruf der Methode **System.exit()**, der als Aktualparameter ein **Exitcode** übergeben wird. Dieser landet beim Betriebsystem und steht unter Windows in der Umgebungsvariablen ERRORLEVEL zur Verfügung, z.B.:

```
>java Fakul
Kein Argument angegeben

>echo %ERRORLEVEL%
1
```

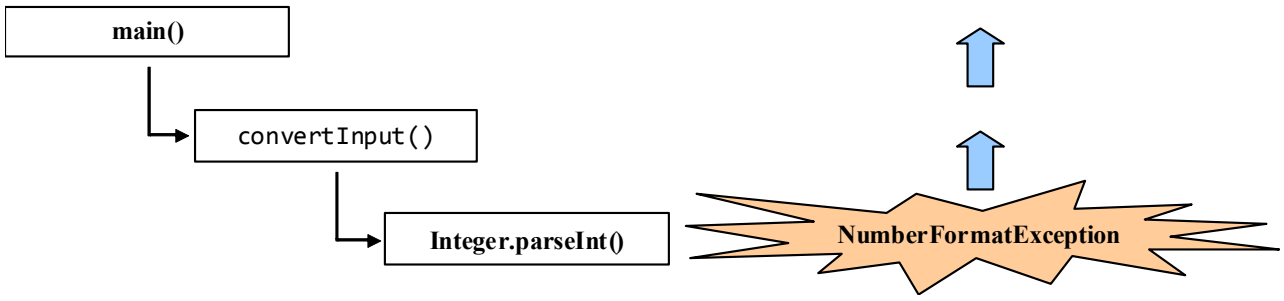
Die Reaktion auf ein fehlendes Programmargument kann als akzeptabel gelten. An Stelle der für Benutzer irritierenden und wenig hilfreichen Ausnahmemeldung durch das Laufzeitsystem

```
Exception in thread "main" java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 0
 at Fakul.main(Fakul.java:14)
```

erscheint eine verwertbare Information.

Die Methode `convertInput()` überprüft, ob die aus dem übergebenen **String**-Parameter ermittelte **int**-Zahl außerhalb des zulässigen Wertebereichs für eine Fakultätsberechnung (mit **double**-Ergebniswert) liegt, und meldet ggf. den Wert -1 als Fehlerindikator zurück. **main()** erkennt die spezielle Bedeutung dieses Rückgabewerts, so dass z.B. unsinnige Fakultätsberechnungen für negative Argumente vermieden werden. Diese traditionelle Fehlerbehandlung per Rückgabewert ist *nicht* grundsätzlich als überholt und ineffizient zu bezeichnen, aber in vielen Situationen doch der gleich vorzustellenden Kommunikation über Ausnahmeobjekte unterlegen (siehe Abschnitt 11.3 zum Vergleich von Fehlerrückmeldung und Ausnahmebehandlung).

Trotz seiner präventiven Bemühungen ist das Programm leicht aus dem Tritt zu bringen, indem man es mit einer nicht konvertierbaren Zeichnfolge füttert (z.B. „vier“). Die zunächst betroffene Methode[1] **Integer.parseInt()** wirft daraufhin eine **NumberFormatException**. Diese wird vom Laufzeitsystem entlang der Aufrufreihenfolge an `convertInput()` und dann an **main()** gemeldet:



Weil beide Methoden keine Behandlungsroutine bereithalten, bringt die JRE den im Ausnahmeobjekt enthaltenen Unfallbericht auf die Konsole (siehe oben) und beendet das Programm.

[1] Aufrufverschachtelungen *innerhalb* der Java-Klassenbibliothek ignorieren wir an dieser Stelle. In Abschnitt 11.2.3wird die Angelegenheit mit Hilfe des API-Quellcodes genauer untersucht.

11.2 Ausnahmen abfangen

11.2.1 Die try-catch-finally - Anweisung

In Java wird die Behandlung von Ausnahmen über die **try-catch-finally** - Anweisung unterstützt:

```
try {
  Überwachter Block mit Anweisungen für den plangemäßen Ablauf
}
catch (Ausnahmeklassenliste Ausnahmeparameter) {
  Anweisungen für die Behandlung einer Ausnahme aus einer aufgelisteten Klasse
    }
// Optional können weitere Ausnahmen abgefangen werden:
catch (Ausnahmeklassenliste Ausnahmeparameter) {
  Anweisungen für die Behandlung einer Ausnahme aus einer aufgelisteten Klasse
}

  . . .

// Optionaler Block mit Abschlussarbeiten.
// Bei vorhandenem finally-Block ist kein catch-Block erforderlich.
finally {
  Anweisungen, die unabhängig vom Auftreten einer Ausnahme ausgeführt werden
}
```

Die Anweisungen für den ungestörten Ablauf setzt man in den **try**-Block. Treten bei der Ausführung dieses geschützten bzw. überwachten Blocks *keine* Fehler auf, wird das Programm hinter der **try**-Anweisung fortgesetzt, wobei ggf. vorher noch der **finally**–Block ausgeführt wird.

Weil es der obigen Syntaxbeschreibung im Quellcodedesign trotz Unterstützung durch Kommentare an Präzision fehlt, sollen Sie in einer Übungsaufgabe ein Syntaxdiagramm erstellen (siehe Abschnitt 11.9).

11.2.1.1 Ausnahmebehandlung per catch-Block

Tritt im **try**-Block eine Ausnahme auf, wird seine Ausführung abgebrochen, und das Laufzeitsystem sucht nach einem **catch**-Block, welcher eine Ausnahme der betroffenen Klasse behandeln kann.

Ein **catch**-Block, den man oft auch als *Exception-Handler* bezeichnet, verfügt in gewisser Analogie zu einer Methode in seinem Kopfbereich über eine Typangabe und einen Formalparameter. Vor Java 7 konnte pro Exception-Handler nur *eine* zu behandelnde Ausnahmeklasse angegeben werden, z.B.:

```
catch (NumberFormatException e) {
  .  .  .
}
```

Seit Java 7 ist neben diesem **Single-Catch - Block** auch ein **Multiple-Catch - Block** mit einer Liste von Ausnahmeklassen erlaubt, für die eine einheitlich Behandlung vereinbart werden soll, z.B.:

```
catch (NumberFormatException | ArithmeticException e) {
  .  .  .
}
```

Bei einem Multi-Catch - Block sind folgende Regeln zu beachten:

- Die Namen der Ausnahmeklassen werden durch einen senkrechten Strich | getrennt, der bekanntlich (zwischen zwei logischen Ausdrücken) auch für die logische ODER-Operation steht (vgl. Abschnitt 3.5.5). Das ist eine gute Wahl, denn im obigen Beispiel wird der Exception-Handler aktiv, wenn eine **NumberFormatException** *oder* eine **ArithmeticException** aufgetreten ist.
- Es ist es verboten (und auch sinnlos), neben einer Klasse `K` auch von `K` abgeleitete Klassen in die Liste aufzunehmen.
- Ein Multi-Catch - Block wird vom Compiler in entsprechend viele, hintereinander stehende Single-Catch - Blöcke mit identischen Anweisungen umgesetzt.

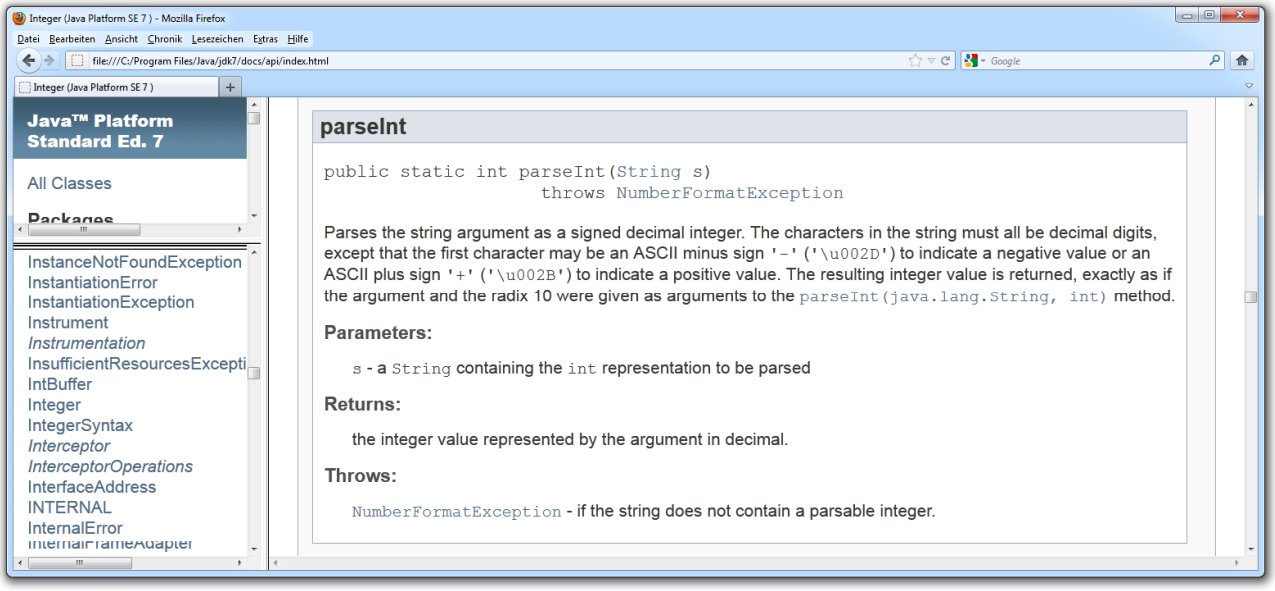
Das Laufzeitsystem sucht für ein zu behandelndes Ausnahmeobjekt nach einem **catch**-Block mit einer passenden Ausnahmeklasse und führt ggf. den zugehörigen Anweisungsblock aus. Weil die Liste der **catch**-Blöcke von oben nach unten durchsucht wird, müssen *breitere* Ausnahmeklassen stets *unter* spezielleren stehen. Freundlicherweise stellt der Compiler die Einhaltung dieser Regel sicher.

In der folgenden Variante der Methode `convertInput()` aus unserem Beispielprogramm wird eine von **Integer.parseInt()** ausgelöste **NumberFormatException** abgefangen. Der **catch**-Block beendet die Methodenausführung mit dem Rückgabewert -2, der als Fehlerindikator zu verstehen ist:

```
static int convertInput(String instr) {
  int arg;
  try {
    arg = Integer.parseInt(instr);
  }
  catch (NumberFormatException e) {
    return -2;
  }

  if (arg < 0  || arg > 170) {
    return -1;
  }
  else
    return arg;
}
```

Wie die API-Dokumentation zeigt, sind von **parseInt()** keine Ausnahmen aus anderen Klassen zu erwarten:



In der Methode **main()** muss der neue Fehlerindikator berücksichtigt werden:

```
public static void main(String args[]) {
 int argument = -1;

 if (args.length > 0)
  argument = convertInput(args[0]);
 else {
  System.out.println("Kein Argument angegeben");
  System.exit(1);
 }

 switch (argument) {
  case -1: System.out.printf("Keine ganze Zahl im Intervall [0, 170]: " + args[0]);
           break;
  case -2: System.out.printf("Fehler beim Konvertieren von: " + args[0]);
           break;
  default: double fakul = 1.0;
           for (int i = 1; i <= argument; i++)
            fakul = fakul * i;
           System.out.printf("%s! = %.0f", args[0], fakul);
 }
}
```

Beim Programmstart mit einem nicht-konvertierbaren Kommandozeilenparameter erscheint nun eine informative Fehlermeldung des Programms an Stelle eines „Absturzprotokolls“ der JRE, z.B.:

```
Fehler beim Konvertieren von: vier
```

Nach der Ausführung eines **catch**-Blocks wird die betroffene Methode hinter der **try**-Anweisung fortgesetzt, wobei ggf. vorher noch der **finally**–Block ausgeführt wird. Die eventuell im überwachten **try**-Block auf die Anweisung, die zur Ausnahme geführt hat, noch folgenden Anweisungen werden *nicht* ausgeführt. Damit ein Algorithmus nach einer erfolgreichen Störungsbeseitigung hinter dem betroffenen Teilschritt fortgesetzt werden kann, ist für den (aus wenigen Anweisungen bestehenden) Teilschritt eine separate **try-catch-finally** - Anweisung erforderlich.

11.2.1.2 finally

In einen **finally**-Block gehören solche Anweisungen, die auf jeden Fall ausgeführt werden sollen:

- nach der ungestörten Ausführung des **try**-Blocks
  Auch einvorzeitiges Verlassen der Methode durch eine **return**-Anweisung im **try**-Block verhindert nicht die Ausführung des **finally**-Blocks.
- nach einer Ausnahmebehandlung in einem **catch**-Block
- nach dem Auftreten einer unbehandelten Ausnahme

Vor Java 7 wurde der **finally**-Block meist dazu verwendet, Ressourcen wie Datei - und Netzverbindungen freizugeben. Für diesen Zweck stellt Java seit der Version 7 mit der **try-with-resources** - Anweisung jedoch eine weitaus bessere Lösung zur Verfügung (siehe unten). Somit wird es etwas schwer, ein plausibles und einfaches Anwendungsbeispiel für den **finally**-Block zu finden.

Für das folgende Beispiel ist ein Vorgriff auf das Kapitel über Multithreading erforderlich. Es wird eine Kontoverwaltung mit zwei nebenläufigen Ausführungsfäden (Threads) simuliert:

- Ein freundlicher Thread zahlt ständig Geldbeträge auf das Konto ein.
- In einem gleichzeitig aktiven Thread darf der Benutzer Geld abheben.

Über ein Sperrobjekt aus der Klasse **ReentrantLock** (Paket **java.util.concurrent.locks**) wird verhindert, dass beide Threads gleichzeitig auf das Konto zugreifen, weil dabei ein fehlerhaftes Verhalten des Programms resultieren könnte. Die Methode zum Abheben aktiviert die Sperre und erfragt

dann beim Benutzer den gewünschten Betrag, wobei ein Objekt der Klasse **Scanner** aus dem Paket **java.util** zum Einsatz kommt (vgl. Abschnitt 3.4.1):

```
void abheben() {
 lock.lock();
 Scanner input = new Scanner(System.in);
 try {
  System.out.print("\nWelcher Betrag soll abgehoben werden: ");
  konto -= input.nextInt();
  System.out.println("Neuer Kontostand:  " + konto + "\n");
 } catch(Exception e) {
  System.out.println("Kein gueltiger Betrag!\n");
 } finally {
  lock.unlock();
 }
}
```

Auf diverse Probleme (z.B. nicht interpretierbare Eingabe) reagiert die **Scanner**-Methode **nextInt()** mit dem Werfen eines Ausnahmeobjekts. Es ist unbedingt sicher zu stellen, dass die davon betroffene Methode `abheben()` unter allen Umständen (also auch bei gestörter Ausführung) das Sperrobjekt wieder freigibt, damit nach Beendigung der Methode weitere Einzahlungen durch den zweiten Thread möglich sind. Daher wird der erforderliche **unlock()** - Aufruf in einen **finally**-Block platziert.

11.2.2 Programmablauf bei der Ausnahmebehandlung

Findet das Laufzeitsystem für eine Ausnahme in der aktuellen Methode keinen zuständigen **catch**-Block, dann sucht es entlang der Aufrufersequenz weiter. Dies macht es leicht, die Behandlung einer Ausnahme der bestgerüsteten Methode zu überlassen. In folgendem Beispiel dürfen Sie allerdings keine optimierte Einsatzplanung. Es soll demonstrieren, welche Programmabläufe sich bei Ausnahmen ergeben können, die auf verschiedenen Stufen einer Aufrufhierarchie behandelt werden. Um das Beispiel einfach zu halten, wird auf Nützlichkeit und Praxisnähe verzichtet. Das Programm nimmt via Kommandozeile ein Argument entgegen, interpretiert es numerisch und ermittelt den Rest aus der Division der Zahl 10 durch das Argument:

```
class Sequenzen {
 static int calc(String instr) {
  int erg = 0;
  try {
   System.out.println("try-Block von calc()");
   erg = Integer.parseInt(instr);
   erg = 10 % erg;
  }
  catch (NumberFormatException e) {
   System.out.println("NumberFormatException-Handler in calc()");
  }
  finally {
   System.out.println("finally-Block von calc()");
  }
  System.out.println("Nach try-Anweisung in calc()");
  return erg;
 }

 public static void main(String[] args) {
  try {
   System.out.println("try-Block von main()");
   System.out.println("10 % "+args[0]+" = "+calc(args[0]));
  }
```

```
    catch (ArithmeticException e) {
     System.out.println("ArithmeticException-Handler in main()");
    }
    finally {
     System.out.println("finally-Block von main()");
    }

    System.out.println("Nach try-Anweisung in main()");
  }
}
```

Die Methode **main()** lässt die eigentliche Arbeit von der Methode `calc()` erledigen und bettet deren Aufruf in eine **try**-Anweisung mit **catch**-Block für die **ArithmeticException** ein, die das Laufzeitsystem z.B. bei einer versuchten Ganzzahldivision durch Null auslöst. `calc()` benutzt die Klassenmethode **Integer.parseInt()** sowie den Modulo-Operator in einem **try**-Block, wobei nur die potentiell von **Integer.parseInt()** zu erwartende **NumberFormatException** abgefangen wird.

Wir betrachten einige Konstellationen mit ihren Konsequenzen für den Programmablauf:

a) Normaler Ablauf
b) Exception in `calc()`, die dort auch behandelt wird
c) Exception in `calc()`, die in **main()** behandelt wird
d) Exception in **main()**, die nirgends behandelt wird

a) Normaler Ablauf

Beim Programmablauf *ohne* Ausnahmen (hier mit Kommandozeilen-Argument „8“) werden die **try**- und die **finally**-Blöcke von **main()** und `calc()`ausgeführt. Es kommt zu folgenden Ausgaben:

```
try-Block von main()
try-Block von calc()
finally-Block von calc()
Nach try-Anweisung in calc()
10 % 8 = 2
finally-Block von main()
Nach try-Anweisung in main()
```

b) Exception in `calc()`, die dort auch behandelt wird

Wird beim Ausführen der Anweisung

```
erg = Integer.parseInt(instr);
```

eine **NumberFormatException** an `calc()` gemeldet (z.B. wegen Kommandozeilen-Argument „acht“ von **parseInt()** geworfen), kommt der zugehörige **catch**-Block zum Einsatz. Dann folgen:

- **finally**-Block in `calc()`
- restliche Anweisungen in `calc()` (hinter der **try**-Anweisung)
  Im **try**-Block von `calc()` hinter dem Unfallort stehende Anweisungen werden *nicht* ausgeführt. So wird verhindert, dass ein Algorithmus mit fehlerhaften Zwischenergebnissen weiterläuft. Bei der traditionellen Fehlerbehandlung (siehe Abschnitt 11.3) kann das passieren und zu schwer aufklärbaren Fehlern führen.

An **main()** wird keine Ausnahme gemeldet, also werden hier nacheinander ausgeführt:

- **try**-Block
- **finally**-Block
- restliche Anweisungen

Insgesamt erhält man die folgenden Ausgaben:

```
try-Block von main()
try-Block von calc()
NumberFormatException-Handler in calc()
finally-Block von calc()
Nach try-Anweisung in calc()
10 % acht = 0
finally-Block von main()
Nach try-Anweisung in main()
```

Zu der wenig überzeugenden Ausgabe

```
10 % acht = 0
```

kommt es, weil die **NumberFormatException** in `calc()` nicht *sinnvoll* behandelt wird. Das aktuelle Beispiel soll ausschließlich dazu dienen, Programmabläufe bei der Ausnahmebehandlung zu demonstrieren.

c) Exception in `calc()`, die in main() behandelt wird

Wird vom Laufzeitsystem eine **ArithmeticException** an `calc()` gemeldet (z.B. wegen Kommandozeilen-Argument „0“), dann findet sich in dieser Methode kein passender Handler. Bevor die Methode verlassen wird, um entlang der Aufrufsequenz nach einem geeigneten Handler zu suchen, wird noch ihr **finally**-Block ausgeführt.

In **main()** findet sich ein **ArithmeticException**–Handler, der nun zum Einsatz kommt. Dann geht es weiter mit dem zugehörigen **finally**-Block. Schließlich wird das Programm hinter der **try**-Anweisung der Methode **main()** fortgesetzt:

```
try-Block von main()
try-Block von calc()
finally-Block von calc()
ArithmeticException-Handler in main()
finally-Block von main()
Nach try-Anweisung in main()
```

d) Exception in main(), die nirgends behandelt wird

Übergibt der Benutzer gar kein Kommandozeilen-Argument, tritt in **main()** bei Zugriff auf `args[0]` eine **ArrayIndexOutOfBoundsException** auf (vom Laufzeitsystem geworfen). Weil sich kein zuständiger Handler findet, wird das Programm vom Laufzeitsystem beendet:

```
try-Block von main()
finally-Block von main()
Exception in thread "main" java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 0
 at Sequenzen.main(Sequenzen.java:22)
```

In einer komplexen Methode ist es oft sinnvoll, **try**-Anweisungen zu schachteln, wobei sowohl innerhalb eines **try**- als auch innerhalb eines **catch**-Blocks wiederum eine komplette **try**-Anweisung stehen darf. Daraus ergeben sich weitere Ablaufvarianten für eine flexible Ausnahmebehandlung.

11.2.3 Diagnostische Ausgaben

Viele Informationen eines Ausnahmeobjekts eignen sich direkt für diagnostische Ausgaben. Statt im **catch**-Block eine eigene Fehlermeldung zu formulieren, kann man die **toString()**-Methode des übergebenen Ausnahmeobjekts aufrufen, was hier implizit im Rahmen eines **println()**-Aufrufs geschieht:

```
System.out.println(e);
```

Das Ergebnis enthält den Namen der Ausnahmeklasse und eventuell eine situationsspezifische Information, falls eine solche beim Erstellen des Ausnahmeobjekts via Konstruktor erzeugt wurde, z.B.:

```
java.lang.NumberFormatException: For input string: "vier"
```

Wer nur die situationsspezifische Fehlerinformation, aber nicht den Namen der Ausnahmeklasse sehen möchte, verwendet die Methode **getMessage()**, z.B.:

```
System.out.println(e.getMessage());
```

In Beispiel erscheint nur noch:

```
For input string: "vier"
```

Eine weitere nützliche Information, die ein Ausnahmeobjekt parat hat, ist die **Aufrufersequenz** (engl.: *stack trace*) von der **main()**-Methode bis zur Unfallstelle. Mit der Methode **printStackTrace()** befördert man diese Ausgabe zu dem per Parameter benannten **PrintStream**-Objekt, z.B. zur Standardausgabe:

```
catch (NumberFormatException e) {
 e.printStackTrace(System.out);
   .  .  .
}
```

Bleibt ein Ausnahmeobjekt unbehandelt, erhält es von der JVM die Aufforderung **printStackTrace()**, bevor das Programm endet. Daher haben wir schon mehrfach das Ergebnis eines **printStackTrace()**-Aufrufs gesehen, z.B.:

```
Exception in thread "main" java.lang.NumberFormatException: For input string: "vier"
 at java.lang.NumberFormatException.forInputString(NumberFormatException.java:65)
 at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:492)
 at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:527)
 at Fakul.convertInput(Fakul.java:3)
 at Fakul.main(Fakul.java:14)
```

Vielleicht wundern Sie sich darüber, dass in der Aufrufersequenz gleich *zwei* **Integer**-Methoden **parseInt()** auftauchen. Ein Blick in den API-Quellcode zeigt, dass die von unserer Methode `convertInput()` aufgerufene **parseInt()**-Überladung mit einem Parameter vom Typ **String**

```
public static int parseInt(String s) throws NumberFormatException {
 return parseInt(s,10);
}
```

die eigentliche Arbeit der Überladung mit einem zusätzlichen Parameter für die Basis des Zahlensystems überlässt, die auf das Problem stößt und die **NumberFormatException** wirft:

```
public static int parseInt(String s, int radix)
   throws NumberFormatException {
 ...
}
```

11.3 Ausnahmeobjekte im Vergleich zur traditionellen Fehlerbehandlung

Die konventionelle Fehlerbehandlung verwendet meist die **Rückgabewerte** von Methoden zur Berichterstattung über Probleme bei der Ausführung von Aufträgen. Ein Rückgabewert kann …

- ausschließlich zur Fehlermeldung dienen
  Meist wird dann ein ganzzahliger **Returncode** mit Datentyp **int** verwendet, wobei die Null einen erfolgreichen Ablauf meldet, während andere Zahlen für einen bestimmten Fehlertyp stehen. Soll nur zwischen Erfolg und Misserfolg unterschieden werden, bietet sich der Rückgabewert **boolean** an.
- neben den Ergebnissen einer ungestörten Ausführung über spezielle Wert Problemfälle signalisieren (siehe Beispielprogramm in Abschnitt 11.2.1.1)

Sollen z.B. drei Methoden, deren Rückgabewerte ausschließlich zur Fehlermeldung dienen, nacheinander aufgerufen werden, dann wird die vom Algorithmus diktierte simple Sequenz:

```
m1();
m2();
m3();
```

nach Ergänzen der Fehlerbehandlungen zu einer länglichen und recht unübersichtlichen Konstruktion (nach Mössenböck 2005, S. 254):

```
returncode = m1();
if (returncode == 0) {
 returncode = m2();
 if (returncode == 0) {
  returncode = m3();
  // Behandlung für diverse m3()-Fehler
  if (returncode == 1) {
    .  .  .
  }
    .  .  .
 }
 else {
  // Behandlung für diverse m2()-Fehler}
}
else {
 // Behandlung für diverse m1()-Fehler
}
```

Mit Hilfe der Ausnahmetechnik bleibt beim Kernalgorithmus die Übersichtlichkeit erhalten. Wir nehmen nun an, dass die drei Methoden `m1()`, `m2()` und `m3()` durch Ausnahmeobjekte über Fehler informieren:

```
try {
 m1();
 m2();
 m3();
} catch (ExA a) {
 // Behandlung von Ausnahmen aus der Klasse ExA
} catch (ExB b) {
 // Behandlung von Ausnahmen aus der Klasse ExB
} catch (ExC c) {
 // Behandlung von Ausnahmen aus der Klasse ExC
}
```

Es ist allerdings zu beachten, dass z.B. nach der Behandlung einer durch die Methode `m1()` verursachten Ausnahme die weiteren Anweisungen des überwachten **try**-Blocks nicht mehr ausgeführt werden. Damit ein Algorithmus nach einer erfolgreichen Störungsbeseitigung hinter dem betroffenen Teilschritt fortgesetzt werden kann, ist für den Teilschritt eine separate **try-catch** - Anweisung erforderlich. In der Regel enthält ein **try**-Block nicht allzu viele Anweisungen.

Ein gut gesetzter Rückgabewert nutzt natürlich nichts, wenn sich der Aufrufer nicht darum kümmert.

Neben dem unübersichtlichen Quellcode und der ungesicherten Beachtung eines Rückgabewerts ist am klassischen Verfahren zu bemängeln, dass eine Fehlerinformation aufwändig entlang der Aufrufersequenz nach oben gemeldet werden muss, wenn sie nicht an Ort und Stelle behandelt werden soll.

Wenn eine Methode per Rückgabewert eine Nutzinformation (z.B. ein Berechnungsergebnis) übermitteln soll, und bei einer ungestörten Methodenausführung *jeder* Wert des Rückgabetyps auftreten kann, dann sind keine Werte als Fehlerindikatoren verfügbar. In diesem Fall verwendet die klassi-

sche Fehlerbehandlung einen per Methodenaufruf oder Variable zugänglichen **Fehlerstatus** als Kommunikationsmittel, wobei die Beachtung ebenso wenig garantiert ist wie bei einem Returncode. Auch die Klasse `Simput`, die wir zur Vereinfachung der Werteingabe in zahlreichen Konsolenprogrammen verwendet haben (vgl. Abschnitt 3.4), informiert per Fehlerstatus bei solchen Methoden, die keine Ausnahmen werfen (z.B. `gint()` zum Erfassen eines **int**-Werts). Die Methode `frage()` unserer Demonstrationsklasse `Bruch` (siehe z.B. Abschnitt 1.1.2) verwendet die Methode `Simput.gint()` und überprüft den Erfolg eines Aufrufs über die statische Methode `Simput.checkError()`:

```
do {
  System.out.print("Zaehler: ");
  setzeZaehler(Simput.gint());
} while (Simput.checkError());
```

Auch die Methoden der zur Ausgabe in Textdateien geeigneten Klasse **PrintWriter** (siehe Abschnitt 13.4.1.4) werfen *keine* **IOException**, sondern setzen ein Fehlersignal, das mit der Methode **checkError**() abgefragt werden kann.

Gegenüber der konventionellen Fehlerbehandlung hat die Kommunikation über Ausnahmeobjekte u.a. folgende Vorteile:

- Garantierte Beachtung von Ausnahmen
  Im Unterschied zu einem Returncode oder einem Fehlerstatus können Ausnahmen nicht ignoriert werden. Ist ein Ausnahmeobjekt (gleich aus welcher Ausnahmeklasse) erst einmal geworfen, muss es behandelt werden. Anderenfalls wird das Programm vom Laufzeitsystem beendet.
- Obligatorische Vorbereitung auf Ausnahmen
  In Java wird zwischen der obligatorischen und der freiwilligen Ausnahmebehandlung unterschieden (siehe Abschnitt 11.5). Beim Einsatz von Methoden, die obligatorisch zu behandelnde Ausnahmen werfen können, muss sich der Aufrufer vorbereiten (z.B. durch eine **try**-Anweisung mit geeignetem **catch**-Block). Unabhängig von der Pflicht zur Vorbereitung, muss jede *geworfene* Ausnahme behandelt werden, um die Beendigung des Programms zu verhindern
- Automatische Weitermeldung bis zur bestgerüsteten Methode
  Oft ist der unmittelbare Aufrufer nicht gut gerüstet zur Behandlung einer Ausnahme, z.B. nach dem vergeblichen Öffnen einer Datei. Dann soll eine „höhere“ Methode über das weitere Vorgehen entscheiden.
- Bessere Lesbarkeit des Quellcodes
  Mit Hilfe einer **try-catch-finally** - Konstruktion erreicht man eine bessere Trennung zwischen den Anweisungen für den normalen Programmablauf und den diversen Ausnahmebehandlungen, so dass der Quellcode übersichtlich bleibt.
- Umfangreiche Fehlerinformationen für den Aufrufer
  Über ein **Exception**-Objekt kann der Aufrufer beliebig genau über einen aufgetretenen Fehler informiert werden, was bei einem klassischen Rückgabewert nicht der Fall ist.

Allerdings ist die Fehlermeldung per Rückgabewert oder Fehlerstatus nicht in jedem Fall der moderneren Kommunikation per Ausnahmeobjekt unterlegen. Die Verwendung der traditionellen Technik im Beispielprogramm von Abschnitt 11.2 kann z.B. als akzeptabel gelten. Im weiteren Verlauf von Abschnitt 1 wird aber auch eine alternative Variante der Methode `convertInput()` zu sehen sein, die ihren Aufrufer durch das Werfen von Ausnahmeobjekten über Probleme informiert. Es folgende einige (keinesfalls vollständige) Einsatzempfehlungen für die verschiedenen Techniken der Fehlerbehandlung.

Wenn ein Problem mit erheblicher Wahrscheinlichkeit auftritt, sollte eine routinemäßige, aktive Kontrolle stattfinden. Eine auf das Problem stoßende Methode sollte davon ausgehen, dass der Aufrufer mit dem Problem rechnet und per Rückgabewert oder Fehlerstatus kommunizieren.

Bei Fehlern mit geringer Wahrscheinlichkeit haben jedoch häufige, meist überflüssige Kontrollen eine Performanzeinbuße zur Folge. Hier sollte man es besser auf eine Ausnahme ankommen lassen. Eine Überwachung über Ausnahmetechnik verursacht praktisch nur dann Kosten, wenn tatsächlich eine Ausnahme geworfen wird. Diese Kosten sind allerdings deutlich größer als bei einer Fehleridentifikation auf traditionelle Art.

Ergänzend zur Kommunikation über Ausnahmeobjekte kann eine Klasse zusätzliche Methoden zur Prüfung der Erfolgsaussichten anbieten. In der Klasse **Scanner**, die sich auch dazu eignet, aus einer Textdatei Werte primitiver Datentypen zu lesen (vgl. Abschnitt 13.5), finden sich z.B. die beiden folgenden Methoden:

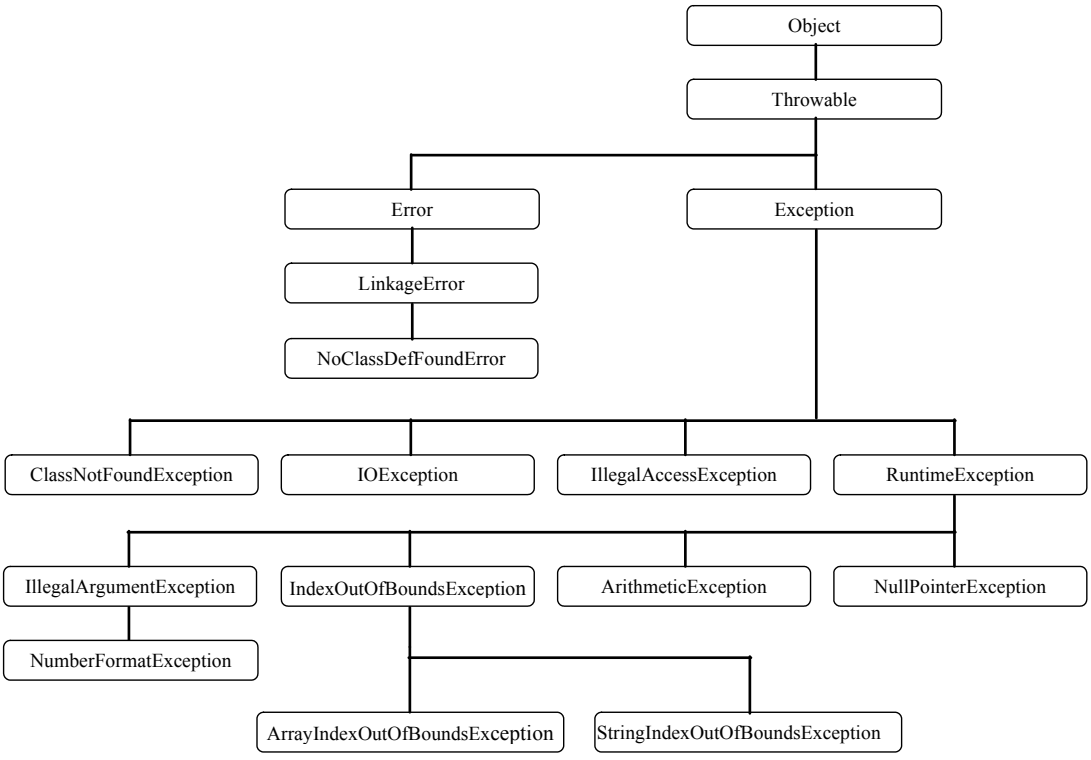
- **public double nextDouble()**
  Es wird versucht, aus der Eingabedatei eine abgegrenzte Zeichenfolge zu ermitteln und als **double**-Zahl zu interpretieren. Wenn dies misslingt, wirft die Methode eine Ausnahme.
- **public boolean hasNextDouble()**
  Es wird überprüft, ob das eben beschriebene Unterfangen gelingen kann.

Weil es bei einem **nextDouble()**-Aufruf leicht zu Problemen kommen kann (Ende der Eingabedatei erreicht, Fehler bei der Interpretation), empfiehlt sich eine vorherige Kontrolle, z.B.:

```
while (input.hasNextDouble()) {
 sum += input.nextDouble();
 n++;
}
```

11.4 Ausnahmeklassen in Java

Java kennt zahlreiche Ausnahmeklassen, die mit ihren Vererbungsbeziehungen eine Klassenhierarchie bilden, aus der die folgende Abbildung einen kleinen Ausschnitt zeigt:



In einem **catch**-Block können auch *mehrere* Ausnahmesorten durch Wahl einer entsprechend breiten Ausnahmeklasse abgefangen werden.

Sind mehrere **catch**-Blöcke vorhanden, dann werden diese beim Auftreten einer Ausnahme sequentiell von oben nach unten auf Zuständigkeit untersucht, wobei pro Ausnahmeobjekt nur *eine* Behandlung stattfindet. Folglich müssen speziellere Ausnahmeklassen *vor* allgemeineren stehen, was der der Compiler freundlicherweise überwacht.

Wie die obige Klassenhierarchie zeigt, gilt neben der **Exception** auch der **Error** als **Throwable**. Allerdings geht es hier um kapitale Pannen, die auf jeden Fall einen regulären Programmablauf verhindern. Daher ist ein Abfangen von **Error**-Objekten nicht sinnvoll und nicht vorgesehen. Kann die JVM z.B. eine für den Programmablauf benötigte Klasse nicht finden, meldet sie einen **NoClassDefFoundError** und beendet das Programm:

```
>java PackDemo
Exception in thread "main" java.lang.NoClassDefFoundError: demopack/A
        at PackDemo.main(packdemo.java:7)
```

11.5 Obligatorische und freiwillige Vorbereitung auf eine Ausnahme

Bei Ausnahmeobjekten aus der Klasse **RuntimeException** und aus daraus abgeleiteten Klassen (siehe Klassenhierarchie in Abschnitt 11.4) ist es dem Programmierer *freigestellt*, ob er sich auf eine Behandlung vorbereiten möchte. Weil der Compiler *nicht* prüft, ob eine Behandlung erfolgt, spricht man von *unkontrollierten Ausnahmen* (engl.: *unchecked exceptions*). Alle übrigen Ausnahmeobjekte (z.B. aus der Klasse **IOException**) *müssen* hingegen behandelt werden. Weil der Compiler dies kontrolliert, spricht man von *kontrollierten Ausnahmen* (engl.: *checked exceptions*. Beim Einsatz einer Methode, die Probleme über obligatorische Ausnahmen meldet, muss der Aufrufer …

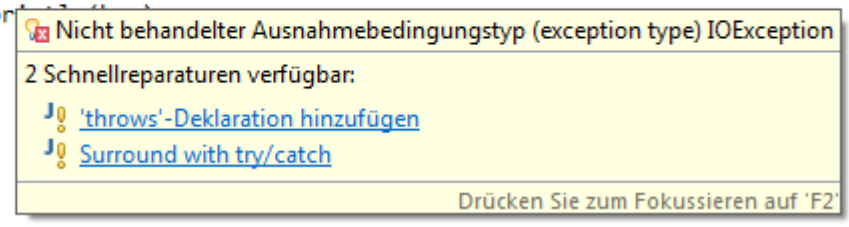
- entweder eine **try**-Anweisung mit geeignetem **catch**-Block verwenden (vgl. Abschnitt 11.2)
- oder im eigenen Definitionskopf das Durchreichen der Ausnahmen ankündigen (vgl. Abschnitt 11.6).

Bei einer Ausnahmeklasse *ohne* Behandlungszwang ist eine solche Vorbereitung nicht erforderlich. Allerdings muss *jede geworfene* Ausnahme (unabhängig von der Klassenzugehörigkeit) behandelt werden, um die Beendigung des Programms durch das Laufzeitsystem zu verhindern.

Ausnahmeobjekte werden auch in vielen anderen Programmiersprachen unterstützt, wobei aber nur Java zwischen kontrollierten und unkontrollierten Ausnahmen unterscheidet. In den anderen Sprachen (z.B. C#, C++) sind *alle* Ausnahmen vom unkontrollierten Typ.

In folgendem Programm soll mit der Methode **read()** aus der Klasse **InputStream**, zu der auch das Standardeingabe-Objekt **System.in** gehört, ein Zeichen (bzw. ein Byte) von der Tastatur gelesen werden. Weil **read()** potentiell eine **IOException** auslöst (siehe API-Dokumentation), protestiert der Eclipse-Compiler:

```
class ChEx {
    public static void main(String[] args)  {
        int key = 0;
        System.out.print("Beliebige Taste + Return: ");
        key = System.in.read();
        System.out.pr
    }
}
```



Da wir mittlerweile die **try**-Anweisung beherrschen, ist das Problem leicht zu lösen:

```
class ChEx {
 public static void main(String[] args) {
  int key = 0;
  System.out.print("Beliebige Taste + Return: ");
  try {
   key = System.in.read();
  } catch(java.io.IOException e) {
   System.out.println(e);
  }
  System.out.println(key);
 }
}
```

Noch ist der Compiler nicht in der Lage, eine tatsächliche Ausnahmebehandlung einzufordern und akzeptiert z.B. auch Exception-Handler mit einem leeren Anweisungsblock, z.B.:

```
try {Thread.sleep(3000);} catch (Exception e) {}
```

Grundsätzlich ist es riskant, eine Ausnahme auf diese Weise zu eliminieren statt sie zu behandeln. Im Beispiel ist das Verhalten ausnahmsweise akzeptabel, weil es in der Regel nicht interessiert, welche Ausnahme die statische Methode **sleep()** der Klasse **Thread** unterbrochen und damit das geplante Schläfchen abgekürzt hat.

Zur Frage nach den Kriterien für die Klassifikation einer Ausnahme als (un)checked gibt Ullenboom (2012a, Abschnitt 6.5.5) einige Hinweise. Danach passt eine unchecked exception (mit der Basisklasse **RuntimeException**) zu folgenden Situationen:

- Ursache ist ein Programmierfehler (z.B. bei einer **IndexOutOfBoundsException**). Man muss sich nicht darauf vorbereiten, im laufenden Programm auf einen solchen Fehler angemessen zu reagieren, sondern der Fehler schleunigst beseitigen.
- Das Problem kann vom laufenden Programm kaum behoben bzw. kompensiert werden. Folglich wird auf den Behandlungszwang verzichtet.

In den folgenden Fällen ist eine checked exception angemessen:

- Externe, vom Programmierer nicht zu kontrollierende Bedingungen haben das Problem verursacht (z.B. eine unterbrochene Netzverbindung).
- Das laufende Programm sollte in der Lage sein, das Problem zu kompensieren (mit einem Plan B).

Gleich lernen Sie eine Möglichkeit kennen, auf die Behandlung einer obligatorischen Ausnahme zu verzichten und dem Vorgänger in der Aufrufersequenz das Problem zu überlassen.

11.6 Ausnahmen auslösen (throw) und deklarieren (throws)

Unsere eigenen Methoden und Konstruktoren müssen sich nicht auf das Abfangen von Ausnahmen beschränken, die vom Laufzeitsystem oder von Bibliotheksmethoden stammen, sondern sie können sich auch als „Werfer“ betätigen, um bei misslungenen Aufrufen den Absender mit Hilfe der flexiblen **Exception**-Technologie zu informieren.

Insbesondere sollten Methoden und Konstruktoren die übergebenen Parameterwerte routinemäßig prüfen und ggf. die Ausführung durch das Werfen einer Ausnahme abbrechen. In der folgenden Variante unseres Beispielprogramms zur Fakultätsberechnung wird in der Methode `convertInput()` ein Ausnahmeobjekt aus der Klasse **IllegalArgumentException** (im Paket **java.lang**) erzeugt, wenn der Aktualparameter entweder nicht interpretierbar ist, oder aber die erfolgreiche Interpretation ein unzulässiges Fakultätsargument ergibt:

```
static int convertInput(String instr) throws IllegalArgumentException {
 int arg;
 try {
  arg = Integer.parseInt(instr);
  if (arg < 0  || arg > 170)
   throw new IllegalArgumentException (
    "Unzulaessiges Argument (erlaubt: 0 bis 170): "+arg);
  else
   return arg;
 }
 catch (NumberFormatException e) {
  throw new IllegalArgumentException ("Fehler beim Konvertieren: "+instr, e);
 }
}
```

Zum Auslösen einer Ausnahme dient die **throw**-Anweisung. Hier ist nach dem Schlüsselwort **throw** eine Referenz auf ein Ausnahmeobjekt anzugeben. Dieses Objekt wird oft per **new**-Operator mit nachfolgendem Konstruktor vor Ort erzeugt (siehe Beispiel).

Die meisten Ausnahmeklassen besitzen u.a. folgende Konstruktoren:

- einen parameterfreien Konstruktor
- einen Konstruktor mit einem **String**-Parameter für eine Fehlermeldung (zur näheren Beschreibung der Ausnahme)
- einen Konstruktor mit einem **String**-Parameter für eine Fehlermeldung und einem Verweis auf ein ursprüngliches (inneres) Ausnahmeobjekt, dessen Behandlung zum Erstellen der aktuellen Ausnahme geführt hat (siehe den **NumberFormatException - catch**-Block im Beispiel).

Viele **catch**-Blöcke betätigen sich als Informationsvermittler und werfen selbst eine Ausnahme, um dem Aufrufer einen leichter verständlichen Unfallbericht zu liefern. Wird in die neue Ausnahme die Adresse der ursprünglichen aufgenommen, kann der Aufrufer über die Methode **getCause()** Ursachenforschung betreiben. Hat eine Ausnahmehandlung weder zur Lösung geführt, noch zusätzliche Informationen erbracht, kann ein **catch**-Block das ursprüngliche Ausnahmeobjekt erneut werfen.

Die Benutzer einer Methode sollten wissen, welche Ausnahmen sie (direkt oder indirekt) auslöst und dann *nicht* lokal behandelt, so dass der Aufrufer ggf. vom Laufzeitsystem zur Ausnahmebehandlung aufgefordert wird. Mit der **throws**-Klausel im Methodenkopf kann man den Nutzer einer Methode darüber informieren, z.B.:

```
static int convertInput(String instr) throws IllegalArgumentException
```

Durch Kommata getrennt können nach dem Schlüsselwort **throws** auch *mehrere* Ausnahmeklassen angekündigt werden.

Bei unchecked exceptions (**RuntimeException** und Unterklassen, siehe Abschnitt 11.4) ist es dem Programmierer freigestellt, ob er die in einer Methode (direkt oder indirekt) ausgelösten, aber nicht behandelten Ausnahmen deklarieren möchte. Alle übrigen Ausnahmen (z.B. **IOException**) müssen entweder behandelt oder deklariert werden. In obigem Beispiel erfolgt die Deklaration freiwillig.

Die aktuelle `convertInput()`-Variante informiert den Aufrufer mit einem Ausnahmeobjekt aus der Klasse **IllegalArgumentException**. Um auf dieses Ausnahmeobjekt reagieren zu können, muss der Aufrufer eine **try**-Anweisung verwenden, z.B.:

```
try {
 argument = convertInput(args[0]);
} catch (IllegalArgumentException iae) {
 System.out.println(iae.getMessage());
 System.exit(1);
}
```

Dass eine Methode selbst geworfene Ausnahmen auch wieder auffängt, ist nicht unbedingt der Standardfall, aber in manchen Situationen eine praktische Möglichkeit, von verschiedenen potentiellen Schadstellen aus zur selben Ausnahmebehandlung zu verzweigen. Wir könnten z.B. in der **main()**-Methode unseres Fakultätsprogramms beliebige Argumentprobleme (nicht vorhanden, nicht konvertierbar, außerhalb des legitimes Wertebereichs) zentral behandeln:

```
try {
 if (args.length == 0)
  throw new IllegalArgumentException ("Kein Argument angegeben");
 argument = convertInput(args[0]);
} catch (IllegalArgumentException iae) {
 System.out.println(iae.getMessage());
 System.exit(1);
}
```

In Abschnitt 11.5 haben Sie erfahren, dass man beim Aufruf einer Methode, die potentiell *obligatorische* Ausnahmen wirft, „präventive Maßnahmen“ ergreifen *muss*. In der Regel ist es empfehlenswert, die kritischen Aufrufe in einem **try**-Block vorzunehmen und Ausnahmen in einer **catch**-Klausel zu behandeln. Es ist aber auch erlaubt, über das Schlüsselwort **throws** die Verantwortung auf den Vorgänger in der Aufrufhierarchie abzuschieben. Im Beispielprogramm aus Abschnitt 11.5 kann sich die Methode **main()**, welche den potentiellen **IOException**-Absender **read()** ruft, der Pflicht zur Ausnahmebehandlung auf folgende Weise entziehen:

```
class ChEx {
 public static void main(String[] args) throws java.io.IOException {
  int key = 0;
  System.out.print("Beliebige Taste + Return: ");
  key = System.in.read();
  System.out.println(key);
 }
}
```

Man kann mit **throws** also nicht nur selbst erzeugte Ausnahmen anmelden, sondern auch checked exceptions *weiterleiten*, die von aufgerufenen Methoden stammen.

Seit Java 7 bietet der Compiler beim erneuten Werfen einer obligatorischen Ausnahme durch einen **catch**-Block eine kleine Erleichterung, wenn mehrere Ausnahmetypen im Spiel sind. Eventuell müssen Sie aber zum Lesen der folgenden Erklärung mehr Zeit aufwenden, als Sie jemals durch die beschriebene Technik einsparen können. Im folgenden Beispiel[1] sind von einem **try**-Block zwei checked exceptions zu erwarten, die in *einem* **catch**-Block behandelt werden sollen. Weil die abgefangene Ausnahme erneut geworfen wird, müssen im Methodenkopf die beiden Ausnahmetypen angegeben werden. In der **catch**-Klausel darf man jedoch als Ausnahmetyp die Basisklasse **Exception** angeben, weil sich der Compiler durch Analyse des **try**-Blocks selbständig über die möglichen Typen informiert:

```
public void rethrowException(String exceptionName)
                    throws FirstException, SecondException {
 try {
  if (exceptionName.equals("First"))
   throw new FirstException();
  else
   throw new SecondException();
 } catch (Exception e) {
  throw e;
 }
}
```

[1] Übernommen von: http://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/language/catch-multiple.html

Obwohl im **catch**-Block formal eine Ausnahme vom Typ **Exception** geworfen wird, müssen im Methodenkopf nur die beiden tatsächlich möglichen Ausnahmetypen angegeben werden.

Ein älterer Java-Compiler würde den unbehandelten Ausnahmetyp **Exception** reklamieren, und man müsste ...

- entweder im Methodenkopf den Ausnahmetyp **Exception** anmelden, was eine unerwünschte Informationsreduktion darstellt,
- oder für die beiden Ausnahmetypen jeweils einen separaten **catch**-Block erstellen, was zu einer ebenfalls unerwünschten Code-Wiederholung führt.

Seit Java 7 kann man allerdings auch mit dem Multi-Catch - Block beide Nachteile vermeiden, wobei der Schreibaufwand im Vergleich zur obigen Lösung nur unwesentlich ansteigt:

```
catch (FirstException | SecondException e) {
 throw e;
}
```

11.7 Ausnahmen definieren

Mit Hilfe von Ausnahmeobjekten kann eine Methode beim Auftreten von Fehlern die aufrufende Methode ausführlich und präzise über Ursachen und Begleitumstände informieren. Dabei muss man sich keinesfalls auf die im Java-API vorhandenen Ausnahmeklassen beschränken, sondern kann auch eigene Ausnahmen definieren, z.B.:

```
public class BadFactorialArgException extends Exception {
 protected int error, value;
 protected String instr;
 public BadFactorialArgException(String desc, String instr_,
                                 int error_, int value_) {
  super(desc);
  instr = instr_;
  if (error_ == 1 || error_ == 2)
   error = error_;
  if (error_ == 3 && (value_ < 0 || value_ > 170)) {
   error = error_;
   value = value_;
  }
 }
 public String getInstr() {return instr;}
 public int getError() {return error;}
 public int getValue() {return value;}
}
```

Der `BadFactorialArgException()`-Konstruktor verwendet seinen ersten Parameter in einem Aufruf eines Basisklassenkonstruktors, so dass die **String**-Adresse in der von **Throwable** geerbten Instanzvariablen **detailMessage** landet, die als Rückgabewert der ebenfalls von **Throwable** geerbten Methode **getMessage()** dient.

Durch Verwendung der handgestrickten, aus **Exception** abgeleiteten Ausnahmeklasse `BadFactorialArgException` kann unsere Methode `convertInput()` beim Auftreten von irregulären Argumenten neben einer Fehlermeldung noch weitere Informationen an aufrufende Methoden übergeben:

- in `instr` die zu konvertierende Zeichenfolge
- in `error` einen numerischen Indikator für die Fehlerart:

  - 0: Unbekannter Fehler
  - 1: kein Argument vorhanden
  - 2: Zeichenfolge kann nicht konvertiert werden
  - 3: konvertierter Wert außerhalb des erlaubten Bereichs
- in `value` das Konvertierungsergebnis (falls vorhanden, sonst -1)

Durch die Wahl der Basisklasse **Exception** haben wir uns für eine checked exception entschieden, die im `convertInput()`-Methodenkopf deklariert werden *muss*:

```
static int convertInput(String instr) throws BadFactorialArgException {
 int arg;
 try {
  arg = Integer.parseInt(instr);
  if (arg < 0  || arg > 170)
   throw new BadFactorialArgException(
    "Unzulaessiges Argument (erlaubt: 0 bis 170)", instr, 3, arg);
  else
   return arg;
 }
 catch (NumberFormatException e) {
  throw new BadFactorialArgException("Fehler beim Konvertieren", instr, 2, -1);
 }
}
```

Ebenso sind `convertInput()`-Aufrufer gezwungen, entweder die `BadFactorialArg-Exception` in einem **catch**-Block zu behandeln oder im eigenen Methodenkopf die potentielle Ausnahme zu deklarieren:

```
public static void main(String[] args) {
 int argument = -1;

 try {
  if (args.length == 0)
   throw new BadFactorialArgException("Kein Argument angegeben", "", 1, -1);
  argument = convertInput(args[0]);
  double fakul = 1.0;
  for (int i = 1; i <= argument; i++)
   fakul = fakul * i;
  System.out.println("Fakultaet: " + fakul);
 }
 catch (BadFactorialArgException e) {
  System.out.println("Fehler: " + e.getError() + " " + e.getMessage());
  switch (e.getError()) {
   case 2 : System.out.println("Zeichenfolge: \""+e.getInstr()+"\"");
        break;
   case 3 : System.out.println("Wert: "+e.getValue());
        break;
  }
 }
}
```

Um eine *unchecked exception* zu erzeugen, wählt man eine Basisklasse aus der **RuntimeException**–Hierarchie. Am Ende von Abschnitt 11.5 wurden einige Kriterien für die Entscheidung zwischen einer kontrollierten und einer unkontrollierten Ausnahme genannt. Oft fällt diese Entscheidung schwer, und viele Entwickler entziehen sich der Mühe, indem sie generell unkontrollierte Ausnahmen verwenden (siehe Ullenboom 2012a, Abschnitt 6.5.5). Das kann so falsch nicht sein, weil andere Programmiersprachen (z.B. C#, C++) ausschließlich unkontrollierte Ausnahmen kennen.

11.8 Freigabe von Ressourcen

Von einem Programm belegte externe Ressourcen wie Datei-, Netz- oder Datenbankverbindungen müssen möglichst früh wieder freigegeben werden, um den Benutzer und andere Programme möglichst wenig zu behindern. Außerdem muss sichergestellt werden, dass die Freigabe unter allen Umständen erfolgt, insbesondere auch nach einem Ausnahmefehler.

11.8.1 Traditionelle Lösung per finally-Klausel

Vor Java 7 war die **finally**-Klausel einer **try-catch-finally** - Anweisung der ideale Ort zur Freigabe von Ressourcen wie Datei-, Netzverbindungen oder Datenbankverbindungen. Seit Java 7 bietet eine spezielle **try**-Variante eine bequemere und zuverlässigere Lösung. Um den Forschritt deutlich zu machen, betrachten wir zuerst die traditionelle, in vorhandenem Code noch sehr oft anzutreffende Dateifreigabe per **finally**-Klausel mit **close()**-Aufruf. Im folgenden Beispiel wird (teilweise dem Kapitel 13 vorgreifend) zur Demonstration der traditionellen Dateifreigabe eine statische Methode namens `mean()` definiert, die mit Hilfe eines **DataInputStream**-Objekts aus einer Binärdatei 100 dort erwartete **double**-Zahlen liest und den Mittelwert daraus berechnet:

```
import java.io.*;
class Mean {
 static void mean(String eingabe) {
  DataInputStream dis = null;
  try {
   dis = new DataInputStream(new FileInputStream(eingabe));
   double sum = 0.0;
   for (int i = 1; i <= 100; i++)
    sum += dis.readDouble();
   System.out.println("Mittelwert zur Datei " + eingabe + ":  "+sum/100);
  } catch (IOException ioe) {
   System.out.println(ioe);
  } finally {
   if (dis != null)
    try {dis.close();} catch (IOException ignored) {};
  }
 }

 public static void main(String args[]) {
  mean("eingabe.dat");
 }
}
```

Bei Beendigung einer Anwendung werden alle von ihr geöffneten Dateien automatisch geschlossen, so dass im obigen Beispiel das Bemühen um das frühe Schließen (kurz vor dem Programmende) eigentlich irrelevant ist. Oft bleiben Programme aber deutlich länger aktiv. Anwender sind irritiert und verärgert, wenn sich z.B. eine Datei mit den Mitteln des Betriebssystems nicht umbenennen oder löschen lässt, weil sie vor geraumer Zeit mit einem Programm bearbeitet wurde, das noch aktiv ist und die Datei ohne Grund weiterhin blockiert.

API-Methoden zur Dateibearbeitung müssen in der Regel in einer **try**-Anweisung mit passendem **Catch**-Block aufgerufen werden, weil sie über **IOException**-Objekte kommunizieren, auf die sich ein Aufrufer obligatorisch vorbereiten muss (vgl. Abschnitt 11.5). Im Beispiel sind der **FileInputStream**-Konstruktor und die **DataInputStream**-Methode **readDouble()** betroffen. Es könnte z.B. passieren, dass sich die Eingabedatei öffnen lässt, aber später beim Lesen eine **IOException** auftritt.

Im Beispiel wird der gesamte Algorithmus in einem **try**-Block ausgeführt. Damit das möglicht frühe Schließen der Datei auch im Ausnahmefall sichergestellt ist, findet der erforderliche **close()**-Aufruf im **finally**-Block der **try**-Anweisung statt. Stünde er z.B. am Ende des **try**-Blocks, bliebe die

Datei im eben geschilderten Ausnahmefall bis zu einem Garbage Collector - Einsatz oder bis zum Programmende geöffnet.

Ist bereits das Öffnen der Datei im **FileInputStream**-Konstruktor misslungen, existiert keine zu schließende Datei und kein Adressat für den **close()**-Aufruf. Das Programm unterlässt den Fehlversuch, der eine **NullPointerException** zur Folge hätte.

Weil auch die **close()**-Methode eine **IOException** werfen kann, und diese Ausnahmeklasse explizit zu berücksichtigen ist (siehe Abschnitt 11.5), muss der **close()**-Aufruf in einer **try-catch** - Anweisung stattfinden, und es resultiert eine **try**-Verschachtelung.

Kommt es zu einer Ausnahme im **close()**-Aufruf, wird die (mindestens ebenso interessante) Ausnahme aus dem **try**-Block überdeckt. Weil an den Aufrufer nur eine Ausnahme gemeldet werden kann, erfährt er nichts von der eigentlichen Ursache des Problems.

Ein weiterer kleiner Nachteil der traditionellen Lösung besteht darin, dass die **DataInputStream**-Variable nicht im **try**-Block deklariert werden kann, weil sie sonst im **finally**-Block unbekannt wäre. In dem allgemeineren, umgebenden Block ist sie aber einem leicht erhöhten Fehlerrisiko ausgesetzt.

11.8.2 try with resources

Seit Java 7 läst sich das Schließen der in einem **try**-Block benötigten Ressourcen automatisieren, sofern die Klassen, welche die Ressourcen repräsentieren, das Interface **AutoCloseable** im Paket **java.lang** implementieren. Um diese sehr empfehlenswerte Option zu nutzen, erzeugt man ein automatisch zu schließendes Objekt in einem Ausdruck, der durch runde Klammern begrenzt zwischen das Schlüsselwort **try** und den überwachten Block gesetzt wird. Das Beispiel aus dem letzten Abschnitt kann so erheblich vereinfacht werden:

```
import java.io.*;
class AutomaticallyClose {
 static void mean(String eingabe) {
  try (DataInputStream dis = new DataInputStream(new FileInputStream(eingabe))) {
   double sum = 0.0;
   for (int i = 1; i <= 100; i++)
    sum += dis.readDouble();
   System.out.println("Mittelwert zur Datei " + eingabe + ":  "+sum/100);
  } catch (IOException ioe) {
   System.out.println(ioe);
  }
 }

 public static void main(String args[]) {
  mean("eingabe.dat");
 }
}
```

Insbesondere ist die **finally**-Klausel mit der **close()**-Anweisung überflüssig geworden, und auch weitere Nachteile der traditionellen Lösung sind beseitigt:

- Es geht kein Ausnahmeobjekt verloren (zu Details siehe Ullenboom 2012a, Abschnitt 6.6.5).
- Die **DataInputStream**-Variable ist nur im **try**-Block sichtbar.

Für einen **try**-Block lässt sich auch eine mehrelementige Ressourcenliste definieren, wobei zwischen zwei Elemente ein Semikolon zu setzen ist.

```
try (DataInputStream dis = new DataInputStream(new FileInputStream(eingabe));
     DataOutputStream dos = new DataOutputStream(new FileOutputStream(ausgabe))) {
  .  .  .
}
```

11.9 Übungsaufgaben zu Kapitel 11

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Eine Ausnahme aus der Klasse **RuntimeException** muss nicht behandelt werden.
2. In einem **catch**-Block kann das abgefangene Ausnahmeobjekt erneut geworfen werden.
3. Nach der ausnahmslos erfolgreichen Ausführung eines **try**-Blocks, wird die Methode hinter der **try-catch-finally** - Anweisung fortgesetzt.
4. In einem **catch**- oder **finally**-Block sind Methoden, die Ausnahmen werfen können, verboten.
5. Es ist auch eine **try-finally** - Anweisung (ohne **catch**-Block) erlaubt.

2) Erstellen Sie ein Syntaxdiagramm zur **try-catch-finally** - Anweisung (vgl. Abschnitt 11.2.1).

3) Erstellen Sie eine Variante des Fakultätsprogramms aus Abschnitt 1, die vom Benutzer via Konsole oder **JOptionPane**-Standarddialog (vgl. Abschnitt 3.8) ein Argument entgegen nimmt und bei Eingabefehlern Gelegenheit zur Nachbesserung bietet.

4) Erstellen Sie ausnahmsweise ein Programm, das eine **NullPointerException** auslöst, indem es auf ein nicht existentes Objekt zugreift.

5) Beim Rechnen mit Gleitkommazahlen produziert Java in kritischen Situationen üblicherweise keine Ausnahmen, sondern operiert mit speziellen Werten wie **Double.POSITIVE_INFINITY** oder **Double.NaN**. Dieses Verhalten ist sicher oft nützlich, kann aber eventuell die Fehlersuche erschweren, wenn mit den speziellen Funktionswerten weiter gerechnet wird, und am Ende eines längeren Rechenwegs das Ergebnis **Double.NaN** steht. In folgendem Beispiel wird eine Methode namens `dualog()` zur Berechnung des dualen Logarithmus[1] verwendet, welche auf die statische Methode **log()** der Klasse **Math** im Paket **java.lang** zurückgreift und bei ungeeigneten Argumenten (≤ 0) als Rückgabewert **Double.NaN** liefert.

Quellcode	Ausgabe
`public class DuaLog {` `  final static double LOG2 = Math.log(2);` `  public static double duaLog(double arg) {` `  return Math.log(arg) / LOG2;` `  }` `  public static void main(String[] args) {` `  double a = duaLog(8);` `  double b = duaLog(-1);` `  System.out.println(a*b);` `  }` `}`	`NaN`

Erstellen Sie eine Variante, die bei ungeeigneten Argumenten eine **IllegalArgumentException** wirft.

---

[1] Für positive Zahlen a und b ist der Logarithmus von a zur Basis b definiert durch:

$$\log_b(a) := \frac{\log(a)}{\log(b)}$$

Dabei steht log() für den natürlichen Logarithmus zur Basis e (Eulersche Zahl).

12 GUI-Programmierung mit Swing

Eine Anwendung mit graphischer Bedienoberfläche (engl.: ***G**raphical **U**ser **I**nterface*) präsentiert dem Anwender ein oder mehrere Fenster, die neben Bereichen zur Bearbeitung von programmspezifischen Dokumenten (z.B. Texten oder Grafiken) in der Regel mehrere Bedienelemente zur Benutzerinteraktion besitzen (z.B. Menüs, Befehlsschalter, Kontrollkästchen, Textfelder, Auswahllisten). Die von einer Plattform zur Verfügung gestellten Bedienelemente bezeichnet man oft als *Komponenten*, *controls*, *Steuerelemente* oder *widgets*[1]. In Java bezeichnet man die Komponenten auch als *Beans*, wobei die Erfinder des Namens wohl an Kaffee gedacht haben. Weil die Steuerelemente intuitiv und in verschiedenen Programmen weitgehend konsistent zu bedienen sind, erleichtern Sie den Umgang mit moderner Software erheblich.

Im Vergleich zu Konsolenprogrammen geht es bei GUI-Anwendungen nicht nur anschaulicher und intuitiver, sondern vor allem auch ereignisreicher und mit mehr Mitspracherechten für den Anwender zu. Ein Konsolenprogramm entscheidet selbst darüber, welche Anweisung als nächstes ausgeführt wird, und wann der Benutzer eine Eingabe machen darf. Für den Ablauf eines Programms mit graphischer Bedienoberfläche ist hingegen ein **ereignisorientiertes und benutzergesteuertes Paradigma** wesentlich, wobei das Laufzeitsystem als Vermittler oder (seltener) als Quelle von Ereignissen in erheblichem Maße den Ablauf mitbestimmt, indem es Methoden der GUI-Applikation aufruft, z.B. zum Zeichnen von Fensterinhalten. Ausgelöst werden die Ereignisse in der Regel vom Benutzer, der mit der Hilfe von Eingabegeräten wie Maus, Tastatur, Touch Screen etc. praktisch permanent in der Lage ist, unterschiedliche Wünsche zu artikulieren. Ein GUI-Programm präsentiert mehr oder weniger viele Bedienelemente und wartet die meiste Zeit darauf, dass eine der zugehörigen Ereignisbehandlungmethoden durch ein (meistens) vom **Benutzer** ausgelöstes **Ereignis** aufgerufen wird.

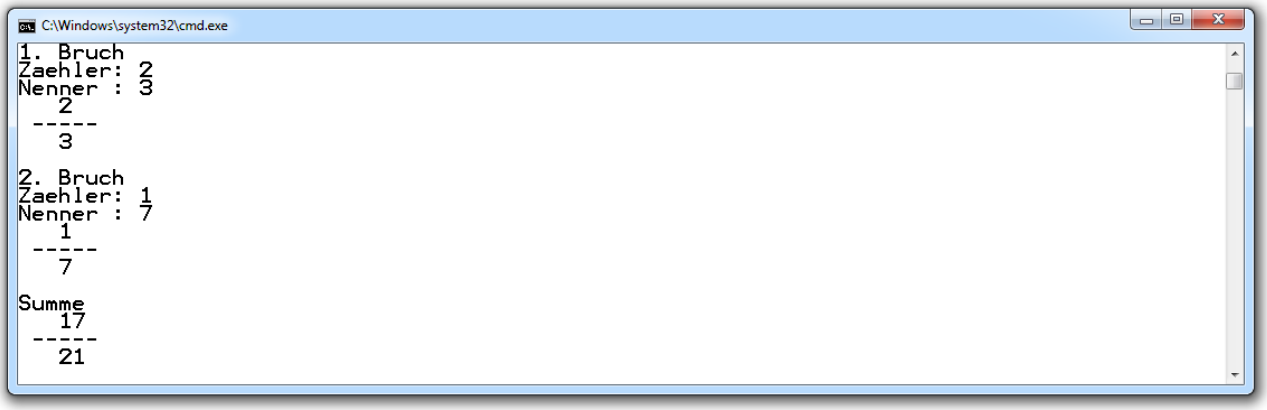
Im Vergleich zu einem Konsolenprogramm ist bei einem GUI-Programm die dominante Richtung im Kontrollfluss zwischen Anwendung und Laufzeitsystem invertiert. Die Ereignisbehandlungmethoden einer GUI-Anwendung sind Beispiele für so genannte *Call Back - Routinen*. Man spricht auch vom *Hollywood-Prinzip*, weil in dieser Gegend oft nach der Divise kommuniziert wird: „*Don't call us. We call you*".

Bei vereinfachter Betrachtungsweise kann man sagen:

- Eine Konsolenanwendung diktiert den Ablauf und erlaubt dem Benutzer gelegentlich eine Eingabe.
- Eine GUI-Anwendung stellt eine Sammlung von Ereignisbehandlungmethoden dar, wobei die zugehörigen Ereignisse vom Benutzer ausgelöst werden, indem er eines der zahlreichen, für ihn verfügbaren Bedienelemente benutzt.

Betrachten wir zur Illustration eine Konsolen- und eine GUI-Anwendung zum Addieren von Brüchen. Bei der Konsolenanwendung (vgl. Abschnitt 1.1.4)

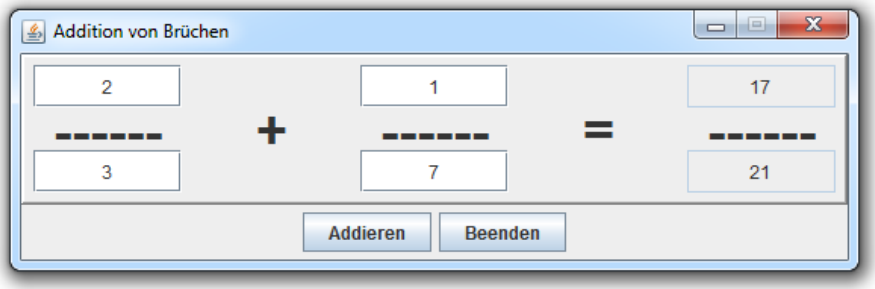
[1] Diese Wortkombination aus *window* und *gadgets* steht für ein *praktisches Fenstergerät.*



wird der gesamte Ablauf vom Programm diktiert:

- Es fragt nach dem Zähler und dem Nenner des ersten Bruchs.
- Es fragt nach dem Zähler und dem Nenner des zweiten Bruchs.
- Es schreibt das Ergebnis auf die Konsole.

Im Unterschied zu diesem **programmgesteuerten Ablauf** wird bei der GUI-Variante



das Geschehen vom Benutzer diktiert, der die sechs Bedienelemente (vier Eingabefelder und zwei Schaltflächen) in beliebiger Reihenfolge verwenden kann, wobei das Programm mit seinen Ereignisbehandlungsmethoden reagiert (**benutzergesteuerter Ablauf**).

Im aktuellen Kapitel ragen zwei Themen heraus:

- Gestaltung graphischer Bedienoberflächen
- Ereignisbehandlung

Wie man mit statischen Methoden der Klasse **JOptionPane** einfache Standarddialoge erzeugt, um Nachrichten auszugeben oder Informationen abzufragen, wissen Sie schon seit Abschnitt 3.8. Allerdings kommen nur wenige GUI-Anwendungen mit diesen Gestaltungs- bzw. Interaktionsmöglichkeiten aus.

Grundsätzlich ist das Erstellen einer GUI-Anwendung mit erheblichem Aufwand verbunden. Allerdings enthält das Java-API leistungsfähige Klassen (Komponenten, Beans) zur GUI-Programmierung, deren Verwendung durch Hilfsmittel der Entwicklungsumgebungen (z.B. Fensterdesigner) zusätzlich erleichtert wird.

In diesem Kapitel soll ein grundlegendes Verständnis von Aufbau und Funktionsweise einer GUI-Anwendung vermittelt werden. Das gelingt am besten, indem man den Quellcode Zeile für Zeile selbst erstellt, also auf einen GUI-Design - Assistenten verzichtet. Im späteren Programmieralltag sollten Sie zur Steigerung der Produktivität eine Entwicklungsumgebung mit graphischem Fensterdesigner verwenden (z.B. Eclipse mit dem Plugin *WindowBuilder*, NetBeans mit dem GUI-Designer *Mantisse*).

12.1 GUI-Lösungen in Java

In der Java SE - Standardbibliothek sind leistungsfähige Klassen zur **plattformunabhängigen GUI-Programmierung** mit Hilfe vorgefertigter Steuerelemente enthalten, wobei die Verteilung auf verschiedene Pakete teilweise historisch bedingt ist. Die ursprüngliche, als ***A**bstract **W**indowing **T**oolkit* (AWT) bezeichnete GUI-Technologie wurde schon in Java 1.2 durch das *Swing Toolkit* erweitert und teilweise ersetzt.

Neben den GUI-Toolkits der Java-Standardbibliothek sind noch andere Lösungen verfügbar, wobei besonders das im Eclipse-Projekt entwickelte *Standard Widget Toolkit* (SWT) zu erwähnen ist.

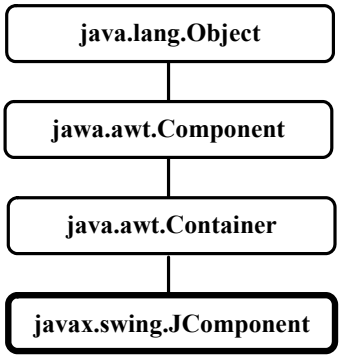
Wir beschränken uns in diesem Manuskript auf die Lösungen der Standardbibliothek, die anschließend näher skizziert werden:

- **Abstract Windowing Toolkit** (AWT, enthalten im Paket **java.awt)**
  Das bereits in Java 1.0 vorhandene AWT ist zwar teilweise überholt, stellt aber immer noch wichtige Basisklassen für die aktuelle GUI-Technologie zur Verfügung.
  Grundidee beim AWT-Entwurf war die möglichst weitgehende Verwendung von Steuerelementen des *Wirtsbetriebssystems*. Die an Komponenten des Wirtsbetriebssystem gekoppelten AWT-Bedienelemente werden als *schwergewichtig* bezeichnet. Offenbar hat diese Lösung ursprünglich viele Ressourcen in Anspruch genommen. Mittlerweile beweist aber das SWT, dass eine „schwergewichtige“ Lösung durchaus flüssig arbeiten kann.
  Aus der notwendigen Beschränkung auf den damals recht kleinen gemeinsamen Nenner der zu unterstützenden Plattformen resultierte ein beschränkter AWT-Funktionsumfang.
  In diesem Manuskript werden aus dem AWT nur die nach wie vor relevanten Basisklassen berücksichtigt. Wer die AWT-Steuerelemente verwenden möchte, kann sich z.B. in Kröckertskothen (2001, Kap. 13) informieren.
- **Swing** (enthalten im Paket **javax.swing**)
  Mit Java 1.2 wurden die komplett in Java realisierten *leichtgewichtigen* Komponenten eingeführt. Während die *Top-Level-Fenster* nach wie vor schwergewichtig sind und die Verbindung zum Grafiksystem des Wirtsbetriebssystems herstellen, werden die Steuerelemente komplett von Java verwaltet und gezeichnet, was einige Vorteile bringt:
  - Weil die Beschränkung auf den kleinsten gemeinsamen Nenner entfällt, stehen **mehr Komponenten** zur Verfügung.
  - Java-Anwendungen können auf allen Betriebsystemen ein **einheitliches Erscheinungsbild** bieten, müssen es aber nicht, denn:
  - Für die Swing-Komponenten kann (sogar vom Benutzer zur Laufzeit) ein **Look & Feel** gewählt werden (siehe Abschnitt 12.8.1 zu den verfügbaren Alternativen), während die AWT-Komponenten auf das GUI-Design des Betriebssystems festgelegt sind.
  - Weitere Vorteile gegenüber dem AWT sind: QuickInfo-Fenster (Tool Tipps), Steuerung per Tastatur, Unterstützung für die Anpassung an verschiedene Sprachen und Konventionen (Lokalisierung).

12.2 Swing im Überblick

12.2.1 Komponenten

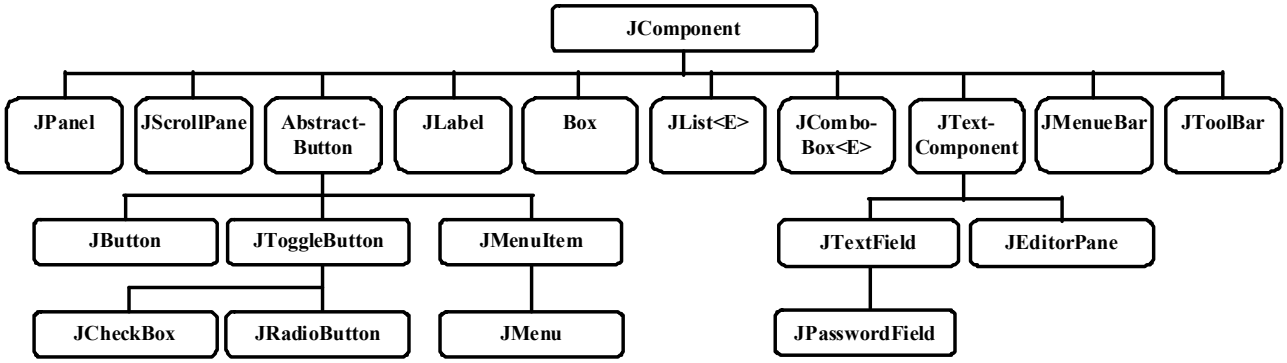
Die Swing-Komponenten stammen meist von der Klasse **javax.swing.JComponent** ab, die wiederum zahlreiche Handlungskompetenzen und Eigenschaften über folgende Ahnenreihe erwirbt:



Komponenten sind also auch Objekte, allerdings mit einigen zusätzlichen Kompetenzen:

- Visuelle Komponenten treten auf dem Bildschirm in Erscheinung (machen Grafikausgaben) und kommunizieren mit dem Benutzer (reagieren auf GUI-Ereignisse wie Mausklicks).
- Sie bieten Ereignisse an, über die sich andere Objekte informieren lassen können (siehe Abschnitt 12.6).
- Sie unterstützen die Verwendung mit Hilfe von visuellen Entwicklungsumgebungen. Durch die systematische Verfügbarkeit von Methoden zum Lesen und Setzen von Eigenschaften und die Einhaltung bestimmter Bennennungsregeln kann eine Entwicklungsumgebung eine Tabelle mit den Eigenschaftsausprägungen zur Entwurfszeit anbieten.

In der folgenden Abbildung sehen Sie die Abstammungsverhältnisse für die im Kapitel 12 behandelten **JComponent**-Abkömmlinge:



Die Klasse **JTextComponent** und ihre Erweiterungen befinden sich im Paket **javax.swing.text**, alle anderen Klassen befinden sich im Paket **javax.swing**. Wie an den Namen unschwer zu erkennen ist, stehen die meisten Klassen für Bedienelemente, die aus GUI-Systemen wohlbekannt sind (Befehlsschalter, Label etc.).

In der Sammlung befindet sich mit **JPanel** auch ein **Container**. Diese Komponente dient zur Aufnahme und damit zur Gruppierung von anderen Swing-Komponenten. Im Sinne einer flexiblen GUI-Gestaltung bietet Java die Möglichkeit, in einem Container neben „atomaren" Komponenten (z.B. **JButton**, **JLabel**) auch untergeordnete Container (in beliebiger Schachtelungstiefe) unterzubringen.

Die Frage, welcher von den beiden Begriffen *Component* und *Container* in Javas GUI-Technologie dem anderen vorgeordnet ist, kann aufgrund des Klassenstammbaums nicht geklärt werden:

- **java.awt.Container** stammt von **java.awt.Component** ab.
- **javax.swing.JComponent** stammt von **java.awt.Container** ab.

Relevant sind aber letztlich nicht die (teilweise historisch bedingten) Namen, sondern die Methoden und Eigenschaften, die eine Klasse von ihren Vorfahren übernimmt.

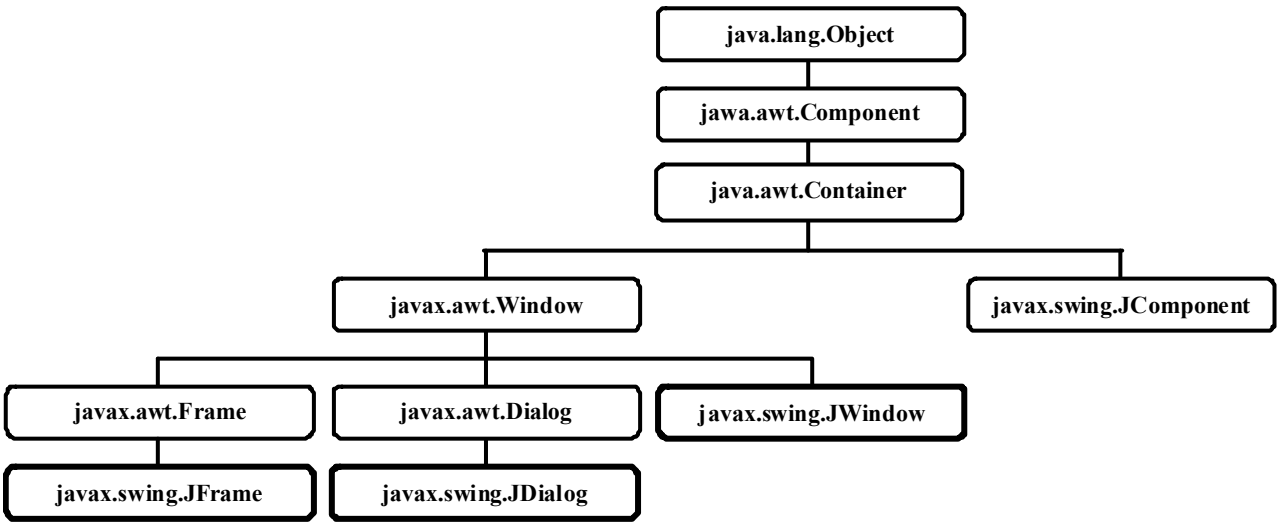
Aus Zeitgründen können leider viele attraktive Swing-Komponenten im Manuskript nicht behandelt werden, z.B.:

- **JTree**, **JTable**
- **JSplitPane**, **JTabbedPane**
- **JPopupMenu**

Gute Darstellungen findet man z.B. bei Krüger & Hansen (2011), Ullenboom (2012a) und im Java Tutorial (Oracle 2012).

12.2.2 Top-Level - Container

Jedes Programm mit Swing-GUI benötigt mindestens einen Top-Level - Container, der die Verbindung zu der vom Betriebssystem verwalteten Bedienoberfläche herstellt und die leichtgewichtigen Swing-Komponenten aufnimmt. Die Top-Level - Container im Paket **javax.swing** stammen nicht von **JComponent** ab, sondern haben einen etwas anderen Stammbaum:



In Kapitel 12 werden alle Beispielprogramme als Top-Level - Container eine Komponente vom Typ **JFrame** benutzen, die ein **Rahmenfenster** mit folgender Ausstattung realisiert (siehe obige Container-Beispielprogramme):

- **Rahmen**
  Wenn die Größe des Fensters nicht fixiert ist, kann sie über den Rahmen geändert werden.
- **Titelzeile**
  Sie enthält:
  - Fenstertitel
  - Bedienelemente zum Schließen, Minimieren und Maximieren des Fensters
  - Systemmenü (über die Java-Tasse am linken Rand der Titelzeile erreichbar)

Mit der Klasse **JDialog** werden *Dialogfenster* realisiert, denen im Vergleich zum Rahmenfenster die Titelzeilenbedienelemente zum Maximieren und zum Minimieren fehlen. Sie können zwar auch als selbständige Fenster einer Anwendung arbeiten, werden aber meist in Rahmenfenster-Anwendungen für bestimmte Kommunikationsaufgaben benutzt.

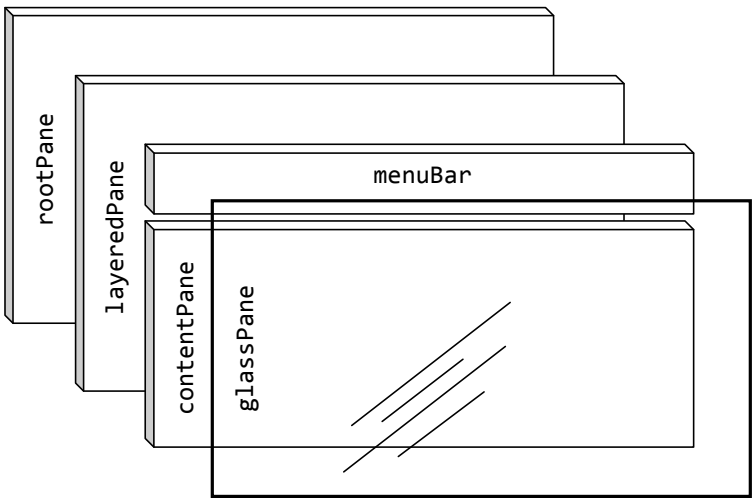
Bei den mit der Klasse **JWindow** erzeugten Fenstern bestehen im Vergleich zu den Rahmenfenstern folgende Einschränkungen:

- kein Rahmen
- keine Titelzeile, also auch keine Bedienelemente zum Minimieren, Maximieren und Schließen sowie kein Systemmenü
- Benutzer können die Größe und die Position des Fensters nicht ändern.

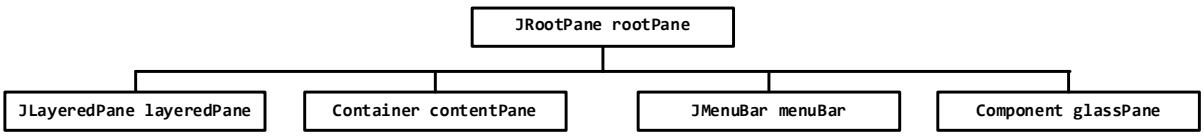
Die Klasse **JWindow** ist also nur für spezielle Zwecke geeignet (z.B. Begrüßungsfenster, engl.: *splash screen*) und wird im Manuskript keine Rolle spielen.

Bei den in Kapitel 14 zu behandelnden Java-Applets, die im Rahmen eines Web-Browser - Fensters ausgeführt werden, kann die Klasse **JApplet** einen Swing-basierten Top-Level - Container realisieren.

Swings Top-Level - Container enthalten als einziges Mitglied ein Objekt aus der Klasse **JRootPane**, das die Komponenten verwaltet und dazu ein ganzes Team von Helfern aus den Klassen **JLayeredPane**, **Component**, **Container** und **JMenuBar** beschäftigt. Bei aufgabenorientierter Betrachtung kann man die Beziehungen zwischen den Objekten durch ein Scheibenmodell skizzieren (übernommen aus dem Java-Tutorial, Oracle 2012):



In Bezug auf die Klassenmitgliedschaft ergibt sich ein flaches Bild:



Wie eine Überprüfung mit der **Object**-Methode **getClass()** zeigt, sind bei einem Top-Level - Container aus der Klasse **JFrame** das `contentPane`- und das `glassPane`-Objekt vom Typ **JPanel**.

Wir werden meist mit der Inhaltsschicht (engl.: *content pane*) arbeiten und dort die Bedienelemente platzieren (mit Ausnahme von Menüzeilen). Für einige Verabredungen (z.B. Auswahl einer voreingestellten Schaltfläche, welche auf die **Enter**-Taste wie auf einen Mausklick reagieren soll) ist die Basisschicht (engl. *root pane*) direkt anzusprechen. Das **JLayeredPane**-Objekt verwaltet die Inhaltsschicht und die optionale Menüzeile. Außerdem lässt sich mit ihrer Hilfe die Schichtung (Z-Anordnung) der Komponenten beeinflussen. Die Glasscheibe (engl. *glass pane*) ermöglicht das Übermalen von mehreren Komponenten sowie das Abfangen von GUI-Ereignissen. Hier landen z.B. Tool-Tip - Texte (vgl. Abschnitt 12.4.5.1).

12.3 Beispiel für eine Swing-Anwendung

In folgendem Swing-Programm, das z.B. zur Verkehrszählung taugt, kommen zwei Label (mit einem Text bzw. einem Bild als Inhalt) sowie ein Befehlsschalter zum Einsatz:

Den folgenden Quellcode des Programms werden wir im weiteren Verlauf von Kapitel 12 vollständig besprechen:

```
import javax.swing.*;
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;

class MPC extends JFrame {
 private final static String labelPrefix = "Zählerstand: ";
 private final static String titel = "Multi Purpose Counter";
 private JLabel lblText;
 private JPanel panLeft;
 private JButton cbCount;
 private int numClicks = 0;
 private final byte maxIcon = 3;
 private ImageIcon[] icons;
 private JLabel lblIcon;
 private byte iconInd = 0;

 MPC() {
  super(titel);

  Container cont = getContentPane();

  cbCount = new JButton("Zählerstand erhöhen");
  cbCount.setMnemonic(KeyEvent.VK_S);
  getRootPane().setDefaultButton(cbCount);
  cbCount.setToolTipText("Befehlsschalter");

  lblText = new JLabel(labelPrefix + "0    ");
  lblText.setToolTipText("Label mit Text");

  panLeft = new JPanel();

  panLeft.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(30, 30, 30, 30));

  panLeft.setLayout(new GridLayout(0, 1));

  panLeft.add(cbCount);
  panLeft.add(lblText);

  cont.add(panLeft, BorderLayout.CENTER);

  icons = new ImageIcon[maxIcon];
  icons[0] = new ImageIcon("duke.gif");
  icons[1] = new ImageIcon("fight.gif");
  icons[2] = new ImageIcon("snooze.gif");

  lblIcon = new JLabel(icons[0]);
  lblIcon.setToolTipText("Label mit Icon");
```

```
    cont.add(lblIcon, BorderLayout.EAST);

    cbCount.addActionListener(new ActionListener() {
     public void actionPerformed(ActionEvent e) {
      numClicks++;
      lblText.setText(labelPrefix + numClicks);
      if (iconInd < maxIcon-1)
       iconInd++;
      else
       iconInd = 0;
      lblIcon.setIcon(icons[iconInd]);
     }
    });

    addWindowListener(new WC());

    setDefaultCloseOperation(WindowConstants.DO_NOTHING_ON_CLOSE);

    setSize(340, 150);

    this.setVisible(true);
   }

   public static void main(String[] args) {
    new MPC();
   }

   class WC extends WindowAdapter {
    public void windowClosing(WindowEvent e) {
     if (JOptionPane.showConfirmDialog(e.getWindow(),
         "Wollen Sie nach "+ numClicks +
         " Klicks wirklich schon aufhören?",
         titel, JOptionPane.YES_NO_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
      System.exit(0);
    }
   }
  }
```

Zu Beginn werden alle Klassen aus den Paketen **javax.swing**, **java.awt** und **java.awt.event** importiert, um sie bequem ansprechen zu können.

Das Programm besteht aus der **JFrame** abgeleiteten, startfähigen Klasse `MPC`. In ihrer **main()**-Methode wird ein Objekt dieser Klasse erzeugt:

```
public static void main(String[] args) {
  new MPC();
}
```

Weil das Rahmenfenster mit seinen Steuerelementen ein vergleichsweise komplexes Objekt darstellt, hat der `MPC`-Konstruktor einige Arbeit:

- Das Fenster erhält seinen Titel durch expliziten Aufruf des Basisklassen-Konstruktors:
  ```
  super(titel);
  ```
- Um bequem auf die Inhaltsschicht (engl.: *content pane*) des Rahmenfensters zugreifen zu können, wird mit der **JFrame**-Methode **getContentPane()** eine lokale Referenzvariable auf diesen Container angelegt:
  ```
  Container cont = getContentPane();
  ```
  Die Methode **getContentPane()** hat den deklarierten Rückgabetyp **Container**, liefert aber de facto ein **JPanel**-Objekt. Solange die Kompetenzen der deklarierten Klasse **Container**

genügen, sollte dieser generellere Typ verwendet und auf eine explizite Typumwandlung verzichtet werden.
In der folgenden Anweisung wird die Inhaltsschicht per **add()**-Methodenaufruf gebeten, die Komponente `panLeft` aufzunehmen:

```
cont.add(panLeft, BorderLayout.CENTER);
```

Dass der folgende, direkt an die **JFrame**-Komponente gerichtete Methodenaufruf

```
add(panLeft, BorderLayout.CENTER);
```

denselben Zweck erreicht, liegt an den seit Java 5 vorhandenen Bequemlichkeitsüberschreibungen in der Klasse **JFrame**. Wir werden im Manuskript der Klarheit halber die letztlich zuständige Inhaltsschicht meist explizit ansprechen.

- Wie der Konstruktor die Komponenten des Rahmenfensters erzeugt, konfiguriert und positioniert sowie die Ereignisbehandlung vorbereitet, wird gleich im Detail erklärt.
- Am Ende seiner Tätigkeit legt der Konstruktor über die Methode **setSize()** der Klasse **java.awt.Window** noch eine initiale Größe für das Fenster fest und macht es dann mit der ebenfalls von **Window** geerbten Methode **setVisible()** sichtbar:

```
setSize(340, 150);
setVisible(true);
```

Wie in Kapitel 16 im Zusammenhang mit dem Thema *Multithreading* zu erfahren sein wird, ist der **setVisible(true)**-Aufruf am Ende des Konstruktors nicht Thread-sicher. Es könnte zu einer fehlerhaften Anzeige kommen, weil zwei Threads gleichzeitig auf das GUI zugreifen. Durch den **setVisible(true)**-Aufruf gelangen der Top-Level - Container und die enthaltenen Komponenten in den *realisierten* Zustand. Ab jetzt werden ihre Ereignisbehandlungs- oder Ausgabemethoden im **Ereignisverteilungs-Thread** aufgerufen, und eine Manipulation der Objekte aus einem anderen Thread muss unterbleiben. Weil das Risiko durch den **setVisible(true)**-Aufruf am Ende des Konstruktors gering ist, verzichten wir (in Übereinstimmung mit den meisten Lehrbüchern) vorläufig auf eine absolut wasserdichte, aber etwas aufwändigere Lösung. Nach dem **setVisible(true)**-Aufruf dürfen aber im Fensterkonstruktor keine GUI-Manipulationen mehr stattfinden.

So könnte eine risikofreie **main()**-Methode für unser Beispielprogramm aussehen:

```
public static void main(String[] args) {
 EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
  public void run() {
   new MPC();
  }
 });
}
```

Bei der Kreation eines Bruchkürzungsprogramms mit Swing-GUI hat der WindowBuilder eine analoge **main()**-Methode für uns geschrieben (siehe Abschnitt 4.8).

Im weiteren Verlauf des Kurses werden Ihnen durchaus Programme begegnen, die mit einer fehlerhaften Anzeige reagieren, wenn der Fenster-Konstruktor im Haupt-Thread ausgeführt wird (siehe z.B. Abschnitt 15.1.5.1).

12.4 Bedienelemente (Teil 1)

Das Manuskript behandelt in zwei Portionen elementare Swing-Komponenten. Eine optische Präsentation *aller* Swing-Komponenten finden Sie im Java-Tutorial (Oracle 2012):

- Mit Java-Design: http://docs.oracle.com/javase/tutorial/ui/features/components.html
- Mit Windows-Design: http://docs.oracle.com/javase/tutorial/ui/features/compWin.html

12.4.1 Label

Mit Komponenten der Klasse **JLabel** realisiert man Bedienungshinweise in Schrift- und/oder Bildform. Das erste Label in unserem Beispielprogramm beschränkt sich auf eine Textanzeige:

```
private JLabel lblText;
 .  .  .
lblText = new JLabel(labelPrefix + "0");
```

Für Textänderungen im Programmablauf verwendet man die **JLabel**-Methode **setText()**, z.B.:

```
lblText.setText(labelPrefix + numClicks);
```

Zur Steuerung der Textausrichtung dient die Methode **setHorizontalAlignment()**, z.B.:[1]

```
status.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
```

Das zweite Label im Swing-Einstiegsbeispiel dient zur Anzeige von GIF-Dateien, die von **ImageIcon**-Objekten repräsentiert werden:

```
ImageIcon[] icons;
 .  .  .
icons = new ImageIcon[maxIcon];
icons[0] = new ImageIcon("duke.gif");
icons[1] = new ImageIcon("fight.gif");
icons[2] = new ImageIcon("snooze.gif");
```

Die **ImageIcon**-Objekte passen ganz gut in den Abschnitt über GUI-Design, doch soll der begrifflichen Klarheit halber darauf hingewiesen werden, dass es sich *nicht* um Komponenten handelt, weil sie z.B. keinerlei Ereignisse auslösen können. Neben dem GIF-Format (*Graphics Interchange Format*) werden auch die Formate JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) und PNG (*Portable Network Graphics*) unterstützt.

Beim Erzeugen des zweiten Label-Objekts im Beispielprogramm wird ein **ImageIcon** als initiale Anzeige festgelegt:

```
JLabel lblIcon;
 .  .  .
lblIcon = new JLabel(icons[0]);
```

Um das Icon im Programmablauf auszutauschen, verwendet man die **JLabel**-Methode **setIcon()**, z.B.:

```
lblIcon.setIcon(icons[iconInd]);
```

Neben **JLabel**-Objekten lassen sich auch diverse andere Swing-Komponenten mit **ImageIcon**-Objekten verschönern (z.B. Befehlsschalter), wobei die Auswahl wiederum per Konstruktor oder per **setIcon()**-Methode erfolgt.

12.4.2 Befehlsschalter

Befehlsschalter werden in Swing durch die Klasse **JButton** realisiert. Die Syntax zum Deklarieren bzw. Erzeugen eines Schalters mit Beschriftung bietet keinerlei Überraschungen:

```
private JButton cbCount;
 .  .  .
cbCount = new JButton("Zählerstand erhöhen");
```

Mit der **JButton**-Methode **setMnemonic()** kann eine **Alt**-Tastenkombination als Äquivalent zum Mausklick auf den Schalter festgelegt werden, z.B. **Alt+S**:

---

[1] Die Abweisung stammt *nicht* aus dem Swing-Einstiegsbeispiel.

```
cbCount.setMnemonic(KeyEvent.VK_S);
```

Den **int**-wertigen Parameter der Methode **setMnemonic()** legt man am besten über die in der Klasse **KeyEvent** definierten VK-Konstanten (*Virtual Key*) fest.

Für *einen* Schalter pro Fenster kann man zur weiteren Bedienungserleichterung das Auslösen per **Enter**-Taste ermöglichen, indem man ihn zum **Default Button** ernennt. Dazu ist die Botschaft **setDefaultButton()** an das per **JFrame**-Methode **getRootPane()** zu ermittelnde **Root Pane** - Objekt des Fensters (vgl. Abschnitt 12.2.2) zu richten, z.B.:

```
getRootPane().setDefaultButton(cbCount);
```

12.4.3 JPanel-Container

Wie sich in Abschnitt 12.2.2 herausgestellt hat, ist die Inhaltsschicht eines **JFrame**-Fensters, die alle Swing-Komponenten mit Ausnahme von Menüs aufnimmt, ein Container aus der Klasse **JPanel**. Hier können normale Steuerelemente (z.B. Befehlsschalter, Label) eingefügt werden, aber auch andere (untergeordnete) **JPanel**-Container, die wiederum Komponenten und Container enthalten dürfen. Für die Verteilung der in einem Container enthaltenen Komponenten auf die verfügbare Rechteckfläche ist der Layout-Manager des Containers verantwortlich. Mit diesem dynamischen Teil der Container-Technik werden wir uns in Abschnitt 12.5 beschäftigen.

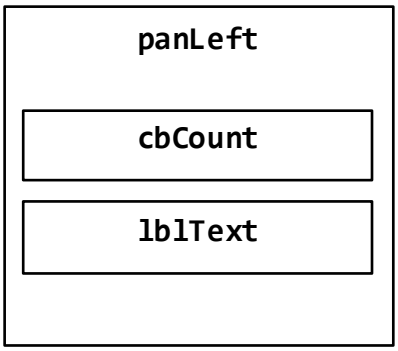
Zunächst beschränken wir uns auf die Feststellung, dass jede Komponente eines **JFrame**-Fensters in einem **JPanel**-Container steckt. Im unserem Swing-Einstiegsbeispiel wird ein **JPanel**-Behälter namens `panLeft` verwendet, der offenbar für den linken Teil des Fensters zuständig sein soll:

```
private JPanel panLeft;
  .   .   .
panLeft = new JPanel();
```

Um eine Komponente in einen Container aufzunehmen, benutzt man eine der zahlreichen **add()**-Überladungen. So gelangen der Befehlsschalter und das Text-Label

```
panLeft.add(cbCount);
panLeft.add(lblText);
```

in den Container `panLeft`:



Wie dieser Container und das mit einem **ImageIcon** geschmückte **JLabel**-Objekt `lblIcon` auf die Inhaltsschicht des **JFrame**-Fensters gelangen, wird erst in Abschnitt 12.5 erklärt, weil dazu einiges Wissen um Layout-Manager erforderlich ist.

12.4.4 Elementare Eigenschaften von Swing-Komponenten

In diesem Abschnitt werden **Component**-Methoden aufgelistet, die elementare Eigenschaften von Swing-Komponenten beeinflussen:

- **public void setAlignmentX(float** *horizAlignment***)**
  public void setAlignmentY(float *vertAlignment***)**
  Diese Methoden legt die von einer Komponente *gewünschte* horizontale bzw. vertikale Ausrichtung in der heimatlichen Container-Zelle fest. Mit dem Wert 0 des **float**-Parameters signalisiert eine Komponente ihre Präferenz für den linken bzw. oberen Rand. Dem maximalen Wert von 1 entspricht eine Vorliebe für den rechten bzw. unteren Rand, und der Wert 0,5 signalisiert eine Tendenz zur Mitte. Für einige spezielle Parameterwerte stehen Konstanten in der Klasse **Component** zur Verfügung, z.B.:
  ```
  lblText.setAlignmentX(Component.CENTER_ALIGNMENT);
  lblText.setAlignmentY(Component.TOP_ALIGNMENT);
  ```
  Mit den zugehörigen **get**-Methoden (z.B. **getAlignmentX()**) kann man die von einer Komponente gewünschten Orientierungen erfragen. Ob diese Wünsche auch Realität werden, hängt vom Layout-Manager des Containers ab, in dem sich eine Komponente befindet (vgl. Abschnitt 12.5).
- **public void setMinimumSize(Dimension** *ausdehnung***)**
  public void setMaxmumSize(Dimension *ausdehnung***)**
  public void setPreferredSize(Dimension *ausdehnung***)**
  Diese Methoden legen die von einer Komponente *gewünschte* minimale, maximale bzw. bevorzugte Größe über ein **Dimension**-Objekt fest, das öffentliche **int**-Felder für Breite (**width**) und Höhe (**height**) in der Maßeinheit Pixel besitzt, z.B.:[1]
  ```
  lblText.setMaximumSize(new Dimension(100, 50));
  ```
  Mit den zugehörigen **get**-Methoden (z.B. **getPreferredSize()**) kann man die von einer Komponente gewünschten Größen erfragen. Ob die Wünsche auch Realität werden, hängt von dem für eine Komponente zuständigen Layout-Manager ab (vgl. Abschnitt 12.5).
- **public void setHorizontalAlignment(int** *alignment***)**
  public void setVerticalAlignment(int *alignment***)**
  Diese Methoden legen die horizontale bzw. vertikale Ausrichtung für den *Inhalt* einer Komponente fest (z.B. für den Text eines Labels). Die erlaubten Werte sind über Konstanten im Interface **SwingConstants** ansprechbar:

LEFT, **CENTER**, **RIGHT**	Links, Mitte, Rechts
LEADING, **TRAILING**	Start- und Endseite gemäß Schriftausrichtung

- **public void setBackground(Color** *farbe***)**
  public void setForeground(Color *farbe***)**
  Mit diesen Methoden lässt sich die Hinter- bzw. Fordergrundgrundfarbe über ein Objekt der Klasse **Color** setzen.
- **public void setFont(Font** *schriftart***)**
  Mit der Methode **setFont()** wird die Schriftart einer Komponente über ein Objekt der Klasse **Font** festgelegt, z.B.:
  ```
  lblText.setFont(new Font(Font.SANS_SERIF, Font.BOLD, 16));
  ```
  Durch Beschränkung auf die fünf logischen Schriftarten (**SERIF**, **SANS_SERIF**, **MONOSPACED**, **DIALOG**, **DIALOG_INPUT**), die generell (in jeder JVM seit Java 1.0) verfügbar sind und auf jeweils verfügbare physikalische Schriftarten abgebildet werden, vermeidet man eine Abhängigkeit von der lokalen Systemausstattung. Werden die Schriftarten

---

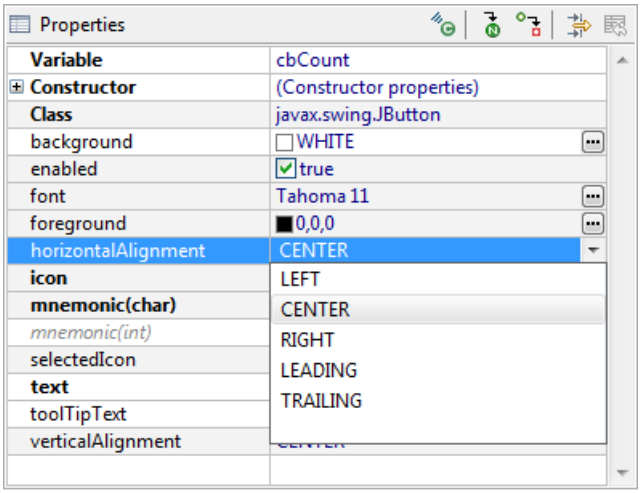
[1] Die bereits seit Java 1.0 vorhandene Klasse **Dimension** ist kein Musterbeispiel für die Datenkapselung der objektorientierten Programmierung, so dass in der API-Dokumentation gewarnt werden muss:

> Normally the values of `width` and `height` are non-negative integers. The constructors that allow you to create a dimension do not prevent you from setting a negative value for these properties. If the value of `width` or `height` is negative, the behavior of some methods defined by other objects is undefined.

über Konstanten der Klasse **Font** angesprochen (z.B. `Font.SANS_SERIF`) statt über Zeichenfolgen (z.B. `"Ariaal"`), sind Missverständnisse durch Tippfehler ausgeschlossen.

- **public void setVisible(boolean** *visible***)**
  Mit dieser Methode lässt sich eine Komponente (un)sichtbar machen.

Um die Eigenschaften von Swing-Komponenten *zur Entwurfszeit* zu beeinflussen, müssen Java-Programmierer nicht unbedingt die **set**-Methoden direkt verwenden, weil visuelle Designwerkzeuge von Entwicklungsumgebungen diese Arbeit übernehmen. Der WindowBuilder in Eclipse präsentiert z.B. zu einer **JButton**-Komponente die folgende Eigenschaftstabelle:



Wer die Eigenschaften von Komponenten *zur Laufzeit* beeinflussen möchte, kommt allerdings um den Aufruf der **set**-Methoden nicht herum.

12.4.5 Zubehör für Swing-Komponenten

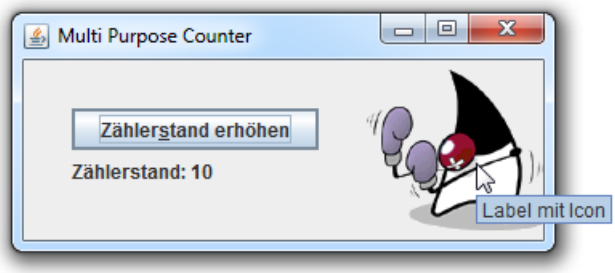
Es sind zahlreiche Möglichkeiten verfügbar, das optische Erscheinungsbild und die Bedienbarkeit von Swing-Komponenten zu verbessern.

12.4.5.1 Tool-Tip - Text

Mit der **JComponent**-Methode **setToolTipText()** kann man Tool-Tipps (QuickInfos) zu einzelnen Steuerelementen definieren, z.B.:

```
lblIcon.setToolTipText("Label mit Icon");
```

Diese erscheinen in einem PopUp-Fenster, wenn der Mauszeiger über einer betroffenen Komponente verharrt:



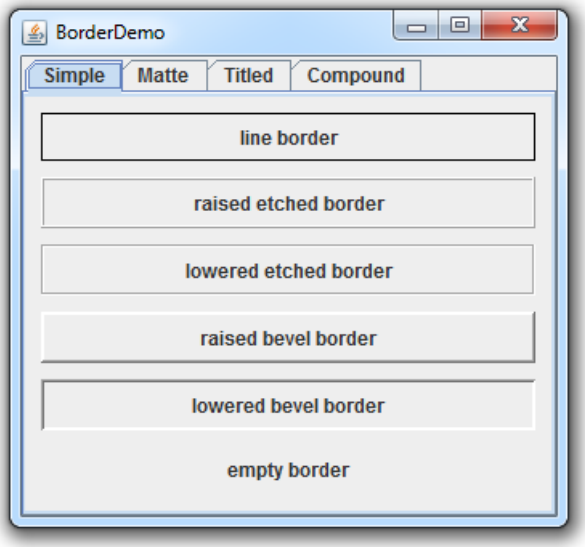
12.4.5.2 Rahmen

Mit der **JComponent**-Methode **setBorder()** lässt sich ein Rahmen festlegen, wobei die Klasse **BorderFactory** mit ihren statischen Methoden diverse Modelle herstellen kann. Im Einführungs-

beispiel verschaffen wir dem **JPanel**-Container `panLeft`, der den Befehlsschalter und das Text-Label aufnimmt (siehe Abschnitt 12.4.3), etwas „Luft“:

```
panLeft.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(30, 30, 30, 30));
```

Den Quellcode zu der folgenden Rahmen-Musterschau:



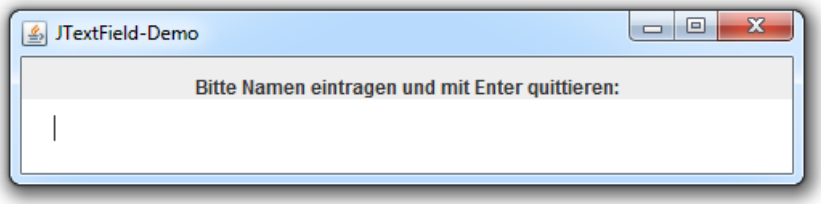
finden Sie über die Webseite:

http://docs.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/components/border.html

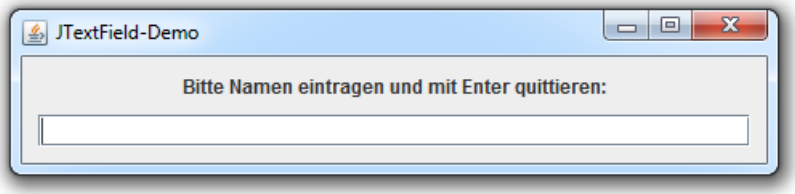
Obwohl die Methode **setBorder()** in der Klasse **JComponent** definiert ist, arbeitet sie nur bei **JPanel** und **JLabel** erwartungsgemäß (vgl. API-Dokumentation). Um andere Bedienelemente zu beranden, geht man am besten so vor:

- Bedienelement in einen **JPanel**-Container stecken.
- **setBorder()** auf den **JPanel**-Container anwenden.

Ein Rahmen um ein Texteingabefeld (**JTextField**, vgl. Abschnitt 12.7.1) wird von Swing wenig sinnvoll realisiert:



Bei einem Texteingabefeld im eingerahmten **JPanel**-Container erhält man das gewünschte Ergebnis:



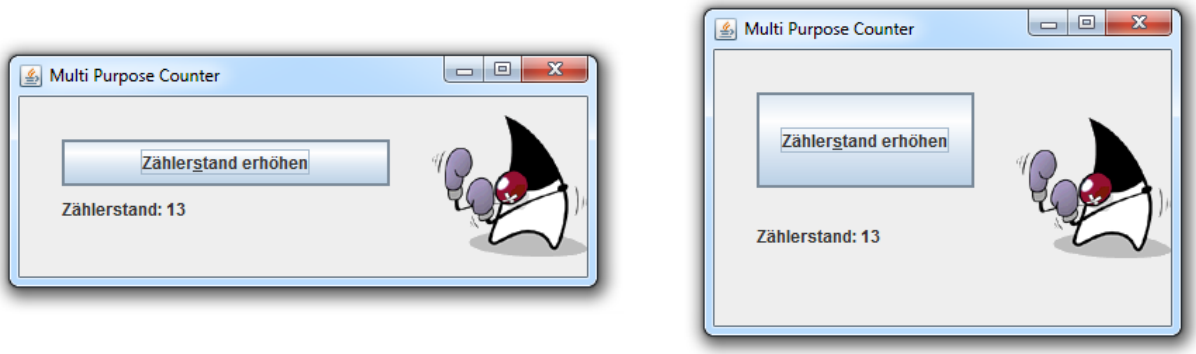
12.5 Layout-Manager

Der **Layout-Manager** eines Containers ist für die **Anordnung** und **Größe** der enthaltenen Komponenten zuständig und orientiert sich bei seiner Tätigkeit je nach Typ auch an den Wünschen der

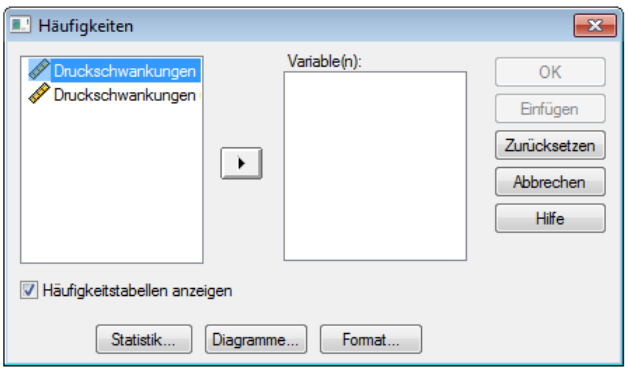
Komponenten zur Größe und Orientierung, welche über die **Component**-Methoden **getPreferredSize()**, **getMinimumSize()**, **getAlignmentX()** etc. in Erfahrung zu bringen sind. Für das Innenleben von enthaltenen (untergeordneten) Container-Komponenten sind deren Layout-Manager verantwortlich. Um einem übergeordneten Kollegen Auskunft geben zu können, muss ein Layout-Manager die minimale, maximale und bevorzugte Größe des eigenen Containers berechnen.

Durch Verschachteln von Containern, für die jeweils ein spezieller Layout-Manager engagiert werden kann, sollte sich fast jede Designidee verwirklichen lassen.

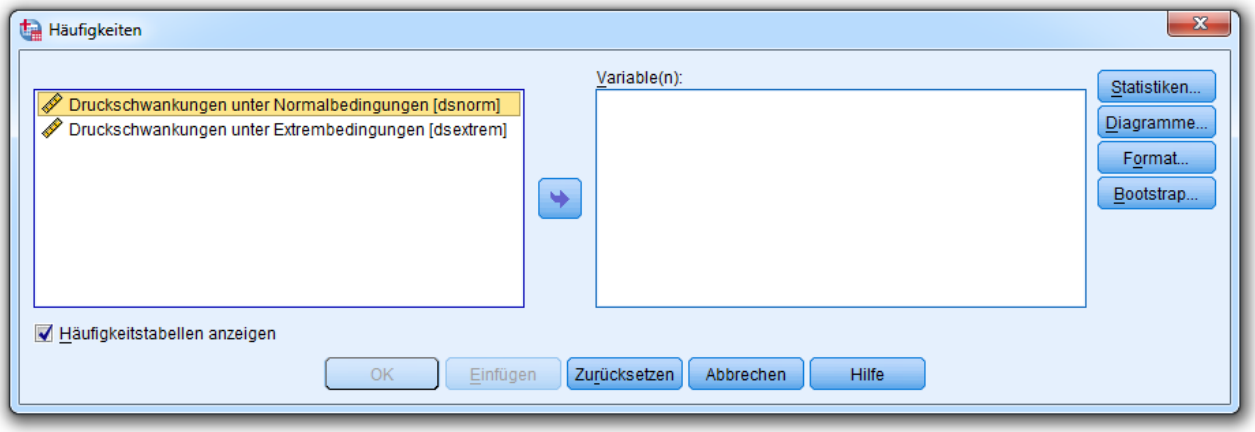
Bei einer Änderung der Container-Größe sorgen die beteiligten Layout-Manager für die dynamische Anpassung der Platzaufteilung, z.B.:



Wie nützlich größenvariable Fenster mit intelligenter Platzverwaltung für Benutzer sein können, zeigt der folgende Vergleich von zwei äquivalenten Dialogboxen aus verschiedenen Versionen des Statistikprogramms SPSS (vor und nach der Neuentwicklung in Java). In SPSS 15 erschweren Dialogboxen mit fester Größe gelegentlich die Unterscheidung von Variablen mit identisch startender Bezeichnung:



Weil SPSS seit der Version 16 auf Java-Technik basiert, lässt sich die Breite der äquivalenten Dialogbox nun so wählen, dass die Bezeichnungen vollständig Platz finden:



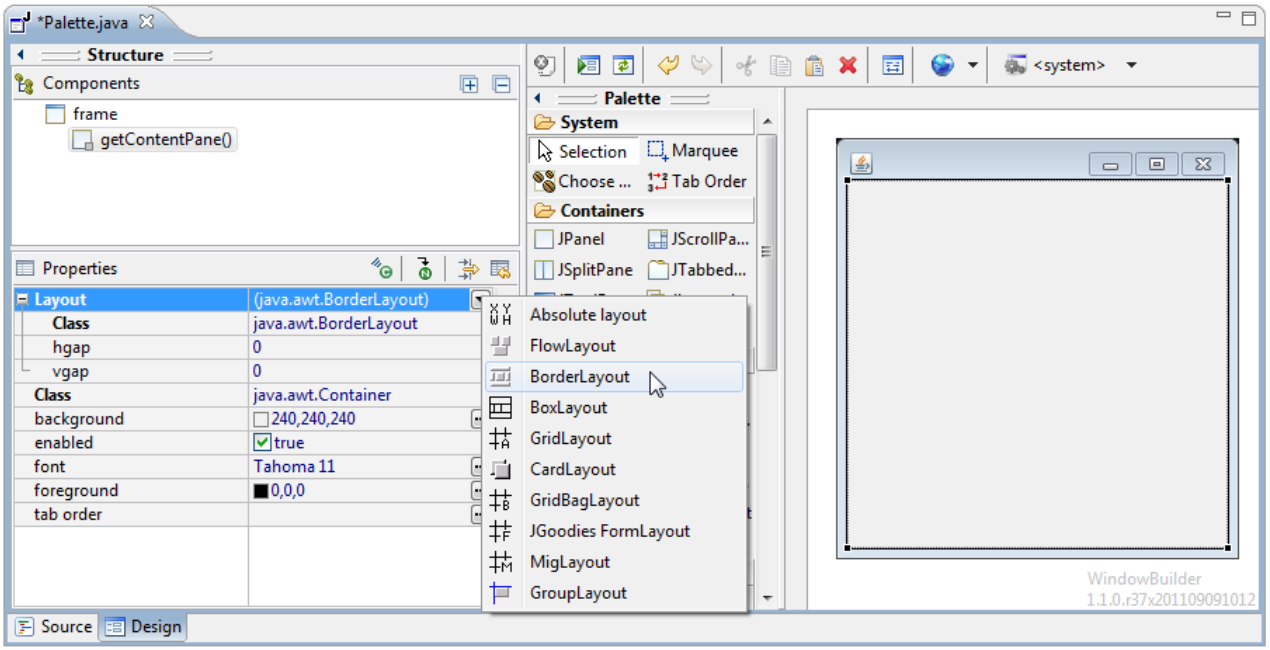
Man kann aber auch auf die Dienste eines Layout-Managers verzichten und alle Layout-Details (Positionen und Größen) absolut festzulegen (siehe Abschnitt 12.5.5).

```
cont.setLayout(null);
```

Dann sollte mit dem folgenden Aufruf der **JFrame**-Methode **setResizable()** eine Änderung der Fenstergröße durch den Benutzer verhindert werden:

```
setResizable(false);
```

Im Alltag der Software-Entwicklung erleichtern Assistenten wie der WindowBuilder in Eclipse den Umgang mit den Layout-Managern, z.B. bei der Auswahl:



Um eine begründetet Wahl zu treffen, muss man die Kandidaten natürlich kennen. Aus der WindowBuilder-Angebotsliste werden anschließend die ersten fünf Layout-Manager vorgestellt. Aus Zeitgründen können u.a. die die folgenden Layout-Manager nicht behandelt werden:

- **GridBagLayout**
  Dieser Layout-Manager ist ebenso flexibel wie kompliziert. Im Unterschied zum **GridLayout** (vgl. Abschnitt 12.5.2) lässt sich z.B. die Breite der Spalten getrennt festlegen.
- **CardLayout**
  Dieser Layout-Manager verwaltet die Komponenten im Container wie gestapelte Karten, von denen eine sichtbar ist.
- **GroupLayout**
  Dieser Layout-Manager wurde in Java 6 als Basis für den graphischen Fenster-Designer *Matisse* in der Entwicklungsumgebung *NetBeans* eingeführt, eignet sich aber auch für das direkte Kodieren.

Wer sie kennen lernen möchte, kann sich z.B. im Java-Tutorial informieren (Oracle 2012).[1]

12.5.1 BorderLayout

In unserem Swing-Einstiegsbeispiel bleiben bei nahezu beliebigen Veränderungen des Anwendungsfensters (siehe oben) die folgenden räumlichen Relationen erhalten:

[1] Siehe: http://docs.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/layout/index.html

- Das Text-Label befindet sich senkecht unter dem Befehlsschalter.
- Das Icon-Label erscheint rechts neben den beiden anderen Komponenten und ist vertikal zentriert.

Eine wesentliche Voraussetzung für dieses Verhalten sind die beteiligten Container und ihre Layout-Manager. Das Anwendungsfenster (Klasse `MPC`, abgeleitet aus **JFrame**) ist ein (schwergewichtiger) Top-Level - Container. Wie sich schon in Abschnitt 12.2.2 herausgestellt hat, besitzen **JFrame**-Fenster eine Scheibenstruktur, wobei die Inhaltsschicht (engl.: *content pane*) zur Verwaltung der im Rahmenfenster enthaltenen Steuerelemente dient. Zwar ist die **JFrame**–Inhaltsschicht über eine Referenzvariable vom Typ **Container** ansprechbar, geliefert von der **JFrame**-Methode **getContentPane()**, befragt man dieses Objekt jedoch über die Methode **getClass()** nach dem faktischen Typ, stellt sich die abgeleitete Klasse **JPanel** heraus. Wir haben es also (zumindest bei einem Rahmenfenster aus der Klasse **JFrame**) nur mit **JPanel**-Containern zu tun.

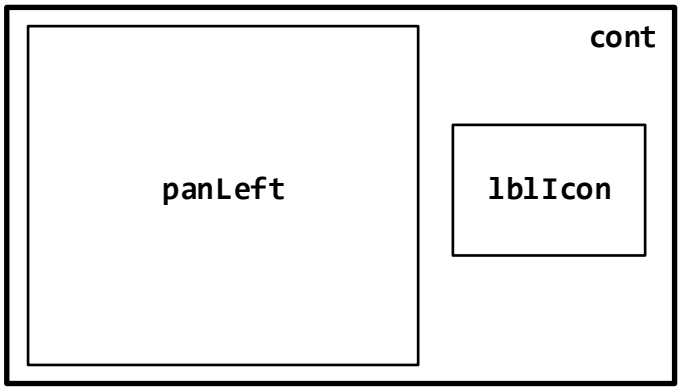
In dem zur **JFrame**-Inhaltsschicht gehörigen **JPanel**-Container landen:

- ein untergeordneter Container aus der Klasse **JPanel** namens `panLeft`
- das **JLabel**-Objekt `lblIcon`

Diese beiden Komponenten gelangen über **add()**-Methodenaufrufe an ihrem Standort:

```
cont.add(panLeft, BorderLayout.CENTER);
cont.add(lblIcon, BorderLayout.EAST);
```

Es resultiert die folgende räumliche Anordnung:



Dafür sorgt der **Layout-Manager** der **JFrame**-Inhaltsschicht. Weil wir die Voreinstellung nicht geändert haben, handelt es sich um ein Objekt der Klasse **BorderLayout**. Dies wird deutlich in den Positionierungsparametern der obigen **add()**-Aufrufe:

- `panLeft` soll das Zentrum des `MPC`-Containers besetzen, das sich mangels West-Komponente am linken Rand befindet.
- `lblIcon` soll sich am östlichen `MPC`-Rand aufhalten.

Im Swing-Einstiegsbeispiel landen der Befehlsschalter und das Text-Label im **JPanel**-Container `panLeft`, dem ein **GridLayout**-Manager zugeteilt wird (siehe Abschnitt 12.5.2). Für ein gelungenes Layout ist oft das hierarchische Schachteln von Containern mit jeweils passend gewähltem Layout-Manager erforderlich.

Welche Plätze ein **BorderLayout**-Objekt insgesamt für einen Container verwalten kann, zeigt folgendes Beispielprogramm, das an jeder möglichen Position einen Befehlsschalter enthält:

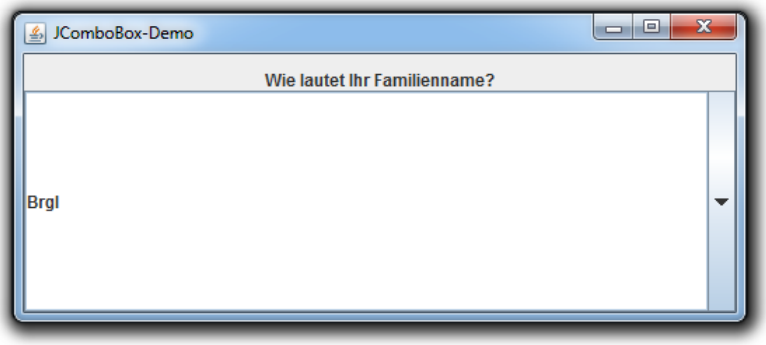
Für die Abstände zwischen den Komponenten (horizontal und vertikal jeweils 5 Pixel) wurde hier durch einen speziellen **BorderLayout**-Konstruktor gesorgt:

```
BorderLayout layout = new BorderLayout(5,5);
```

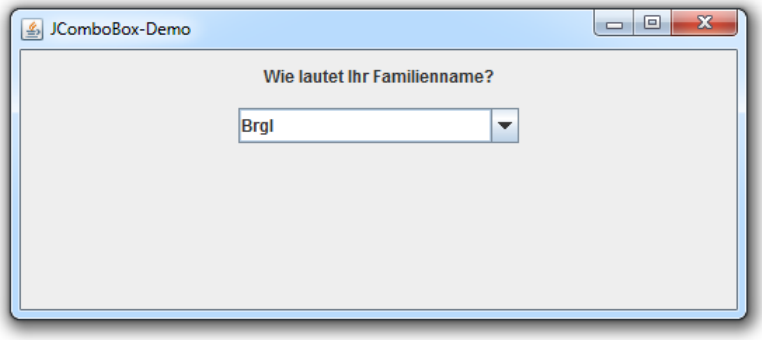
Welche Gestaltungsmöglichkeiten ein **BorderLayout** durch sein Verhalten bei teilweise unbesetzten Positionen bietet, sollten Sie durch Probieren herausfinden.

Wie das letzte Beispiel zeigt, belegt die in einem **BorderLayout**-Fach befindliche Komponente den gesamten dort verfügbaren Platz. Dies ist bei vielen Komponenten (z.B. **JPanel**, **JEditorPane**) sehr sinnvoll, wobei man die „gierigste“ Komponente ins Zentrum setzen sollte, das bei Zunahme der Container-Fläche primär profitiert.

Bei manchen Bedienelementen ist eine monströse Größenzunahme aber unangemessen, z.B. bei einem Kombinationsfeld (**JComboBox**, siehe Abschnitt 12.7.5):



Der bei einem **JPanel**-Container voreingestellte **FowLayout** - Manager (siehe Abschnitt 12.5.3) respektiert die bevorzugte Größe der enthaltenen Bedienelemente. Daher kann es sinnvoll sein, ein Bedienelement mit **JPanel**-Hülle in ein **BorderLayout**-Fach zu stecken, z.B.:



12.5.2 GridLayout

Im Swing-Einstiegsbeispiel wird für das **JPanel**-Objekt `panLeft`, das den Befehlsschalter und das Textlabel enthält, mit der Methode **setLayout()** (geerbt von der Klasse **Container**) ein Layout-Manager aus der Klasse **GridLayout** engagiert, der im Allgemeinen eine ($z \times s$)-Komponentenmatrix verwalten kann und im Beispiel dafür sorgt, dass alle `panLeft`-Komponenten bei linksbündiger Ausrichtung übereinander stehen. Dazu wird im **GridLayout**-Konstruktor *eine* Spalte und (über den Aktualparameterwert 0) eine unbestimmte Anzahl von Zeilen angekündigt:

```
panLeft.setLayout(new GridLayout(0, 1));
```

Ist ein solcher Layout-Manager einmal im Dienst, verteilt er die Komponenten automatisch auf die verfügbaren Zellen, so dass die **add()**-Methode ohne Platzanweisung auskommt:

```
panLeft.add(cbCount);
panLeft.add(lblText);
```

In der folgenden Anweisung wird dem Inhaltsbereich eines **JFrame**-Rahmenfensters ein (2 × 4) - **GridLayout** – Manager mit Zwischenabständen von jeweils 5 Pixeln zugeordnet:

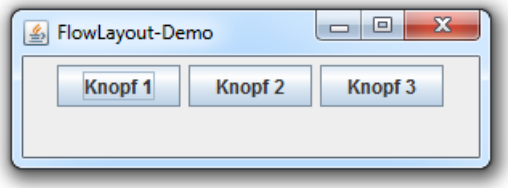
```
getContentPane().setLayout(new GridLayout(2,4,5,5));
```

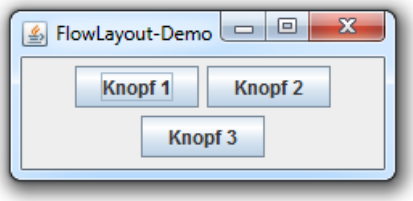
Der verfügbare Platz wird von einem **GridLayout**-Manager gleichmäßig auf alle Komponenten verteilt, wie das folgende Beispielprogramm mit acht phantasielos beschrifteten Schaltern zeigt:

Wie beim **BorderLayout** belegt auch beim **GridLayout** jede Komponente den gesamten verfügbaren Platz in ihrer Zelle. Beim gleich zu behandelnden **FlowLayout**, das beim **JPanel**-Container voreingestellt ist, behalten alle Komponenten hingegen ihre bevorzugte Größe. Daher kann es sinnvoll sein, Bedienelemente mit einer **JPanel**-Verpackung in die Zellen eines **GridLayouts** zu stecken, z.B.:

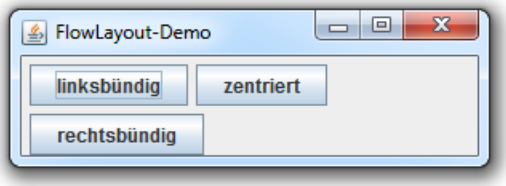
12.5.3 FlowLayout

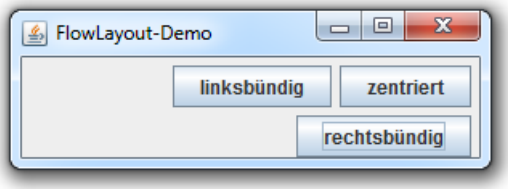
Das recht simple und betagte **FlowLayout**, dient beim **JPanel**-Container als Voreinstellung. Es ordnet die Komponenten nebeneinander an, bis ein „Zeilenumbruch“ erforderlich wird:





An Stelle der horizontalen Zentrierung ist alternativ auch eine links- bzw. rechtsbündige Anordnung möglich, z.B.:

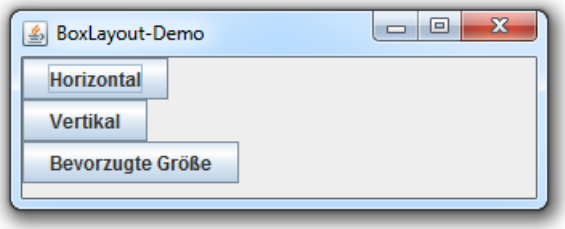


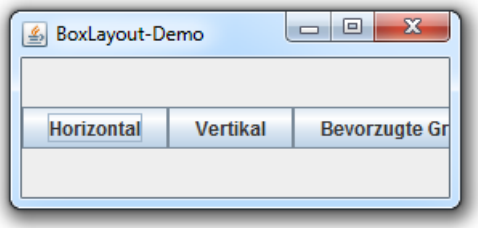


Im Unterschied zum **BorderLayout** und zum **GridLayout** erhalten beim **FlowLayout** die aufgenommenen Komponenten unabhängig von der verfügbaren Fläche nach Möglichkeit ihre bevorzugte Größe.

12.5.4 BoxLayout

Der **BoxLayout**-Manager kann als flexiblere Weiterentwicklung des betagten **FlowLayout**-Managers aufgefasst werden und dient ebenfalls dazu, die Komponenten im verwalteten Container vertikal (übereinander) oder horizontal (nebeneinander) anzuordnen, z.B.:





Er berücksichtigte dabei nach Möglichkeit die Wünsche der Komponenten bzgl. (minimaler, bevorzugter, maximaler) Größe und Ausrichtung. Bei horizontaler Anordnung findet im Unterschied zum **FlowLayout** *kein* „Zeilenumbruch“ statt.

Im **BoxLayout**-Konstruktor wird zunächst der zu verwaltende Container und dann die gewünschte Orientierung der Komponenten (übereinander oder nebeneinander) gewählt, z.B.:

```
cont.setLayout(new BoxLayout(cont, BoxLayout.Y_AXIS));
```

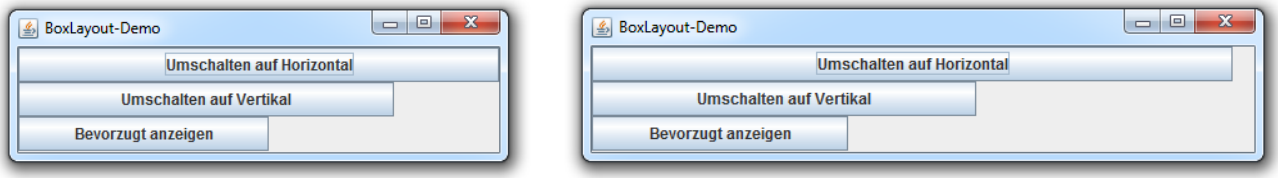
Dass man den Namen des Containers gleich zweimal anzugeben hat, ist etwas merkwürdig.

Die Orientierung der Komponenten kann mit Hilfe von **BoxLayout**-Konstanten entweder absolut oder in Bezug auf die lokalspezifische Anordnung von Textelementen festgelegt werden:

- **X_AXIS**
  Horizontale Anordnung von links nach rechts
- **Y_AXIS**
  Vertikale Anordnung von oben nach unten
- **LINE_AXIS**, **PAGE_AXIS**
  Diese Optionen unterstützen die Internationalisierung von Software und beachten die Komponentenorientierung des betroffenen Containers, welche die Anordnung von Textelementen regelt. Dazu besitzt die Klasse **Container** ein Mitgliedsobjekt der Klasse **ComponentOrientation**, das per **set**-Methode festgelegt und per **get**-Methode ermittelt werden kann. Das **BoxLayout** ordnet die Komponenten analog zu den Wörtern in einer Zeile bzw. Spalte (**LINE_AXIS**) oder analog zu den Zeilen bzw. Spalten auf einer Seite an (**PAGE_AXIS**) und reagiert folgendermaßen auf die **ComponentOrientation** des Containers:

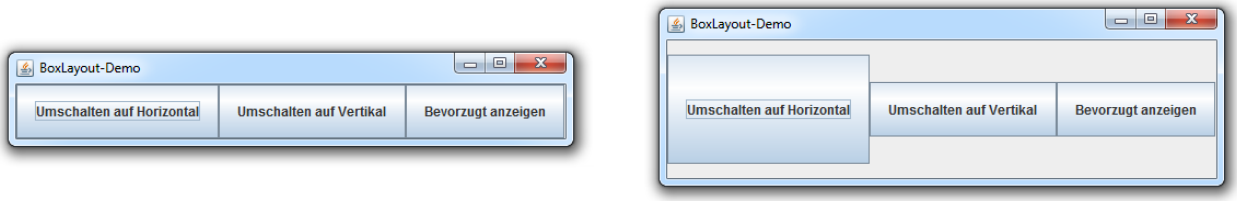
Textanordnung des Containers	**Boxlayout**-Komponentenanordnung bei	
	LINE_AXIS	**PAGE_AXIS**
horizontal (zeilenweise), Wörter von links nach rechts (Westeuropa)	von links nach rechts	von oben nach unten
horizontal, (zeilenweise) Wörter von rechts nach links (Arabisch, Hebräisch)	von rechts nach links	
vertikal (von oben nach unten) Spalten von links nach rechts (Mongolei)	von oben nach unten	von links nach rechts
vertikal (von oben nach unten) Spalten von rechts nach links (Japan, China, Korea)		von rechts nach links

Überschreitet bei einem vertikalen **BoxLayout** die Breite des Containers die bevorzugte Breite einer Komponente, dann wächst diese bis zu ihrer maximalen Breite an, z.B.:



In der Regel sind allerdings die bevorzugte und die maximale Breite einer Komponente identisch, so dass die Komponente trotz Zunahme der Container-Breite unverändert bleibt.

Überschreitet bei einem horizontalen **BoxLayout** die Höhe des Containers die bevorzugte Höhe einer Komponente, dann wächst diese bis zu ihrer maximalen Höhe, z.B.:

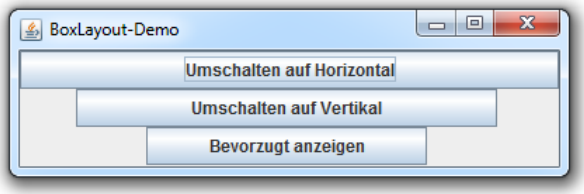


In der Regel sind allerdings die bevorzugte und die maximale Höhe einer Komponente identisch, so dass die Komponente trotz Zunahme der Container-Höhe unverändert bleibt.

Ein **BoxLayout**-Manager berücksichtigt auch die von den Komponenten gewünschte Ausrichtung in X- und Y-Richtung. Bisher waren alle Komponenten in X-Richtung linksbündig ausgerichtet und beim vertikalen **BoxLayout** dementsprechend am linken Container-Rand angeheftet (siehe oben). Mit der **JComponent**-Methode **setAlignmentX()** lässt sich eine Komponente z.B. in X-Richtung zentrieren:

```
horizontal.setAlignmentX(Component.CENTER_ALIGNMENT);
```

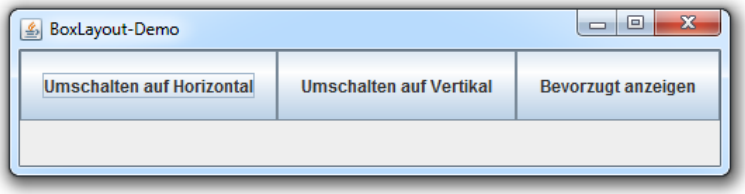
Sind *alle* Komponenten im Container so ausgerichtet, führt das vertikale **BoxLayout** zum folgenden Ergebnis:



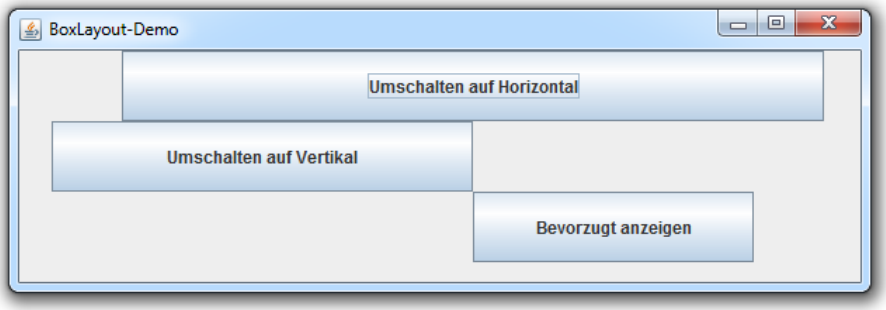
Analog hat bisher das horizontale **BoxLayout** die bei allen Komponenten voreingestellte Zentrierung in Y-Richtung respektiert (siehe oben). Mit der **JComponent**-Methode **setAlignmentY()** lässt sich eine Komponente z.B. an die Decke heften:

```
horizontal.setAlignmentY(Component.TOP_ALIGNMENT);
```

Sind *alle* Komponenten eines Containers in Y-Richtung TOP-orientiert, führt das horizontale **BoxLayout** zum folgenden Ergebnis:



Haben die Komponenten eines Containers *unterschiedliche* X- bzw. Y-Ausrichtungen, kommt es beim **BoxLayout** zu eventuell überraschenden Ergebnissen. Im folgenden Beispiel folgen vertikal eine zentrierte, eine rechts ausgerichtete und eine links ausgerichtete Komponente aufeinander:



Die beiden unteren Komponenten orientieren sich nicht am rechten bzw. linken Rand des Containers, sondern an der neutralen Position der ersten (zentrierten) Komponente.

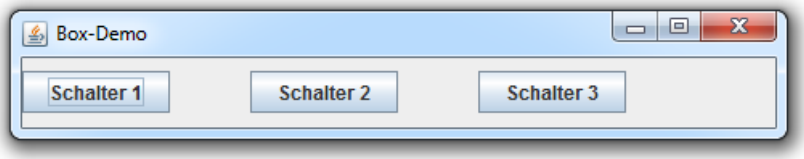
Die von **JComponent** abstammende Klasse **Box** realisiert einen Container mit voreingestelltem **BoxLayout** und bietet einige statische Methoden zur verbesserten Komponentenanordnung. Im Konstruktor ist die gewünschte Komponentenausrichtung anzugeben, z.B.:

```
boxContainer = new Box(BoxLayout.X_AXIS);
```

Mit der statischen **Box**-Methode **createHorizontalStrut()** erhält man eine unsichtbare Komponente mit fester Breite. Durch Einfügen solcher Komponenten, z.B.:

```
cb1 = new JButton("Schalter 1");
boxContainer.add(cb1);
boxContainer.add(Box.createHorizontalStrut(50));
cb2 = new JButton("Schalter 2");
boxContainer.add(cb2);
boxContainer.add(Box.createHorizontalStrut(50));
cb3 = new JButton("Schalter 3");
boxContainer.add(cb3);
```

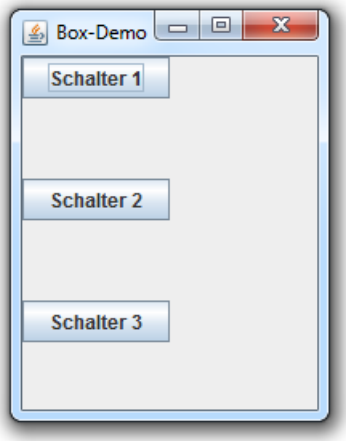
schafft man feste Abstände zwischen horizontal angeordneten Komponenten:



Mit der statischen **Box**-Methode **createVerticalStrut()** erhält man eine unsichtbare Komponente mit fester Höhe. Durch Einfügen solcher Komponenten, z.B.:

```
cb1 = new JButton("Schalter 1");
boxContainer.add(cb1);
boxContainer.add(Box.createVerticalStrut(50));
cb2 = new JButton("Schalter 2");
boxContainer.add(cb2);
boxContainer.add(Box.createVerticalStrut(50));
cb3 = new JButton("Schalter 3");
boxContainer.add(cb3);
```

schafft man feste Abstände zwischen vertikal angeordneten Komponenten:



Mit der statischen **Box**-Methode **createHorizontalGlue()** erhält man eine unsichtbare Komponente mit variabler Breite, die bei einer Verbreiterung des Containers Platz absorbiert und bei einer Verkleinerung wieder abgibt. Durch Einfügen solcher Komponenten, z.B.

```
boxContainer.add(Box.createHorizontalGlue());
```

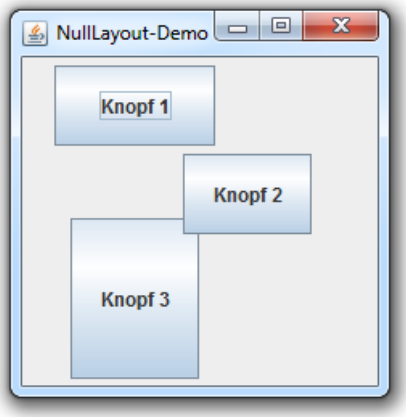
schafft man variable (elastische) Abstände zwischen horizontal angeordneten Komponenten:

Mit der **Box**-Methode **createVerticalGlue()** erreicht man dieselbe Elastizität in vertikaler Richtung.

Die von statischen **create**-Methoden der Klasse **Box** erzeugten unsichtbaren Hilfskomponenten taugen nicht nur in **Box**-Objekten, sondern lassen sich in beliebige Container einfügen, die von einem **BoxLayout**-Manager betreut werden.

12.5.5 Freies Layout

Man kann auf die Dienste eines Layout-Managers verzichten und die Positionen bzw. Größen der in einem Container enthaltenen Komponenten individuell festlegen, so dass z.B. auch Merkwürdigkeiten wie überlappende Befehlsschalter möglich werden:



Ein freies Layout lässt sich folgendermaßen realisieren:

- Den voreingestellten Layout-Manager abschalten mit **setLayout(null)**
- Positionen und Größen der Komponenten z.B. mit der **Component**-Methode **setBounds()** festlegen:

  public void setBounds(int *x*, **int** *y*, **int** *width*, **int** *height***)**

  Mit den vier **int**-Parametern wählt man die Position und die Größe:

x	neue X-Koordinate der Komponente
y	neue Y-Koordinate der Komponente
width	neue Breite der Komponente
height	neue Höhe der Komponente

Dies wird in folgendem Programm demonstriert:

```
import java.awt.*;
import javax.swing.*;

class NullLayoutDemo extends JFrame {
 private JButton k1, k2, k3;

 NullLayoutDemo() {
  super("NullLayout-Demo");

  Container cont = getContentPane();
  cont.setLayout(null);

  k1 = new JButton("Knopf 1");
  k1.setBounds(20,5,100,50);
  cont.add(k1);
  k2 = new JButton("Knopf 2");
  k2.setBounds(100,60,80,50);
  cont.add(k2);
  k3 = new JButton("Knopf 3");
  k3.setBounds(30,100,80,100);
  cont.add(k3);

  setSize(210, 240);
  setVisible(true);
 }

 public static void main(String[] arg) {
  new NullLayoutDemo();
 }
}
```

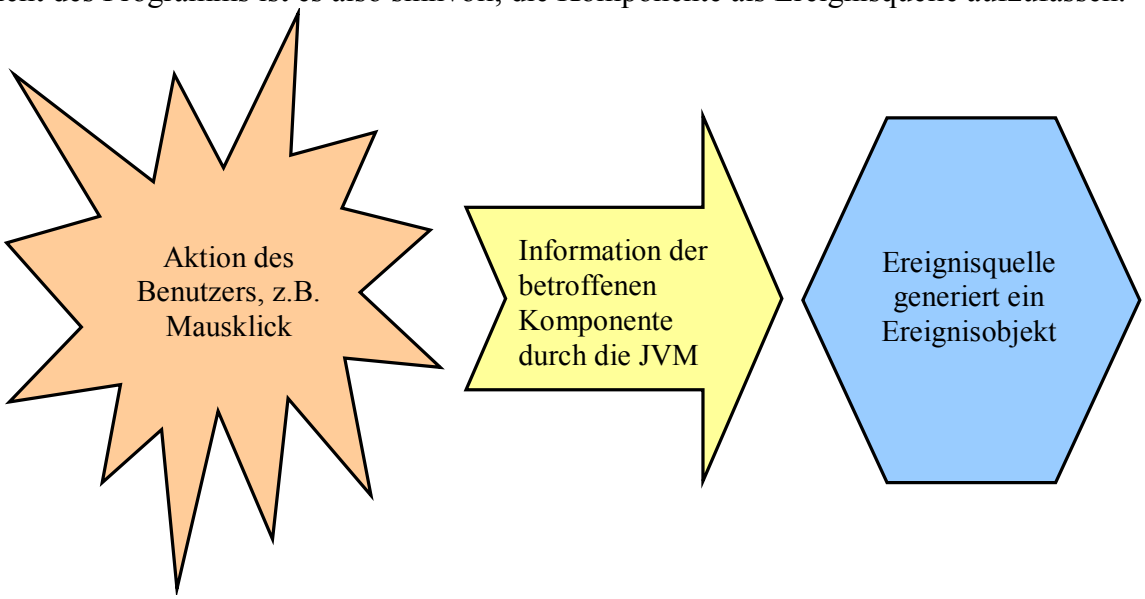
12.6 Ereignisbehandlung

Die Besonderheit einer Komponente im Unterschied zu einem gewöhnlichen Objekt besteht neben ihrem optischen Auftritt in der Fähigkeit, **Ereignisse** (z.B. Mausklicks) zu erkennen und an interessierte andere Objekte weiterzuleiten, die dann durch Ausführen einer passenden Methode reagieren können.

12.6.1 Das Delegationsmodell

Bei der in Java benutzten Ereignisbehandlung nach dem Delegationsmodell sind folgende Objekte beteiligt:

- **Ereignisquelle**
  Dies ist eine Komponente, die Ereignisse feststellen und weiterleiten kann. Im **Swing**-Demoprogramm, das wir seit Abschnitt 12.3 besprechen, kann z.B. der Befehlsschalter `cbCount` diese Rolle spielen. Auslöser ist letztlich der Benutzer, von dessen Tätigkeit (z.B. Mausklick) die Komponente durch Vermittlung des Betriebssystems und des Java-Laufzeitsystems erfährt. Daraufhin generiert die Komponente ein **Ereignisobjekt**. Aus der Sicht des Programms ist es also sinnvoll, die Komponente als Ereignisquelle aufzufassen.



  Neben dem Befehlsschalter enthält das Beispielprogramm noch eine zweite potentielle Ereignisquelle: das Rahmenfenster. Hier führt z.B. ein Mausklick auf das Schließkreuz in der Titelzeile zu einem Ereignis.

- **Ereignisobjekt**
  Zu jeder Ereignisart, die eine eindeutige Kennung (Event ID) besitzt (siehe unten), gehört in Java eine Ereignisklasse. Stellt die Quellkomponente ein Ereignis von bestimmter Art fest, generiert sie ein Objekt der zugehörigen Ereignisklasse und stellt es dem anschließend vorzustellenden Ereignisempfänger zur Verfügung. Dieser kann über Methoden der Ereignisklasse nähere Informationen über das Ereignis ermitteln. Bei einem Mausereignis (siehe unten) lässt sich z.B. über **getX()** und **getY()** der Ort des Geschehens feststellen. Eine Komponente kann in der Regel Ereignisobjekte aus verschiedenen Klassen generieren (z.B. **MouseEvent**, **ActionEvent**, **KeyEvent**). Über die Abstammungsverhältnisse der Ereignisklassen informiert Abschnitt 12.6.2.

  Zu jeder Ereignisklasse gehört ein Interface, das die Existenz von Methoden mit bestimmten Definitionsköpfen vorschreibt. Diese Methoden werden auch als *event handler* bezeichnet. Eine Ereignisklasse (z.B. **WindowEvent**) ist oft für *mehrere* spezielle Ereignisarten zuständig (z.B. Fenster wird aktiviert, Fenster wird geschlossen), und bei jeder Ereignisart wird eine bestimmte Methode aus dem Interface zur Ereignisklasse aufgerufen (siehe Abschnitt 12.6.2).

- **Ereignisempfänger**
  Ein Ereignis wird in der Regel *nicht* „direkt an der Quelle“ behandelt. Stattdessen wird es an Objekte gemeldet, die sich zuvor bei der Quelle als Ereignisempfänger (*event listener*) für die betroffene Ereignisklasse haben registrieren lassen.
  Nur Objekte einer entsprechend gerüsteten (das zur Ereignisklasse gehörige Interface implementierenden) Klasse können bei einer Ereignisquelle als Empfänger für die Ereignisklasse registriert werden. Bei der Ereignismeldung wird die zur speziellen Ereignisart gehörige Methode aufgerufen.
  Meist genügt es, bei einer Quelle für eine Ereignisklasse *einen* Empfänger zu registrieren. Es sind aber auch Mehrfachregistrierungen erlaubt.

Tritt bei der Quelle ein Ereignis auf, wird die zuständige Behandlungsmethode der registrierten Empfänger aufgerufen und erhält dabei als Aktualparameter eine Referenz zum Ereignisobjekt.

Diese Architektur mag auf den ersten Blick unnötig komplex erscheinen, hat aber z.B. dann Vorteile, wenn in einem Programm mehrere Komponenten als Quelle für dieselbe Ereignisklasse in Frage kommen und sich *ein* Empfänger um die Ereignisbehandlung kümmern soll. Dieser kann beim Ereignisobjekt mit einer **getSource()**-Anfrage die Ereignisquelle erfragen. In diesem Fall wären getrennt agierende Ereignisbehandlungsmethoden unökonomisch. Außerdem fördert die Trennung von Bedienoberfläche und Ereignisbehandlung die Wiederverwendbarkeit der Software.

12.6.2 Ereignisarten und Ereignisklassen

Potentielle Empfänger für ein Objekt der Ereignisklasse **WindowEvent** müssen das zugehörige Interface **WindowListener** implementieren, zu dem etliche Methoden gehören, wie die API-Dokumentation zeigt:

void	**windowActivated**(WindowEvent e) Invoked when the Window is set to be the active Window.
void	**windowClosed**(WindowEvent e) Invoked when a window has been closed as the result of calling dispose on the window.
void	**windowClosing**(WindowEvent e) Invoked when the user attempts to close the window from the window's system menu.
void	**windowDeactivated**(WindowEvent e) Invoked when a Window is no longer the active Window.
void	**windowDeiconified**(WindowEvent e) Invoked when a window is changed from a minimized to a normal state.
void	**windowIconified**(WindowEvent e) Invoked when a window is changed from a normal to a minimized state.
void	**windowOpened**(WindowEvent e) Invoked the first time a window is made visible.

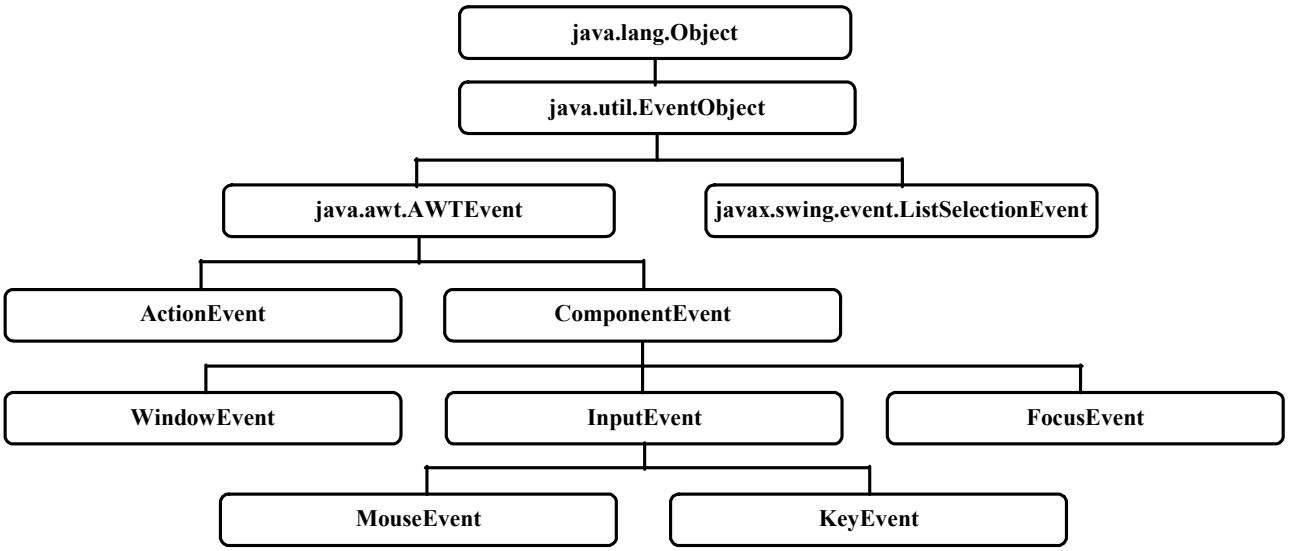
Aus der Anzahl und den Namen der Methoden wird klar, dass die Ereignisklasse **WindowEvent** bei *mehreren* Ereignisarten zum Einsatz kommt, z.B. beim Schließen und Verkleinern eines Fensters. Die Java-Designer haben sich für eine überschaubare Anzahl von Ereignisklassen entschieden, die jeweils für mehrere, zusammen gehörige Ereignisarten zuständig sind.

Die von einem Ereignis betroffene Komponente erfährt von der JVM die exakte Ereignisart (**Event ID**) und kennt nun ...

- die Ereignisklasse
  Damit ist klar, an welche Empfänger das Ereignis weitergeleitet werden muss.
- die bei den Empfängern aufzurufende Ereignisbehandlungsmethode (der Event Handler)

Das an die Event Handler übergebene Ereignisobjekt läst sich mit der Methode **getID()** zur Ereignisart befragen.

In der folgenden Abbildung sehen Sie die Abstammungsverhältnisse der im Manuskript behandelten Ereignisklassen:



Klassen ohne Paketangabe gehören zum Paket **java.awt.event**.

12.6.3 Ereignisempfänger registrieren

Besitzt ein Objekt die nötigen Voraussetzungen, kann es bei einer Ereignisquelle durch einen ereignisklassenspezifischen Methodenaufruf als Empfänger registriert werden. In unserem Swing-Demoprogramm wird bei Objekten der Klasse `MPC` (eine **JFrame**-Erweiterung) im Konstruktor für die Ereignisklasse **WindowEvent** mit der Methode **addWindowListener()** ein neu erzeugtes Objekt aus der Klasse `WC` als Empfänger eingetragen:

```
addWindowListener(new WC());
```

Damit die Klasse `WC` den Anforderungen an einen **WindowEvent**-Empfänger genügt, hat sie das Interface **WindowListener** (siehe Abschnitt 12.6.2) zu implementieren (direkt oder indirekt).

Zu jeder Ereignisklasse gehört eine spezielle Registrierungsmethode. Für welche Ereignisklassen eine Komponente als Quelle in Frage kommt, ist also an der Verfügbarkeit von Registrierungsmethoden zu erkennen. So ist z.B. in der Klasse **javax.swing.JList<E>** die Methode **addListSelectionListener()** vorhanden, um Empfänger für ein **ListSelectionEvent** (Benutzer wechselt in einer Liste den gewählten Eintrag) zu registrieren. In der Klasse **javax.swing.JButton** fehlt eine solche Methode erwartungsgemäß.

In der folgenden Tabelle ist für einige Ereignisklassen festgehalten:

- Das zugrunde liegende Benutzerverhalten
- Das von einem Ereignisempfänger zu implementierende Interface
- Die zuständige Empfänger-Registrierungsmethode

Außerdem sind die im nächsten Abschnitt zu beschreibenden *Adapterklassen* angegeben, die für viele Ereignisklassen zur Vereinfachung der Empfängerklassen - Implementation verfügbar sind:

Ereignisklasse	Mögliche Auslöser	Empfänger-Interface, zugeh. Adapterklasse, Registrierungsmethode
ActionEvent	Der Benutzer klickt auf einen Befehlsschalter, drückt die **Enter**-Taste in einem Textfeld oder wählt einen Menüeintrag.	ActionListener addActionListener()
ComponentEvent	Position, Größe oder Sichtbarkeit einer Komponente haben sich verändert.	ComponentListener ComponentAdapter addComponentListener()
WindowEvent	Der Benutzer (de)aktiviert, öffnet, schließt oder (de)ikonisiert ein Fenster.	WindowListener WindowAdapter addWindowListener()
MouseEvent[79]	Benutzer drückt eine Maustaste, während sich die Maus über einer Komponente befindet.	MouseListener MouseAdapter addMouseListener()
MouseEvent[1]	Der Benutzer bewegt die Maus über einer Komponente.	MouseMotionListener MouseMotionAdapter addMouseMotionListener()
KeyEvent	Der Benutzer drückt eine Taste, während eine Komponente den Eingabefokus besitzt.	KeyListener KeyAdapter addKeyListener()
ItemEvent	Das gewählte Item in einem Kombinationsfeld oder der Zustand eines Umschalters (Kontrollkästchen oder Optionsschalter) wechselt.	ItemListener addItemListener()
FocusEvent	Eine Komponente erhält den Eingabefokus.	FocusListener FocusAdapter addFocusListener()
ListSelectionEvent	Der Benutzer wechselt in einer Liste den gewählten Eintrag.	ListSelectionListener addListSelectionListener()

Bei einer Ereignisquelle können zu einer Ereignisklasse auch *mehrere* Ereignisempfänger registriert werden, so dass Ereignisobjekte ggf. an mehrere Empfänger gesendet werden.

12.6.4 Adapterklassen

In unserem Swing-Einstiegsbeispiel soll der **WindowEvent**-Empfänger zur Ereignisquelle `MPC` nur dann aktiv werden, wenn ein Benutzer das Fenster *schließen* und damit die Anwendung beenden möchte. In diesem Fall wird ein **WindowEvent** mit bestimmter **Event ID** erzeugt und beim Empfänger nur die **WindowListener**–Methode **windowClosing()** benötigt. Um in solchen Fällen überflüssigen Programmieraufwand zu vermeiden, besitzt das Java-API zu vielen Ereignis-Interfaces eine so genannte *Adapterklasse*. Diese implementiert das zugehörige Interface mit *leeren* Methoden. Leitet man eine eigene Klasse aus einer Adapterklasse ab, ist also das fragliche Interface erfüllt, und man muss nur die wirklich benötigten Methoden durch Überschreiben funktionstüchtig machen.

In unserem Beispiel wird die Ereignisempfängerklasse `WC` aus der zum Interface **WindowListener** gehörigen Adapterklasse **WindowAdapter** abgeleitet:

---

[79] Ein **MouseEvent** wird ggf. an registrierte **MouseListener** *und* an registrierte **MouseMotionListener** weitergeleitet.

```
private class WC extends WindowAdapter {
  public void windowClosing(WindowEvent e) {
    if (JOptionPane.showConfirmDialog(e.getWindow(),
         "Wollen Sie nach "+ numClicks +
         " Klicks wirklich schon aufhören?",
         titel, JOptionPane.YES_NO_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
      System.exit(0);
    }
}
```

Es wird lediglich die tatsächlich benötigte Methode **windowClosing()** implementiert. Die `WC`-Überschreibung fragt beim Benutzer nach, ob er allen Ernstes aufhören möchte (siehe Abschnitt 3.8 zur Klasse **JOptionPane**). Erst nach einer Bestätigung dieser Absicht, wird das Programm über die statische **System**-Methode **exit()** beendet.

Warum die Klasse `WC` den Zugriffsmodifikator **private** erhalten darf, erfahren Sie in Abschnitt 12.6.6.1.

12.6.5 Schließen von Fenstern und Beenden von GUI-Programmen

Man muss nicht unbedingt einen eigenen Ereignisempfänger definieren, wenn beim Schließen eines **JFrame**-Fensters lediglich die Anwendung beendet werden soll. Seit Java 1.3 kann mit folgendem Aufruf der der **JFrame**-Methode **setDefaultCloseOperation()** für diese **WindowEvent**-Behandlung gesorgt werden:

```
setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
```

Allerdings ist es nicht immer sinnvoll, ein Programm ohne weitere Maßnahmen zu beenden (z.B. ohne Prüfung auf ungesicherte Dokumente).

Ein **JFrame**-Fenster lässt sich auch dann vom Benutzer per Fenstertitelzeilensymbol oder Systemmenü schließen, wenn im Programm weder ein **WindowListener** registriert, noch die **setDefaultCloseOperation()**-Methode aufgerufen wird. Allerdings verschwindet dabei nur das *Fenster* vom Bildschirm, während die Anwendung weiter läuft. War die Anwendung z.B. aus einem Konsolenfenster über das Werkzeug **java.exe** gestartet worden, erhält der Benutzer *keine* neue Eingabeaufforderung. Dazu muss er die immer noch aktive Anwendung erst beenden, z.B. mit der Tastenkombination **Strg+C**.

Mit Hilfe eines **WindowEvent**-Handlers kann das Schließen eines **JFrame**-Fensters *nicht* verhindert werden, wir gewinnen vielmehr die Möglichkeit, auf dieses Ereignis zu reagieren. Um einer **JFrame**-Komponente zu verbieten, auf Benutzerwunsch hin von der Bildfläche zu verschwinden, verwendet man folgenden Aufruf der **JFrame**-Methode **setDefaultCloseOperation()**:

```
setDefaultCloseOperation(WindowConstants.DO_NOTHING_ON_CLOSE);
```

Der gerade begonnene Exkurs zur **Terminierung von GUI-Anwendungen** soll noch etwas fortgeführt werden. Im Beispielprogramm beschränkt sich die **main()**-Methode darauf, ein Objekt aus der Klasse `MPC` zu erzeugen, und endet nach sehr kurzer Zeit mit der Rückkehr des Konstruktoraufrufs:

```
public static void main(String[] args) {
 new MPC();
}
```

Während unsere *Konsolen*programme nach dem Verlassen der **main()**-Methode beendet waren, geht es beim Swing-Demoprogramm zu diesem Zeitpunkt erst richtig los. Wie lange der Spaß andauert, hängt vom Verhalten des Benutzers und von den Ereignisbehandlungsmethoden ab.

Um dieses, mit unseren bisherigen Vorstellungen unvereinbare Verhalten erklären zu können, müssen wir das Konzept der **Threads** (Ausführungsfäden) einbeziehen, das bei der Programmierung eine wichtige Rolle spielt und im weiteren Kursverlauf noch ausführlich zur Sprache kommen wird.

Ein Programm (Prozess) kann in mehrere *nebenläufige Ausführungsfäden* zerlegt werden, was bei Java-Programmen regelmäßig geschieht. Nachdem Sie ein Java-Programm aus einer Konsole gestartet haben, können Sie unter Windows mit der Tastenkombination **Strg+Pause** eine Liste seiner aktiven Threads anfordern(, ohne das Programm dabei abzubrechen).

Ein Java-Programm (ob mit oder ohne GUI) endet genau dann, wenn eine der folgenden Bedingungen eintritt:

- Alle Benutzer-Threads sind abgeschlossen.
  Neben den Benutzer-Threads kennt Java noch so genannte *Daemon*-Threads, die ein Programm *nicht* am Leben erhalten können.
- Ein Thread ruft die Methode **System.exit()** oder die Methode **Runtime.exit()** auf, und der **Security Manager**[80] hat nicht gegen eine Beendigung des Programms einzuwenden. Nach der Instruktion
  ```
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  ```
  an eine **JFrame**-Komponente, ruft diese automatisch die Methode **System.exit()** auf, wenn das Fenster geschlossen wird.

Während ein Konsolenprogramm nur *einen* Benutzer-Thread besitzt (namens **main**), tauchen bei GUI-Programmen zusätzliche Benutzer-Threads auf, z.B. **AWT-EventQueue-0**. Sobald in der **main()**-Methode unseres Beispielprogramms das Anwendungsfenster (ein **JFrame**-Abkömmling) erzeugt wird, starten die GUI-Threads. Während anschließend mit der Methode **main()** auch der Thread **main** endet, leben die GUI-Threads weiter.

Dort befindet sich auch eine Referenz auf das Anwendungsfenster-Objekt, so dass der Garbage Collector vor dem Beenden der GUI-Threads keinen Anlass hat, das Anwendungsfenster zu beseitigen.

12.6.6 Optionen zur Definition von Ereignisempfängern

In diesem Abschnitt lernen Sie als Nachtrag zu Kapitel 4 (über Klassen und Objekte) auch zwei neue Optionen zur Klassendefinition kennen, die *nicht nur* bei der Ereignisbehandlung nützlich sein: innere und anonyme Klassen. Was Kapitel 4 eventuell als exotischer Ballast gewirkt hätte, kann nun im Zusammenhang mit der Ereignisverarbeitung seine Nutzen unmittelbar demonstrieren.

12.6.6.1 Innere Klassen als Ereignisempfänger

Wer den vollständigen Quellcode des Swing-Einstiegsbeispiels aufmerksam liest, wird feststellen, dass die `WC`–Klassendefinition im Rumpf der `MPC`-Klassendefinition steht, was `WC` zur **geschachtelten Klasse** (engl. *nested class*) bzw. zur **Mitgliedklasse** macht. Weil die Klasse `WC` *keinen* **static**-Modifikator erhalten hat, ist es auch eine **innere Klasse**:

```
class MPC extends JFrame {
 ...
 private class WC extends WindowAdapter {
   public void windowClosing(WindowEvent e) {
     if (JOptionPane.showConfirmDialog(e.getWindow(),
         "Wollen Sie nach "+ numClicks +
         " Klicks wirklich schon aufhören?",
         titel, JOptionPane.YES_NO_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
       System.exit(0);
     }
 }
}
```

[80] Diesen zentralen Bestandteil der Java-Sicherheitsarchitektur können wir aus Zeitgründen nicht behandeln.

Dank dieser Konstruktion können die privaten `MPC`-Instanzvariablen in den `WC`-Methoden angesprochen werden, was im Beispiel durch den Zugriff auf `numClicks` demonstriert wird. Trotz des nicht ganz überzeugenden Beispiels können Sie sich bestimmt vorstellen, welchen Nutzen innere Klassen gerade bei der Definition von Ereignisempfängern haben.

Einige Eigenschaften von **Mitgliedsklassen** (geschachtelten Klassen):

- Der Compiler erzeugt auch für jede Mitgliedsklasse eine eigene **class**-Datei, in deren Namen die Bezeichner für die innere und die umgebende Klasse eingehen, so dass im Beispiel der Name **MPC$WC.class** resultiert.
- Mitgliedsklassen dürfen geschachtelt werden.
- Während für Top-Level - Klassen nur der Zugriffsmodifikator **public** erlaubt ist, können bei Mitgliedsklassen auch die Zugriffsmodifikatoren **private** und **protected** verwendet werden (vgl. Abschnitt 9.3.2). Im Beispiel erhält die innere Klasse `WC` wie alle anderen `MPC`-Mitglieder den Zugriffsmodifikator **private**.

Zusätzliche Eigenschaften von **inneren Klassen** (geschachtelt, aber nicht **static**):

- Um ein Objekt einer inneren Klasse zu erstellen, benötigt man ein Objekt der umgebenden Klasse. In einer Instanzmethode der umgebenden Klasse kann dazu z.B. ein Konstruktor der inneren Klasse aufgerufen werden, wie es in unserem Swing-Einstiegsbeispiel geschieht:

  ```
  addWindowListener(new WC());
  ```

  Wird zu einer inneren Klasse in einer berechtigten Fremdklasse ein Objekt benötigt, stehen zur Kreation zwei Möglichkeiten offen:

  - Ein Objekt der umgebenden Klasse kann in einer geeigneten Methode das gewünschte Objekt erzeugen und die Referenz abliefern. Im folgenden Beispiel steht für diesen Zweck die Methode `neueTasche()` bereit:

    ```
    class Mantel {
       void tuWas() {
          System.out.print("Mantel");
       }
       Tasche neueTasche() {
          return new Tasche();
       }
       class Tasche {
          void tuWas() {
             Mantel.this.tuWas();
             System.out.println("tasche");
          }
       }
    }

    class Prog {
       public static void main(String[] args) {
          Mantel man = new Mantel();
          Mantel.Tasche tasche = man.neueTasche();
          tasche.tuWas();
       }
    }
    ```

  - Fehlt in der umgebenden Klasse eine erzeugende Methode, wird der Konstruktor der inneren Klasse per **new**-Operator aufgerufen, wobei ebenfalls ein Objekt der umgebenden Klasse erforderlich ist. Um diese Technik im letzten Beispiel (trotz vorhandener Generatormethode) zu demonstrieren, ist die Zeile:

    ```
    Mantel.Tasche tasche = man.neueTasche();
    ```

    durch folgende Variante zu ersetzen:

    ```
    Mantel.Tasche tasche = man.new Tasche();
    ```

- Ein Objekt der inneren Klasse kann auf alle Felder und Methoden seines Geburtshelfers (das umgebende Objekt der äußeren Klasse) zugreifen (auch auf die privaten). Über die **this**-Referenz mit vorangestelltem Klassennamen lässt sich das umgebende Objekt explizit ansprechen (siehe obigen Quellcode der Klasse `Tasche`). Diese Adressierung ist erforderlich, wenn ein Bezeichner der umgebenden Klasse in der inneren Klasse überdeckt wird.

Wird eine Mitgliedsklasse als **static** deklariert, handelt es sich *nicht* um eine innere Klasse, so dass z.B. *kein* Zugriff auf die Privatsphäre der umgebenden Klasse möglich ist. Es liegen *zwei Top-Level* - Klassen vor, wobei aber die **statische Mitgliedsklasse** einen Doppelnamen führen muss, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`class Mantel {` `  static class Tasche {` `  void tuWas() {` `  System.out.println("Manteltasche");` `  }` `  }` `}` `class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  Mantel.Tasche tasche = new Mantel.Tasche();` `  tasche.tuWas();` `  }` `}`	`Manteltasche`

12.6.6.2 Anonyme Klassen als Ereignisempfänger

Nun haben wir unser Swing-Einstiegsbeispiel fast vollständig durchleuchtet mit Ausnahme der Ereignisbehandlung zur Schaltfläche:

```
cbCount.addActionListener(new ActionListener() {
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        numClicks++;
        lblText.setText(labelPrefix + numClicks);
        if (iconInd < maxIcon-1)
           iconInd++;
        else
           iconInd = 0;
        lblIcon.setIcon(icon[iconInd]);
    }
  });
```

Hier wird bei der Ereignisquelle `cbCount` für die Ereignisklasse **ActionEvent** ein Empfänger registriert, wobei nicht nur das Objekt dynamisch erzeugt, sondern die gesamte Klasse an Ort und Stelle definiert wird.

Wie bei den inneren Klassen haben wir auch bei einer solchen **anonymen Klasse** die Möglichkeit, in den Methoden auf Felder und Methoden der umgebenden Klasse zuzugreifen, was im Beispiel außerordentlich hilfreich ist.

Einige Eigenschaften von anonymen Klassen:

- Definition und Instantiierung finden in einem **new**-Operanden statt, wobei im Konstruktoraufruf der fehlende Klassenname durch den Namen der implementierten Schnittstelle oder der beerbten Basisklasse vertreten wird. Es folgt ein Klassendefinitionsblock, der wie üblich durch geschweifte Klammern zu begrenzen ist. Im Beispiel wird die Schnittstelle **ActionListener** angegeben und deren (einzige) Methode **actionPerformed()** implementiert.

- Es kann nur eine einzige Instanz erzeugt werden.
  Werden mehrere Instanzen benötigt, ist eine innere Klasse zu bevorzugen.
- Es sind keine Konstruktoren, keine statischen Methoden und keine statischen Felder erlaubt.
- Der Compiler erzeugt auch für eine anonyme Klasse eine eigene **class**-Datei, in deren Namen der Bezeichner für die umgebende Klasse eingeht, so dass im Beispiel der Name **MPC$1.class** resultiert.

Übrigens verwendet auch der im WindowBuilder von Eclipse enthaltenen Quellcode-Generator anonyme Klassen zur Ereignisbehandlung, was schon in Abschnitt 4.8.6 zu beobachten war.

12.6.6.3 Do-It-Yourself – Ereignisbehandlung

Zur Behandlung der von Instanz-Komponenten oder vom Rahmenfenster generierten Ereignisse muss eine von **JFrame** abstammende Klasse nicht unbedingt *Fremd*klassen beauftragen, sondern kann den Job auch selbst übernehmen, sofern sie die erforderlichen Ereignis-Interfaces erfüllt. Dies wird in Abschnitt 12.6.7.2 an einem Beispielprogramm zum Umgang mit Mausereignissen demonstriert.

12.6.7 Tastatur- und Mausereignisse

12.6.7.1 Die Klasse KeyEvent für Tastaturereignisse

Das folgende Beispiel demonstriert den Umgang mit der Ereignisklasse **KeyEvent** und der Klasse **KeyAdapter**, die das Interface **KeyListener** implementiert. Es kommt eine anonyme Klasse zum Einsatz, die unter Angabe der Basisklasse definiert wird:

```
import javax.swing.*;
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;

class KeyEventDemo extends JFrame {
 private JLabel keyCode, uChar;

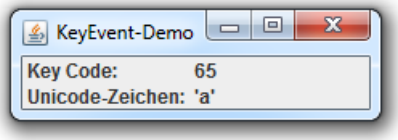
 KeyEventDemo() {
  super("KeyEvent-Demo");

  keyCode = new JLabel(" Key Code:");
  uChar = new JLabel(" Unicode-Zeichen:");
  getContentPane().add(keyCode, BorderLayout.NORTH);
  getContentPane().add(uChar, BorderLayout.SOUTH);

  addKeyListener(new KeyAdapter() {
   public void keyPressed(KeyEvent e) {
    keyCode.setText(" Key Code:                "+e.getKeyCode());
   }
   public void keyTyped(KeyEvent e) {
    uChar.setText(" Unicode-Zeichen:  '"+e.getKeyChar()+"'");
   }
   public void keyReleased(KeyEvent e) {
    keyCode.setText(" Key Code:");
    uChar.setText(" Unicode-Zeichen:");
   }
  });
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  setSize(200, 70);
  setVisible(true);
 }
```

```
  public static void main(String[] args) {
    new KeyEventDemo();
  }
}
```

Der **KeyEvent**-Empfänger verarbeitet die bei aktivem **JFrame**-Rahmenfenster auftretenden Tastaturereignisse zu Protokollausgaben, z.B.:



Ein Tastendruck löst das Ereignis mit der EventID **KeyEvent.KEY_PRESSED** aus und bewirkt einen Aufruf der **KeyListener**-Methode **keyPressed()**, falls ein Empfänger registriert ist. Wird eine Taste losgelassen, kommt das Ereignis mit der EventID **KeyEvent.KEY_RELEASED** und ein Aufruf der **KeyListener**-Methode **keyReleased()** an registrierte Empfänger zustande. Beiden **KeyListener**-Methoden wird per Aktualparameter ein **KeyEvent**-Objekt übergeben. Mit der **KeyEvent**-Methode **getKeyCode()** bringt man den virtuellen Key Code der betroffenen Taste in Erfahrung (siehe API-Dokumentation zur Klasse **KeyEvent**).

Entspricht einer Taste(nkombination) ein Unicode-Zeichen, kommt es zum Ereignis mit der EventID **KeyEvent.KEY_TYPED** und damit zu einem Aufruf der **KeyListener**-Methode **keyTyped()** an registrierte Empfänger, der wiederum ein **KeyEvent**-Ereignisobjekt übergeben wird. Das Unicode-Zeichen lässt sich mit der **KeyEvent**–Methode **getKeyChar()** ermitteln.

12.6.7.2 Die Klasse MouseEvent für Mausereignisse

Im folgendem Beispiel wird der Umgang mit der Ereignisklasse **MouseEvent** sowie mit den (beiden!) zugehörigen Schnittstellen **MouseListener** und **MouseMotionListener** demonstriert. Außerdem wird gezeigt (wie in Abschnitt 12.6.6.3 angekündigt), dass eine von **JFrame** abstammende Klasse nicht unbedingt *Fremd*klassen mit der Ereignisbehandlung beauftragen muss, sondern den Job auch selbst übernehmen kann, sofern sie die erforderlichen Ereignis-Schnittstellen erfüllt:

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;

class MouseEventDemo extends JFrame implements MouseListener, MouseMotionListener {
  private JLabel status = new JLabel();
  private Color defColor;

  MouseEventDemo() {
    super("MouseEvent-Demo");

    status.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
    getContentPane().add(status, BorderLayout.CENTER);

    addMouseListener(this);
    addMouseMotionListener(this);

    setDefaultCloseOperation(EXIT_ON_CLOSE);

    defColor = this.getBackground();
    setSize(300, 100);
    setVisible(true);
  }
```

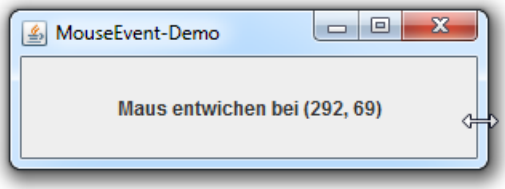
```
  public void mouseClicked(MouseEvent e) {
    status.setText("Mausklick bei ("+e.getX()+", "+e.getY()+")");
  }
  public void mousePressed(MouseEvent e) {
    this.getContentPane().setBackground(Color.RED);
    status.setText("Maustaste gedrückt bei ("+e.getX()+", "+e.getY()+")");
  }
  public void mouseReleased(MouseEvent e) {
    this.getContentPane().setBackground(defColor);
  }
  public void mouseEntered(MouseEvent e) {
    status.setText("Maus eingedrungen bei ("+e.getX()+", "+e.getY()+")");
  }
  public void mouseExited(MouseEvent e) {
    status.setText("Maus entwichen bei ("+e.getX()+", "+e.getY()+")");
  }
  public void mouseDragged(MouseEvent e) {
    status.setText("Maus gezogen bei ("+e.getX()+", "+e.getY()+")");
  }
  public void mouseMoved(MouseEvent e) {
    status.setText("Maus bewegt bei ("+e.getX()+", "+e.getY()+")");
  }

  public static void main(String[] arg) {
    new MouseEventDemo();
  }
}
```

Beim Registrieren der Ereignisempfänger gibt ein Objekt der Klasse `MouseEventDemo` mit dem Schlüsselwort **this** sich selbst an:

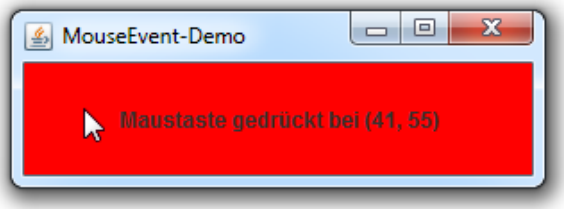
```
addMouseListener(this);
addMouseMotionListener(this);
```

Mit dem Programm lassen sich diverse Mausereignisse beobachten, wobei die Ereignisbehandlungsmethoden das übergebene **MouseEvent**-Objekt mit den Methoden **getX()**und **getY()** nach dem genauen Tatort befragen, z.B.:

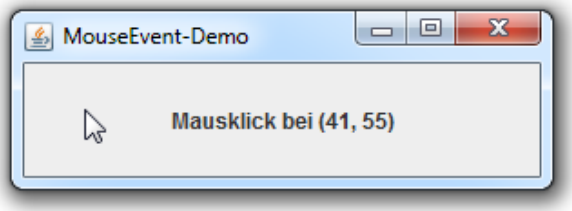


Beim Loslassen der Maustaste werden die Methoden **mouseReleased()** und **mouseClicked()** unmittelbar nacheinander aufgerufen. Um beide Methoden im Beispielprogramm sichtbar zu machen, wird die Hintergrundfarbe der Inhaltsschicht von der Methode **mousePressed()** auf Rot und von der Methode **mouseReleased()** wieder auf den Voreinstellungswert gesetzt. Wird die Maustaste gedrückt und ohne zwischenzeitliches Ziehen wieder losgelassen, ergeben sich folgende Momentaufnahmen des Programms:

Nach dem Drücken der Maustaste



Nach dem Loslassen der Maustaste

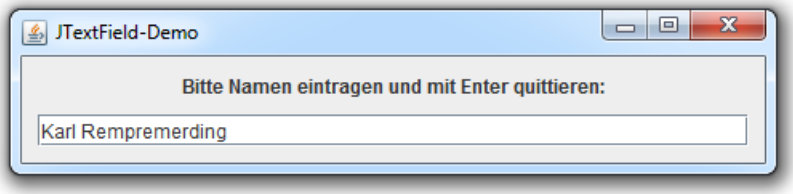


12.7 Bedienelemente (Teil 2)

In diesem Abschnitt werden einige weitere Swing-Komponenten vorgestellt. Eine Darstellung *aller* Komponenten verbietet sich aus Platzgründen und ist auch nicht erforderlich, weil Sie bei Bedarf in der API-Dokumentation und im Java-Tutorial (Oracle 2012) die benötigten Informationen finden.

12.7.1 Einzeiliges Texteingabefeld

Im Rahmen der **JOptionPane**-Klassenmethode **showInputDialog()** (vgl. Abschnitt 3.8) konnten Sie schon eine einzeilige Textkomponente besichtigen. In einem **JFrame**-Fenster kann dieses elementare Bedienelement mit Hilfe einer **JTextField**-Komponente realisiert werden, z.B.:



Der Quellcode des Beispielprogramms:

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;

class JTextFieldDemo extends JFrame {
 JTextField name = new JTextField(40);
 JLabel label = new JLabel("Bitte Namen eintragen und mit Enter quittieren:");
 final static String titel = "JTextField-Demo";

 JTextFieldDemo() {
  super(titel);
  Container cont = getContentPane();

  label.setHorizontalAlignment(JTextField.CENTER);
  label.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(10, 0, 0, 0));
  cont.add(label, BorderLayout.NORTH);

  JPanel pan = new JPanel();
  pan.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(5, 5, 5, 5));
  pan.add(name);
  cont.add(pan, BorderLayout.CENTER);
  name.addActionListener(
   new ActionListener() {
      public void actionPerformed(ActionEvent e) {
       JOptionPane.showMessageDialog(((JComponent)e.getSource()).getParent(),
        "Sie heißen "+name.getText(),titel,JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
      }
     });

  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  pack();
  setVisible(true);
 }

 public static void main(String[] args) {
  new JTextFieldDemo();
 }
}
```

Die **JTextField**-Komponente wird gleich bei der Instanzvariablendeklaration erzeugt, wobei der verwendete Konstruktor die gewünschte Breite (in Spalten) erfährt:

```
JTextField name = new JTextField(40);
```

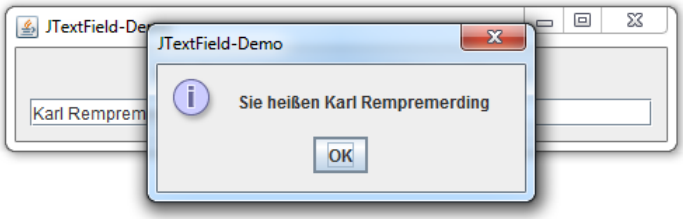
Um das Texteingabefeld zu beranden, kommt das in Abschnitt 12.4.5 vorgeschlagene Verfahren zum Einsatz:

- Es wird ein **JPanel**-Objekt erzeugt und mit dem gewünschten Rand versehen.
- Das Texteingabefeld wird in den **JPanel**-Container eingefügt.

Die gesamte Konstruktion landet schließlich in der Zentralregion des Inhaltsschicht-Containers im **JFrame**-Rahmenfenster, wo per Voreinstellung ein **BorderLayout** - Manager tätig ist

```
JPanel pan = new JPanel();
pan.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(5, 5, 5, 5));
pan.add(name);
cont.add(pan, BorderLayout.CENTER);
```

Sobald der Benutzer die **Enter**-Taste drückt, während eine **JTextField**-Komponente den Eingabefokus besitzt, wird ein **ActionEvent** ausgelöst. Im Beispiel präsentiert der im Rahmen einer anonymen Klasse (vgl. Abschnitt 12.6.6.2) realisierte Event Handler daraufhin einen Benachrichtigungs-Standarddialog (vgl. Abschnitt 3.8) mit dem erfassten Text, den er über die **JTextField**-Methode **getText()** ermittelt:



Im ersten Aktualparameter des Methodenaufrufs **JOptionPane.showMessageDialog()** wird eine Referenz auf das elterliche Fenster des Standarddialogs übergeben:

```
((JComponent)e.getSource()).getParent()
```

Daran orientiert das Laufzeitsystem den Erscheinungsort des Dialogfensters. In früheren Beispielen haben wir mit dem Parameterwert **null** auf einen Ortswunsch verzichtet.

Statt der voreingestellten und im Beispiel angemessenen linksbündigen Ausrichtung des Textfeldinhalts kann mit der **JTextField**-Methode **setHorizontalAlignment()** auch eine zentrierte oder rechtsbündige Ausrichtung gewählt werden, z.B.:

```
anzahl.setHorizontalAlignment(JTextField.RIGHT);
```

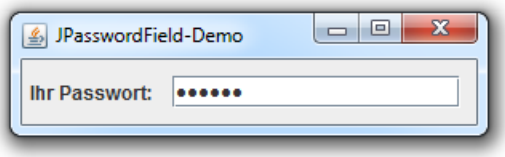
Rechtsbündige Textfelder sind z.B. bei der Erfassung von Zahlen zu bevorzugen.

Mit **setEditable(false)** wird für eine **JTextField**-Komponente festgelegt, dass sie vom Benutzer nicht geändert werden darf, was in bestimmten Situationen sinnvoll sein kann.

Ansonsten bringt das Beispielprogramm noch einen Nachtrag zur **JFrame**-Rahmenfensterkomponente: Statt wie in den bisherigen Beispielen die initiale Fenstergröße mit **setSize()** festzulegen, wird das Fenster über die (von **java.awt.Window** geerbte) Methode **pack()** aufgefordert, seine Größe passend zu den enthaltenen Komponenten einzurichten. Man erspart sich das lästige Schätzen der benötigten Fenstergröße und erhält auch nach späteren Änderungen bei der Komponentenausstattung ein gutes Erscheinungsbild.

12.7.2 Einzeiliges Texteingabefeld für Passwörter

Zum Erfassen von **Passwörtern** steht die Swing-Komponente **JPasswordField** bereit, die im Unterschied zur Komponente **JTextField** für jedes eingegebene Zeichen einen Punkt anzeigt, z.B.:



Der Quellcode des Beispielprogramms:

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;

class JPasswordFieldDemo extends JFrame {
  private JPasswordField pw = new JPasswordField(16);
  private JLabel label = new JLabel("Ihr Passwort: ");
  private final static String titel = "JPasswordField-Demo";

  JPasswordFieldDemo() {
    super(titel);
    Container cont = getContentPane();

    pw.addActionListener(
      new ActionListener() {
        public void actionPerformed(ActionEvent e) {
          JOptionPane.showMessageDialog(((JComponent)e.getSource()).getParent(),
           "Ihr Passwort: " + new String(pw.getPassword()), titel,
           JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
        }
      });

    JPanel pan = new JPanel();
    pan.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(5, 5, 5, 5));
    pan.add(pw);
    cont.add(pan, BorderLayout.CENTER);

    label.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(0, 5, 0, 0));
    cont.add(label, BorderLayout.WEST);

    setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
    pack();
    setVisible(true);
  }

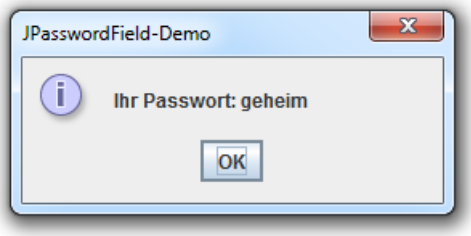
  public static void main(String[] args) {
    new JPasswordFieldDemo();
  }
}
```

Die **JPasswordField**-Komponente wird im gleich bei der Instanzvariablendeklaration erzeugt, wobei der verwendete Konstruktor die gewünschte Breite (in Spalten) erfährt:

```
private JPasswordField pw = new JPasswordField(16);
```

Um das Passworteingabefeld zu beranden, kommt das in Abschnitt 12.7.1 beschriebene Verfahren zum Einsatz.

Das erfasste Passwort kann mit der **JPasswordField**-Methode **getPassword()** als **char**-Array extrahiert werden, was im Event Handler des Beispielprogramms zur „geschickten Kontrollausgabe“ geschieht:

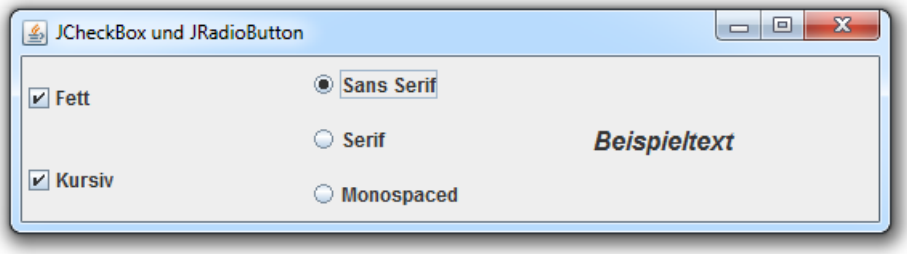


12.7.3 Umschalter

In diesem Abschnitt werden zwei Klassen für Umschalter vorgestellt, die beide von der Basisklasse **JToggleButton** abstammen:

- Für **Kontrollkästchen** steht die Swing-Komponente **JCheckBox** zur Verfügung.
- Für ein **Optionsfeld** verwendet man Komponenten vom Typ **JRadioButton**.

In folgendem Programm kann für den Text einer **JLabel**-Komponente über zwei Kontrollkästchen der Schriftschnitt und über ein Optionsfeld die Schriftart gewählt werden:



Den Quellcode des Programms finden Sie im Ordner

…\BspUeb\Swing\Umschalter

12.7.3.1 Kontrollkästchen

Im Beispielprogramm erhalten die beiden **JCheckBox**-Komponenten per Konstruktor eine Beschriftung:

```
private JPanel panCheck, panRadio;
private JCheckBox chkBold, chkItalic;
  .  .  .
Container cont = getContentPane();
cont.setLayout(new GridLayout(1, 3));
panCheck = new JPanel();
panCheck.setLayout(new GridLayout(0, 1));
cont.add(panCheck);

chkBold = new JCheckBox("Fett");
chkItalic = new JCheckBox("Kursiv");
panCheck.add(chkBold);
panCheck.add(chkItalic);

CheckHandler cbHandler = new CheckHandler();
chkBold.addItemListener(cbHandler);
chkItalic.addItemListener(cbHandler);
```

Mit anderen Konstruktor-Überladungen lässt sich …

- alternativ oder ergänzend ein Bild vereinbaren
- ein initial markiertes Kontrollkästchen erzeugen

Aus Layout-Gründen werden die beiden Kontrollkästchen in einem eigenen **JPanel**-Container untergebracht, der am linken Rand des **JFrame**-Fensters sitzt. Die Inhaltsschicht des Rahmenfensters lässt ihre Komponenten von einem **GridLayout** - Manager mit einer Zeile und drei Spalten anordnen (vgl. Abschnitt 12.5.2).

Ändert sich der Zustand eines Umschalters, wird ein **ItemEvent** generiert, und die registrierten Ereignisempfänger erhalten die Botschaft **itemStateChanged()**. Dies ist die einzige Methode im Interface **ItemListener**, welches **ItemEvent**-Empfänger implementieren müssen.

Im Beispiel agiert für beide Kontrollkästchen dasselbe Objekt aus der intern definierten Klasse `CheckHandler` als **ItemEvent**-Empfänger:

```
private class CheckHandler implements ItemListener {
   public void itemStateChanged(ItemEvent e) {
      int oldStyle = lblBeispiel.getFont().getStyle(),
         newStyle = 0;

      if (e.getSource() == chkBold) {
         if (e.getStateChange() == ItemEvent.SELECTED) {
            newStyle = oldStyle + Font.BOLD;
         } else {
            newStyle = oldStyle - Font.BOLD;
         }
      } else if (e.getSource() == chkItalic) {
         if (e.getStateChange() == ItemEvent.SELECTED) {
            newStyle = oldStyle + Font.ITALIC;
         } else {
            newStyle = oldStyle - Font.ITALIC;
         }
      }
      lblBeispiel.setFont(lblBeispiel.getFont().deriveFont(newStyle));
   }
}
```

Der **ItemEvent**-Handler stellt mit **getSource()** die Ereignisquelle fest und passt sein Verhalten an. Er verwendet dabei einige Methoden zum Umgang mit Schriftarten, die in einem Java-Programm als Objekte der Klasse **Font** aus dem Namensraum **java.awt** vertreten sind:

- Die **Component**-Methode **getFont()** stellt die von einer Komponente verwendete Schriftart fest.
- Die **Font**-Methode **getStyle()** ermittelt den Stil (Schnitt) einer Schriftart, wobei die **int**-wertige Rückgabe folgendermaßen zu interpretieren ist:

int-Wert	Stil	**Font**-Konstante
0	Standard	PLAIN
1	Fett	BOLD
2	Kursiv	ITALIC
3	Fett + Kursiv	

- Mit den diversen Überladungen der **Font**-Methode **deriveFont()** gewinnt man eine neue Schriftart als Variante des angesprochenen **Font**-Objekts. Alle nicht per **deriveFont()**-Aktualparameter modifizierten Eigenschaften des angesprochenen Objekts werden übernommen. Man kann z.B. bequem eine neue Schrift erzeugen, die sich von einer bestimmten vorhandenen Schrift nur durch die Größe unterscheidet.
- Mit der **Component**-Methode **setFont()** wird die Schriftart einer Komponente festgelegt.

Ob das Quell-Kontrollkästchen ein- oder ausgeschaltet wurde, ermittelt der Event Handler mit der **ItemEvent**-Methode **getStateChange()**.

12.7.3.2 Optionsschalter

Auch die drei Optionsschalter des Umschalter-Beispielprogramms haben einen gemeinsamen **ItemListener**. Zudem sorgt ein Objekt aus der Klasse **ButtonGroup** dafür, dass stets nur *ein* Gruppenmitglied aktiviert ist:

```
private JPanel panCheck, panRadio;
private JRadioButton rbSans, rbSerif, rbMono;
  .  .  .
panRadio = new JPanel();
panRadio.setLayout(new GridLayout(0, 1));
cont.add(panRadio);

rbSans = new JRadioButton("Sans Serif", false);
rbSerif = new JRadioButton("Serif", true);
rbMono = new JRadioButton("Monospaced", false);

panRadio.add(rbSans);
panRadio.add(rbSerif);
panRadio.add(rbMono);

rbGroup = new ButtonGroup();
rbGroup.add(rbSans);
rbGroup.add(rbSerif);
rbGroup.add(rbMono);

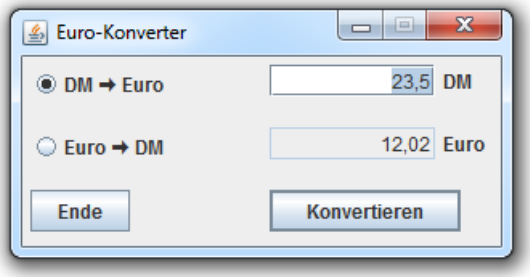
RadioHandler rbHandler = new RadioHandler();
rbSans.addItemListener(rbHandler);
rbSerif.addItemListener(rbHandler);
rbMono.addItemListener(rbHandler);
```

Im **ItemEvent**-Handler der Optionsschalter kommen die in Abschnitt 12.7.3.1 vorgestellten Schriftartenverwaltungsmethoden zum Einsatz:

```
private class RadioHandler implements ItemListener {
 public void itemStateChanged(ItemEvent e) {
  int style = lblBeispiel.getFont().getStyle();
  Font font = null;
  if (e.getSource() == rbMono) {
   font = fontMono;
  } else if (e.getSource() == rbSerif) {
   font = fontSerif;
  } else if (e.getSource() == rbSans) {
   font = fontSans;
  }
  lblBeispiel.setFont(font.deriveFont(style));
 }
}
```

12.7.4 Standardschaltfläche und Eingabefokus

In diesem Abschnitt werden Techniken zur Verwaltung bzw. Kanalisierung von Tastaturereignissen behandelt, die von Bedeutung für die Bedienbarkeit eines Programms sind. Als Beispiel dient ein Programm zur Währungskonvertierung, das Sie als Übungsaufgabe erstellen sollen (siehe Abschnitt 12.9):



Für den mit **Konvertieren** beschrifteten Befehlsschalter (mit dem Referenzvariablennamen `cbKonvertieren`) sollte mit der schon in Abschnitt 12.4.2 vorgestellten Methode **setDefaultButton()** festgelegt werden, dass sich die **Enter**-Taste bei aktivem Anwendungsfenster an ihn richten und (wie ein linker Mausklick auf die Schaltfläche) ein **ActionEvent** auslösen soll:

```
getRootPane().setDefaultButton(cbKonvertieren);
```

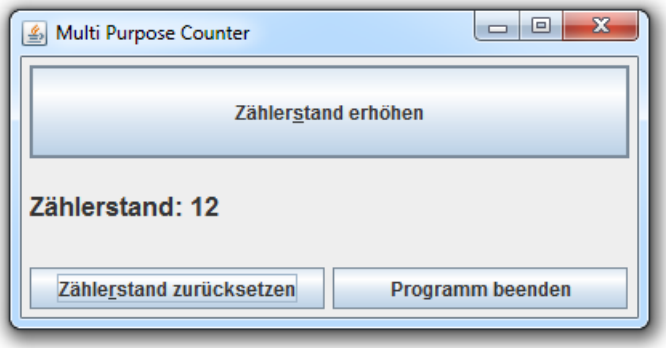
Ein **setDefaultButton()**-Aufruf ist an die **RootPane**-Schicht des **JFrame**-Fensters zu richten. Der Benutzer kann die **Standardschaltfläche** an einem betonten (breiten und dunklen) Rahmen erkennen (siehe oben) und manchen Griff zur Maus einsparen, was die Bedienung des Programms erleichtert.

Damit Benutzer nach dem Programmstart sofort den ersten zu konvertierenden DM-Betrag eingeben können, sollte die obere **JTextField**-Komponente (mit dem Referenzvariablennamen `tfEingabe`) über die **Component**-Methode **requestFocus()** den **Eingabefokus** anfordern:

```
tfEingabe.requestFocus();
```

Ein Textfeld mit Eingabefokus ist für die Benutzer an der dort blinkend vorhandenen Einfügemarke zu erkennen.

Bei einer Schaltfläche mit Eingabefokus erscheint ein Zusatzrahmen um die Beschriftung. Im folgenden Beispiel hat der Schalter mit der Beschriftung **Zählerstand zurücksetzen** aktuell den Eingabefokus und reagiert daher auf die **Leertaste**, während die Standardschaltfläche mit **Zählerstand erhöhen** beschriftet ist und auf die **Enter**-Taste reagiert:



Benutzer können den Eingabefokus per Tabulatortaste an das nächste Bedienelement in der Fokussequenz übertragen. Ist für eine Komponente (aktuell) der Eingabefokus nicht sinnvoll, kann sie mit der **Component**-Methode **setFocusable()** aus der Fokussequenz herausgenommen werden, z.B.:

```
tfAusgabe.setFocusable(false);
```

Mit der **Component**-Methode **transferFocus()** kann eine Komponente den Fokus an die nächste Station in der Fokussequenz weitergeben. Im Währungskonverterbeispiel (siehe oben) könnte ein Aufruf dieser Methode dazu genutzt werden, nach einer Konvertierung (**ActionEvent** beim Schalter `cbKonvertieren`) sofort die Eingabe des nächsten Betrags zu ermöglichen:

```
cbKonvert.transferFocus();
```

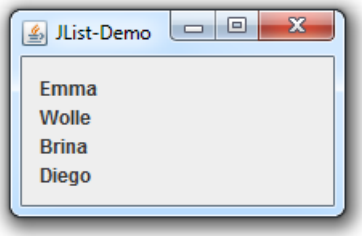
Eine direkte Fokus-Anforderung durch die Zielkomponente ist allerdings oft einfacher, weil die aktuelle Fokussequenz dabei keine Rolle spielt:

```
tfEingabe.requestFocus();
```

12.7.5 Listen

12.7.5.1 Einfach

Mit einer Komponente aus einer Konkretisierung der generischen Klasse **JList<E>** kann man dem Benutzer eine Liste mit markierbaren Einträgen präsentieren, z.B.:



Sind keine Listenänderungen im Programmablauf geplant, eignet sich z.B. beim Erstellen eines **JList<String>**-Objekts die Konstruktorüberladung mit einem Parameter vom Typ **String[]**, z.B.

```
private JList<String> listFest = new JList<>(new String[]{"Eimer","Wand","Brille"});
```

Ist Variabilität in der Listenzusammenstellung gefragt, stellt man dem **JList<E>** - Objekt ein Objekt zu Seite, dessen Klasse das **ListModel<E>** - Interface implementiert. Die beiden Objekte arbeiten als **Model-View** - Team zusammen, wobei …

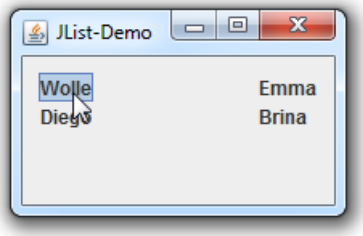
- sich das **JList<E>** - Objekt um die Anzeige und die Benutzerinteraktion kümmert,
- das **ListModel<E>** - Objekt die Listeneinträge verwaltet (z.B. Elemente ergänzt oder löscht)
- und beide (hinter den Kulissen) über **ListDataEvent**-Ereignisse kommunizieren

Statt eine eigene Klasse zu definieren und dabei das **ListModel<E>** - Interface zu implementieren, verwenden wir die Klasse **DefaultListModel<E>**, die alle benötigten Kompetenzen besitzt. Als Konkretisierung für den Typformalparameter verwenden wir die Klasse **String**:

```
private DefaultListModel<String> modelLinks, modelRechts;
private JList<String> listLinks, listRechts;

  .  .  .
modelLinks = new DefaultListModel<String>();
modelRechts = new DefaultListModel<String>();
modelLinks.addElement("Emma"); modelLinks.addElement("Wolle");
modelLinks.addElement("Brina"); modelLinks.addElement("Diego");
listLinks = new JList<String>(modelLinks);
listRechts = new JList<String>(modelRechts);
```

Zur Demonstration der Dynamik verwenden wir ein Beispielprogramm mit zwei Listen, wobei die linke Liste mögliche Teilnehmer eines Hundrennens enthält, und die rechte Liste initial leer ist. Durch Markieren (Anklicken) eines Listeneintrags soll der Benutzer dessen Wechsel in die jeweils andere Liste veranlassen können, z.B.:



Wie die beiden Listen auf die von einem **BorderLayout**-Manager verwaltete Inhaltsschicht des **JFrame**-Fensters gelangen, muss nach etlichen Layout-Beispielen nicht mehr erläutert werden.

Beim Markieren eines Eintrags initiiert der Benutzer beim betroffenen **JList<String>** - Objekt ein **ListSelectionEvent**, über das ein registrierter **ListEventListener** durch Aufruf seiner Methode

valueChanged() informiert wird. Im Beispielprogramm wird bei beiden **JList<String>** - Komponenten ein Objekt der inneren Klasse `ListSelectionHandler` registriert. Seine **valueChanged()**-Methode entfernt aus der Sender-Liste das aktuell markierte Element und fügt es in die alternative Liste ein:

```
ListSelectionHandler lsh = new ListSelectionHandler();
listLinks.addListSelectionListener(lsh);
listRechts.addListSelectionListener(lsh);
 .  .  .
private class ListSelectionHandler implements ListSelectionListener {
 public void valueChanged(ListSelectionEvent e) {
  if (e.getValueIsAdjusting() == true)
   return;
  if (((JList<String>)e.getSource()).getSelectedIndex() < 0)
   return;
  String wahl = ((JList<String>)e.getSource()).getSelectedValue();
  if (e.getSource() == listLinks) {
   modelLinks.removeElement(wahl);
   modelRechts.addElement(wahl);
  } else {
   modelRechts.removeElement(wahl);
   modelLinks.addElement(wahl);
  }
 }
}
```

Die `ListSelectionEvent`-Behandlung wird gleich abgebrochen, wenn die **getValueIsAdjusting()**-Methode ein noch andauerndes Wählverhalten des Benutzers meldet:

```
if (e.getValueIsAdjusting() == true)
 return;
```

Neben der im Beispiel durch folgenden Methodenaufruf

```
listLinks.setSelectionMode(ListSelectionModel.SINGLE_SELECTION);
```

benutzten Einfachauswahl beherrscht die Klasse **JList** auch:

- **ListSelectionModel.SINGLE_INTERVAL_SELECTION**
  Es kann eine Teilmenge hintereinander liegende Listeneinträge gewählt werden.
- **ListSelectionModel.MULTIPLE_INTERVAL_SELECTION**
  Es kann eine beliebige Teilmenge der Listeneinträge gewählt werden. Dies ist die Voreinstellung.

Den vollständigen Quellcode des Beispielprogramms finden Sie im Ordner

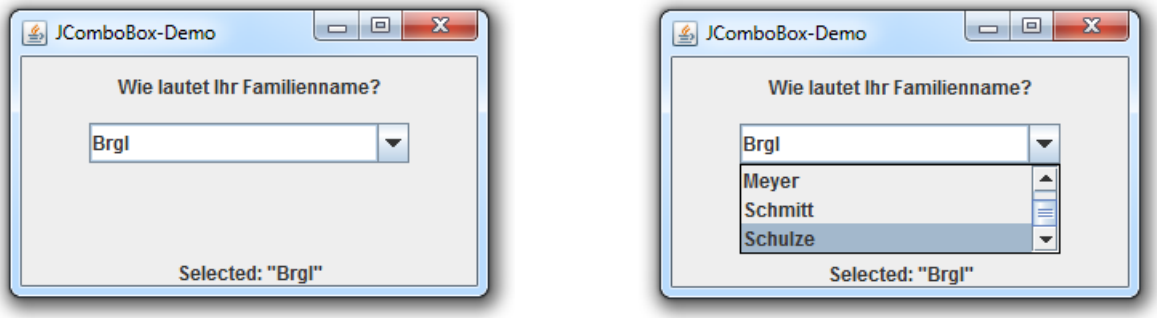
…\BspUeb\Swing\JList

12.7.5.2 Kombiniert

Die **JComboBox<E>** - Komponente bietet eine Kombination aus einem einzeiligen Textfeld und einer Liste, wobei normalerweise nur *ein* Element sichtbar ist. Um seine Wahl zu treffen, hat der Benutzer zwei Möglichkeiten:

- den Namen der gewünschten Option eintragen und mit **Enter** quittieren
- die versteckte Liste aufklappen und die gewünschte Option markieren

Im folgenden Programm wird die Angabe des Familiennamens durch eine Liste mit den häufigsten Namen erleichtert:



Die Kontrollausgabe am unteren Fensterrand ist allerdings nicht für Benutzer gedacht, sondern soll die Tätigkeit des **ItemEvent**-Handlers (siehe unten) sichtbar machen.

Per Voreinstellung funktioniert ein **JComboBox<E>** - Bedienelement als reine Aufklapp(engl.: *DropDown*)-Liste, bietet also *kein* Texteingabefeld. Dies wird im Beispiel mit dem Methodenaufruf **setEditable(true)** geändert. Außerdem wird mit dem Methodenaufruf **setSelectedItem("")** verhindert, dass in der Eingabezeile das erste Element der versteckten Liste als Vorgabe erscheint:

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;

class JComboBoxDemo extends JFrame {
   private JComboBox<String> name;
   private JLabel label;
   private final String[] auswahl = {"Müller", "Meyer", "Schmitt", "Schulze"};
   private final static String titel = "JComboBox-Demo";
   private JLabel lblSelected;
   private final String lblSelectedPrefix = "Selected: ";

   JComboBoxDemo() {
      super(titel);
      Container cont = getContentPane();

      label = new JLabel("Wie lautet Ihr Familienname?");
      label.setHorizontalAlignment(JTextField.CENTER);
      label.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(10, 0, 0, 0));
      cont.add(label, BorderLayout.NORTH);

      name = new JComboBox<String>(auswahl);
      name.setMaximumRowCount(3);
      name.setEditable(true);
      name.setSelectedItem("");

      JPanel pan = new JPanel();
      name.setPreferredSize(new Dimension(200, 25));
      pan.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10));
      pan.add(name);
      cont.add(pan, BorderLayout.CENTER);

      lblSelected = new JLabel(lblSelectedPrefix+"\"\"");
      lblSelected.setHorizontalAlignment(JTextField.CENTER);
      cont.add(lblSelected, BorderLayout.SOUTH);

      name.addItemListener(new ItemListener() {
           public void itemStateChanged(ItemEvent e) {
            if(e.getStateChange() == ItemEvent.SELECTED)
              lblSelected.setText(lblSelectedPrefix + "\"" + e.getItem() + "\"");
           }
           });
```

```
        setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        setSize(300, 180);
        setVisible(true);
    }

    public static void main(String[] args) {
        new JComboBoxDemo();
    }
}
```

Im Beispiel wird das **JComboBox<String>** - Bedienelement aus folgenden Gründen in einen **JPanel**-Container gesteckt, der seinerseits im Zentrum des **BorderLayouts** zur Inhaltsschicht des **JFrame** - Top-Level-Container landet:

- Der voreingestellte **FlowLayout** - Manager des **JPanel**-Containers respektiert die bevorzugte Größe des **JComboBox<E>** - Objekts, die im Beispiel mit folgendem Aufruf der **JComponent**-Methode **setPreferredSize()** unter Verwendung eines **Dimension**-Objekts eingestellt wird:

  ```
  name.setPreferredSize(new Dimension(200, 25));
  ```

  Demgegenüber erzeugt der **BorderLayout**-Manager durch Verwendung der gesamten verfügbaren Fläche ein monströses Bedienelement, z.B.:

- Man kann per **setBorder()** einen Rand für den **JPanel**-Container und damit letztlich für das **JComboBox<E>** - Bedienelement festgelegen (siehe Abschnitt 12.7.1 zum Rand bei Bedienelementen).

Ein **JComboBox<E>** - Bedienelement erlaubt (wie die Komponenten aus den Klassen **JCheckBox** und **JRadioButton**) das Registrieren von **ItemEvent**-Empfängern, wobei die zugehörige Methode **itemStateChanged()** bei jeder Selektion *und* bei jeder Deselektion aufgerufen wird. Einen eingetippten Text wählt der Benutzer durch Quittieren mit der **Enter**-Taste.

Im Beispielprogramm wird der Empfänger nur bei einem positiven Auswahlereignis aktiv, wobei zur Differentialdiagnose die **ItemEvent**-Methode **getStateChange()** dient:

```
if(e.getStateChange() == ItemEvent.SELECTED) {
  .  .  .
}
```

Über die Methode **setMaximumRowCount()** wird einem **JComboBox<E>** - Objekt mitgeteilt, wie viele Einträge es maximal anzeigen soll, z.B.:

```
name.setMaximumRowCount(3);
```

Sind mehr Einträge vorhanden, erscheint automatisch ein vertikaler Rollbalken (siehe Beispiel).

12.7.6 Rollbalken

Damit eine Komponente bei Platznot automatisch einen vertikalen und/oder horizontalen Rollbalken erhält, erstellt man ein **JScrollPane**-Objekt und beauftragt es mit der Anzeige der potentiell voluminösen Komponente. Im folgenden Beispielprogramm

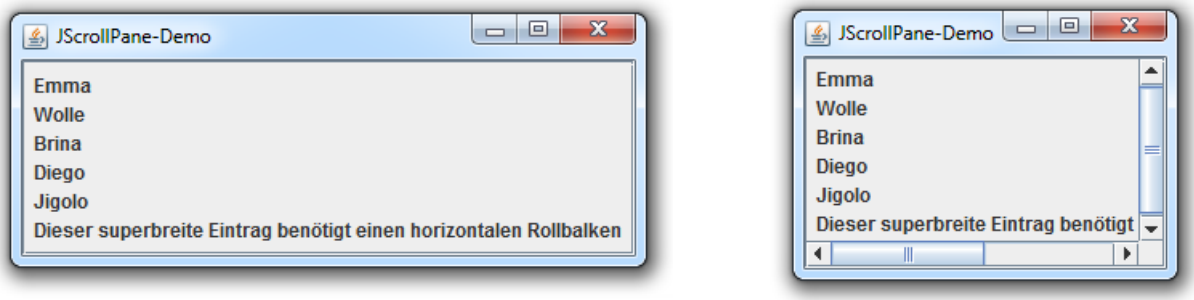
```
import javax.swing.*;

class JScrollPaneDemo extends JFrame {
 private JList<String> liste;

 JScrollPaneDemo() {
  super("JScrollPane-Demo");
  liste = new JList<String>(new String[] {"Emma","Wolle","Brina","Diego","Jigolo",
   "Dieser superbreite Eintrag benötigt einen horizontalen Rollbalken"});
  liste.setBackground(this.getBackground());
  JPanel panel = new JPanel();
  panel.add(liste);
  getContentPane().add(new JScrollPane(panel), java.awt.BorderLayout.CENTER);
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  pack(); setVisible(true);
 }

 public static void main(String[] args) {
  new JScrollPaneDemo();
 }
}
```

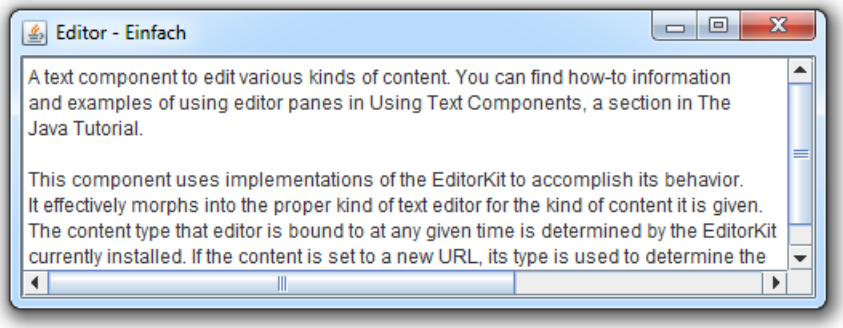
wird eine **JList<String>** - Komponente bei Bedarf durch eine **JScrollPane**-Komponente mit Rahmen versorgt:



Ein mit Rollbalken versorgter **JPanel**-Container kann natürlich eine reichhaltige, verschachtelte Innenausstattung mit diversen Komponenten besitzen.

12.7.7 Ein (fast) kompletter Editor als Swing-Komponente

Ein Objekt aus der Klasse **JEditorPane** als *Bedienelement* zu bezeichnen, ist ein wenig untertrieben, weil es sich hier um einen recht brauchbaren Texteditor handelt:



Für das abgebildete Programm, das immerhin schon den Datenaustausch via Zwischenablage beherrscht, muss man erstaunlich wenig Aufwand betreiben:

```
import javax.swing.*;

public class Editor extends JFrame{
 public Editor() {
  super("Editor - Einfach");

  JEditorPane text = new JEditorPane();
  getContentPane().add(new JScrollPane(text),java.awt.BorderLayout.CENTER);

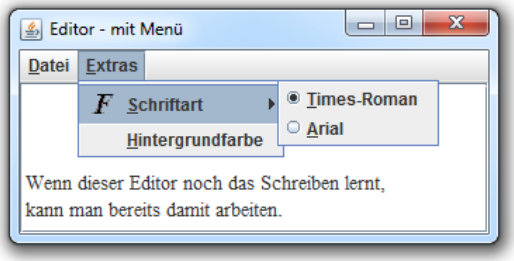
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  setSize(300, 200);
  setVisible(true);
 }
 public static void main(String[] arg) {
  new Editor();
 }
}
```

Um die **JEditorPane**-Komponente mit **Rollbalken** zu versorgen, wird sie in eine **JScrollPane**-Komponente verpackt.

Wir werden in den nächsten Abschnitten an unserem Editor noch weitere Verbesserungen vornehmen.

12.7.8 Menüzeile, Menü und Menüitem

Um das Potential der **JEditorPane**-Komponente besser auszuschöpfen, erweitern wir das in Abschnitt 12.7.7 begonnene Programm um ein Datei- und ein Extras-Menü:



12.7.8.1 Menüzeile

Als Menüzeile verwenden wir einen Spezial-Container der Klasse **JMenuBar**, den ein Aufruf der **JFrame**-Methode **setJMenuBar()** auf die Layered Pane des **JFrame**-Fensters befördert (siehe Abschnitt 12.2.2 zum Aufbau eines Top-Level - Containers):

```
private JMenuBar menuBar;
   . . .
menuBar = new JMenuBar();
setJMenuBar(menuBar);
```

12.7.8.2 Menü

Die Menüs werden als Komponenten der Klasse **JMenu** erstellt, bei Bedarf mit einer **Alt**-Tastenkombination zum schnellen Öffnen versehen und dann auf der Menüzeile gesetzt oder in ein Untermenü aufgenommen (siehe unten):

```
private JMenu fileMenu, toolsMenu, fontMenu;
    . . .
fileMenu = new JMenu("Datei");
fileMenu.setMnemonic(KeyEvent.VK_D);
menuBar.add(fileMenu);
```

Eine **JMenu**-Komponente kann über ihre **add()**-Methode andere **JMenu**-Komponenten als Untermenüs aufnehmen, z.B.:

```
toolsMenu = new JMenu("Extras");
toolsMenu.setMnemonic(KeyEvent.VK_E);
fontMenu = new JMenu("Schriftart");
fontMenu.setMnemonic(KeyEvent.VK_S);
toolsMenu.add(fontMenu);
```

Um ein Menü mit einem Icon zu verzieren, kann man so vorgehen:

- Man erstellt eine GIF-Datei passender Größe oder findet ein legal verwendbares Exemplar. Die Firma Oracle stellt einige Icons (meist in einer Größe von 16 × 16 bzw. 24 × 24 Pixeln) auf der folgenden Webseite zur Verfügung:

  http://java.sun.com/developer/techDocs/hi/repository/

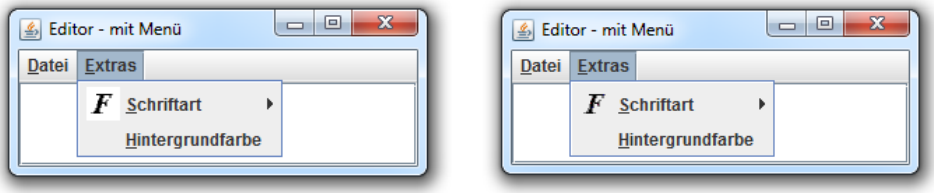
  Wer selbst kreativ werden möchte, findet auf der folgenden Webseite Empfehlungen zur Icon-Gestaltung:

  http://java.sun.com/products/jlf/ed2/book/HIG.Graphics3.html

  Für das `fontMenu` soll ein bescheidenes Icon (mit 24 × 24 Pixeln) genügen:

- In der Regel ist es sinnvoll, die Hintergrundfarbe eines Icons transparent zu setzen, z.B.:

  Dies kann z.B. mit diversen kostenlosen Programmen geschehen, unter Windows z.B. mit **IrfanView**.

- Schließlich wird aus dem Icon ein **ImageIcon**-Objekt erzeugt und dem Menü mit der **AbstractButton**-Methode **setIcon()** zugeordnet, z.B.:

  ```
  fontMenu.setIcon(new ImageIcon("font.gif"));
  ```

Analog werden wir gleich das Menü-Item **Datei > Öffnen** verzieren.

12.7.8.3 Menü-Item

Menüeinträge, die nicht für Untermenüs sondern für wählbare Aktionen stehen sollen, werden über Komponenten der Klasse **JMenuItem** realisiert. Diese Klasse stammt von **AbstractButton** ab, und ihre Objekte reagieren mit einem Ereignis der Klasse **ActionEvent**, wenn sie vom Benutzer gewählt werden.

Jede **JMenu**-Komponente kann mit ihrer **add()**-Methode neben Untermenüs auch Menü-Items aufnehmen, z.B.:

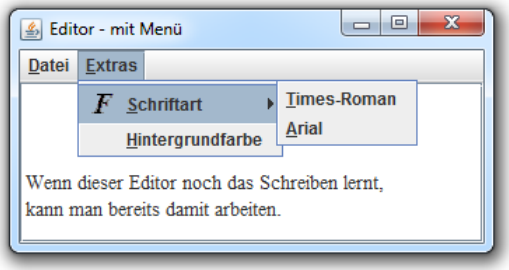
```
private JMenuItem timesItem;
   . . .
timesItem = new JMenuItem("Times-Roman");
timesItem.setMnemonic(KeyEvent.VK_T);
```

```
fontMenu.add(timesItem);
```

Für jedes Menü-Item wird ein **ActionListener** registriert, z.B. unter Verwendung einer anonymen Klasse:

```
timesItem.addActionListener(new ActionListener() {
  public void actionPerformed(ActionEvent e) {
   text.setFont(new Font(Font.SERIF, Font.PLAIN, 14));
  }
 });
```

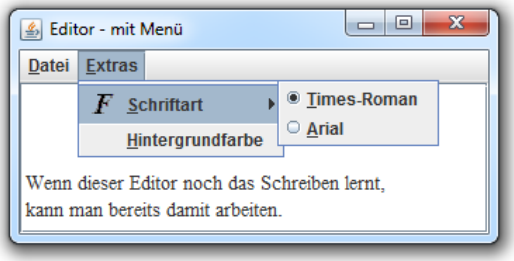
Das Schriftartenmenü des Beispielprogramms enthält Menü-Items mit Optionsschalterlogik, was aber bisher optisch nicht zum Ausdruck kommt:



Um den Mangel zu beheben, ersetzen wir die Klasse **JMenuItem** durch ihre Ableitung **JRadioButtonMenuItem**

```
timesItem = new JRadioButtonMenuItem("Times-Roman");
  .  .  .
arialItem = new JRadioButtonMenuItem("Arial");
```

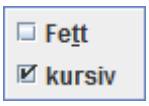
und sorgen dafür, dass im aufgeklappten Menü die aktuell gewählte Schriftart markiert ist, z.B.:



Dazu müssen in der Methode **actionPerformed()** beim Wechsel der Schriftart über die Methode **setSelected()** die Itemzustände aktualisiert werden, z.B.:

```
timesItem.addActionListener(new ActionListener() {
  public void actionPerformed(ActionEvent e) {
   timesItem.setSelected(true);
   arialItem.setSelected(false);
   text.setFont(new Font(Font.SERIF, Font.PLAIN, 14));
  }
 });
```

Soll bei einem Menü-Item mit Umschalterlogik ein Kontrollkästchen den aktuellen Schaltzustand anzeigen, verwendet man die Klasse **JCheckBoxMenuItem**, z.B. mit dem folgenden Ergebnis:



Um ein Menü-Item mit einem Icon zu verzieren, geht man genauso vor wie bei einem Menü (siehe Abschnitt 12.7.8.2). Hier erhält das Editor-Menüitem **Datei > Öffnen** ein Icon unter Verwendung der Datei **open.gif**:

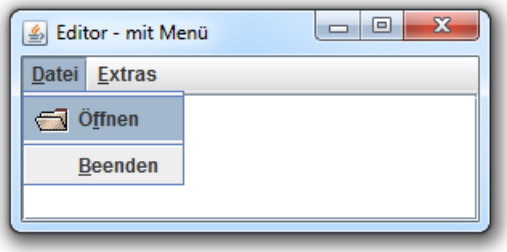
```
openItem.setIcon(new ImageIcon("open.gif"));
```

12.7.8.4 Separatoren

Um eine Trennlinie zwischen zwei
Menün zu erzeugen, ruft man an passender Stelle die **JMenu**-Methode **addSeparator()** auf, z.B.:

```
fileMenu.addSeparator();
```

Bis zur Praxistauglichkeit unseres Editors ist noch einiges zu tun, doch wir kommen voran:



12.7.9 Standarddialog zur Dateiauswahl

Im **ActionEvent**-Handler zum Menü-Item

Datei > Öffnen

unseres Editors

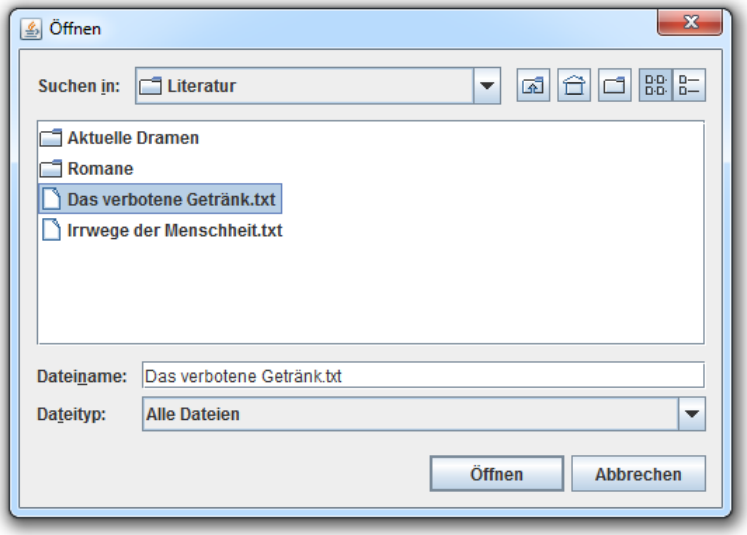
```
openItem.addActionListener(new ActionListener() {
     public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        getFile();
        if (file != null) readText();
     }
  });
```

wird die private Methode `getFile()` aufgerufen. Diese erkundigt sich beim Benutzer nach der zu öffnenden Datei und verwendet ein Objekt der Klasse **JFileChooser**, um einen Standarddialog zur Dateiauswahl anzubieten:

```
private void getFile() {
   FileNameExtensionFilter filter =
      new FileNameExtensionFilter("Textdatei (*.txt)", "txt");
   JFileChooser fc = new JFileChooser();
   fc.addChoosableFileFilter(filter);
   if (fc.showOpenDialog(this) == JFileChooser.APPROVE_OPTION)
      file = fc.getSelectedFile();
}
```

Mit einem Objekt der Klasse **FileNameExtensionFilter** und der **JFileChooser**-Methode **addChoosableFileFilter()** wird dafür gesorgt, dass per Voreinstellung (neben Ordnern) nur Dateien mit der Namenserweiterung „.txt“ angezeigt werden.

Wir erhalten ohne großen Aufwand einen passablen Dialog



mit wichtigen Bedienungsoptionen für die Benutzer, z.B.

- Unterordner per Doppelklick öffnen
- zur nächst höheren Ebene wechseln
- Dateityp ändern
- neuen Ordner erstellen
- Ansicht zwischen Liste und Details umschalten
- gewählte Datei **öffnen**.

Im **ActionListener** zum `openItem` wird nach dem erfolgreichen Ermitteln einer zu öffnenden Datei mit der Methode `readText()` deren Inhalt eingelesen. Mit den beteiligten Klassen werden wir uns in Kapitel 13 ausführlich beschäftigen.

Den vollständigen Quellcode zur aktuellen Ausbaustufe des Beispielprogramms finden Sie im Ordner

…\BspUeb\Swing\Editor\E1 (mit Menü)

Neben dem Dateiauswahldialog sowie den Nachrichten- bzw. Bestätigungsdialogen der Klasse **JOptionPane** (vgl. Abschnitt 3.8) kennt die Swing-Bibliothek als weiteren Standarddialog noch die Farbauswahl über die Klasse **JColorChooser**. Im Rahmen einer Übungsaufgabe (siehe Abschnitt 12.9) sollen Sie mit Hilfe dieser Klasse einen **ActionListener** zum Menüitem **Extras > Hintergrundfarbe** realisieren.

12.7.10 Symbolleisten

Besonders häufig benötigte Funktionen bieten GUI-Programme meist (auch) über Symbolleisten an. In Swing werden Symbolleisten über Container der Klasse **JToolbar** realisiert. Hier bringt man in der Regel Symbolschalter aus der altbekannten Klasse **JButton** unter (siehe Abschnitt 12.4.2), doch sind auch andere Komponenten erlaubt (z.B. **JTextField**).

Damit eine Symbolleiste vom Benutzer per Maus abgerissen und problemlos neu positioniert werden, sollte sie zu einem Container mit **BorderLayout** gehören (vgl. Abschnitt 12.5.1):

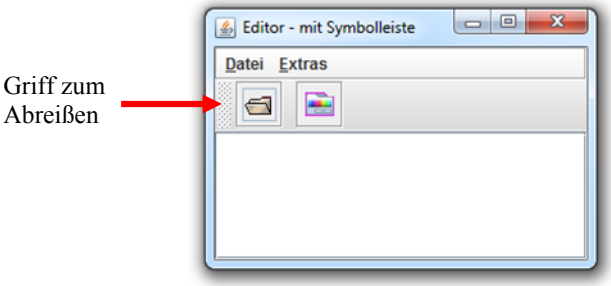
- Die über Symbolleistenschalter veranlassten Aktionen sollten die Komponente im **BorderLayout**-Zentrum betreffen.
- Die Symbolleiste sollte an der Peripherie starten (Norden, Osten, Süden oder Westen).

Neben den vier Randzonen steht dem Benutzer dann als Ablagevariante auch das eigenständige Fenster zur Verfügung.

Über die **JToolBar**-Methode **setFloatable()** lässt sich eine Symbolleiste fixieren, z.B.:

```
toolBar.setFloatable(false);
```

In der Regel erhalten Symbolleistenschalter ein Icon (z.B. in der Größe 24 × 24), doch sind auch Beschriftungen möglich. Unser Editor, den wir seit Abschnitt 12.7.7 als Demonstrationsbeispiel benutzen, soll per Symbolleiste das Öffnen einer Textdatei und die Wahl einer Hintergrundfarbe erlauben, wobei es sich um eine etwas willkürliche und zufällige Zusammenstellung ohne Anspruch auf vorbildliche Bedienungslogik handelt:



Die Symbolleisten-Komponente erhält per Konstruktor eine Titelzeilenbeschriftung für den selbständigen Zustand und startet (mit der voreingestellten horizontalen Orientierung) im Norden des **JFrame**-Layouts:

```
JToolBar toolBar = new JToolBar("Editor");
getContentPane().add(toolBar, BorderLayout.NORTH);
```

Um Menüzeile und Symbolleiste optisch zu trennen, erhält die Menüzeile einen Rahmen:

```
menuBar.setBorder(BorderFactory.createEtchedBorder());
```

Die beiden Schaltflächen können das Icon und die **ActionEvent**-Empfänger jeweils vom funktionsgleichen Menüitem übernehmen, z.B.:

```
JButton openButton = new JButton(new ImageIcon("open.gif"));
openButton.addActionListener(openItem.getActionListeners()[0]);
toolBar.add(openButton);
```

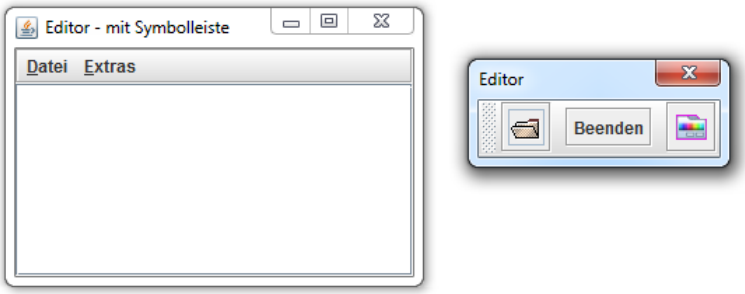
Wie bei Menüeinträgen kann auch bei Symbolleistenelementen ein Separator zur Gruppierung verwendet werden, z.B.:

```
toolBar.addSeparator();
```

Die Erstellung eines beschrifteten Symbolleistenschalters

```
JButton exitButton = new JButton("Beenden");
exitButton.addActionListener(exitItem.getActionListeners()[0]);
toolBar.add(exitButton);
```

ist ebenso langweilig wie das Aussehen (hier im frei schwebenden Zustand):



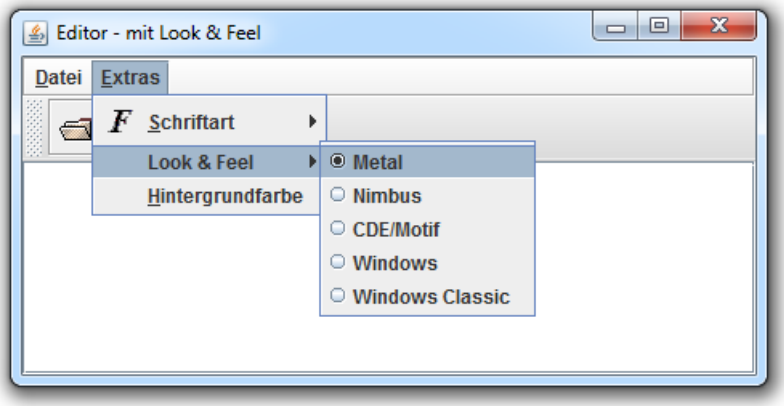
12.8 Weitere Swing-Techniken

12.8.1 Look & Feel umschalten

Wer den in Abschnitt 12.7.9 gezeigten Dateiauswahldialog lieber im Windows-Design erleben möchte, kann die Swing-Option nutzen, das Look & Feel einer Anwendung zwischen folgenden Alternativen umzuschalten (Stand: Java 7, Update 1, unter Windows 7):

- **Metal**
  Traditioneller Swing-Standard
- **Nimbus** (aufpoliertes Swing-Design)
  Mit Java 6 Update 10 wurde Nimbus als aufpolierte Alternative zu Metal eingeführt.
- **CDE/Motif**
  Ein traditioneller X-11 – Window-Manager unter UNIX
- **Windows**
- **Windows - klassisch**

Bevor man ein solches Look & Feel - Menü präsentieren kann,



ist etwas Arbeit angesagt.

Neben einem **JMenu**-Objekt und einem **JRadioButtonMenuItem**-Array zur Aufnahme der aktuell verfügbaren Look & Feel - Optionen deklarieren wir einen Array der Klasse **LookAndFeelInfo**, die als statische Mitgliedklasse (vgl. Abschnitt 12.6.6.1) im Rumpf der Klasse **UIManager** definiert ist:

```
private JMenu lafMenu;
private JRadioButtonMenuItem[] lafItems;
private UIManager.LookAndFeelInfo[] lafs;
```

Im Rahmenfensterkonstruktor werden die Objekte generiert und initialisiert:

```
lafMenu = new JMenu("Look & Feel");
lafs = UIManager.getInstalledLookAndFeels();
lafItems = new JRadioButtonMenuItem[lafs.length];
UIActionHandler uah = new UIActionHandler();
for (int i = 0; i< lafs.length; i++) {
 lafItems[i] = new JRadioButtonMenuItem(lafs[i].getName());
 lafItems[i].addActionListener(uah);
 if (UIManager.getLookAndFeel().getName() == lafs[i].getName())
  lafItems[i].setSelected(true);
 lafMenu.add(lafItems[i]);
}
```

Durch einen Aufruf der statischen **UIManager**-Methode **getInstalledLookAndFeels()** füllen wir den **LookAndFeelInfo**-Array und verwenden die Informationen anschließend zum dynamischen Menüaufbau. Anzahl und Inhalt der Items im `lafMenu` hängen also von der Ausstattung der aktuel-

len JVM ab, so dass unser Editor von zukünftigen Neuerungen profitieren wird. Mit der **UIManager**-Methode **getLookAndFeel()** wird aktuelle Look & Feel ermittelt, um das zugehörige **JRadioButtonMenuItem** als gewählt markieren zu können.

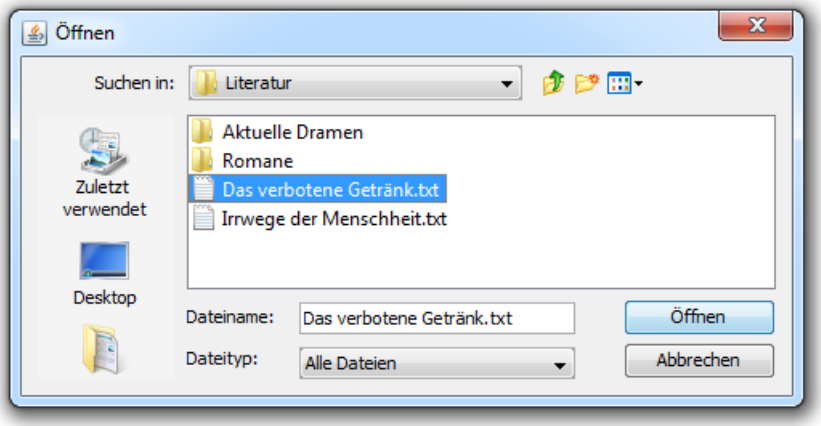
Für den **ActionListener** zu den Look & Feel - Menüitems definieren wir eine interne Klasse:

```
private class UIActionHandler implements ActionListener {
 public void actionPerformed(ActionEvent e) {
  for (int i = 0; i < lafs.length; i++) {
   if (e.getSource() == lafItems[i])
    try {
     UIManager.setLookAndFeel(lafs[i].getClassName());
     SwingUtilities.updateComponentTreeUI(Editor.this);
     lafItems[i].setSelected(true);
     for (int j = 0; j < lafs.length && j != i; j++)
      lafItems[j].setSelected(false);
     break;
    } catch (Exception ex) {
     JOptionPane.showMessageDialog(text, "Fehler beim UI-Management", titel,
                                   JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
    }
  }
 }
}
```

Dem Aufruf der statischen **UIManager**-Methode **setLookAndFeel()** wird als Aktualparameter passend zum gewählten Menüitem der Name der Klasse übergeben, die das gewünschte Look & Feel realisiert. Um das neue Look & Feel wirksam werden zu lassen, ist noch ein Aufruf der statischen **SwingUtilities**-Methode **updateComponentTreeUI()** erforderlich, die als Parameter eine Referenz auf das Rahmenfenster benötigt. Diese Referenz ist in der inneren Klasse `UIActionHandler` über das Schlüsselwort **this** mit vorangestelltem Klassennamen verfügbar:

```
SwingUtilities.updateComponentTreeUI(Editor.this);
```

Bei aktivem **Windows** - Look & Feel verwendet der Editor den folgenden Dateiauswahldialog:



Den vollständigen Quellcode zur aktuellen Ausbaustufe des Editors finden Sie im Ordner

…\BspUeb\Swing\Editor\E4 (mit Look & Feel)

12.8.2 Zwischenablage

Mit Hilfe der System-Zwischenablage (vom Betriebssystem verwaltet) können Anwender auf bequeme Weise Daten zwischen Anwendungen oder auch innerhalb einer Anwendung übertragen. In Abhängigkeit von den beteiligten Programmen werden dabei unterschiedliche Datenformate unterstützt (z.B. Zeichenfolgen, Bitmaps, Dateilisten). Markierte Daten werden per (Kontext)menü oder

Tastaturbefehl (unter Windows: **Strg+C** bzw. **Strg+X**) in die Zwischenablage kopiert und beim Ausschneiden anschließend am alten Ort gelöscht. Viele Quellanwendungen legen die Daten sogar in mehreren Formaten in der Zwischenablage ab (z.B. einfachen und formatierten Text). Beim ebenfalls per (Kontext)menü oder Tastaturbefehl (unter Windows: **Strg+V**) anzufordernden Einfügen prüft die Zielanwendung, ob sie eines der verfügbaren Formate verarbeiten kann.

Die von **JTextComponent** abstammenden Komponenten (z.B. **JTextField** und **JEditorPane**) erlauben dem Benutzer den Zwischenablagentransfer von Zeichenfolgen über die systemüblichen Tastenkombinationen und bieten dem Programmierer über die Methoden **cut()**, **copy()** und **paste()** einen bequeme Möglichkeit zur Nutzung der Zwischenablage. Sollen aber beliebige Daten transportiert werden (z.B. Dateilisten, Bilder), dann ist eine etwas nähere Beschäftigung mit der Zwischenablagen-Unterstützung im Swing-Framework erforderlich. Von den beteiligten Typen (alle aus dem Paket im Paket **java.awt.datatransfer**) kommen einige auch beim Ziehen und Ablegen von Daten per Maus (engl.: *Drag & Drop*) zum Einsatz (siehe Abschnitt 12.8.3).

Die Daten in der Zwischenablage werden durch Objekte der Klasse **DataFlavor** beschrieben, die im Wesentlichen jeweils einen so genannten **MIME-Type** kapseln. Ursprünglich zur Beschreibung von Mail-Erweiterungen gedacht (*Multipurpose Internet Mail Extensions*), wird das MIME-Schema mittlerweile recht universell zur Deklaration von digitalen Inhalten verwendet, z.B. klassifiziert als **text/plain** oder **image/jpeg**).

Damit ein Objekt den gesamten Zwischenablageninhalt repräsentieren kann, muss seine Klasse die Methoden der Schnittstelle **Transferable** implementieren:

- **public boolean isDataFlavorSupported(DataFlavor** *flavor***)**
  Man erfährt, ob in der Zwischenablage Daten eines bestimmten Typs vorhanden sind.
- **public Object getTransferData(DataFlavor** *flavor***)**
  Enthält die Zwischenablage Daten eines bestimmten Typs, werden diese geliefert.
- **public DataFlavor[] getTransferDataFlavors()**
  Man erhält einen Array der Klasse **DataFlavor** und kennt damit alle in der Zwischenablage vorhandenen Formate.

Für den Zugriff auf die Zwischenablage verwendet man ein Objekt der Klasse **Clipboard**, dessen Adresse mit Hilfe der Klasse **Toolkit** zu ermitteln ist:

```
private Clipboard clip;
private Transferable clipContent;
 ...
clip = Toolkit.getDefaultToolkit().getSystemClipboard();
```

Das **Toolkit**-Objekt beherrscht u.a. die folgenden Methoden:

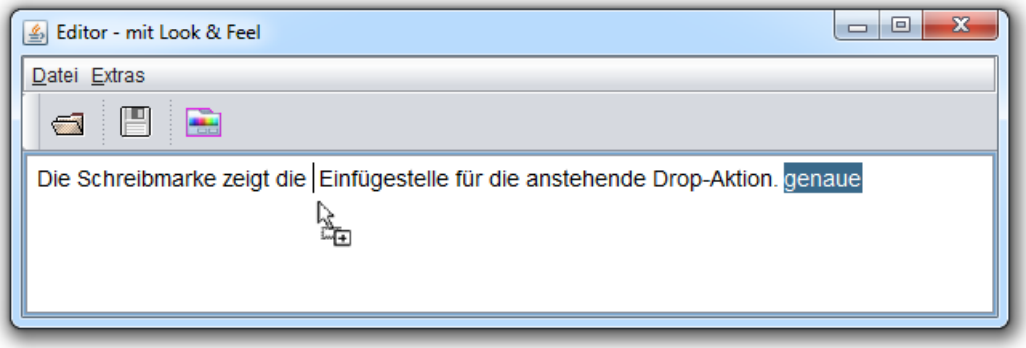
- **public Transferable getContents(Object** *requestor***)**
  Über diese Methode verschafft man sich ein Objekt, das die gesamte Zwischenablage (mit allen vorhandenen Formaten) repräsentiert und die Methoden der Schnittstelle **Transferable** beherrscht. Weil der **getContents()**-Parameter derzeit keine Rolle spielt, verwendet man stets den Wert **null**, z.B.:
  ```
  clipContent = clip.getContents(null);
  ```
- **public void setContents(Transferable** *contents*, **ClipboardOwner** *owner***)**
  Diese Methode setzt den Zwischenablageinhalt auf ein **Transferable**-Objekt und registriert einen Besitzer der Zwischenablage, wobei ggf. ein Altinhaber über den Eigentumsverlust informiert wird. Spielen die Besitzverhältnisse keine Rolle, gibt man im zweiten Parameter den Wert **null** an.

- **public void addFlavorListener(FlavorListener** *listener***)**
  Möchte man über Änderungen der verfügbaren Zwischenablagendatenformate informiert werden, registriert man beim **Clipboard**-Objekt einen Ereignisempfänger, der das Interface **FlavorListener** erfüllt, also die Methode **flavorsChanged()** implementiert.

12.8.3 Ziehen & Ablegen (Drag & Drop)

Benutzer von gut entworfenen GUI-Programmen können in vielen Situationen ihre Absichten auf intuitive Weise (ohne Handbuchstudium) artikulieren, indem sie Daten (z.B. Texte, Listeneinträge, Farben) per Maus von einer Quelle zu einem Ziel bewegen und per **Strg**-Taste signalisieren, ob kopiert oder verschoben werden soll. Dabei kommen sowohl programminterne als auch programmübergreifende Transporte in Frage. Den beteiligten GUI-Komponenten wird einiges an kommunikativen Kompetenzen abverlangt. Weil alle von **JComponent** abstammenden Komponenten bestens vorbereitet sind, lässt sich in Java - Programmen das Ziehen & Ablegen ohne Strapazen für den Programmierer realisieren.

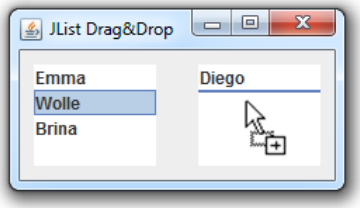
Etliche Klassen (u.a. **JTextField** und **JEditorPane**) beherrschen die Empfängerrolle bereits ab Fabrik, z.B.:

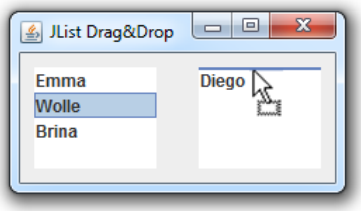


Es genügt ein einfacher Aufruf der Methode **setDragEnabled()**, um auch die Quellfunktionalität zu aktivieren, z.B. beim Editor, den wir seit Abschnitt 12.7.7 sukzessive ausbauen:

```
text.setDragEnabled(true);
```

Auch bei der Klasse **JList** lässt sich auf diese Weise die Drag-Funktionalität einschalten. Das Implementieren macht hier etwas Arbeit und vermittelt dabei nützliche Einblicke in die (Drag & Drop) - Unterstützung des Swing-Frameworks. Wir erstellen ein Beispielprogramm mit zwei Listen, das ein Verschieben und Kopieren von Einträgen zwischen den Listen oder innerhalb einer Liste erlaubt:





Außerdem ist sogar der **String**-Dateiaustausch mit anderen Java- und Windows-Programmen möglich.

Im Vergleich zum ähnlichen Beispielprogramm in Abschnitt 12.7.5.1 ist jede **JList**-Komponente in eine **JScrollPane**-Komponente verpackt, die bei Bedarf Rollbalken beisteuert und außerdem dafür sorgt, dass auch eine leere Liste sichtbar und ablagefähig bleibt.

Ein **JList**-Objekt benötigt einen Transporthelfer aus einer geeigneten Spezialisierung der Klasse **javax.swing.TransferHandler**. Im Beispielprogramm kommt ein Objekt aus der von **TransferHandler** abgeleiteten inneren Klasse `ListTransferHandler` zum Einsatz, deren Methoden anschließend erläutert werden:

```
private class ListTransferHandler extends TransferHandler {
 private JList quellListe, zielListe;
 private int quellIndex, zielIndex;
   .  .  .
}
```

Beide **JList**-Objekte engagieren denselben Transporthelfer:

```
ListTransferHandler lth = new ListTransferHandler();
listeLinks.setTransferHandler(lth);
listeRechts.setTransferHandler(lth);
```

Dieses Objekt kennt Quelle und Ziel eines Transports, so dass zwischen listeninternen und listenübergreifenden Bewegungen unterschieden werden kann.

12.8.3.1 TransferHandler-Methoden für die Drag-Rolle

Über eine **JList**-Komponente in der Drag-Rolle teilt ein `ListTransferHandler` auf Befragen per **getSourceActions()** mit, dass Kopieren und Verschieben möglich seien:

```
public int getSourceActions(JComponent c) {
 return TransferHandler.COPY_OR_MOVE;
}
```

Wird die Drag-Rolle real, holt der Transporthelfer bei der Quelle die Daten ab (hier: eine Zeichenfolge) und verpackt sie in ein Objekt der Klasse **StringSelection**, welche die Schnittstelle **Transferable**-Objekt implementiert:

```
protected Transferable createTransferable(JComponent quelle) {
 quellListe = (JList) quelle;
 quellIndex = quellListe.getSelectedIndex();
 return new StringSelection((String) quellListe.getSelectedValue());
}
```

Zum Abschluss einer *Verschiebung* sorgt der Transporthelfer dafür, dass die Quelle (genauer: deren Model-Objekt) das betroffene Listenelement löscht:

```
protected void exportDone(JComponent quelle, Transferable data, int action) {
 if (action == TransferHandler.MOVE) {
  if (zielListe == quellListe  &&  zielIndex < quellIndex)
   quellIndex++;
  quellListe = (JList) quelle;
  ((DefaultListModel) quellListe.getModel()).remove(quellIndex);
 }
}
```

12.8.3.2 TransferHandler-Methoden für die Drop-Rolle

Über ein **JList**-Objekt in der Drop-Rolle berichtet ein `ListTransferHandler` auf Befragen mit **canImport()**, dass ein Import nur bei Textdaten möglich sei:

```
public boolean canImport(TransferHandler.TransferSupport info) {
 if (info.isDataFlavorSupported(DataFlavor.stringFlavor))
  return true;
 else
  return false;
}
```

Bei der Spezifikation von unterstützten Datentypen kommen Konstanten (Felder mit den Modifikatoren **public, static** und **final**) der in Abschnitt 12.8.2 vorgestellten Klasse **DataFlavor** zum Einsatz.[81]

In der Methode **importData()** ermittelt der Transporthelfer den vom Benutzer via Mausposition angegebenen Einfügeindex für die Empfangsliste, extrahiert die Daten und übergibt sie an das Model-Objekt des Empfängers:

```
public boolean importData(TransferHandler.TransferSupport info) {
   JList.DropLocation dl = (JList.DropLocation) info.getDropLocation();
   zielListe = (JList) info.getComponent();

   DefaultListModel listModel = (DefaultListModel) zielListe.getModel();
   zielIndex = dl.getIndex();

   Transferable t = info.getTransferable();
   String element;
   try {
      element = (String) t.getTransferData(DataFlavor.stringFlavor);
   } catch (Exception e) { return false; }
   listModel.add(zielIndex, element);
      return true;
}
```

Um von einem **JList**-Objekt die bestmögliche Drop-Rückmeldung für den Benutzer zu erhalten (z.B. Anzeige der Einfügestelle), setzt man den **DropMode** wie im folgenden Beispiel:

```
listLinks.setDropMode(DropMode.ON_OR_INSERT);
listRechts.setDropMode(DropMode.ON_OR_INSERT);
```

Den vollständigen Quellcode des Beispielprogramms finden Sie im Ordner

…\BspUeb\Swing\Drag & Drop

12.9 Übungsaufgaben zu Kapitel 12

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Zu jeder Event Id gehört eine eigene Ereignisklasse.
2. Methoden einer anonymen oder inneren Klasse dürfen auf die Mitglieder der umgebenden Klasse zugreifen (auch auf die privaten).
3. Auch zu anonymen Klassen und Mitgliedsklassen erstellt der Compiler jeweils eine eigene Bytecode-Datei.
4. Ein Swing-Programm endet mit dem Schließen seines Hauptfensters.

[81] Wie das Beispiel zeigt, wird für deren Namen das Camel-Casing verwendet, obwohl sie nach einem Vorschlage der Firma Sun/Oracle komplett groß geschrieben werden sollten (vgl. Abschnitt 4.5.1).

2) Ermitteln Sie mit Hilfe eines Programms die Event IDs zu folgenden Ereignissen:

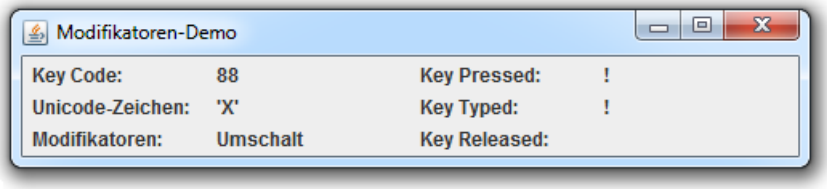
- Eine Schaltfläche wurde betätigt.
- Über einer Komponente wurde eine Maustaste gedrückt bzw. losgelassen.
- Eine Taste wurde gedrückt bzw. losgelassen.
- Das Fenster wurde aktiviert.

Sie werden feststellen, dass alle Maustasten dieselben Ereigniskennungen liefern. Mit Hilfe der **MouseEvent**-Methode **getButton()** kann man die Tasten aber doch unterscheiden.

3) Erstellen Sie ein Tastatur-Demonstrationsprogramm, das für jede gedrückte Taste(nkombination) ausgibt:

- Key Code der zuletzt gedrückten Taste
- Unicode-Zeichen (falls definiert)
- gedrückte Modifikator-Tasten (Umschalt, Steuerung, Alt)

So ähnlich sollte Ihr Programm z.B. auf die Tastenkombination **Umschalt+x** reagieren:



Verwenden Sie zur Anordnung der Komponenten ein **GridLayout**.

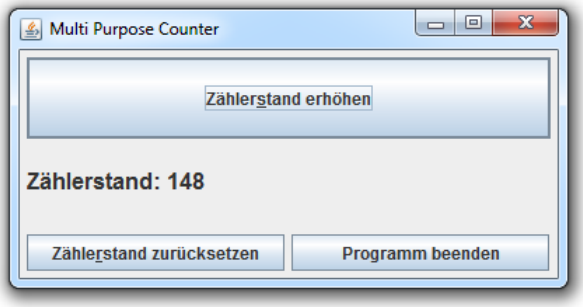
4) Zu einer anonymen Klasse lässt sich nur *eine* Instanz erzeugen. Es ist aber durchaus möglich, ein solches Objekt z.B. als **ActionListener** für mehrere Befehlsschalter zu verwenden, indem der zuerst versorgte Schalter mit **getActionListeners()** nach dem zuständigen Ereignisempfänger befragt und die erhaltene Referenz anschließend wieder verwendet wird. Fertigen Sie ein entsprechendes Beispielprogramms mit zwei Befehlsschaltern an.

5) Vergleichen Sie die Ereignisbehandlung bei GUI-Anwendungen mit der in Kapitel 1 vorgestellten Ausnahmebehandlung. Welche Unterschiede sind vorhanden?

6) Welche Layout-Manager sind bei den Swing-Container-Klassen **JFrame**, **JPanel** und **Box** jeweils voreingestellt?

7) Warum existiert zur Ereignisklasse **ActionEvent** bzw. zum Interface **ActionListener** keine Adapterklasse (analog zur Klasse **WindowAdapter** beim Interface **WindowListener**)?

8) Erstellen Sie eine seriösere Variante des Zählprogramms aus Abschnitt 12.3, z.B. mit folgender Bedienoberfläche:



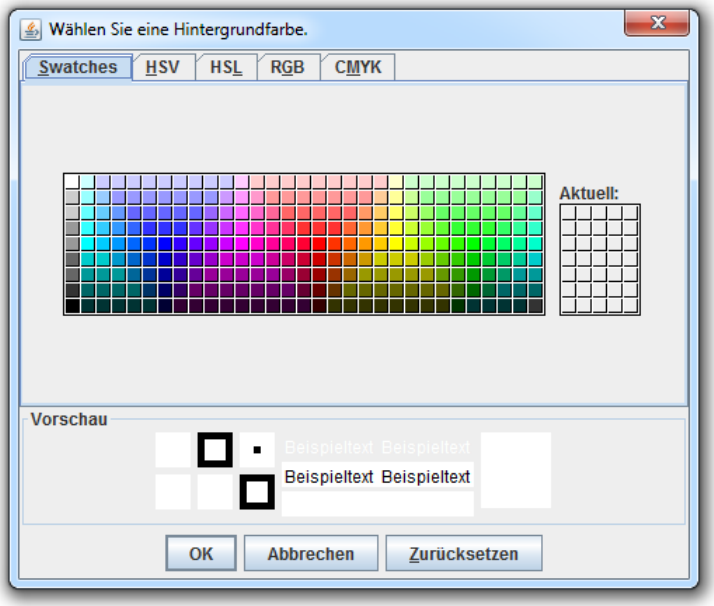
Bieten Sie statt der verspielten Icon-Anzeige Schalter an, um den Zählenstand zurück zu setzen und das Programm zu beenden. Verhindern Sie mit der Methode **setMinimumSize()** der **JFrame**-Basisklasse **java.awt.Window**, dass beim Verkleinern des Rahmenfensters Bedienelemente verschwinden. Über die **JComponent**-Methode **setFont()** können Sie die Schriftart der Zählerstandsanzeige beeinflussen, z.B.:

```
lblCounter.setFont(new Font(Font.SANS_SERIF, Font.BOLD, 16));
```

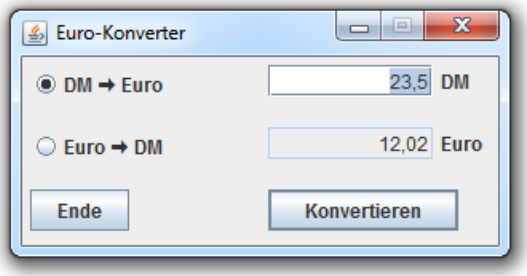
9) Realisieren Sie für das Editor-Beispielprogramm ausgehend vom Entwicklungsstand in

…\BspUeb\Swing\Editor\E1 (mit Menü)

einen **ActionListener** zum Menüitem **Extras > Hintergrundfarbe** unter Verwendung der Klasse **JColorChooser**, die einen attraktiven Standarddialog zur Farbauswahl bietet:



10) Erstellen Sie den in Abschnitt 12.7.4 als Beispiel verwendeten Euro-DM-Konverter:



Hinweise:

- Die untere **JTextField**-Komponente soll nur zur Ausgabe dienen. Daher wurde via **setEditable(false)** festgelegt, dass sie vom Benutzer nicht geändert werden kann.
- Bei dem horizontalen Pfeil in den Beschriftungen der Optionsschalter handelt es sich um das Unicode-Zeichen mit der Nummer 0x27A0. Über eine Escape-Sequenz lassen sich beliebige Unicode-Zeichen in einem Java-Programm verwenden, z.B.:

```
dm2euro = new JRadioButton("DM "+'\u27a0'+" Euro", true);
```

11) Erstellen Sie eine Swing-Anwendung, welche die Liste der aktuell verfügbaren Zwischenablageformate ausgibt, sobald sich diese Liste ändert, z.B.


Zwischenablage
text/plain; class=java.lang.String (text/plain)
text/plain; class=java.io.Reader (text/plain)
text/plain; class=java.io.InputStream; charset=unicode (text/plain)
application/x-java-jvm-local-objectref; class=java.lang.String (application/x-java-jvm-local-objectref)
application/x-java-serialized-object; class=java.lang.String (Unicode String)
Zwischenablage
image/x-java-image; class=java.awt.Image (image/x-java-image)

13 Ein-/Ausgabe über Datenströme

Bisher haben wir Daten nur in den zu einer Methode, zu einem Objekt oder zu einer Klasse gehörigen Variablen gespeichert. Zwar ist der lesende und schreibende Zugriff auf Variablen bequem und schnell zu realisieren, doch spätestens beim Verlassen des Programms gehen alle Variableninhalte verloren. In diesem Kapitel behandeln wir elementare Verfahren zum sequentiellen Datenaustausch zwischen den Variablen eines Java-Programms und externen Datenquellen bzw. –senken, z.B.:

- Primitive Werte (Typ **byte**, **int**, **double** etc.) oder ganze Objekte in eine Datei auf der Festplatte schreiben bzw. von dort lesen
- Zeichen auf den Bildschirm schreiben bzw. von der Tastatur entgegen nehmen

Vorausblick auf zwei verwandte Themen:

- In einem späteren Kapitel werden Sie mit den Netzwerkverbindungen weitere, außerordentlich wichtige Datenquellen bzw. -senken kennen lernen und dabei von Ihren Kenntnissen über die generelle Datenstromtechnik profitieren.
- Im Kapitel über Datenbankprogrammierung werden anspruchsvolle Datenverwaltungstechniken vorgestellt, die sich auch im Netzwerk- und Mehrbenutzerkontext bewähren. Dabei überlassen wir aber den direkten Kontakt mit Dateien einer speziellen Software, dem Datenbankmanagement-System (DBMS).

Mit dem Vorsatz, komplexe Dateiverwaltungsaufgaben einem DBMS zu überlassen, verzichten wir in diesem Manuskript auf die Behandlung von Dateien mit wahlfreiem Zugriff (siehe z.B. Ullenboom 2012a). Während die anschließend behandelten Methoden eine Datei unidirektional vorwärts durchlaufen, ist beim wahlfreien Zugriff auch eine Rückwärtsbewegung möglich.

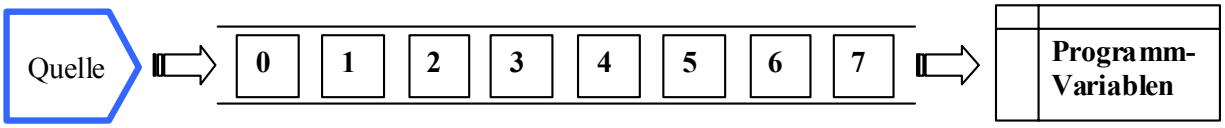
Unsere Beispielprogramme verwenden regelmäßig Klassen aus den Paketen **java.io** und **java.nio.file**, so dass sich der Import dieser Pakete meistens lohnt:

```
import java.io.*;
import java.nio.file.*;
```

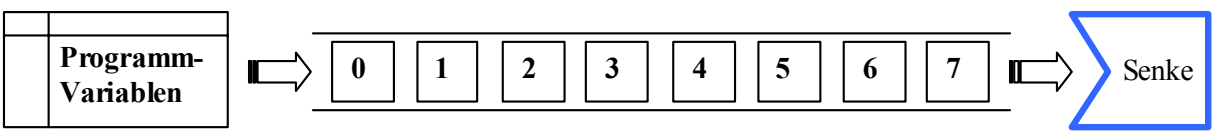
13.1 Grundlagen

13.1.1 Datenströme

In Java wird die sequentielle Datenein- und -ausgabe über so genannte *Ströme* (engl. *streams*) abgewickelt. Ein Programm liest Bytes[82] aus einem **Eingabestrom**, der aus einer Datenquelle (z.B. Datei, Eingabegerät, anderes Programm, Netzwerkverbindung) gespeist wird:



Ein Programm **schreibt** Bytes in einen **Ausgabestrom**, der die Werte von Programmvariablen zu einer Datensenke befördert (z.B. Datei, Ausgabegerät, anderes Programm, Netzverbindung):



[82] Wenn in Kapitel 13 der Namensteil *Byte* auftaucht, ist keine Java-Wrapper-Klasse gemeint, sondern eine 8 Bit umfassende Informationseinheit der Datenverarbeitung.

In der Regel kommen *externe* Quellen bzw. Senken zum Einsatz (Dateien, Geräte, Netzwerkverbindungen). Gelegentlich werden aber programminterne Objekte per Datenstromtechnik angesprochen (z.B. **byte**-Arrays, **String**-Objekte). Zu den internen Strömen gehören auch die so genannten *Pipes* zum Kommunikation zwischen verschiedenen Threads, mit denen wir uns in diesem Manuskript aus Zeitgründen nicht beschäftigen können.

Mit dem Datenstromkonzept wird bezweckt, Anweisen zur Ein- oder Ausgabe von Daten möglichst unabhängig von den Besonderheiten konkreter Datenquellen und –senken formulieren zu können.

Ein- bzw. Ausgabeströme werden in Java-Programmen durch Objekte aus geeigneten Klassen des Pakets **java.io** repräsentiert. Dort finden sich auch Datenstromklassen zum Transport von höheren Datentypen, die intern einen Byte-Strom mit direktem Kontakt zur Quelle bzw. Senke verwenden.

13.1.2 Beispiel

Das folgende Programm schreibt mit den Mitteln von Java 7 einen **byte**-Array in eine Datei und liest die Daten anschließend wieder zurück:

Quellcode	Ausgabe

```
import java.io.*;
import java.nio.file.*;

class EaEinstieg {
 public static void main(String[] args) {
  byte[] arr = {0,1,2,3,4,5,6,7};
  Path file = Paths.get("demo.txt");

  try (OutputStream os = Files.newOutputStream(file)) {
   os.write(arr);
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }

  try (InputStream is = Files.newInputStream(file)) {
   is.read(arr);
   for (int i : arr)
    System.out.println(i);
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }
 }
}
```

```
0
1
2
3
4
5
6
7
```

Zum Schreiben wird über eine die statische Methode **newOutputStream()** der Klasse **Files** das Ausgabestromobjekt `os` aus der Klasse **FileOutputStream** erzeugt und mit der vom **Path**-Objekt `file` bezeichneten Datei verbunden. Nachdem das Schreiben durch die Methode **write()** erledigt ist, wird die Datei geschlossen. Dies geschieht über die seit Java 7 verfügbare **try**-Anweisung mit automatischer Ressourcen-Freigabe (vgl. Abschnitt 11.8.2).

Zum Lesen wird auf analoge Weise das Eingabestromobjekt `is` aus der Klasse **FileInputStream** erzeugt und mit der zuvor gefüllten Datei verbunden. Eine **try**-Anweisung mit automatischer Ressourcen-Freigabe sorgt wieder dafür, dass nach dem Lesen per **read()**-Methode die nicht mehr benötigte Datei schnell und garantiert (unter allen Umständen) freigegeben wird (durch einen **close()**-Aufruf hinter den Kulissen).

Bei der Stromklassen-Konstruktion sowie beim Lesen und Schreiben kann es zu einer von **IOException** abstammenden, also behandlungs- bzw. deklarationspflichtige Ausnahme kommen (vgl.

Abschnitt 11.5). Das Beispielprogramm beschränkt sich bei der Behandlung auf die Ausgabe der Fehlerursache.

13.1.3 Klassifikation der Stromverarbeitungsklassen

Das Paket **java.io** enthält vier abstrakte Basisklassen, von denen die für uns relevanten Stromverarbeitungsklassen abstammen:

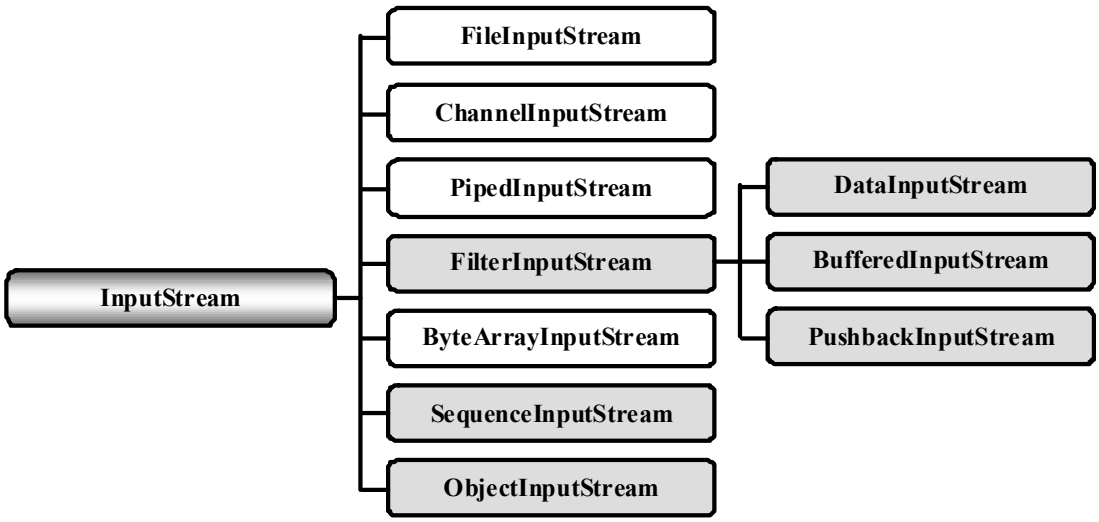
- **InputStream** und **OutputStream**
  Die Klassen aus den zugehörigen Hierarchien verarbeiten **Ströme mit Bytes** als Elementen. Byteströme werden für das Lesen und Schreiben von **binären Daten** verwendet (z.B. bei Bitmap-Grafiken).
- **Reader** und **Writer**
  Die Klassen aus den zugehörigen Hierarchien verarbeiten **Zeichenströme**, die aus einer Folge von Zeichen in einer bestimmten Kodierung (z.B. Unicode oder ASCII) bestehen. Landet ein Zeichenstrom in einer Datei, kann diese anschließend mit jedem Texteditor bearbeitet werden, der die verwendete Kodierung beherrscht.

Während die byteorientierten Klassen schon zur ersten Java-Generation gehörten, wurden die zeichenorientierten Klassen erst mit der Version 1.1 eingeführt, um Probleme mit der Internationalisierung von Java-Programmen zu lösen. Wo alte und neue Lösungen zur Verarbeitung von Textdaten konkurrieren, sollten die zeichenorientierten Klassen den Vorzug erhalten.

Bei den Abkömmlingen der vier abstrakten Basisklassen sind nach der Funktion zu unterscheiden:

- **Ein- bzw. Ausgabeklassen**
  Sie haben **direktem Kontakt zu Datenquellen bzw. –senken**. Sollen z.B. Bytes aus einer Datei gelesen werden, kommen in Frage
  - Eingabeklasse **FileInputStream** bzw. Ausgabeklasse **FileOutputStream** aus dem Paket **java.io**.
  - **InputStream**- bzw. **OutputStream**-Ableitung mit Channel-Technik
    Von der Klasse **Files** aus dem Paket **java.nio.file** erhält man z.B. über die statische Methode **newInputStream()** ein Objekt der Klasse **ChannelInputStream**.
- **Transformationsklassen**
  Sie dienen zum **Transformieren** von Eingabe- bzw. Ausgabeströmen und werden oft auch als *Filterklassen* bezeichnet. Sollen z.B. Werte mit beliebigem primitivem Datentyp (**int**, **double**, etc.) aus einer Datei gelesen werden, schaltet man einen Filterstrom und einen Eingabestrom hintereinander:
  - Ein Objekt der Eingabestromklasse **FileInputStream** ist mit der Datei verbunden und besorgt dort Byte-Sequenzen.
  - Ein Objekt der Filterstromklasse **DataInputStream** setzt Byte-Sequenzen zu den angeforderten primitiven Werten zusammen.
  - Wir richten unsere Anforderungen an den Filterstrom.

Den Hierarchien zu den vier Basisklassen werden später eigene Abschnitte gewidmet. Vorab werfen wir schon einmal einen Blick auf die **InputStream**–Hierarchie. In der folgenden Abbildung sind die Eingabeklassen mit einen weißen, und die Eingabetransformationsklassen mit einem grauen Hintergrund dargestellt:



13.1.4 Aufbau und Verwendung der Transformationsklassen

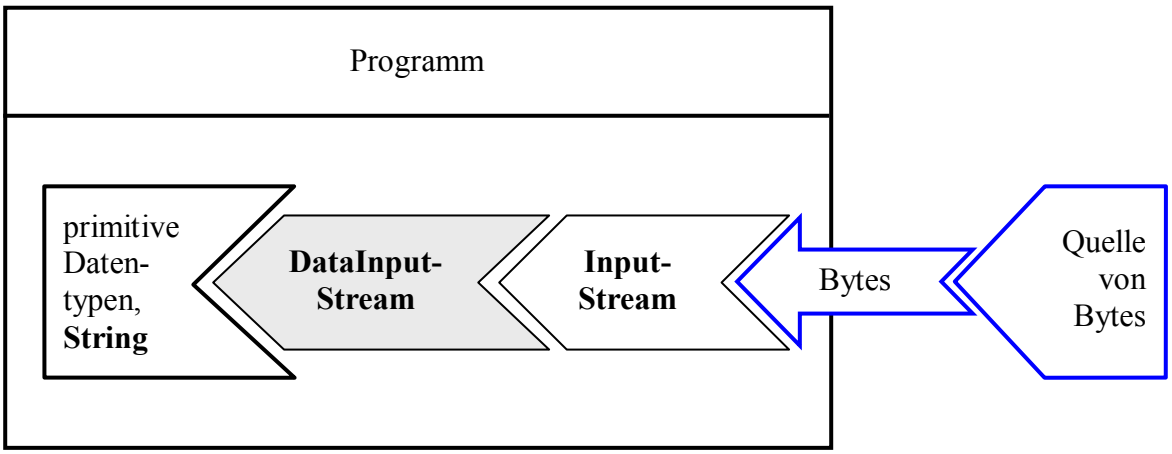
Eine Transformations- bzw. Filterklasse baut auf einer Ein- bzw. Ausgabeklasse auf und stellt Methoden für eine erweiterte Funktionalität zur Verfügung. Wie diese Zusammenarbeit organisiert wird, betrachten wir am Beispiel der Eingabetransformationsklasse **DataInputStream** aus der **InputStream**-Hierarchie. Diese Klasse besitzt …

- eine Instanzvariable vom Typ **InputStream**,
- in ihrem Konstruktor einen Parameter vom Typ **InputStream**, dessen Aktualwert der **InputStream**-Instanzvariablen zugewiesen wird.

Folglich muss beim Erstellen eines **DataInputStream**-Objekts die Referenz auf ein Objekt aus einer beliebigen von **InputStream** abstammenden Klasse übergeben werden. Im folgenden Beispiel wird das **InputStream**-Objekt von der statischen **Files**-Methode **newInputStream()** geliefert, die als Parameter ein **Path**-Objekt erhält, das eine Datei bezeichnet (zu den Klassen **Files** und **Path** siehe Abschnitt 13.2.1):

```
DataInputStream dis = new DataInputStream(Files.newInputStream(file))
```

Die Transformationsleistung eines **DataInputStream**–Objekts besteht darin, Werte primitiver Datentypen aus einer **byte**-Sequenz passender Länge zusammenzusetzen. Der Filterstrom nimmt also Bytes entgegen und liefert z.B. **int**-Werte (bestehend aus jeweils 4 Bytes) aus. Aus dem elementaren Bytestrom wird ein Strom, dem Daten von primitivem Typ entnommen werden können:



Wird für ein **DataInputStream**–Objekt die **close()**-Methode aufgerufen, dann leitet es diese Botschaft an das verbundene **InputStream**-Objekt weiter.

Im folgenden Beispielprogramm kooperieren ein **DataInputStream** - Objekt und ein **InputStream** - Objekt dabei, **int**-Werte aus einer Datei zu lesen. Zuvor werden diese **int**-Werte in dieselbe Datei geschrieben, wobei ein Objekt der Ausgabetransformationsklasse **DataOutputStream** und ein Objekt der Ausgabeklasse **OutputStream** kooperieren. Hier zerlegt der Filter die **int**-Werte in einzelne Bytes und schiebt sie in den Ausgabestrom.

Quellcode	Ausgabe

```
import java.io.*;
import java.nio.file.*;

class Filterklassen {
 public static void main(String[] egal) {
  Path file = Paths.get("demo.dat");
  int[] arr = {1024,2048,4096,8192};

  try (DataOutputStream dos =
       new DataOutputStream(Files.newOutputStream(file))) {
   for (int i=0; i<arr.length; i++)
     dos.writeInt(arr[i]);
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }

  try (DataInputStream dis =
       new DataInputStream(Files.newInputStream(file))) {
   for (int i=0; i<arr.length; i++)
     System.out.println(arr[i] = dis.readInt());
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }
 }
}
```

```
1024
2048
4096
8192
```

Am Beispiel **DataInputStream** sollen noch einmal wichtige Merkmale einer Transformations- bzw. Filterklasse zusammengefasst werden:

- Die Klasse **DataInputStream** besitzt eine Instanzvariable vom Typ **InputStream**, über die der Kontakt zu einer Datenquelle hergestellt wird. Diese wird im Konstruktor initialisiert.
- Die **DataInputStream**-Eingabemethoden beauftragen den eingebundenen **InputStream**, Bytes in hinreichender Menge zu beschaffen. Diese werden dann zu Werten eines primitiven Datentyps zusammengesetzt.
- **DataInputStream**-Objekte können mit jedem **InputStream**-Objekt kooperieren. Bei Lesen von primitiven Datenwerten aus einer Datei kann man verwenden:
  - Die Eingabeklasse **FileInputStream** aus der Paket **java.io**.
  - Eine **InputStream**-Ableitung mit Channel-Technik
    Von der Klasse **Files** aus dem Paket **java.nio.File** erhält man über die statische Methode **newInputStream()** ein Objekt der Klasse **ChannelInputStream**.
- Ein Aufruf der **DataInputStream**-Methode **close()** wird an das verbundene **InputStream**-Objekt durchgereicht.

13.1.5 Zum guten Schluss

Ist ein Datenstromobjekt mit einer externen Quelle oder Senke verbunden, ist eine Ressource (z.B. Datei oder Netzwerkverbindung) belegt, die für andere Prozesse nicht mehr (uneingeschränkt) zur Verfügung steht. Nach der Programmbeendigung sind die Ressourcen zwar auf jeden Fall wieder frei, doch sollte man die Benutzer oder andere Prozesse nicht ohne Grund so lange warten lassen.

Geöffnete Dateien können auch programminterne Arbeiten blockieren (z.B. das Umbenennen von Dateien).

Außerdem setzen viele Ausgabestromklassen Zwischenspeicher ein, die unbedingt vor dem Entfernen der Datenstromobjekte geleert werden müssen, z.B. durch einen **close()**-Aufruf. Anderenfalls gehen die gepufferten Daten verloren.

Alle Java-Datenstromobjekte beherrschen die Methode **close()**, die ggf. Zwischenspeicher entleert, den Strom schließt und die assoziierten Ressourcen frei gibt. Danach ist das Stromobjekt zum Lesen oder Schreiben von Daten nicht mehr zu gebrauchen.

Einen expliziten **close()**-Aufruf zu unterlassen, hat oft keine negativen Konsequenzen, weil die vom Garbage Collector ausgeführte Methode **finalize()** einen **close()**-Aufruf enthält (z.B. bei den Klassen **FileInputStream** und **FileOutputStream**). Es gibt jedoch gute Gründe für den expliziten **close()** - Aufruf:

- Es nicht keinesfalls sicher, ob die **finalize()**-Methode tatsächlich aufgerufen wird, weil der Garbage Collector nur bei Bedarf zum Einsatz kommt. Erst recht sind Zeitpunkt und Reihenfolge der Aufrufe für verschiedene Objekte ungewiss. Im Java-Tutorial (Oracle 2012) heißt es dazu unmissverständlich:

  > The `finalize()` method *may be* called automatically by the system, but when it is called, or even if it is called, is uncertain. Therefore, you should not rely on this method to do your cleanup for you.

- Viele puffernde Ausgabeklassen (z.B. **BufferedOutputStream**, **OutputStreamWriter**) überschreiben die von **java.lang.Object** geerbte **finalize()**-Methode *nicht*. Weil das Erbstück einen leeren Anweisungsblock besitzt, wird **close**() nicht aufgerufen (siehe z.B. Abschnitt 13.3.1.5).

Um allen Problemen aus dem Weg zu gehen, schließt man jeden Strom so früh wie möglich durch einen expliziten **close()**-Aufruf. Bei manchen *programminternen* Quellen oder Senken (z.B. **ByteArrayOutputStream**) ist die **close()**-Methode überflüssig und wirkungslos, aber nicht schädlich.

Ein Transformationsobjekt gibt einen **close()**-Aufruf an den zugrunde liegenden Datenstrom weiter, so dass bei Datenstromkopplungen von beliebiger Komplexität normalerweise ein **close()**-Aufruf an das oberste Objekt genügt. Es kann allerdings der (mehr oder weniger unwahrscheinliche) Fall auftreten, dass nach dem erfolgreichen Öffnen eines Ausgabestroms ein geplantes Filterstromobjekt *nicht* zustande kommt. In dieser Lage hätte ein **close()**-Aufruf an das nicht existente Filterobjekt eine **NullPointerException** zur Folge, und der Ausgabestrom bliebe eventuell offen.

Seit Java 7 stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung, für die garantierte Ausführung eines **close()**-Aufrufs (auch bei Ausnahmefehlern) zu sorgen (vgl. Abschnitt 11.8):

- Die ältere Technik besteht darin, kritische Ein- bzw. Ausgabemethoden in den überwachten Block einer **try-catch-finally** - Anweisung aufzunehmen und die erforderlichen **close()** - Methoden im **finally**-Block aufzurufen.
- Bequemer und sicherer ist die seit Java 7 mögliche automatische Ressourcen-Freigabe. Beteiligte Klassen müssen das Interface **AutoCloseable** implementieren, was bei den Datenstromklassen (den Ableitungen der Klassen **InputStream**, **OutputStream**, **Reader** und **Writer**) erfüllt ist. Bei dieser Technik erfolgt der **close()**-Aufruf hinter den Kulissen (siehe Beispiel in Abschnitt 13.1.2).

13.2 Verwaltung von Dateien und Verzeichnissen

Bis Java 6 (alias 1.6) war für den Umgang mit Dateien und Verzeichnissen (z.B. Erstellen, auf Existenz prüfen, Löschen, Attribute lesen und setzen) die Klasse **File** aus dem Paket **java.io** zuständig.

Seit Java 7 (alias 1.7) bieten die Pakete **java.nio.file** und **java.nio.file.attribute** eine bessere Unterstützung. Weil die neuen Möglichkeiten weit über die Optionen des schon seit Java 1.4 vorhandenen Pakets **java.nio** hinausgehen, spricht man vom **NIO.2 - API**.[83]

Derzeit (2012) gibt es gute Gründe für die Verwendung des NIO.2 - APIs, aber auch für die Verwendung der älteren, mit der JVM-Version 6 kompatiblen Techniken. Daher werden beide Lösungen vorgestellt.

13.2.1 Dateisystemzugriffe über das NIO.2 - API

Wir beschränken uns auf die Klassen **Path**, **Paths** und **Files** aus dem Paket **java.nio.file**.

13.2.1.1 Pfadnamen bearbeiten

Der Typ **Path** im Paket **java.nio.file** repräsentiert einen Bezeichner für einen Eintrag im hierarchischen Dateisystem eines Rechners. Ein **absoluter Pfad** ...

- beginnt mit dem Wurzelknoten (z.B. / bei Linux oder C:\ bei Windows),
- enthält optional eine Serie von Zwischenknoten, separiert durch das plattformspezifische Trennzeichen (z.B. / bei Linux oder \ bei Windows)
- und endet mit dem Zielknoten (Datei oder Verzeichnis).

Fehlt der Wurzelknoten ist der Pfad **relativ** und nur in einem bestimmten Kontext (aktuellen Verzeichnis) eine eindeutige Ortsangabe.

Path wurde als *Interface* definiert, so dass es keinen Konstruktor zu diesem Typ gibt. In diese Presche springt die Hilfsklasse **Paths** mit der statischen Methode **get()**:

public static Path get(String first, String ... more)

In der Aktualparameterliste darf dem obligatorischen ersten Knotennamen eine beliebig lange Liste weiterer Knotennamen folgen (zum Serienparameter siehe Abschnitt 4.3.1.3.3). Im resultierenden Objekt (aus einer das Interface **Path** implementierenden Klasse) landet also eine Serie von Knotennamen.

Bei Verwendung dieser Syntax taucht das plattformabhängige Knotentrennzeichen *nicht* auf, und über die statische **System**-Methode **getProperty()** lässt sich sogar das Heimatverzeichnis des aktuellen Benutzers plattformunabhängig ansprechen, z.B.:

```
Path p1 = Paths.get(System.getProperty("user.home"), "java", "ea", "ausgabe.txt");
```

Unter Windows 7 resultiert der folgende absolute Pfad:

```
C:\Users\baltes\java\ea\ausgabe.txt
```

Es ist aber auch erlaubt, beim **get()**-Aufruf einen kompletten Pfad in einem **String**-Objekt unterzubringen, wobei das plattformspezifische Trennzeichen zu verwenden ist, unter Windows also der Rückwärtsschrägstrich (verdoppelt als Unicode-Escape-Sequenz), z.B.:

```
Path p1 = Paths.get("C:\\Users\\baltes\\java\\ea\\ausgabe.txt");
```

Das Interface **Path** verlangt von implementierenden Klassen etliche Methoden. Man bezeichnet sie als *syntaktische Operationen*, weil sie keinen unmittelbaren Effekt auf das Dateisystem haben. Wie z.B. eine zur aktuellen Ortsangabe im **Path** gehörige Datei mit Hilfe der Klasse **Files** erstellt wird, ist später zu sehen.

Zur Information über die **Path**-Bestandteile stehen u.a. die folgenden Methoden bereit

---

[83] Es beschäftigt sich nicht nur mit der Verwaltung von Dateisystemobjekten, sondern auch mit der Beschleunigung von Ein- und Ausgaben durch bessere Nutzung moderner Techniken der Wirtsbetriebsysteme, z.B. direkte Speicherzugriffe ohne CPU-Beteiligung (DMA, *Direct Memory Access*). Diese Optimierungen können im Manuskript aus Zeitgründen nicht behandelt werden.

- **public Path getFileName()**
  Liefert den Datei- oder Verzeichnisnamen im letzten Element der Namensserie, z.B.:

Quellcodesegment	Ergebnis
`p1.getFileName()`	`ausgabe.txt`

- **public Path getNameCount()**
  Liefert die Anzahl der Namenssegmente (ohne Wurzelknoten), z.B.:

Quellcodesegment	Ergebnis
`p1.getNameCount()`	`5`

- **public Path getName(ind *index*)**
  Liefert die Namenssegmente über einen nullbasierten Index, z.B.:

Quellcodesegment	Ergebnis
`p1.getName(0)`	`Users`

Zum Konvertieren von Pfaden stehen u.a. die folgenden Methoden bereit

- **public URI toUri()**
  Liefert die Browser-Adresszeile zum Öffnen der Datei, z.B.:

Quellcodesegment	Ausgabe
`p1.toUri()`	`file:///C:/Users/baltes/java/ea/ausgabe.txt`

- **public Path toAbsolutePath()**
  Liefert zu einem relativen den absoluten Pfad, z.B.:

Quellcodesegment	Ergebnis
`Paths.get("ausgabe.txt").toAbsolutePath()`	`C:\Users\baltes\ausgabe.txt`

Mit **compareTo()** befragt, äußert sich ein **Path**-Objekt zu seiner lexikographischen Priorität in Bezug auf einen Vergleichspfad. Insbesondere wird mit der Rückgabe Null die Identität gemeldet, wobei in Abhängigkeit von der Zielplattform (z.B. unter Windows) die Groß-/Kleinschreibung für das Vergleichsergebnis irrelevant ist, z.B.:

Quellcodesegment	Ausgabe
`Path p1=Paths.get(System.getProperty("user.home"),"java","ea","aus.txt");` `Path p2=Paths.get(System.getProperty("user.home"),"Java","EA","aus.txt");` `System.out.println(p2.compareTo(p1));`	`0`

Damit redundante Bestandteile in der Namenssequenz eines **Path**-Objekts einen Vergleich nicht stören, sollte man diese per **normalize()**-Methode entfernen, z.B.:

Quellcodesegment	Ausgabe
`Path p2=Paths.get(System.getProperty("user.home"),` `"..","baltes","Java","EA","aus.txt");` `System.out.println(p2.compareTo(p1));` `System.out.println(p2.normalize().compareTo(p1));`	 `-28` `0`

Weitere **Path**-Methoden werden im weiteren Verlauf von Abschnitt 13.2 im Zusammenhang mit ihrer typischen Verwendung beschrieben.

13.2.1.2 Verzeichnis anlegen

Um das Verzeichnis

U:\Eigene Dateien\Java\NioFile\Ort

anzulegen, erzeugen wir ein passendes **Path**-Objekt (vgl. Abschnitt 13.2.1.1):

```
Path dname = Paths.get("U:", "Eigene Dateien", "Java", "NioFile", "Ort");
```

Mit der statischen **Files**-Methode **exists()** findet man für ein **Path**-Objekt heraus, ob es bereits eine Datei oder ein Verzeichnis mit diesem Pfadnamen gibt, z.B.:

```
if (Files.exists(dname))
 System.out.println(dname+" existiert bereits.");
else
 if (Files.notExists(dname))
  System.out.println(dname+" existiert noch nicht");
 else
  System.out.println(dname+" hat einen unbekannten Status.");
```

Als Ursache für den **exist()** - Rückgabewert **false** kommt auch ein Zugriffsproblem in Frage. Dass eine Datei oder ein Verzeichnis zum Zeitpunkt der Abfrage *nicht* vorhanden war, beweist die Rückgabe **true** der statischen **Files**-Methode **notExists()**

Wie im Java-Tutorial (Oracle 2012) zu Recht betont wird, sollte sich ein Programm anschließend (z.B. nach dem Verstreichen von etlichen Millisekunden) *nicht* auf das Existenzprüfergebnis verlassen, weil ein TOCTTOU-Fehler droht (*Time of check to time of use*).

Um ein neues Verzeichnis anzulegen, verwendet man die statische **Files**-Methode **createDirectory()**. Sollen dabei ggf. auch erforderliche Zwischenstufen automatisch angelegt werden, ist die Methode **createDirectories()** zu verwenden, z.B.:

```
try {
   Files.createDirectories(dname);
} catch (FileAlreadyExistsException ae) {
   if (Files.isDirectory(dname))
      System.err.println("Das Verzeichnis "+dname+" existiert bereits.");
   else {
      System.err.println(dname+" existiert, ist aber kein Verzeichnis.");
      System.exit(1);
   }
} catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
   System.exit(1);
}
```

Von beiden Methoden sind die folgenden kontrollierten (also behandlungspflichtigen) Ausnahmen zu erwarten:

- eine allgemeine **IOException**
- die **IOException**-Spezialisierung **FileAlreadyExistsException**

Ob es sich bei einem Verzeichniseintrag um ein Unterverzeichnis handelt, stellt man mit der statischen **Files**-Methode **isDirectory()** fest.

13.2.1.3 Datenstromobjekt zu einem Pfad erstellen

Zu einem **Path**-Objekt, das eine Datei bezeichnet, kann man über statische Methoden der Klasse **Files** Datenstromobjekte für Byte- bzw. Zeichenströme erstellen (siehe Abschnitt 13.3 bzw. 13.4):

- **public static OutputStream newOutputStream(Path** *path*, **OpenOption ...** *options*)
  Man erhält einen Byte-orientieren Ausgabestrom (siehe Abschnitt 13.3.1.3).
- **public static InputStream newInputStream(Path** *path*, **OpenOption ...** *options*)
  Man erhält einen Byte-orientieren Eingabestrom (siehe Abschnitt 13.3.2.3).
- **public static BufferedWriter newBufferedWriter(Path** *path*, **Charset** *cs*, **OpenOption ...** *options*)
  Man erhält einen gepufferten, Zeichen-orientieren Ausgabestrom (siehe Abschnitt 13.4.1.3).

- **public static BufferedReader newBufferedReader(Path** *path***, Charset** *cs***)**
  Man erhält einen gepufferten Zeichen-orientieren Eingabestrom (siehe Abschnitt 13.4.2.3).

Bei etlichen **Files**-Methoden (oben gelistet oder später vorgestellt) akzeptiert ein optionaler Parameter vom Interface-Typ **OpenOption** eine Serie von Werten, um den Öffnungsmodus einer Datei festzulegen. Für besonders häufig benötigte Optionen stehen Konstanten der Enumeration **StandardOpenOption** bereit:

- **APPEND**
  Bei einer bereits existenten, zum Schreiben geöffneten Datei sorgt diese Option dafür, dass neue Ausgaben am Ende angehängt werden, statt vorhandene Ausgaben zu überschreiben.
- **WRITE**
  Mit dieser Option wird eine Datei zum Schreiben geöffnet.
- **CREATE**
  Diese Option sorgt dafür, dass eine zum Schreiben zu öffnende Datei nötigenfalls angelegt wird.
- **CREATE_NEW**
  Es wird eine neue Datei angelegt oder bei vorhandener Datei eine Ausnahme vom Typ **FileAlreadyExistsException** geworfen.
- **DSYNC**
  Jede Änderung beim Inhalt einer Datei wird sofort an das Dateisystem übertragen.
- **DELETE_ON_CLOSE**
  Aufgrund dieser Option wird eine Datei beim Schließen des Stroms automatisch gelöscht, was bei temporären Dateien sehr sinnvoll ist.
- **TRUNCATE_EXISTING**
  Durch diese nur beim Schreiben erlaubte Option wird bei einer vorhandenen Datei der bisherige Inhalt komplett gelöscht. Lässt man beim Schreiben ab Dateianfang diese Option weg, bleiben eventuell am Dateiende vorhandene Bytes stehen.
- **READ**
  Mit dieser Option wird eine Datei zum Lesen geöffnet.
- **SPARSE**
  Einige Dateisysteme (z.B. NTFS unter Windows) profitieren von dem Hinweis, dass eine Datei spärlich besetzt ist und größtenteils aus Nullbytes besteht.
- **SYNC**
  Jede Änderung beim Inhalt oder bei den Metadaten einer Datei wird sofort an das Dateisystem übertragen.

Beispiel:

```
InputStream instr = Files.newInputStream(file, StandardOpenOption.READ);
```

13.2.1.4 Attribute von Dateisystemobjekten ermitteln

Mit diversen statischen Methoden der Service-Klasse **Files** lassen sich einzelne Attribute von Dateisystemobjekten ermitteln. z.B.:

- **public static FileTime getLastModifiedTime(Path** *path***, LinkOption ...** *options***)**
  Für das durch den Pfad bezeichnete Dateisystemobjekt erfährt man über die Rückgabe vom Typ **FileTime** den Zeitpunkt der letzten Änderung. Über die Methode **toString()** befragt, liefert das **FileTime**-Objekt eine Zeitangabe nach der Norm ISO 8601, z.B.:
  ```
  2012-02-08T23:27:33.80371Z
  ```
- **public static long size(Path** *path***)**
  Man erhält die Größe der vom **Path**-Objekt bezeichneten Datei in Bytes.

- **public static boolean isRegularFile(Path** *path*, **LinkOption ...** *options*)
  public static boolean isDirectory(Path *path*, **LinkOption ...** *options*)
  public static boolean isSymbolicLink(Path *path*)
  Diese Methoden informieren darüber, ob das durch den Pfad bezeichnete Dateisystemobjekt eine reguläre Datei, ein Verzeichnis oder ein symbolischer Link ist.
- **public static boolean isWritable()**
  Prüft, ob das Programm schreibend auf eine Datei zugreifen darf

Mit dem bei einigen Methoden vorhandenen Serienparameter (vgl. Abschnitt 4.3.1.3.3) vom Enumerationstyp **LinkOption** legt man fest, wie symbolische Links behandelt werden sollen. Per Voreinstellung wird ein Link aufgelöst, so dass die ermittelten Attributausprägungen vom Ziel stammen. Mit dem Parameterwert **LinkOption.NOFOLLOW_LINKS** unterbleibt die Auflösung, so dass die Attributausprägungen vom Link stammen. Unter Windows ist zu beachten, dass die hier verbreiteten Verknüpfungen (mit der Dateinamenserweiterung **.lnk**) *keine* symbolischen Links sind. Dies sind gewöhnliche Dateien, die vom Windows-Explorer speziell behandelt werden. Man kann ab Windows Vista auf einem Datenträger mit dem Dateisystem NTFS mit dem Kommando MKLNK einen symbolischen Link erstellen, wobei administrative Rechte erforderlich sind, z.B.:

Wir werden im Manuskript keine symbolischen Links verwenden.

Hier werden die Anfragen an ein **File**-Objekt gerichtet, das eine Datei repräsentiert:

```
Path dir = Paths.get("U:", "Eigene Dateien", "Java", "NioFile", "Ort");
Path file = dir.resolve("Ausgabe.txt");
  .  .  .
System.out.println("Eigenschaften von    " + file);
System.out.println(" Groesse in Bytes:   " + Files.size(file));
System.out.println(" Letzte Aenderung:   " + Files.getLastModifiedTime(file));
System.out.println(" Datei:              " + Files.isRegularFile(file));
System.out.println(" Verzeichnis:        " + Files.isDirectory(file));
System.out.println(" Schreiben moeglich: " + Files.isWritable(file));
```

Ausgabe:

```
Eigenschaften von    U:\Eigene Dateien\Java\NioFile\Ort\Ausgabe.txt
 Groesse in Bytes:   3
 Letzte Aenderung:   2012-02-09T02:08:43.865234Z
 Datei:              true
 Verzeichnis:        false
 Schreiben moeglich: true
```

Statt jedes Attribut einzeln beim Dateisystem zu erfragen, kann man über die **Files**-Methode **readAttributes()** ein Paket mit den Basis-, DOS- oder POSIX-Attributen eines Dateisystemobjekts ermitteln:

```
BasicFileAttributes attr = Files.readAttributes(file, BasicFileAttributes.class);
```

Von diesem Objekt sind später die Attribute ohne Dateisystemzugriffe zu erfahren, z.B.:

```
System.out.println(" Groesse in Bytes:  " + attr.size());
```

13.2.1.5 Atribute ändern

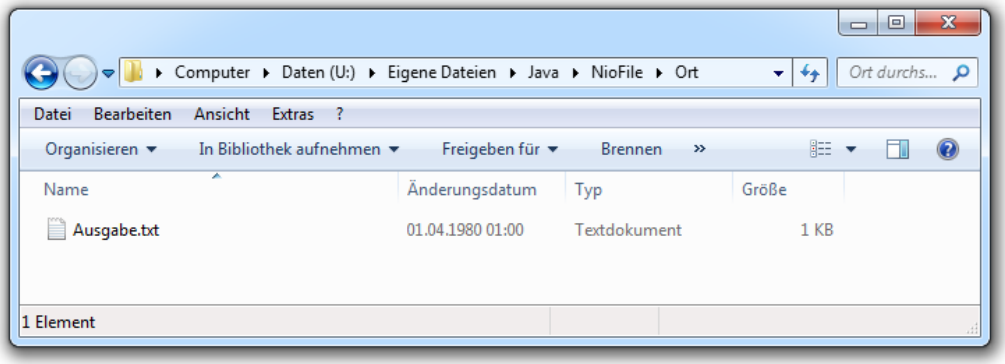
Über die Service-Klasse **Files** lassen sich einige Attribute von Dateien oder Ordnern ändern. Wir beschränken uns auf das Datum der letzten Modifikation:

public static Path setLastModifiedTime(Path *path*, **FileTime ...** *time*)

Zum Erstellen des benötigten **FileTime**-Objekts ist die Methode **fromMillis()** vorhanden. Um deren Parameter über vertraute Zeiteinheiten festlegen zu können, wird im folgenden Vorschlag ein Objekt der Klasse **Calendar** verwendet:

```
Calendar cal = Calendar.getInstance();
cal.set(1980, Calendar.APRIL, 1, 0, 0, 0);
Files.setLastModifiedTime(file, FileTime.fromMillis(cal.getTimeInMillis()));
```

So gelingt der Sprung zurück in die Zeit vor dem ersten IBM-PC:



13.2.1.6 Verzeichniseinträge auflisten

Zu einem Ordner liefert die statische **Files**-Methode **newDirectoryStream()** ein Objekt aus einer Klasse, welche u.a. die Interfaces **AutoClosable** und **Iterable<Path>** beherrscht. Es handelt sich um ein Stromobjekt, das Ressourcen des Dateisystems belegt, so dass ein möglichst frühes Schließen erforderlich ist, was am besten in einer **try**-Anweisung mit automatischer Ressourcen-Freigabe geschieht. Im folgenden Beispiel wird das Stromobjekt in einer **for**-Schleife für Kollektionen dazu verwendet, über die Einträge im Verzeichnis zu iterieren:

```
try (DirectoryStream<Path> stream = Files.newDirectoryStream(dir)) {
   for (Path path: stream)
      System.out.println(path.getFileName());
} catch (Exception e) {
   System.err.println(e);
}
```

13.2.1.7 Kopieren

Zum Kopieren von Dateien wurde in der Zeit vor Java 7 häufig ein Gespann aus einem **FileInputStream** und einem **FileOutputStream** mit Zwischenspeicherung in einem **byte**-Array verwendet (siehe Beispiel in Abschnitt 13.3.1.2). Mit der in drei Überladungen vorhandenen statischen **Files**-Methode **copy()** lässt sich deutlich bequemer eine meist flottere Lösung erstellen, z.B.:

```
import java.io.IOException;
import java.nio.file.*;

class FilesCopy {
 public static void main(String[] args) {
  Path quelle = Paths.get("quelle.dat");
  Path ziel = Paths.get("ziel.dat");
  try {
   long zeit = System.currentTimeMillis();
   System.out.println("Kopieren von "+quelle+" in "+ziel+ " gestartet:");
   Files.copy(quelle, ziel, StandardCopyOption.REPLACE_EXISTING);
   zeit = System.currentTimeMillis() - zeit;
```

```
      System.out.println("\nEs wurden " + Files.size(quelle) + " Bytes kopiert. "+
        "(Benoetigte Zeit: " + zeit + " Millisekunden.)");
    } catch (IOException e) {
      System.err.println(e.getMessage());
    }
  }
}
```

Im Beispiel kommt die folgende **copy()**-Überladung mit **Path**-Parametern für Quelle und Ziel zum Einsatz:

public static Path copy(Path *source***, Path** *target***, CopyOption ...** *options***)**

Der optionale Parameter vom Interface-Typ **CopyOption** akzeptiert eine Serie von Werten, wobei u.a. die folgenden Konstanten der Enumeration **StandardCopyOption** erlaubt sind:

- **REPLACE_EXISTING**
  Bei einer bereits existenten Zieldatei wird das Überschreiben erlaubt. Anderenfalls wird ggf. eine Ausnahme vom Typ **FileAlreadyExistsException** geworfen.
- **COPY_ATTRIBUTES**
  Die Attribute der Quelle sollen auf das Ziel übertragen werden, sofern dies von Betriebs- bzw. Dateisystem unterstützt wird.

13.2.1.8 Umbenennen und Verschieben

Mit der statischen **Files**-Methode **move()** lässt sich ein Dateisystemobjekt umbenennen oder verschieben:

public static Path move(Path *source***, Path** *target***, CopyOption ...** *options***)**

Statt die Methode komplett zu beschreiben, beschränken wir uns auf zwei Beispiele.

Soll eine Datei *umbenannt* werden, gibt man eine Zieldatei im selben Ordner an, wobei das benötigte **Path**-Objekt bequem über die **Path**-Methode **resolveSibling()** zu erstellen ist, z.B.:

```
Files.move(file, file.resolveSibling("Umbenannt.txt"));
```

Auf die Angabe von Optionen wird hier verzichtet, was bei einem Serienparameter (vgl. Abschnitt 4.3.1.3.3) erlaubt ist.

Soll eine Datei *verschoben* werden, gibt man eine Zieldatei in einem anderen Ordner an. Im folgenden Beispiel wird die Quelldatei in das übergeordnete Verzeichnis verschoben und dabei auch noch umbenannt:

```
Files.move(dir.resolve("Umbenannt.txt"), dir.getParent().resolve("Verschoben.txt"));
```

Das **Path**-Objekt zu einem Verzeichnis liefert über die Methode **getParent()** das übergeordnete Verzeichnis.

Im **CopyOption**-Serienparameter sind die beiden folgenden Konstanten der Enumeration **StandardCopyOption** erlaubt:

- **REPLACE_EXISTING**
  Eine am Zielort vorhandene gleichnamige Datei soll überschrieben werden.
- **ATOMIC_MOVE**
  Die Verschiebung wird als *atomare* Operation deklariert, so dass entweder *beide* Teilaufgaben (Anlegen am neuen Ort, Löschen am alten Ort) ausgeführt werden oder gar keine Änderung stattfindet. Ist diese Option gesetzt, werden alle anderen ignoriert, was derzeit nur der der Option **REPLACE_EXISTING** passieren kann. Wenn keine atomare Ausführung möglich ist, wird eine Ausnahme vom Typ **AtomicMoveNotSupportedException** geworfen.

13.2.1.9 Löschen

Mit der statischen **Files**-Methode **delete()** lässt sich ein Dateisystemobjekt löschen:

public static Path move(Path *path***)**

Im folgenden Beispiel werden alle Dateisystemobjekte in einem Ordner über ein Objekt der Klasse **DirectoryStream<Path>** (vgl. Abschnitt 13.2.1.6) aufgesucht und gelöscht:

```
try (DirectoryStream<Path> stream = Files.newDirectoryStream(dir)) {
   for (Path path: stream)
      Files.delete(path);
} catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
}
```

13.2.1.10 Dateien explizit erstellen

Zwar wird z.B. beim Erzeugen eines **FileOutputStream**-Objekts eine verknüpfte Datei bei Bedarf automatisch erstellt, doch ergeben sich auch Anlässe, eine Datei explizit anzulegen, wozu die statische **Files**-Methode **createFile()** bereit steht. Das als Parameter benötigte **Path**-Objekt zur Datei kann aus einem vorhanden **Path**-Objekt zum Verzeichnis und einem Dateinamen über die **Path**-Methode **resolve()** gewinnen:

```
Path name = dname.resolve("Ausgabe.txt");
try {
   Files.createFile(name);
} catch (FileAlreadyExistsException ae) {
   System.err.println(name + " existiert bereits.");
} catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
   System.exit(1);
}
```

13.2.1.11 Weitere Optionen

Soll eine Datei komplett in einen **byte**-Array eingelesen werden, bietet die statische **Files**-Methode **readAllBytes()** eine bequeme Lösung:

public static byte[] readAllBytes(Path *path***)**

Im folgenden Beispiel wird ein Foto aus einer Datei im JPEG-Format in einen **byte**-Array eingelesen:

```
Path imFile = Paths.get("Emma.jpg");
byte[] imBytes = Files.readAllBytes(Paths.get("Emma.jpg"));
```

Nach dem gelungenen oder gescheiterten Lesen wird die Datei automatisch geschlossen. Im Vergleich zu der direkten Verwendung eines **InputStream**-Objekts (siehe unten) bestehen folgende Einschränkungen:

- Die Datei wird stets in einem Rutsch eingelesen.
- Für große Dateien (> 2 GB) ist die Methode ungeeignet, weil sie entsprechend viel Hauptspeicher benötigt.

Aus Zeitgründen können einige attraktive Neuerungen im NIO.2 - API nur erwähnt werden (siehe Kapitel *Basic I/O* im Java-Tutorial, Oracle 2012):

- Rekursives Durchwandern eines Verzeichniszweigs
- Suche nach Dateinamen, die ein Muster erfüllen
- Überwachung eines Dateisystemordners auf Veränderungen

13.2.2 Dateisystemzugriffe über die Klasse File aus dem Paket java.io

Der Umgang mit Dateien und Verzeichnissen (z.B. Erstellen, auf Existenz prüfen, Löschen, Attribute lesen und setzen) wird in Java 6 durch die Klasse **File** aus dem Paket **java.io** unterstützt. Viele Methoden dieser Klasse werden im weiteren Verlauf des aktuellen Abschnitts anhand von Codefragmenten aus einem Beispielprogramm mit dem folgenden Rahmen vorgestellt:

```
import java.io.*;
class FileDemo {
 public static void main(String[] args) {
  byte[] arr = {1, 2, 3};
  . . .
 }
}
```

13.2.2.1 Verzeichnis anlegen

Zunächst legen wir das Verzeichnis

U:\Eigene Dateien\Java\FileDemo\AusDir

an:

```
String dname = "U:/Eigene Dateien/Java/FileDemo/AusDir";
File dir = new File(dname);
if (dir.exists()) {
    if (dir.isDirectory())
      System.out.println("Das Verzeichnis "+dname+" existiert bereits.");
    else {
      System.out.println(dname+" existiert, ist aber kein Verzeichnis.");
} else
 if (dir.mkdirs())
  System.out.println("Verzeichnis "+dname+" erstellt");
 else {
  System.out.println("Verzeichnis "+dname+" konnte nicht erstellt werden.");
  System.exit(1);
 }
```

Im **File**-Konstruktor kann ein absoluter (z.B. **U:/Eigene Dateien/Java/FileDemo/AusDir**) oder ein relativer, vom aktuellen Verzeichnis ausgehender, Pfad (z.B. **AusDir**) angegeben werden.

Weil der Rückwärts-Trennstrich in Java eine Escape-Sequenz einleitet, muss unter Windows zwischen Pfadbestandteilen entweder der gewöhnliche Trennstrich oder ein verdoppelter Rückwärts-Trennstrich gesetzt werden, z.B.:

U:\\Eigene Dateien\\Java\\FileDemo\\AusDir

In der Konstanten **File.pathSeparatorChar** findet sich das für die aktuelle Plattform gültige Trennzeichen zwischen Pfadbestandteilen.

Mit der **File**-Methode **exists()** lässt sich die Existenz eines Ordners oder einer Datei überprüfen. Ihr boolescher Rückgabewert ist genau dann **true**, wenn die Suche erfolgreich war.

Ob es sich bei einem Verzeichniseintrag um ein Unterverzeichnis handelt, stellt man mit der Methode **isDirectory()** fest.

Um ein neues Verzeichnis anzulegen, verwendet man die Methode **mkdir()**. Sollen dabei ggf. auch erforderliche Zwischenstufen automatisch angelegt werden, ist die Methode **mkdirs()** zu verwenden (siehe Beispiel).

13.2.2.2 Dateien explizit erstellen

Zwar wird z.B. beim Erzeugen eines **FileOutputStream**-Objekts eine verknüpfte Datei bei Bedarf automatisch erstellt, doch ergeben sich auch Anlässe, eine Datei explizit anzulegen, wozu die Methode **createNewFile()** der Klasse **File** bereit steht:

```
String name = dname+"/Ausgabe.txt";
File f = new File(name);
if (!f.exists()) {
 try {
  f.createNewFile();
  System.out.println("Datei "+name+" erstellt");
 } catch (Exception e) {
  System.out.println("Fehler beim Erstellen der Datei "+name);
  System.exit(1);
 }
}
```

Das Erzeugen eines **File**-Objekts führt *nicht* zum Erstellen einer Datei mit dem als Konstruktor-Parameter verwendeten Namen. Ebenso wird eine bereits vorhandene Datei *nicht* geöffnet, wenn ihr Name als Aktualparameter in einem **File**-Konstruktor auftritt.

13.2.2.3 Informationen über Dateien und Ordner

Neben **isDirectory()** kennen **File**-Objekte noch weitere Informationsmethoden, z.B.:

- **String getAbsolutePath()**
  Ermittelt den absoluten Pfadnamen
- **long lastModified()**
  Ermittelt den Zeitpunkt der letzten Änderung, gemessen in Millisekunden seit dem 1. Januar 1970 (00:00:00 GMT)
- **long length()**
  Stellt die Größe einer Datei in Bytes fest
- **boolean canWrite()**
  Prüft, ob das Programm schreibend auf eine Datei zugreifen darf
- **long getUsableSpace()**
  Schätzt das in einem Verzeichnis (also in der zugehörigen Partition) durch den aktuellen Anwender (unter Berücksichtigung seiner Schreibrechte) nutzbare Speichervolumen in Bytes

Hier werden die Anfragen an ein **File**-Objekt gerichtet, das eine Datei repräsentiert:

```
System.out.println("\nEigenschaften der Datei "+name);
System.out.println("  Vollst. Pfad:       " + f.getAbsolutePath());
DateFormat df = DateFormat.getInstance();
Date d = new Date(f.lastModified());
String time = df.format(d);
System.out.println("  Letzte Aenderung:   " + time);
System.out.println("  Groesse in Bytes:   " + f.length());
System.out.println("  Schreiben moeglich: " + f.canWrite()+"\n");
```

Ausgabe:

```
Eigenschaften der Datei U:/Eigene Dateien/Java/FileDemo/AusDir/Ausgabe.txt
  Vollst. Pfad:       U:\Eigene Dateien\Java\FileDemo\AusDir\Ausgabe.txt
  Letzte Aenderung:   28.01.10 17:59
  Groesse in Bytes:   3
  Schreiben moeglich: true
```

Für die formatierte Ausgabe der **lastModified()**-Rückgabe sorgen ein **Date**- und ein **DateFormat**-Objekt.

13.2.2.4 Atribute ändern

Man kann etliche Attribute von Dateien oder Ordnern ändern, z.B.:

- **boolean setLastModified(long** *time***)**
  Legt für eine Datei oder einen Ordner den Zeitpunkt der letzten Änderung neu fest
- **boolean setWritable(boolean** *writable***)**
  Setzt oder entfernt den Schreibschutz

Hier werden die Anforderungen an ein **File**-Objekt gerichtet, das eine Datei repräsentiert:

```
Date d = null;
DateFormat df = DateFormat.getInstance();
try {
 d = df.parse("24.01.00 16:15");
} catch (Exception e) {}
f.setLastModified(d.getTime());
f.setWritable(false);
```

13.2.2.5 Verzeichnisinhalte auflisten

Im folgenden Codefragment wird das **File**-Objekt `curDir` mit der Botschaft **listFiles()** beauftragt, für jeden Eintrag im aktuellen Verzeichnis ein Element im **File**-Array `files` anzulegen:

```
File curDir = new File(".");
File[] files = curDir.listFiles();
System.out.println("Dateien im akt. Verzeichnis:");
for (File fi : files)
 System.out.println(" "+fi.getName());
```

Anschließend werden die Datei- oder Verzeichnisnamen mit Hilfe der **File**-Methode **getName()** ausgegeben:

```
Dateien im akt. Verzeichnis:
.classpath
 .project
 .settings
 FileDemo.class
 FileDemo.java
 FileFilter.class
 FileFilter.java
```

Eine alternative **listFiles()**-Überladung liefert eine *gefilterte* Liste mit **File**-Verzeichniseinträgen, z.B.:

```
files = curDir.listFiles(new FileFilter("java"));
System.out.println("\nDateien im akt. Verzeichnis mit Extension .java:");
for (File fi : files)
 System.out.println(" "+fi.getName());
```

Sie benötigt dazu ein Objekt aus einer Klasse, die das Interface **FilenameFilter** implementiert. Im Beispiel wird dazu die Klasse `FileFilter` definiert:

```
import java.io.*;

public class FileFilter implements FilenameFilter {
  private String ext;
```

```
    public FileFilter(String ext_) {ext = ext_;}

    public boolean accept(File dir, String name) {
      return name.toLowerCase().endsWith("."+ext);
    }
  }
```

Um den **FilenameFilter**–Interface-Vertrag zu erfüllen, muss `FileFilter` die Methode **accept()** implementieren. Im Beispiel resultiert folgende Ausgabe:

```
Dateien im akt. Verzeichnis mit Extension .java:
 FileDemo.java
 FileFilter.java
```

13.2.2.6 Umbenennen

Mit der **File**-Methode **renameTo()** lässt sich eine Datei oder ein Verzeichnis umbenennen, wobei als Parameter ein **File**-Objekt mit dem neuen Namen zu übergeben ist:

```
File fn = new File(dname+"/Rausgabe.txt");
if (f.renameTo(fn))
 System.out.println("\nDatei "+f.getName()+" umbenannt in "+fn.getName());
else
 System.out.println("Fehler beim Umbenennen der Datei "+f.getName());
```

Beim Umbenennen wie beim anschließend zu beschreibenden Löschen einer Datei darf diese nicht geöffnet sein.

13.2.2.7 Löschen

Mit der **File**-Methode **delete()** löscht man eine Datei oder einen Ordner, z.B.:

```
if (fn.delete())
 System.out.println("Datei "+fn.getName()+" geloescht");
else {
 System.out.println("Fehler beim Loeschen der Datei "+fn.getName());
 System.exit(1);
}

if (dir.delete())
 System.out.println("Verzeichnis "+dir.getName()+" geloescht");
else {
 System.out.println("Fehler beim Loeschen des Ordners "+dir.getName());
 System.exit(1);
}
```

13.3 Klassen zur Verarbeitung von Bytesströmen

In Java 1.0 stammten *alle* Ein-/Ausgabeklassen von **InputStream** oder **OutputStream** ab. Während sich diese Klassen zur Ein- und Ausgabe von primitiven Datenwerten und Objekten bewährten, machte die Behandlung von Unicode-Zeichen vor allem beim Internationalisieren von Java-Software Probleme. Mit Java 1.1 wurden daher zur Verarbeitung von Textdaten die neuen Basisklassen **Reader** und **Writer** mit ihren Klassenhierarchien eingeführt. Für andere Ein-/Ausgabeprobleme sind aber nach wie vor die von **InputStream** oder **OutputStream** abstammenden Byte-orientierten Klassen adäquat.

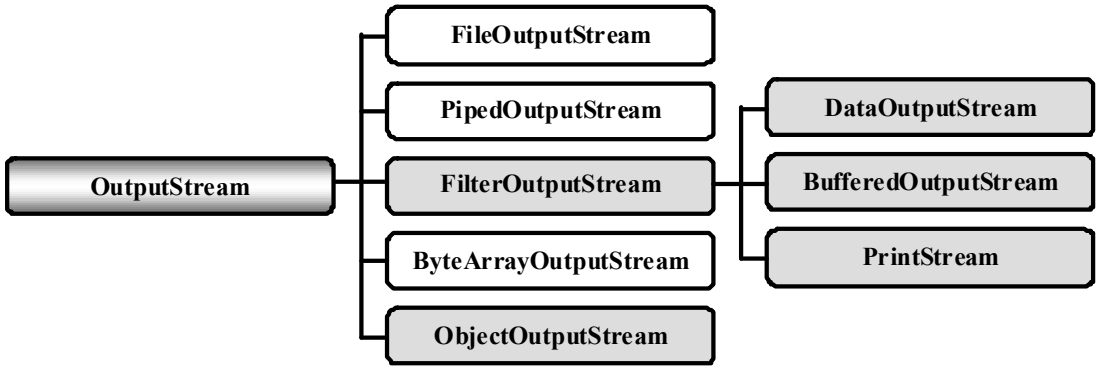
An einigen Stellen haben alte Lösungen zur Zeichenverarbeitung überlebt, z.B. die von **OutputStream** abstammende und bei der Standard(fehler)ausgabe eines Java-Programms beteiligte Klasse **PrintStream**. Sie wird aufgrund ihrer Basisklasse traditionsgemäß als *Bytestrom* bezeichnet, obwohl sie Zeichen ausliefert. Ihr Nachfolger **PrintWriter** arbeitet prinzipiell analog, unterstützt

aber unterschiedliche Zeichenkodierungen, befindet sich in der **Writer**-Klassenhierarchie und wird den Zeichenströmen zugerechnet.

13.3.1 Die OutputStream-Hierarchie

13.3.1.1 Überblick

In der folgenden Abbildung sehen Sie den für uns relevanten Teil der Klassenhierarchie zur Basisklasse **OutputStream**, wobei die Ausgabeklassen (in direktem Kontakt mit Datensenken) mit einem weißen Hintergrund und die Ausgabe*transformations*klassen mit einem grauen Hintergrund dargestellt sind:



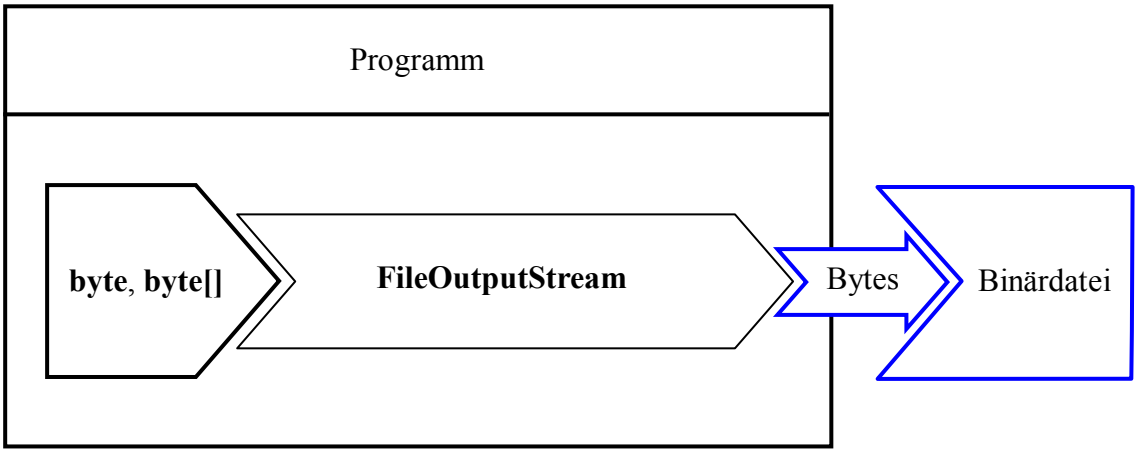
Mit der Transformationsklasse **ObjektOutputStream** können komplette Objekte in einen byteorientierten Ausgabestrom geschrieben werden. Sie wird zusammen mit ihrem Gegenstück **ObjektInputStream** in Abschnitt 13.6 behandelt.

Die folgenden **OutputStream**-Unterklassen werden in diesem Manuskript *nicht* näher beschrieben:

- **PipedOutputStream**
  Objekte dieser Klasse schreiben Bytes in eine Pipe, die zur Kommunikation zwischen Threads dient.
- **ByteArrayOutputStream**
  Objekte dieser Klasse schreiben Bytes in einen **byte**-Array, also in eine programminterne Datensenke.

13.3.1.2 FileOutputStream

Ein **FileOutputStream**-Objekt ist mit einer Datei verbunden, die vom Konstruktor im Schreibmodus geöffnet und nötigenfalls automatisch erstellt wird. Die drei verfügbaren **write()**-Methoden befördern die Inhalte von **byte**–Variablen oder –Arrays in die Ausgabedatei:



Im **FileOutputStream**-Konstruktor wird die anzusprechende Datei über ein **File**-Objekt (siehe Abschnitt 13.2) oder über einen **String** spezifiziert:

- **public FileOutputStream(File** *file*)
- **public FileOutputStream(File** *file*, **boolean** *append*)
- **public FileOutputStream(String** *name*)
- **public FileOutputStream(String** *name*, **boolean** *append*)

Der Konstruktor wirft eine (behandlungspflichtige) Ausnahme vom Typ **FileNotFoundException**, wenn …

- das im ersten Parameter angegebene Dateisystemobjekt ein *Ordner* ist,
- die Ausgabedatei vorhanden ist, aber nicht zum Schreiben geöffnet werden kann,
- das automatische Erstellen der nicht vorhandenen Ausgabedatei misslingt.

Mit dem **append**-Aktualparameterwert **true** sorgt man dafür, dass die Ausgaben bei einer vorhandenen Datei am Ende *angehängt* werden.

Weil **FileOutputStream**-Objekte nur **byte**–Variablen oder –Arrays befördern können, werden sie oft mit Filterobjekten (z.B. aus der Klasse **DataOutputStream**) kombiniert, die reichhaltigere Ausgabemethoden bieten (siehe unten). Im folgenden Beispielprogramm ist diese Einschränkung jedoch irrelevant. Es demonstriert, welchen früher üblichen Aufwand beim Kopieren von Dateien man sich heute durch die Verwendung der **Files**-Methode **copy()** sparen kann (vgl. Abschnitt 13.2.1.7). Während das Programm nicht mehr als Muster für das Kopieren von Dateien taugt, demonstriert es doch die weiterhin relevante Verwendung eines **FileOutputStream**-Objekts zum Schreiben in eine Binärdatei. Außerdem wird auch gleich die Verwendung eines **FileInputStream**-Objekts zum Lesen aus einer Binärdatei vorgeführt (vgl. Abschnitt 13.3.2.2):

```
import java.io.*;

class FileCopy {
 public static void main(String[] args) {
  String quelle = "quelle.dat", ziel = "ziel.dat";
  final int buflen = 1048576; // Ein Megabyte (1024 * 1024 Bytes)
  byte[] buffer = new byte[buflen];
  int nread;
  long zeit, total = 0;
  try (FileInputStream  fis = new FileInputStream(quelle);
       FileOutputStream fos = new FileOutputStream(ziel)) {
   zeit = System.currentTimeMillis();
   System.out.println("Kopieren von "+quelle+" in "+ziel+ " gestartet:");
   while (true) {
    nread = fis.read(buffer, 0, Math.min(buflen, fis.available()));
    if (nread == 0)
     break;
    else {
     fos.write(buffer, 0, nread);
     total += nread;
     System.out.print("*");
    }
   }
   zeit = System.currentTimeMillis() - zeit;
   System.out.println("\nEs wurden "+total+" Bytes kopiert. "+
     "(Benoetigte Zeit: "+zeit+" Millisekunden.)");
  } catch (IOException e) {
   System.err.println(e.getMessage());
  }
 }
}
```

In der zentralen **while**-Schleife wird mit der **FileInputStream**–Methode **read()** aus der Quelldatei jeweils ein Megabyte oder aber die per **available()**-Aufruf ermittelte Restmenge (vgl. Abschnitt 13.3.2.2) gelesen und anschließend von der **FileOutputStream**–Methode **write()** in die Zieldatei befördert. Per Rückgabewert informiert die **FileInputStream**–Methode **read()** darüber, wie viele Bytes tatsächlich gelesen wurden. Nach einem erfolgreichen Programmlauf wird die Transportleistung und die benötigte Zeit protokolliert, z.B.:

```
Kopieren von quelle.dat in ziel.dat gestartet:
**********************************************************************************
**********************************
Es wurden 126619130 Bytes kopiert. (Benoetigte Zeit: 2812 Millisekunden.)
```

Weil sich die **main()**-Methode *nicht* per **throws**-Klausel der Pflicht zur Behandlung von **IOException**-Objekten entzieht, ist ein entsprechender **catch**-Block erforderlich.

13.3.1.3 OutputStream mit Dateianschluss per NIO.2 - API

Von den **FileOutputStream**-Konstruktoren wird für die Verbindung zum Dateisystem das in Abschnitt 13.2.2 beschriebene traditionelle API verwendet. Wer stattdessen die Verbindung zur binären Ausgabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, kann sich von der statischen **Files**-Methode **newOutputStream()** einen **OutputStream** liefern lassen. Man übergibt der Methode ein **Path**-Objekt mit dem Dateibezug und optionale Angaben zum Öffnungsmodus (vgl. Abschnitt 13.2.1.3):

public static OutputStream newOutputStream(Path *path***, OpenOption ...** *options***)**

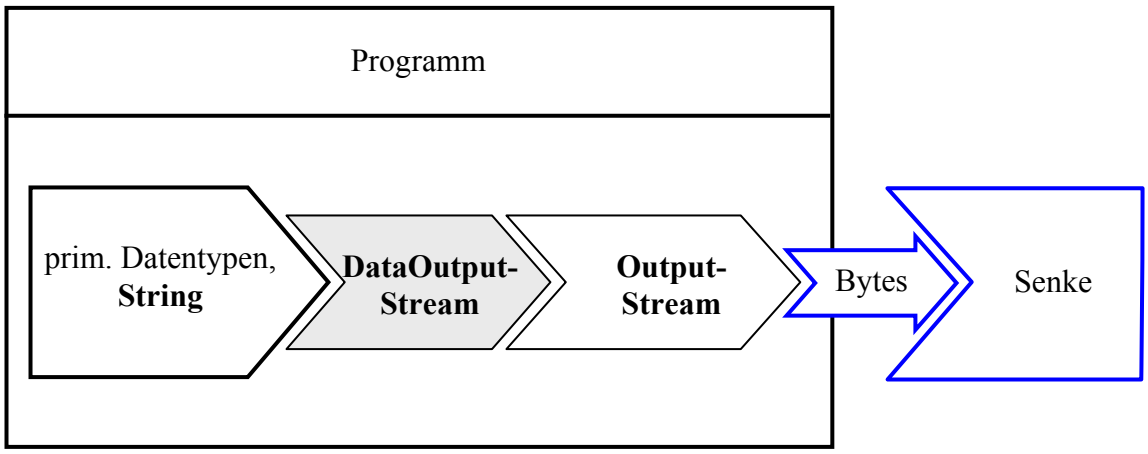
Man erhält ein Ausgabestromobjekt, das im Unterschied zu einem **FileOutputStream** die Nutzung durch mehrere Threads (Ausführungsfäden, siehe unten) erlaubt.

Wird kein **OpenOption** - Parameter angegeben, sind aus der Enumeration **StandardOpenOption** die folgenden Werte in Kraft: **CREATE**, **TRUNCATE_EXISTING** und **WRITE**. Folglich wird eine vorhandene Datei zunächst entleert und eine fehlende Datei erstellt.

Ein Einsatzbeispiel für die Methode **newOutputStream()** war schon in Abschnitt 13.1.2 zu sehen.

13.3.1.4 DataOutputStream

Mit einem Objekt aus der Transformationsklasse **DataOutputStream** lassen sich die Werte primitiver Datentypen sowie **String**-Objekte über einen **OutputStream** in eine Datensenke befördern:



Ein **DataOutputStream** beherrscht diverse Methoden zum Schreiben primitiver Datenwerte (**writeInt()**, **writeDouble()**). Mit **writeUTF()** steht auch eine Methode zur Ausgabe von Zeichen bereit, wobei eine *modifizierte* Variante der UTF-8 - Kodierung (vgl. Abschnitt 13.4.1.2) zum Einsatz kommt. Diese Methode ist angemessen, sofern die resultierenden Zeichen später mit der **Da-**

taInputStream-Methode **readUTF()** wieder eingelesen werden sollen (vgl. Abschnitt 13.3.2.4). Für universell verwendbare Textdateien ist die Klasse **OutputStreamWriter** mit einstellbarer und normkonformer Kodierung weit besser geeignet.

Im folgenden Beispielprogramm wird ein **DataOutputStream** vor einen **OutputStream** geschaltet und dann beauftragt, Daten vom Typ **int**, **double** und **String** zu schreiben. Das **InputStream**-Objekt wird von der statischen **Files**-Methode **newOutputStream()** geliefert, die als Parameter ein **Path**-Objekt erhält, das eine Datei bezeichnet:

```
import java.io.*;
import java.nio.file.*;

class DataOutputStreamDemo {
 public static void main(String[] egal) {
  Path file = Paths.get("demo.dat");

  try (DataOutputStream dos = new DataOutputStream(Files.newOutputStream(file))) {
   dos.writeInt(4711);
   dos.writeDouble(Math.PI);
   dos.writeUTF("DataOutputStream-Demo");
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }

  try (DataInputStream dis = new DataInputStream(Files.newInputStream(file))) {
   System.out.println("readInt()-Ergebnis:\t"+dis.readInt()+
            "\nreadDouble()-Ergebnis:\t"+dis.readDouble()+
            "\nreadUTF()-Ergebnis:\t"+dis.readUTF());
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }
 }
}
```

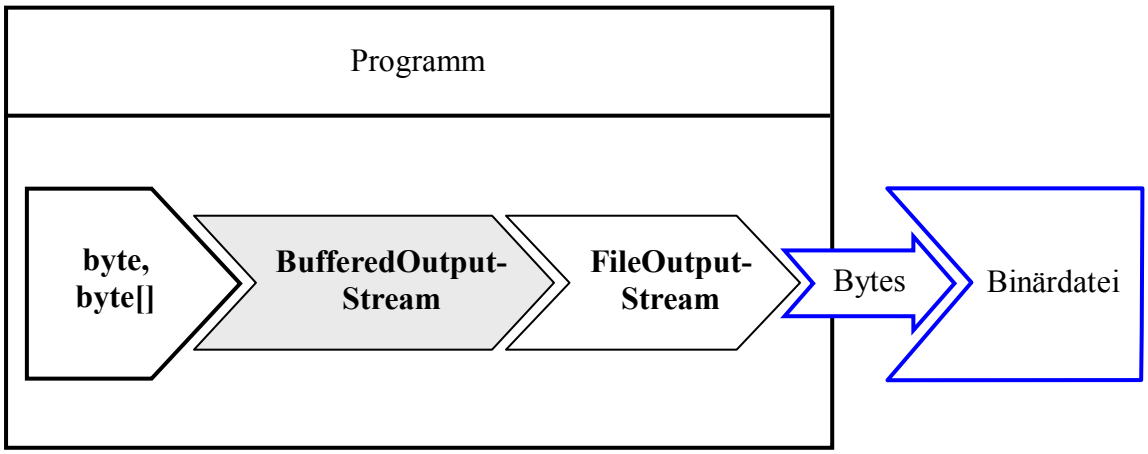
Ein **DataInputStream** holt in Kooperation mit einem **InputStream** die Werte zurück (vgl. Abschnitt 13.3.2):

```
readInt()-Ergebnis:     4711
readDouble()-Ergebnis:  3.141592653589793
readUTF()-Ergebnis:     DataOutputStream-Demo
```

13.3.1.5 BufferedOutputStream

Zur Beschleunigung von Ein- oder Ausgaben setzt man oft Transformationsklassen ein, die durch das Zwischenspeichern von Daten die Anzahl der (oft langsamen) Zugriffe auf Datenquellen oder –senken reduzieren. Diese Transformationsklassen kooperieren mit Ein- bzw. Ausgabeklassen, die in direktem Kontakt mit einer Datenquelle oder –senke stehen.

Ein **BufferedOutputStream**–Objekt nimmt Bytes entgegen und leitet diese in geeigneten Portionen an einen **OutputStream** weiter (z.B. an einen **FileOutputStream**):



Im **BufferedOutputStream**–Konstruktor ist obligatorisch ein **OutputStream**-Objekt zu übergeben (vgl. Abschnitt 13.1.4). Optional kann die voreingestellte Puffergröße von 512 Bytes geändert werden:

- **public BufferedOutputStream(OutputStream** *out*)
- **public BufferedOutputStream(OutputStream** *out*, **int** *size*)

Das folgende Beispielprogramm schreibt in 500.000 **write()**-Aufrufen jeweils ein einzelnes Byte in eine Datei, zunächst ungepuffert, dann unter Verwendung eines **BufferedOutputStream**-Objekts:

```
import java.io.*;

class BufferedOutputStreamFile {
 final static long ANZAHL = 500_000;
 public static void main(String[] args) {
  long time;

  try (FileOutputStream fos = new FileOutputStream("Buffer.dat")) {
   time = System.currentTimeMillis();
   for (int i = 1; i <= ANZAHL; i++)
    fos.write(0);
   System.out.println("Zeit fuer die ungepufferte Ausgabe: " +
      (System.currentTimeMillis() - time));
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }

  try (BufferedOutputStream bos = new BufferedOutputStream(new
FileOutputStream("Buffer.dat"), 8192)) {
   time = System.currentTimeMillis();
   for (int i = 1; i <= ANZAHL; i++)
    bos.write(i);
   System.out.println("Zeit fuer die gepufferte Ausgabe:   " +
      (System.currentTimeMillis() - time));
  } catch (IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }
 }
}
```

Durch den Einsatz des **BufferedOutputStream**-Objekts (mit einer Puffergröße von 8192 Bytes) kann der Zeitaufwand beim Schreiben erheblich reduziert werden. Schon beim Schreiben auf eine lokale Festplatte treten erhebliche Unterscheide auf (Angaben in Millisekunden):

```
Zeit fuer die ungepufferte Ausgabe: 1047
Zeit fuer die gepufferte Ausgabe:   31
```

Wegen des erheblichen Performanzvorteils sollte also ein Ausgabepuffer eingesetzt werden, wenn zahlreiche Schreibvorgänge mit jeweils kleinem Volumen stattfinden. Das `FileCopy`-Beispielprogramm in Abschnitt 13.3.1.2 wird hingegen *nicht* profitieren, weil das dortige **FileOutputStream**-Objekt nur sehr große Datenblöcke zur Ausgabe erhält.

Ein **BufferedOutputStream** muss unbedingt vor seinem Ableben (z.B. am Ende des Programms) per **flush()** entleert werden, weil sonst die zwischengelagerten Daten verfallen. Das Entleeren kann auch über die Methode **close()** geschehen, die **flush()** aufruft und anschließend den zugrunde liegenden **OutputStream** schließt, wie ein Blick in den Quellcode der **BufferedOutputStream**–Basisklasse **FilterOutputStream** zeigt:[84]

```
public void close() throws IOException {
 try {
   flush();
 } catch (IOException ignored) {
 }
 out.close();
}
```

Im Unterschied zu **FileOutputStream** überschreiben weder **FilterOutputStream** noch **BufferedOutputStream** die von **Object** geerbte **finalize()**-Methode, so dass beim Terminieren eines **BufferedOutputStream**-Objekts per Garbage Collector *kein* **close()**- und insbesondere *kein* **flush()**-Aufruf erfolgt. Auf die **finalize()**-Methode sollte man sich allerdings generell *nicht* verlassen, weil ihr Aufruf nicht garantiert ist (vgl. Abschnitt 13.1.5).

13.3.1.6 PrintStream

Die Transformationsklasse **PrintStream** dient dazu, Werte beliebigen Typs in einer für Menschen lesbaren Form auszugeben, z.B. auf der Konsole. Während ein **DataOutputStream** dazu dient, Variablen beliebigen Typs in eine *Binärdatei* zu schreiben, eignet sich ein **PrintStream** zur Ausgabe solcher Daten in eine *Textdatei*. Nach Abschnitt 13.1.3 sind bei der Zeichenstromverarbeitung die Klassen aus der später ins Java-API aufgenommenen **Writer**-Hierarchie zu bevorzugen. Diese haben bei der *Textausgabe* (Datentypen **String**, **char**) den Vorteil, dass für die Umsetzung des Java-internen Unicodes in die bevorzugte Textkodierung der Ausgabe ein Kodierungsschema gewählt werden kann (siehe Abschnitt 13.4.1.2). Allerdings ist die Klasse **PrintStream** trotzdem *nicht* überflüssig, weil z.B. der per **System.out** ansprechbare Standardausgabestrom ein **PrintStream**-Objekt ist. Dies gilt auch für den Standard*fehler*ausgabestrom, der über die Klassenvariable **System.err** ansprechbar ist.[85] Das Kodierungsproblem bei der Textausgabe per **PrintStream**-Objekt kennen Sie bereits aus den vergeblichen Versuchen, unter Windows Umlaute auf die Konsole zu schreiben. Wir kommen am Ende dieses Abschnitts noch einmal darauf zurück.

Ein **PrintStream**-Objekt kann mit Hilfe seiner vielfach überladenen Methoden **print()** und **println()** Werte mit beliebigem Datentyp ausgeben, z.B.:

---

[84] Sie finden diese Methodendefinition in der Datei **FilterOutputStream.java**, die wiederum im Archiv **src.zip** mit den API-Quelltexten steckt. Das Quelltextarchiv kann bei der JDK-Installation auf die Festplatte befördert werden.

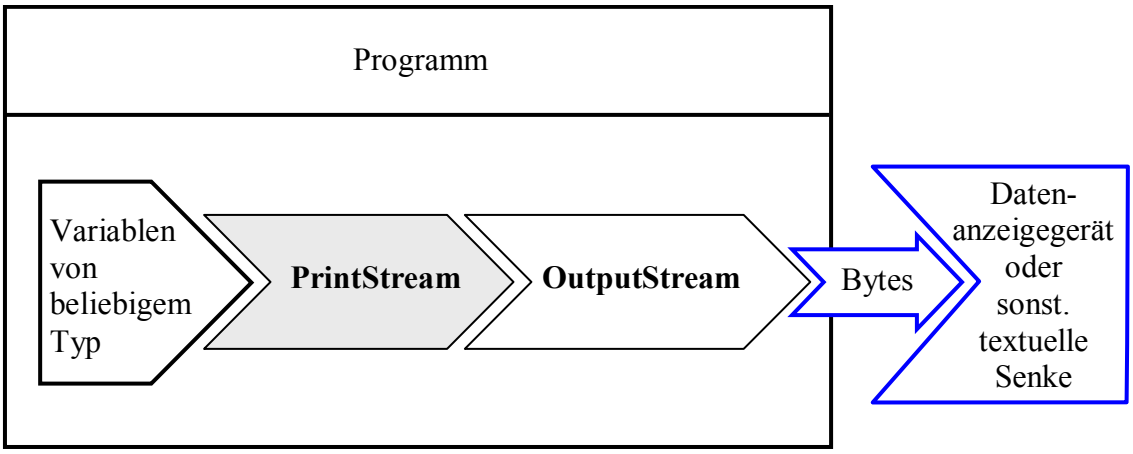
[85] Wird z.B. ein Ausnahmeobjekt über die Methode **printStackTrace()** beauftragt, die Aufrufsequenz auszugeben, dann landet diese im Fehlerausgabestrom.

Quellcode	Ausgabe
`class PrintStreamConsole {` `  public static void main(String[] args) {` `  PrintStreamConsole wob = new PrintStreamConsole();` `  System.out.println("Ein PrintStream kann Variablen\n"` `  +"bel. Typs verarbeiten.\n"` `  +"Z.B. die double-Zahl\n"+"  "+Math.PI` `  +"\noder auch das Objekt\n"+"  "+wob);` `  }` `}`	`Ein PrintStream kann Variablen` `bel. Typs verarbeiten.` `Z.B. die double-Zahl` `  3.141592653589793` `oder auch das Objekt` `  PrintStreamDemo@16f0472`

Seit Java 5.0 (alias 1.5) ist auch die sehr leistungsfähige **PrintStream**-Methode **printf()** zur formatierten Ausgabe verfügbar, die schon in Abschnitt 3.2.2 dargestellt wurde.

Im Unterschied zu anderen **OutputStream**-Unterklassen werfen die **PrintStream**-Methoden *keine* **IOException**. Stattdessen setzen sie ein Fehlersignal, das mit **checkError**() abgefragt werden kann. Es wäre in der Tat recht umständlich, jeden Aufruf der Methode **System.out.println()** in einen überwachten **try**-Block zu setzen.

Generell kann man die **PrintStream**-Arbeitsweise folgendermaßen darstellen, wobei an Stelle der abstrakten Klasse **OutputStream** eine konkrete Unterklasse stehen muss:



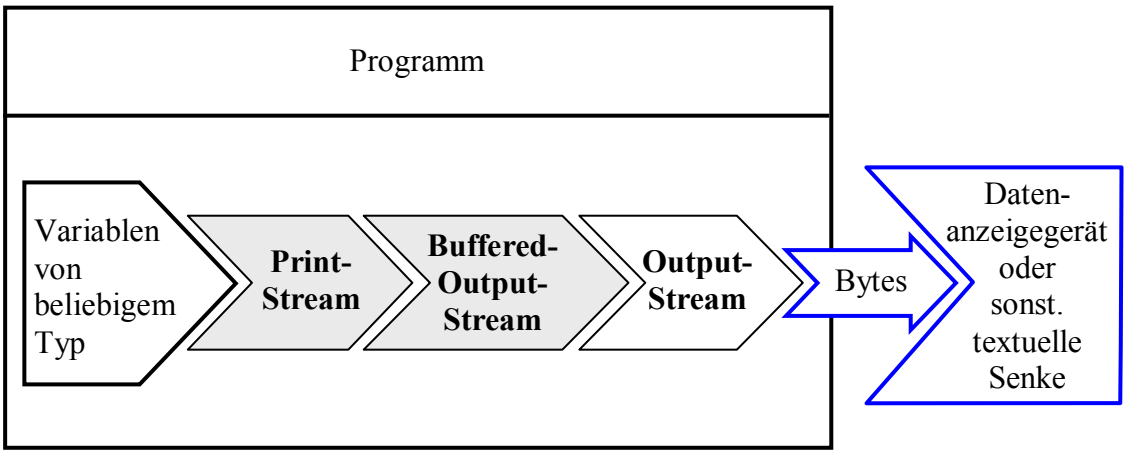
Im nächsten Beispiel ist zu sehen, wie mit Hilfe der Transformationsklasse **PrintStream** Werte primitiver Datentypen in eine *Textdatei* geschrieben werden (über einen **FileOutputStream**):

```
FileOutputStream fos = new FileOutputStream("ps.txt");
PrintStream ps = new PrintStream(fos);
ps.println(64798 + "  " + Math.PI);
```

In der Ausgabedatei **ps.txt** landen die Zeichenkettenrepräsentationen des **int**- und des **double**-Werts:

```
64798  3.141592653589793
```

Wenn ein **PrintStream**-Objekt zwecks Geschwindigkeitsoptimierung in einen **BufferedOutputStream** schreibt, sind zwei Transformationsobjekte nacheinander geschaltet:



In dieser Situation müssen Sie unbedingt dafür sorgen, dass vor dem Terminieren eines **PrintStream**-Objekts der Puffer geleert wird. Dazu stehen mehrere Möglichkeiten bereit:

- Aufruf der **PrintStream**-Methode **flush()**
  Dieser Aufruf wird an den angekoppelten **BufferedOutputStream** durchgereicht, wo die Pufferung stattfindet. Per **flush()**-Aufruf kann man jederzeit dafür sorgen, dass die Senke durch Entleeren des Zwischenspeichers auf den aktuellen Stand gebracht wird.
- Aufruf der **PrintStream**-Methode **close()**
  Dabei wird auch die **close()**-Methode des angekoppelten **BufferedOutputStream**-Objekts aufgerufen, die wiederum einen **flush()**-Aufruf enthält (siehe Abschnitt 13.3.1.5).
- Impliziter Aufruf der **PrintStream**-Methode **close()** durch Verwendung einer **try**-Anwendung mit automatischer Ressourcen-Freigabe
- **PrintStream**-Konstruktor mit **autoFlush**-Parameter wählen und diesen auf **true** setzen
  Damit wird der Puffer in folgenden Situationen automatisch geleert:
  - nach dem Schreiben eines **byte**-Arrays
  - nach Ausgabe eines Newline-Zeichens (\n)
  - nach Ausführen einer **println()**-Methode

Weil die Klasse **PrintStream** die von **java.lang.Object** geerbte **finalize()**-Methode *nicht* überschreibt, findet bei der Beseitigung eines **PrintStream**-Objekts per Garbage Collector kein **close()**- oder **flush()**-Aufruf und damit keine Pufferentleerung statt.

Ein gutes Beispiel für die Kombination aus einem **PrintStream** und einem **BufferedOutputStream** ist der per **System.out** ansprechbare Standardausgabestrom, der analog zu folgendem Codefragment initialisiert wird:

```
FileOutputStream fdout =
    new FileOutputStream(FileDescriptor.out);
BufferedOutputStream bos =
    new BufferedOutputStream(fdout, 128);
PrintStream ps =
    new PrintStream(bos, true);
System.setOut(ps);
```

Mit der statischen Variablen **out** der Klasse **FileDescriptor** wird der Bezug zur Konsole hergestellt. Im **PrintStream**-Konstruktor wird für den **autoFlush**-Parameter der Wert **true** verwendet. Über die **System**-Methode **setOut()** kann ein selbst entworfener Strom als Standardausgabe in Betrieb genommen werden.

Bei der Ausgabe von *Textdaten* übersetzen **PrintStream**-Objekte den Java-internen Unicode unter Verwendung der plattformspezifischen Standardkodierung in Bytes. Unter Windows arbeitet die JVM mit der ANSI-Kodierung. Allerdings verwendet Windows diesen Zeichensatz nur bei GUI-Anwendungen, während im Konsolenfenster eine 8-Bit-ASCII-Erweiterung zum Einsatz kommt.

Welche Konsequenzen sich daraus ergeben, zeigt die unglückliche Ausgabe von Umlauten im Konsolenfenster unter Windows, z.B.:[86]

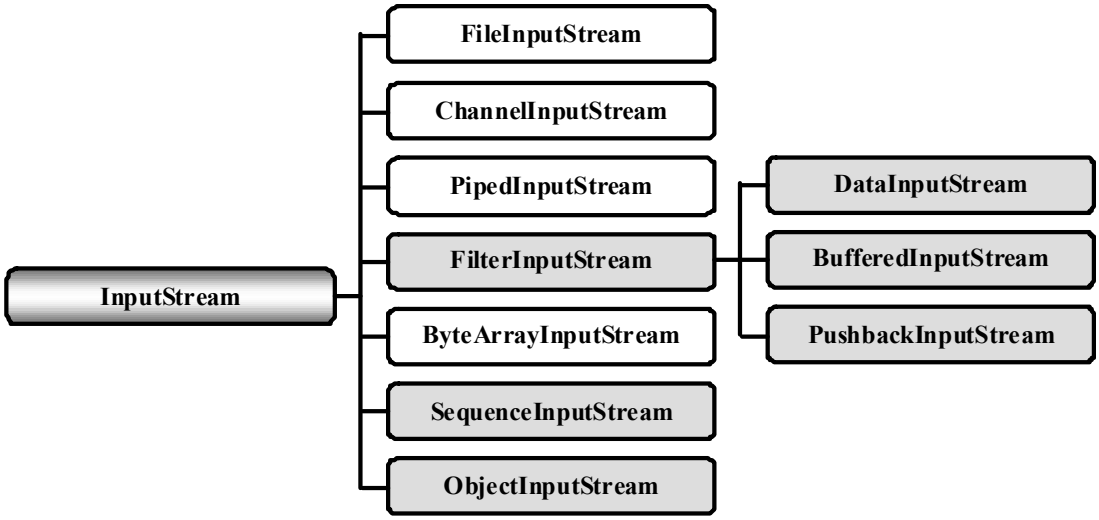
Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("Ganz schön übel!");` `  }` `}`	`Ganz sch÷n ³bel!`

Bei der Textausgabe ist in der Regel die modernere und flexiblere Klasse **PrintWriter** zu bevorzugen (siehe Abschnitt 13.4.1). Mit ihrer Hilfe werden wir in Abschnitt 13.4.1.6 das Umlautproblem in der Java-Konsole unter Windows lösen. Vermutlich werden also der per **System.out** ansprechbare Standardausgabestrom und der per **System.err** ansprechbare Standardfehlerausgabestrom die einzigen **PrintStream**-Objekte in Ihren Java-Programmen bleiben.

13.3.2 Die InputStream-Hierarchie

13.3.2.1 Überblick

Um Ihnen das Blättern zu ersparen, wird die schon in Abschnitt 13.1.3 gezeigte Abbildung zur **InputStream**-Hierarchie wiederholt (Eingabeklassen mit weißem Hintergrund und Eingabe*transformations*klassen mit grauem Hintergrund):



Mit der Transformationsklasse **ObjectInputStream** werden wir uns in Abschnitt 13.6 näher beschäftigen. Sie ermöglicht das Einlesen kompletter Objekte aus einem Bytestrom.

Die folgenden Klassen können nur kurz vorgestellt werden:

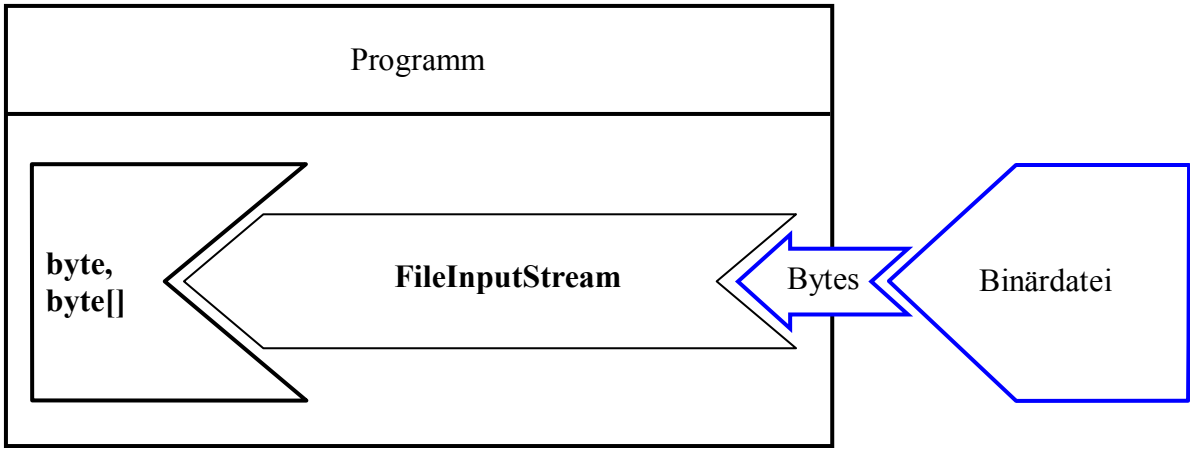
- **PipedInputStream**
  Objekte dieser Eingabeklasse lesen Bytes aus einer Pipe, die zur Kommunikation zwischen Threads dient.
- **ByteArrayInputStream**
  Objekte dieser Eingabeklasse lesen Bytes aus einem **byte**-Array.

[86] Auf der Eclipse-Konsole erscheint die erwünschte Ausgabe, beim normalen Start via **java**-Werkzeug jedoch nicht.

- **BufferedInputStream**
  Analog zum **BufferedOutputStream** (siehe Abschnitt 13.3.1) realisiert diese Eingabetransformationsklasse einen Zwischenspeicher, um das Lesen aus einem Eingabestrom zu beschleunigen.
- **PushbackInputStream**
  Diese Transformationsklasse bietet Methoden, um aus einem Eingabestrom entnommene Bytes wieder zurück zu stellen.
- **SequenceInputStream**
  Mit Hilfe dieser Transformationsklasse kann man mehrere Objekte aus **InputStream**-Unterklassen hintereinander koppeln und als einen einzigen Strom behandeln. Ist das Ende eines Eingabestroms erreicht, wird er geschlossen, und der nächste Strom in der Sequenz wird geöffnet.

13.3.2.2 FileInputStream

Mit einem **FileInputStream** kann man Bytes aus einer Datei lesen:



Ein Beispielprogramm mit **FileInputStream**-Beteiligung war schon im Abschnitt 13.3.1.2 (über den **FileOutputStream)** zu sehen.

Im **FileInputStream**-Konstruktor kann die anzusprechende Datei über ein **File**-Objekt (siehe Abschnitt 13.2.2) oder über einen **String** spezifiziert werden:

- **public FileInputStream(File** *file*)
- **public FileInputStream(String** *name***)**

Scheitert das Öffnen der Datei, werfen die Konstruktoren eine Ausnahme vom Typ **FileNotFoundException**.

Eine Auswahl der **FileInputStream**-Methoden:

- **int read()**
  Als Rückgabewert (vom Typ **int**!) erhält man das nächste Byte (mögliche Werte von 0 bis 255) oder den Wert -1, falls das Dateiende erreicht ist.
- **int read(byte[] b)**
  Diese Methode überträgt maximal **b.length** Bytes aus der Eingabedatei in den per Parameter angegebenen Array. Als Rückgabewert erhält man die Anzahl der gelesenen Bytes oder -1, falls das Ende des Eingabestroms erreicht ist.
- **int available()**
  Laut API-Dokumentation schätzt **available()**, wie viele Bytes eine Methode aus dem Strom lesen kann, ohne auf Daten warten zu müssen.

Im folgenden Codefragment kommen die drei beschriebenen Methoden zum Einsatz:

```
try (FileInputStream fis = new FileInputStream(name)) {
   int anfang, gelesen;
   byte[] rest = new byte[10];
   System.out.println("Verfuegbar: "+fis.available());
   anfang = fis.read();
   System.out.println("Verfuegbar: "+fis.available());
   gelesen = fis.read(rest);
   System.out.println("Gelesen:    "+fis.read(rest));
      System.out.print(anfang);
      for (int i = 0; i < gelesen; i++)
         System.out.print(rest[i]);
   } catch (IOException ioe) {
      System.err.println(ioe);
   }
}
```

13.3.2.3 InputStream mit Dateianschluss per NIO.2 - API

Von den **FileInputStream**-Konstruktoren wird für die Verbindung zum Dateisystem das in Abschnitt 13.2.2 beschriebene traditionelle API verwendet. Wer stattdessen die Verbindung zur binären Ausgabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, kann sich von der statischen **Files**-Methode **newInputStream()** einen **InputStream** liefern lassen. Man übergibt der Methode ein **Path**-Objekt mit dem Dateibezug und optionale Angaben zum Öffnungsmodus (vgl. Abschnitt 13.2.1.3):

public static InputStream newInputStream(Path *path*, **OpenOption ...** *options*)

Man erhält ein Eingabestromobjekt, das im Unterschied zu einem **FileInputStream** die Nutzung durch mehrere Threads (Ausführungsfäden, siehe unten) erlaubt.

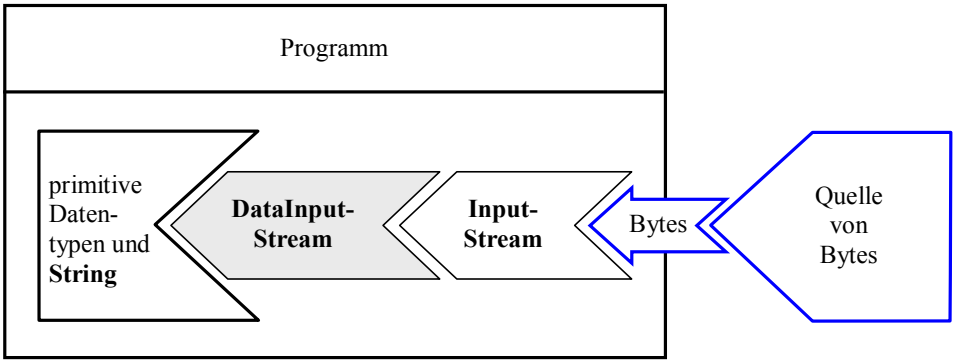
Über die Methode **getClass()** befragt, nennt das Rückgabeobjekt als seinen Typ die von **InputStream** abstammende Klasse `ChannelInputStream` im Paket `sun.nio.ch`.

Wird kein **OpenOption** - Parameter angegeben, ist der Enumerationswert **StandardOpenOption.READ** in Kraft

Ein Einsatzbeispiel für die Methode **newInputStream()** war schon in Abschnitt 13.1.2 zu sehen.

13.3.2.4 DataInputStream

Die Transformationsklasse **DataInputStream** liest primitive Datentypen sowie **String**-Objekte aus einem Bytestrom und ist uns zusammen mit ihrem Gegenstück **DataOutputStream** schon in Abschnitt 13.3.1.3 begegnet.



Im **DataInputStream**-Konstruktor ist der zugrunde liegende Eingabestrom anzugeben:

public DataInputStream(**InputStream** *in*)

Erläuterungen zu den diversen Lesemethoden (z.B. **readInt()**, **readDouble()**) finden Sie in der API-Dokumentation. Mit **readUTF()** steht auch eine Methode zum Lesen von Zeichen bereit, wobei eine *modifizierte* Variante der UTF-8 - Kodierung (vgl. Abschnitt 13.4.1.2) vorausgesetzt wird. Diese Methode ist angemessen, sofern die Zeichen mit der **DataOutputStream**-Methode **writeUTF()** geschrieben worden sind (vgl. Abschnitt 13.3.1.3). Für Textdateien mit einer anderen Kodierung ist die Klasse **InputStreamReader** mit einstellbarer und normkonformer Kodierung weit besser geeignet.

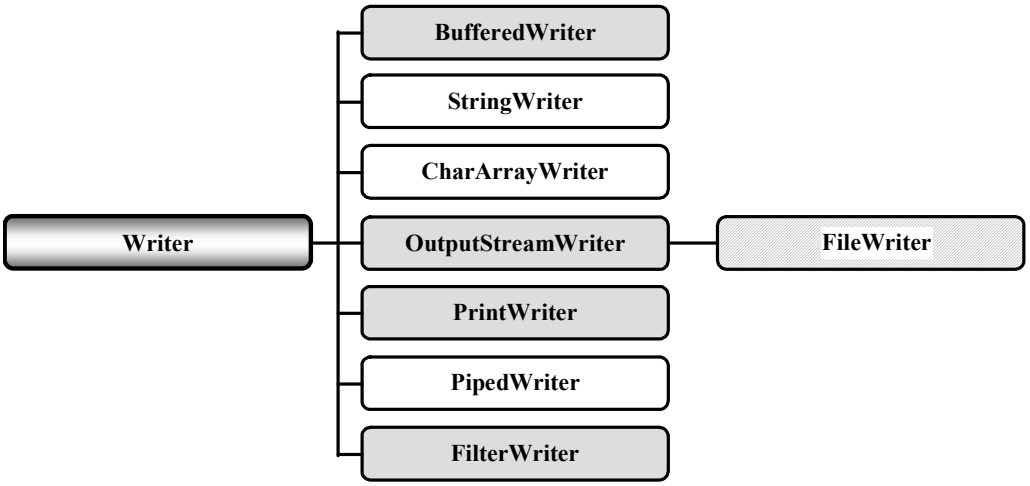
13.4 Klassen zur Verarbeitung von Zeichenströmen

In diesem Abschnitt werden die mit Java 1.1 eingeführten Klassen zur Verarbeitung von Zeichenströmen behandelt, die von den beiden abstrakten Basisklassen **Writer** bzw. **Reader** abstammen. Sie sind bei der Verarbeitung von Textdaten in der Regel gegenüber den älteren Bytestromklassen (vor allem wegen der unproblematischen Internationalisierung) zu bevorzugen.

13.4.1 Die Writer-Hierarchie

13.4.1.1 Überblick

In der folgenden Darstellung der **Writer**-Hierarchie sind Ausgabeklassen (in direktem Kontakt mit einer Senke) mit weißem Hintergrund dargestellt, Ausgabe*transformations*klassen mit grauem Hintergrund:



Weil die Klasse **FileWriter** eine später noch zu besprechende Besonderheit aufweist, ist sie mit schraffiertem Hintergrund dargestellt.

Bei den folgenden **Writer**-Subklassen beschränken wir uns auf kurze Hinweise:

- **StringWriter** und **CharArrayWriter**
  StringWriter schreiben in einen dynamisch wachsenden **StringBuffer** (siehe Abschnitt 5.2.2). Im folgenden Beispiel werden die auszugebenden Zeichen von einem **PrintWriter** geliefert:

Quellcode	Ausgabe
`import java.io.*;` `class StringWriterDemo {` `  public static void main(String[] args) {` `  StringWriter sw = new StringWriter();` `  PrintWriter pw = new PrintWriter(sw);` `  for (int i = 1; i <= 5; i++)` `  pw.println("Zeile " + i);` `  System.out.println(sw.toString());` `  }` `}`	`Zeile 1` `Zeile 2` `Zeile 3` `Zeile 4` `Zeile 5`

CharArrayWriter-Objekte verhalten sich im Wesentlichen genauso.

- **PipedWriter**
  Diese Klasse ist das zeichenorientierte Analogon zu Klasse **PipedOutputStream**.
- **FilterWriter**
  Diese abstrakte Basisklasse bietet sich dazu an, eigene Transformationsklassen für zeichenorientierte Ausgabeströme abzuleiten.

13.4.1.2 Brückenklasse OutputStreamWriter

Die Klasse **OutputStreamWriter** überträgt die von Java intern verwendeten Unicode-Zeichen in einen Byte-Strom, wobei unterschiedliche Kodierungsschemas (engl. *encodings*) zum Einsatz kommen können. Weil ein **OutputStreamWriter** einen Zeichenstrom in einen Bytestrom überführt, spricht die API-Dokumentation hier von einer **Brückenklasse**.

Die folgenden Kodierungsschemas (bezeichnet nach den Vorschriften der IANA (***I**nternet **A**ssigned **N**umbers **A**uthority*)) werden von allen Java-Implementationen unterstützt:

<table>
<tr><th>IANA-Bezeichnung</th><th>Beschreibung</th></tr>
<tr><td>US-ASCII</td><td>7-bit-ASCII-Code
Bei den Unicode-Zeichen \u0000 bis \u007F wird das niederwertige Byte ausgegeben, ansonsten ein Fragezeichen (0x3F).</td></tr>
<tr><td>ISO-8859-1</td><td>Erweiterter ASCII-Code (ISO Latin-1)
Bei den Unicode-Zeichen \u0000 bis \u00FF wird das niederwertige Byte ausgegeben, ansonsten ein Fragezeichen (0x3F).</td></tr>
<tr><td>UTF-8</td><td>Bei diesem Schema werden die Unicode-Zeichen durch eine variable Anzahl von Bytes kodiert. So können alle Unicode-Zeichen ausgegeben werden, ohne die platzverschwenderische Anhäufung von Null-Bytes bei den ASCII-Zeichen in Kauf nehmen zu müssen:
<table>
<tr><th colspan="2">Unicode-Zeichen</th><th rowspan="2">Anzahl Bytes</th></tr>
<tr><th>von</th><th>bis</th></tr>
<tr><td>\u0000</td><td>\u007F</td><td>1</td></tr>
<tr><td>\u0080</td><td>\u07FF</td><td>2</td></tr>
<tr><td>\u0800</td><td>\uFFFF</td><td>3</td></tr>
</table>
Bei den ersten 128 Unicode-Zeichen liefern die Kodierungen US-ASCII, ISO-8850-1 und UTF-8 identische Ergebnisse.</td></tr>
<tr><td>UTF-16BE</td><td>Für alle Unicode-Zeichen werden 16 Bit in Big-Endian - Reihenfolge ausgegeben: Das höherwertige Byte zuerst.
In Java ist diese Reihenfolge generell voreingestellt (auch bei anderen Datentypen).
Beim großen griechischen Delta (\u0394) wird ausgegeben: 03 94</td></tr>
</table>

IANA-Bezeichnung	Beschreibung
UTF-16LE	Für alle Unicode-Zeichen werden 16 Bit in *Little-Endian* - Reihenfolge ausgegeben: Das niederwertige Byte zuerst. Bei großen griechischen Delta (\u0394) wird ausgegeben: 94 03

Unter Windows verwendet Java folgendes Kodierungsschema:

IANA-Bezeichnung	Beschreibung
Cp1252	Windows Latin-1 (ANSI) Im Unterschied zu ISO-8859-1 werden die Codes von 0x80 bis 0x9F (in ISO-8859-1 reserviert für Steuerzeichen) mit „höheren“ Unicode-Zeichen belegt. Z.B. wird das Eurozeichen (Unicode: \u20AC) auf den Code 0x80 abgebildet.

Auf der Webseite

http://docs.oracle.com/javase/1.5.0/docs/guide/intl/encoding.doc.html

werden weitere ab Java 5.0 (alias 1.5) unterstützte Kodierungsschemas aufgelistet.

Bei folgenden Überladungen des **OutputStreamWriter**-Konstruktor kann das gewünschte Kodierungsschema über seinen IANA-Namen oder über ein **Charset**-Objekt angegeben werden:

- **public OutputStreamWriter(OutputStream** *out***, String** *charsetName*)
- **public OutputStreamWriter(OutputStream** *out***, Charset** ***cs***)

Statt die in drei Überladungen verfügbare **OutputStreamWriter**-Methode **write()** direkt zu verwenden, um ein einzelnes Zeichen, ein **String**- oder ein **char**-Array - Segment auszugeben, setzt man in der Regel vor den **OutputStreamWriter** einen **PrintWriter**, der bequemere Methoden bietet (siehe Abschnitt 13.4.1.4).

Im folgenden Programm werden die oben beschriebenen Kodierungsschemas nacheinander dazu verwendet, um einen kurzen Text mit dem Umlaut „ä“ (\u00E4) in eine Datei zu schreiben.

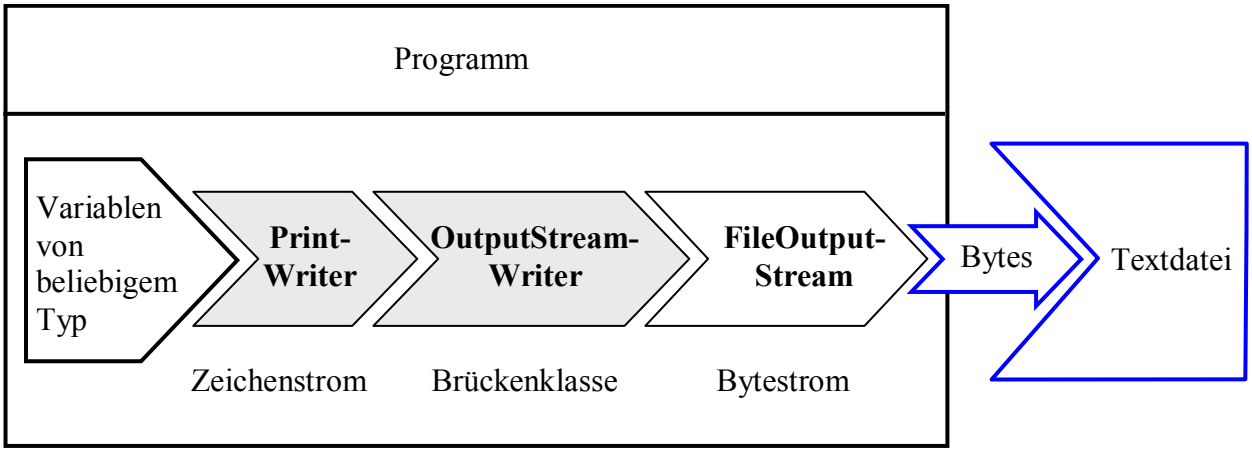
```
import java.io.*;

class OutputStreamWriterDemo {
 public static void main(String[] args) throws IOException {
  String[] encodings = {"US-ASCII", "ISO-8859-1", "Cp1252", "UTF-8",
                        "UTF-16BE", "UTF-16LE"};
  FileOutputStream fos = null;
  OutputStreamWriter osw;
  PrintWriter pw = null;
  try {
   fos = new FileOutputStream("test.txt");
   for (int i = 0; i < 6; i++) {
       osw = new OutputStreamWriter(fos, encodings[i]);
    pw = new PrintWriter(osw, true); // 2. Parameter: autoFlush
    pw.println(encodings[i] + " ae = ä");
   }
  } finally {
   if (pw != null)
    pw.close();
  }
 }
}
```

Für das Unicode-Zeichen \u00E4 wird jeweils ausgegeben:

Kodierungsschema	Byte(s) in der Ausgabe
US-ASCII	3F
ISO-8859-1	E4
Cp1252	E4
UTF-8	C3 A4
UTF-16BE	00 E4
UTF-16LE	E4 00

Das Beispielprogramm arbeitet mit folgender Datenstrom-Architektur:



OutputStreamWriter (und damit auch die Ableitung **FileWriter**, siehe Abschnitt 13.4.1.5) sammeln die per Unicode-Wandlung entstandenen Bytes zunächst in einem internen Puffer (Größe: 8192 Bytes), den ein Objekt der Klasse **StreamEncoder** aus dem Paket **sun.nio.cs** verwaltet. Daher muss auf jeden Fall vor dem Ableben eines **OutputStreamWriter**-Objekts (z.B. beim Programmende) der Puffer geleert werden. Dazu stehen mehrere Möglichkeiten bereit:

- Aufruf der Methode **flush()**
  Dieser Aufruf wird an den eingebauten **StreamEncoder** durchgereicht.
- Aufruf der Methode **close()**
  Sie sorgt dafür, dass der Puffer des eingebauten **StreamEncoder**s vor dem Schließen geleert wird.
- Impliziter Aufruf der Methode **close()** durch Verwendung einer **try**-Anwendung mit automatischer Ressourcen-Freigabe
- **Autoflush** eines vorgeschalteten **PrintWriter**s (siehe Abschnitt 13.4.1.4) per Konstruktor-Parameter aktivieren
  Dann wird der Puffer bei jedem Aufruf der **PrintWriter**-Methoden **println()**, **printf()** oder **format()** entleert.

Weil die Klassen **OutputStreamWriter** und **FileWriter** die von **java.lang.Object** geerbte **finalize()**-Methode *nicht* überschreiben, findet bei der Beseitigung eines Objekts aus diesen Klassen per Garbage Collector kein **close()**- bzw. **flush()**-Aufruf und keine Pufferentleerung statt.

13.4.1.3 BufferedWriter

Am Ende von Abschnitt 13.4.1.2 über die Klasse **OutputStreamWriter** wurde die implizite Speicherung von Bytes beschrieben, die aus der Wandlung von Unicode-Zeichen entstehen. Für die *explizite* Pufferung von *Zeichen* steht in der **Writer**-Hierarchie die Transformationsklasse **BufferedWriter** mit den folgenden Konstruktor-Überladungen zur Verfügung:

- **public BufferedWriter(Writer** *out***)**
- **public BufferedWriter(Writer** *out***, int** *bufferSize***)**

In der zweiten Überladung kann die voreingestellte Puffergröße von 8192 Zeichen verändert werden.

Abweichend vom Aufbau der **OutputStream**-Hierarchie ist **BufferedWriter** übrigens *nicht* von **FilterWriter** abgeleitet.

Vom folgenden Programm werden mit Hilfe eines **PrintWriter**s und eines **FileWriter**s (siehe Abschnitt 13.4.1.5) zweimal jeweils 5.000.000 Zeilen in eine Textdatei geschrieben, zunächst ohne und dann mit zwischengeschaltetem **BufferedWriter**. Weil die erste Ausgabe unabhängig von der verwendeten Technik stets länger dauert, findet zunächst ein „Warmlaufen“ statt:

```
import java.io.*;

class BufferedWriterDemo {
 public static void main(String[] args) throws IOException {
  final long anzahl = 5_000_000;

  try (PrintWriter pw = new PrintWriter(new FileWriter("test1.txt"))) {
   long time = System.currentTimeMillis();
   for (int i = 1; i <= anzahl; i++)
    pw.println("Zeile " + i);
   System.out.println("Benoetigte Zeit beim Warmlaufen:            "
     +(System.currentTimeMillis()-time));
  }

  try (PrintWriter pw = new PrintWriter(new FileWriter("test2.txt"))) {
   long time = System.currentTimeMillis();
   for (int i = 1; i <= anzahl; i++)
    pw.println("Zeile " + i);
   System.out.println("Benoetigte Zeit ohne BufferedWriter:        "
     +(System.currentTimeMillis()-time));
  }

  try (PrintWriter pw = new PrintWriter(
                        new BufferedWriter(new FileWriter("test3.txt")))) {
   long time = System.currentTimeMillis();
   for (int i = 1; i <= anzahl; i++)
    pw.println("Zeile " + i);
   System.out.println("Benoetigte Zeit mit BufferedWriter:         "
     +(System.currentTimeMillis()-time));
  }
 }
}
```

Dass der Gewinn durch den **BufferedWriter**-Einsatz recht bescheiden ausfällt, liegt vielleicht an der eingangs erwähnten impliziten Byte-Pufferung durch den **FileWriter**:

```
Benoetigte Zeit beim Warmlaufen:            1514
Benoetigte Zeit ohne BufferedWriter:        1344
Benoetigte Zeit mit BufferedWriter:         1093
```

Wer beim gepufferten Schreiben von Zeichen die Verbindung zur Textdatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, kann sich von der statischen **Files**-Methode **newBufferedWriter()** einen **BufferedWriter** liefern lassen. Neben dem **Path**- ist ein **Charset**-Objekt anzugeben, das für die Kodierung zuständig ist. Außerdem stehen die in Abschnitt 13.2.1.3 beschriebenen Optionen zum Öffnen der Datei zur Verfügung:

public static BufferedWriter newBufferedWriter(Path *path*, **Charset** *cs*,
OpenOption ... *options*)

Wird kein **OpenOption** - Parameter angegeben, sind aus der Enumeration **StandardOpenOption** die folgenden Werte in Kraft: **CREATE**, **TRUNCATE_EXISTING** und **WRITE**. Folglich wird eine vorhandene Datei zunächst entleert und eine fehlende Datei erstellt.

Bei der Schreibgeschwindigkeit zeigten sich mit einer Variante des obigen Testprogramms keine Unterschiede zu dem per Konstruktor erstellten **BufferedWriter**.

13.4.1.4 PrintWriter

Die schon mehrfach im Vorgriff benutzte Transformationsklasse **PrintWriter** wird nun endlich offiziell vorgestellt. Sie besitzt diverse **print()**- bzw. **println()**-Überladungen, um Variablen beliebigen Typs in Textform auszugeben (z.B. in eine Datei oder auf die Konsole). Sie wurde mit Java 1.1 als Nachfolger bzw. Ergänzung der älteren Klasse **PrintStream** eingeführt, die aber zumindest im Standardausgabestrom **System.out** und im Standardfehlerausgabestrom **System.err** weiter lebt (vgl. Abschnitt 13.3.1.6). Seit der Java-Version 5.0 (alias 1.5) beherrschen **PrintWriter**-Objekte auch die weitgehend funktionsgleichen Methoden **printf()** und **format()** zur formatierten Ausgabe. Elementare Formatierungsoptionen wurde schon in Abschnitt 3.2.2 erläutert.

Bei Problemen mit dem Ausgabestrom oder mit der Formatierung werfen die **PrintWriter**-Methoden *keine* **IOException**, sondern setzen ein Fehlersignal, das mit der Methode **checkError**() abgefragt werden kann.

Wie die folgende Auswahl der **PrintWriter**-Konstruktoren zeigt, dürfen die angekoppelten Datenstromobjekte von den Basisklassen **OutputStream** oder **Writer** abstammen:

- **public PrintWriter(OutputStream** *out***)**
- **public PrintWriter(OutputStream** *out***, boolean** *autoFlush***)**
- **public PrintWriter(Writer** *out***)**
- **public PrintWriter(Writer** *out***, boolean** *autoFlush***)**

Wird ein **PrintWriter** auf einen Ausgabestrom aus der **OutputStream**-Hierarchie gesetzt, dann kommt automatisch ein übersetzender **OutputStreamWriter** mit dem voreingestellten Kodierungsschema (und ein **BufferedWriter**) zum Einsatz (siehe Abschnitt 13.4.1.2).

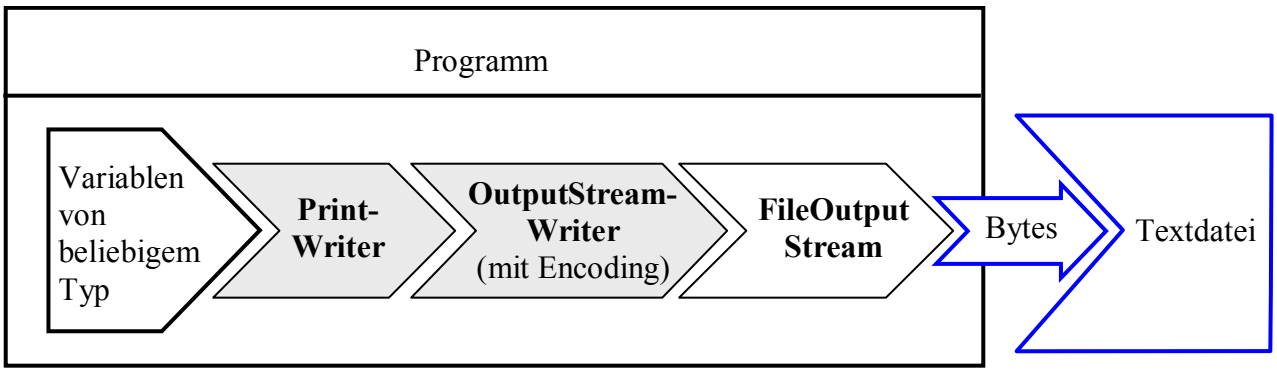
Letztlich übergibt ein **PrintWriter** alle Ausgabedaten als Unicode-Zeichen an einen **OutputStreamWriter**, der die Zeichen in Abhängigkeit von einem Kodierungsschema in Byte-Sequenzen übersetzt. Diese Bytes werden auf dem Weg zur Datensenke zwischengespeichert (vgl. Abschnitt 13.4.1.2). Erhält der **autoFlush**-Parameter eines **PrintWriter**-Konstruktors den Wert **true**, dann wird der Puffer bei jedem Aufruf der **PrintWriter**-Methoden **println()**, **printf()** oder **format()** entleert.[87] Dies ist bei einer *interaktiven* Anwendung unbedingt erforderlich, sollte aber bei einer Dateiausgabe aus Performanzgründen vermieden werden.

Gibt man im **PrintWriter**-Konstruktor explizit einen **OutputStreamWriter** an, kann man die Kontrolle über das Kodierungsschema übernehmen. Diese Möglichkeit stellt den entscheidenden Vorteil der Klasse **PrintWriter** gegenüber dem Vorgänger **PrintStream** dar (vgl. Abschnitt 13.4.1.2). Bei der Ausgabe von numerischen Daten in eine Textdatei spielt die Wahlfreiheit beim Kodierungsschema natürlich keine Rolle. Insgesamt ist die Klasse **PrintWriter** bei der Ausgabe in Textdateien zu bevorzugen, weil sich damit alle Aufgaben bewältigen lassen.

Mit der folgenden Ausgabestromkonstruktion wird die Flexibilität der **Writer**-Subklassen bei der Ausgabe in eine Textdatei ausgeschöpft:

---

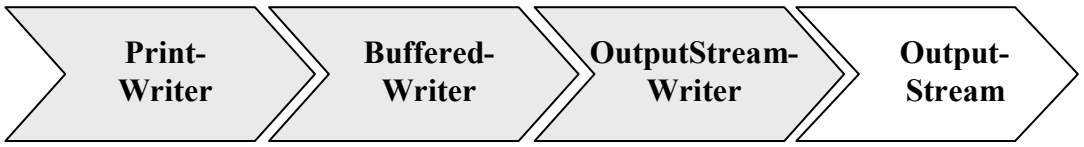
[87] Bei der Klasse **PrintStream** (siehe Abschnitt 13.3.1.6) bewirkt der **autoFlush**-Wert **true** eine automatische Pufferentleerung nach dem Schreiben eines **byte**-Arrays oder Newline-Zeichens (\n) sowie nach der Ausführen einer **println()**-Überladung.



Wird beim Erstellen eines **PrintWriter**s dem Konstruktor ein **OutputStream**-Abkömmling als Aktualparameter übergeben, dann nimmt der Konstruktor insgeheim einen **BufferedWriter**, der Zeichen zwischenspeichert (siehe Abschnitt 13.4.1.3), und einen **OutputStreamWriter**, der Bytes zwischenspeichert (siehe Abschnitt 13.4.1.2), in Betrieb:[88]

```
public PrintWriter(OutputStream out, boolean autoFlush) {
 this(new BufferedWriter(new OutputStreamWriter(out)), autoFlush);
 .  .  .
}
```

Damit arbeitet insgesamt folgendes Gespann:



Vor dem Terminieren eines **PrintWriter**-Objekts müssen die Zwischenspeicher unbedingt entleert werden, z.B. per **close()**-Aufruf in einer **finally**-Klausel:

```
import java.io.*;

class PrintWriterFile {
 public static void main(String[] egal) throws IOException {
  PrintWriter pw = null;
  try {
   FileOutputStream fos = new FileOutputStream("pw.txt");
   pw = new PrintWriter(fos);
   for (int i = 1; i <= 3000; i++) {
    pw.println(i);
   }
  } finally {
   if (pw != null)
    pw.close();
  }
 }
}
```

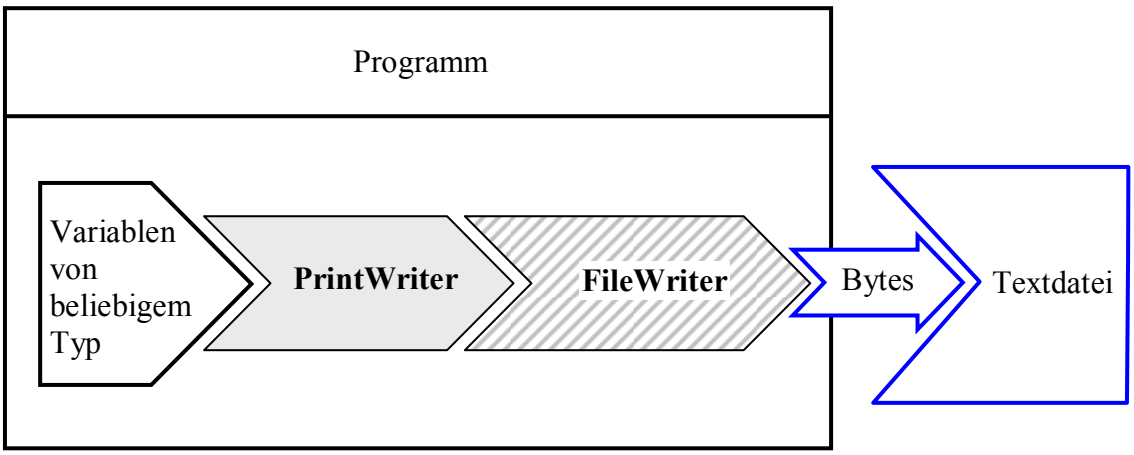
Ohne **close**()-Aufruf fehlen in der Ausgabe des Beispielprogramms ca. 1500 Zeilen.

Abweichend vom Aufbau der **OutputStream**-Hierarchie ist **PrintWriter** übrigens *nicht* von **FilterWriter** abgeleitet.

[88] Sie finden diese Definition in der Datei **PrintWriter.java**, die wiederum im Archiv **src.zip** mit den API-Quelltexten steckt. Das Quelltextarchiv kann bei der JDK-Installation auf die Festplatte befördert werden.

13.4.1.5 FileWriter

Die von **OutputStreamWriter** abgeleitete Klasse **FileWriter** wird oft an einen **PrintWriter** zur bequemen Ausgabe in eine Textdatei angehängt, wenn das voreingestellte Kodierungsschema (unter Windows: *Cp1252* alias *Windows Latin 1*) akzeptabel ist:



Im Wesentlichen sollte sich dieses Gespann genauso verhalten wie die Kombination aus einem **PrintStream** und einem **FileOutputStream**, die ebenfalls mit dem voreingestellten Kodierungsschema arbeitet.

In obiger Darstellung der **Writer**-Hierarchie (siehe Abschnitt 13.4.1.1) erhielt die Klasse **FileWriter** einen schraffierten Hintergrund, denn ihre Objekte …

- stehen (über ein Instanzobjekt aus der Klasse **FileOutputStream**) mit einer Datei in Kontakt, so dass sie als Ausgabestrom arbeiten können,
- transformieren den eingehenden Zeichenstrom in einen Bytestrom, so dass sie als Filterobjekte bezeichnet werden können.

Wichtiger als die akademische Bemerkung zur korrekten Klassifikation der Klasse **FileWriter** sind ihre bequemen Konstruktoren. Die per **String**- oder **File**-Objekt bestimmte Datei wird zum Schreiben geöffnet, wobei der optionale zweite Parameter darüber entscheidet, ob ein vorhandener Dateianfang erhalten bleibt:

- **public FileWriter(File** *file***)**
- **public FileWriter(File** *file***, boolean** *append***)**
- **public FileWriter(String** *fileName***)**
- **public FileWriter(String** *fileName***, boolean** *append***)**

Ist das voreingestellte Kodierungsschema ungeeignet, muss man auf die **FileWriter**-Bequemlichkeit verzichten, einen **OutputStreamWriter** mit passendem Kodierungsschema erstellen und einen **FileOutputStream** dahinter schalten (siehe Abschnitt 13.4.1.2).

13.4.1.6 Umlaute in Java-Konsolenanwendungen unter Windows

Mit Hilfe der Brückenklasse **OutputStreamWriter** lässt sich endlich der Schönheitsfehler bei der Ausgabe von Umlauten in Java-Konsolenausgaben unter Windows lösen:

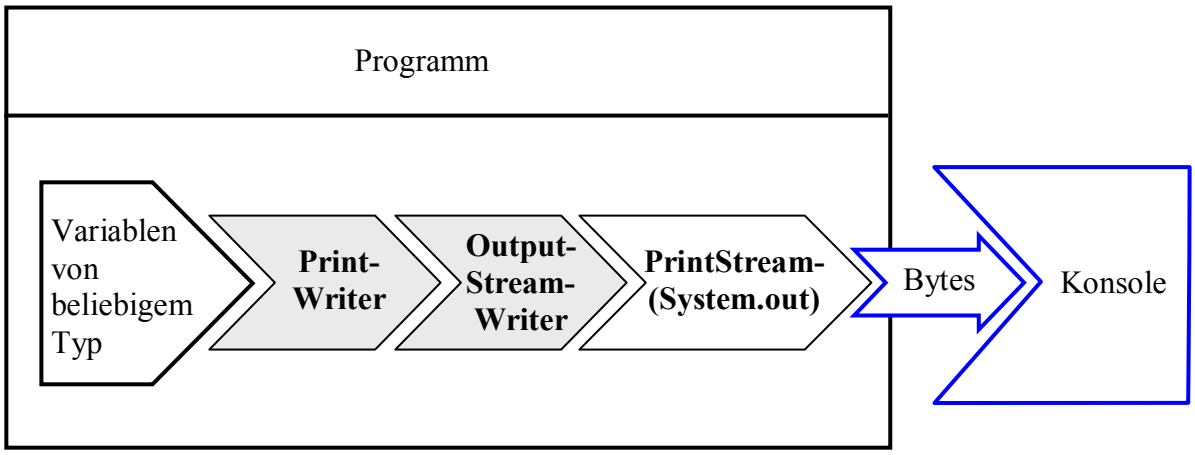
- Windows arbeitet in Konsolenfenstern mit einer 8-Bit-Variante des ASCII-Zeichensatzes („IBM-ASCII“), in GUI-Anwendungen hingegen mit dem ANSI-Zeichensatz.
- Die JVM arbeitet unter Windows grundsätzlich mit dem ANSI-Zeichensatz (genauer: mit dem Kodierungsschema *Cp1252* alias *Windows Latin 1*, siehe Abschnitt 13.4.1.2). Infolgedessen werden Umlaute in Java-Konsolenanwendungen unter Windows falsch dargestellt.

Ein **OutputStreamWriter** mit dem Kodierungsschema *Cp850* (IBM-ASCII) ermöglicht die korrekte Darstellung der Umlaute:[89]

Quellcode	Ausgabe
`import java.io.*;` `class Cp850 {` `  public static void main(String[] ars) throws IOException {` `  OutputStreamWriter osw = null;` `  if (System.getProperty("file.encoding").equals("Cp1252"))` `  osw = new OutputStreamWriter(System.out, "Cp850");` `  else` `  osw = new OutputStreamWriter(System.out);` `  PrintWriter pw = new PrintWriter(osw, true);` `  pw.println("Der Ärger war nicht nötig.");` `  }` `}`	`Der Ärger war nicht nötig.`

Er erhält über die statische Variable **System.out** als Ausgabestrom ein **PrintStream**-Objekt, das mit der Konsole verbunden ist. Um die Plattformunabhängigkeit des Programms nicht einzuschränken, wird das spezielle Kodierungsschema nur dann verwendet, wenn der **System**-Methodenaufruf **getProperty("file.encoding")** *Cp1252* als Standardkodierungsschema zurückmeldet.

Es liegt in jedem Fall die folgende Datenstrom-Architektur vor:



Die Darstellung ist leicht vereinfacht, denn zwischen dem **PrintStream**-Filterobjekt und der Konsole agieren noch (vgl. Abschnitt 13.3.1.6):

- ein **BufferedOutputStream**
- ein **FileOutputStream**

13.4.2 Die Reader-Hierarchie

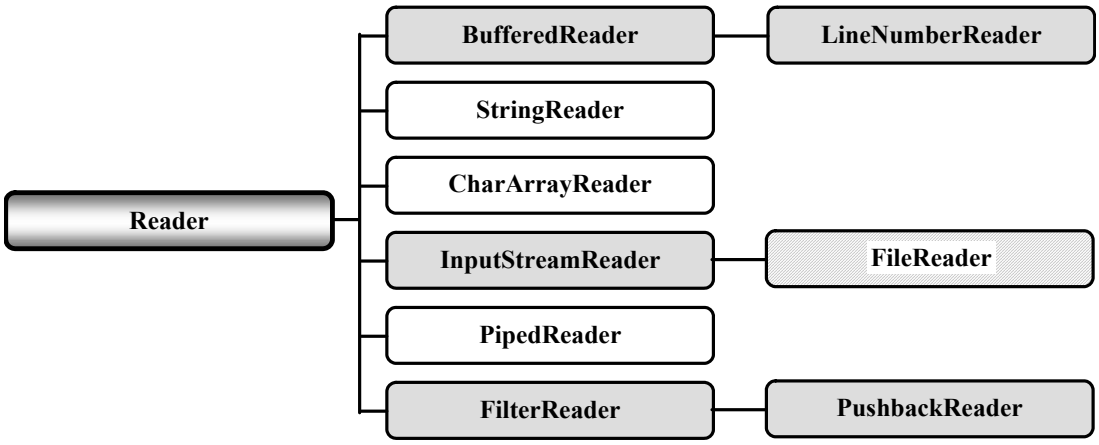
In der **Reader**–Hierarchie finden sich diverse Klassen zur Verarbeitung von zeichenorientierten *Eingabe*strömen.

13.4.2.1 Überblick

In der folgenden Abbildung sind Eingabeklassen (in direktem Kontakt mit einer Datenquelle) mit weißem Hintergrund dargestellt, Eingabe*transformations*klassen mit grauem Hintergrund. Weil die Klasse **FileReader** mit einer Datei verbunden ist *und* eine Filterfunktion besitzt, ist sie mit schraffiertem Hintergrund gezeichnet.

---

[89] Weil die Entwicklungsumgebung Eclipse 3.x bei der Konsolenausgabe eine automatische Kodierungsanpassung vornimmt, führt nun eine doppelte Korrektur zur fehlerhaften Ausgabe von Umlauten.



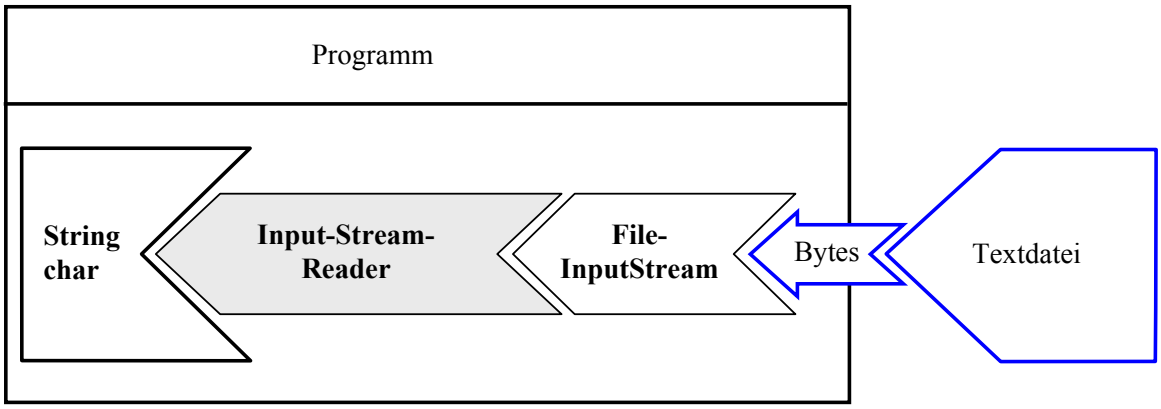
Bei den meisten **Reader**-Unterklassen beschränken wir uns auf kurze Hinweise:

- **LineNumberReader**
  Dieser gepufferte Zeicheneingabestrom erweitert seine Basisklasse um Methoden zur Verwaltung von Zeilennummern.
- **StringReader** und **CharArrayReader**
  StringReader bzw. **CharArrayReader** lesen aus einem **String** bzw. **char**-Array.
- **PipedReader**
  Objekte dieser Klasse lesen Zeichen aus einer Pipe, die zur Kommunikation zwischen Threads dient.
- **FilterReader**
  Diese abstrakte Basisklasse bietet sich dazu an, eigene Transformationsklassen für zeichenbasierte Eingabeströme abzuleiten.
- **PushbackReader**
  Diese Klasse bietet Methoden, um die aus einem Eingabestrom entnommenen Zeichen wieder zurück zu stellen.

Wer eine Möglichkeit zum komfortablen Einlesen von *numerischen* Daten aus Textdateien sucht, sollte sich in Abschnitt 13.5 die (unmittelbar aus **java.lang.Object** abgeleitete) Klasse **Scanner** ansehen.

13.4.2.2 Brückenklasse InputStreamReader

Die Brückenklasse **InputStreamReader** ist das Gegenstück zur Klasse **OutputStreamReader**, wandelt also Bytes unter Verwendung eines einstellbaren Kodierungsschemas (vgl. Abschnitt 13.4.1.2) in Unicode-Zeichen:



Wie beim **OutputStreamReader** findet zur Beschleunigung der Konvertierung automatisch eine Pufferung des Byte-Stroms statt.

13.4.2.3 FileReader und BufferedReader

Die Klasse **FileReader** ist das Gegenstück zur Klasse **FileWriter**. Sie erhielt in obiger Darstellung der **Reader**-Hierarchie einen schraffierten Hintergrund, denn ihre Objekte …

- stehen (über ein Instanzobjekt aus der Klasse **FileInputStream**) mit einer Datei in Kontakt, so dass sie als Eingabestrom arbeiten können,
- transformieren (als **InputStreamReader**-Abkömmlinge) den eingehenden Byte-Strom in einen Zeichenstrom, so dass sie als Filterobjekte bezeichnet werden können.

Bei der Wandlung von Bytes in Unicode-Zeichen kommt das voreingestellte Kodierungsschema der Plattform zum Einsatz (bei Windows: *Cp1252* alias *Windows Latin 1*). Wer ein alternatives Kodierungsschema benötigt, muss auf die **FileReader**-Bequemlichkeit verzichten, einen **InputStreamReader** mit passendem Kodierungsschema erstellen und mit einem **InputStream** kombinieren.

In der Regel setzt man vor den **FileReader** noch einen **BufferedReader**, der für eine Beschleunigung sorgt und außerdem die bei Dateien mit Zeilenstruktur sehr nützliche Methode **readLine()** zum Einlesen einer kompletten Zeile bietet, z.B.:

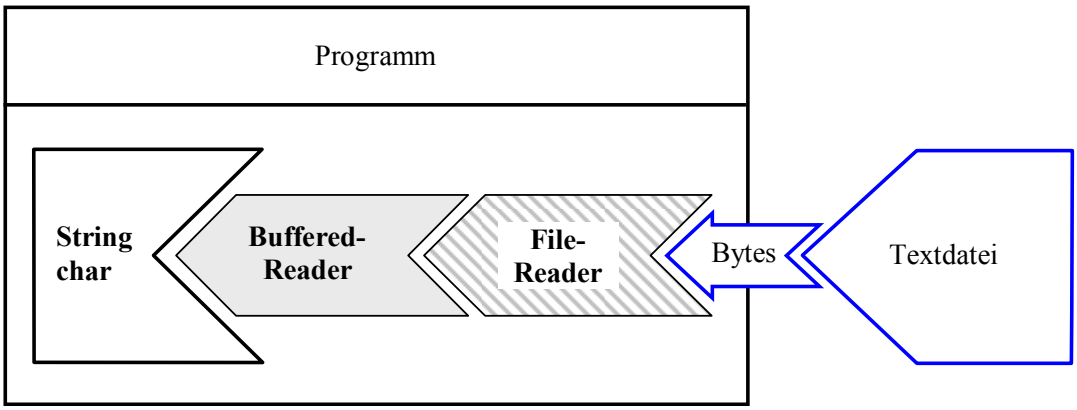
Quellcode	Ausgabe

```
import java.io.*;
import java.util.*;

class FileReaderDemo {
 public static void main(String[] args) throws IOException {
  ArrayList<String> als = new ArrayList<String>();
  try (BufferedReader br =
       new BufferedReader(new FileReader("fr.txt"))) {
   String line;
   while (true) {
    line = br.readLine();
    if (line != null)
     als.add(line);
    else
     break;
   }
   System.out.println(als.get(als.size()-1));
  }
 }
}
```

```
Zeile 100
```

Das Beispielprogramm arbeitet mit folgender Datenstrom-Architektur:



Die bei einem **BufferedReader** voreingestellte Puffergröße von 8192 Zeichen lässt sich per Konstruktor ändern.

Wer beim gepufferten Lesen von Zeichen die Verbindung zur Textdatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, kann sich von der statischen **Files**-Methode **newBufferedReader()** einen **BufferedReader** liefern lassen. Neben dem **Path**- ist ein **Charset**-Objekt anzugeben, das für die Kodierung zuständig ist:

public static BufferedReader newBufferedReader(Path *path***, Charset** *cs***)**

13.5 Zahlen und andere Tokens aus Textdateien lesen

Seit Java 5.0 (alias 1.5) erleichtert die unmittelbar von **java.lang.Object** abstammende Klasse **Scanner** (Paket **java.util**) das Einlesen von Zahlen und abgegrenzten Zeichenfolgen (z.B. Wörtern) aus Textdateien im Vergleich zu den früheren Lösungen.

Ein Scanner zerlegt den Eingabestrom aufgrund eines frei wählbaren Trennzeichenmusters in Bestandteile, *Tokens* genannt, auf die man mit diversen Methoden sequentiell zugreifen kann, z.B.:

- **public int nextInt()**
  public double nextDouble()
  Versucht, das nächste Token **int**- bzw. **double**-Wert zu interpretieren, und wirft bei Misserfolg eine **InputMismatchException**.
- **public BigInteger nextBigInteger()**
  public BigDecimal nextBigDecimal()
  Versucht, das nächste Token als Objekt der Klasse **BigInteger** bzw. **BigDecimal** zu interpretieren, und wirft bei Misserfolg eine **InputMismatchException**.
- **public String next()**
  Holt das nächste Token vom Scanner.

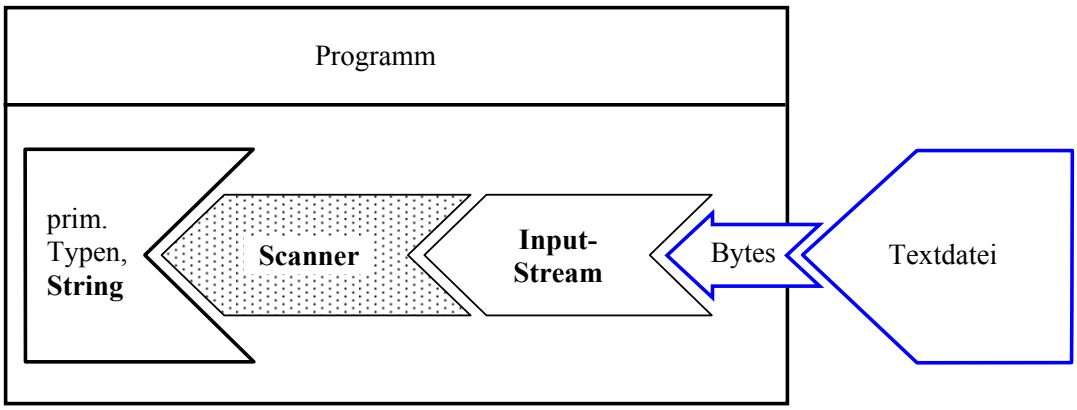
Ob noch ein Token vorhanden und vom gewünschten Typ ist, kann mit einer entsprechenden Methode festgestellt werden, z.B.:

- **public boolena hasNext()**
  Prüft, ob noch ein Token vorhanden ist
- **public boolean hasNextInt()**
  Prüft, ob das nächste Token als **int**-Wert interpretierbar ist
- **public boolean hasNextDouble()**
  Prüft, ob das nächste Token als **double**-Wert interpretierbar ist

Als Trennzeichen für die Zerlegung des Eingabestroms in Tokens gelten per Voreinstellung alle *WhiteSpace*-Zeichen (z.B. Leerzeichen, Tabulator). Ob ein Zeichen zu dieser Menge gehört, lässt sich mit der statischen **Character**-Methode **isWhitespace()** feststellen. Für eine alternative Festlegung der Trennzeichen steht die **Scanner**-Methode **useDelimiter()** zur Verfügung

Im **Scanner**-Konstruktor wird u.a. ein beliebiges Objekt aus der **InputStream**-Hierarchie als Datenquelle akzeptiert, wobei optional sogar ein Kodierungsschema angegeben werden kann.

Obwohl die Klasse **Scanner** weder von **InputStream** noch von **Reader** abstammt, benutzen wir doch die gewohnte Darstellung zur Veranschaulichung der Funktionsweise:



Das folgende Programm liest Zahlen und **String**-Objekte aus einer Textdatei:

```
class ScannerFile {
 public static void main(String[] args) {
  try (java.util.Scanner input =
       new java.util.Scanner(new java.io.FileInputStream("daten.txt"))) {
   while (input.hasNext())
    if (input.hasNextInt())
     System.out.println("int-Wert:\t" + input.nextInt());
    else
     if (input.hasNextDouble())
      System.out.println("double-Wert:\t" + input.nextDouble());
     else
      System.out.println("Text:\t\t" + input.next());
  } catch(java.io.IOException ioe) {
   System.err.println(ioe);
  }
 }
}
```

Mit den Eingabedaten

```
4711    3,1415926
Nicht übel!
13      9,99
```

erhält man die Ausgabe:

```
int-Wert:         4711
double-Wert:      3.1415926
Text:             Nicht
Text:             übel!
int-Wert:         13
double-Wert:      9.99
```

In der Eingabedatei ist das lokalspezifische Dezimaltrennzeichen zu verwenden, bei uns also ein Komma. Zum Lesen einer vorhandenen Datei mit dem Punkt als Dezimaltrennzeichen muss man das Kultur- bzw. Gebietsschema geeignet wechseln, z.B.

```
  .  .  .
input = new Scanner(new java.io.FileInputStream("daten.txt"));
input.useLocale(Locale.US);
  .  .  .
```

Wir haben den Einsatz der Klasse **Scanner** für die bequeme Datenerfassung via Konsole bereits in Abschnitt 3.4.1 erwogen. Das folgende Programm nimmt zwei reelle Zahlen *a* und *b* von der Standardeingabe (ein **InputStream**-Objekt!) entgegen und berechnet die Potenz a^b mit Hilfe der statischen **Math**-Methode **pow()**:

```
import java.util.*;
class ScannerConsole {
 public static void main(String[] args) {
  double basis, exponent;
  Scanner input = new Scanner(System.in);
  System.out.print("Argumente (durch Leerzeichen getrennt):  ");
  try {
   basis = input.nextDouble();
   exponent = input.nextDouble();
   System.out.println(basis+" hoch "+exponent+
                 " = "+Math.pow(basis, exponent));
  } catch(Exception e) {
   System.err.println("Eingabefehler");
  }
 }
}
```

Nun sind Sie im Stande, die von der Klasse `Simput` (siehe Abschnitt 3.4.1) zur Verfügung gestellten Methoden zur Eingabe primitiver Datentypen via Tastatur komplett zu verstehen (und zu kritisieren). Als Beispiel wird die Methode `gint()` wiedergegeben:

```
import util.io.*;

public class Simput {
 static public boolean status;
 static public String  errdes = "";
 .  .  .
 .  .  .
 static public int gint() {
  int eingabe = 0;
  Scanner input = new Scanner(System.in);
  try {
   eingabe = input.nextInt();
   status = true;
   errdes = "";
  } catch(Exception e) {
   status = false;
   errdes = "Eingabe konnte nicht konvertiert werden.";
   System.out.println("Falsche Eingabe!\n");
  }
  return eingabe;
 }
 .  .  .
 .  .  .
}
```

13.6 Objektserialisierung

Nach vielen Mühen und lästigen Details kommt nun als Belohnung für die Ausdauer eine angenehm einfache Lösung für eine wichtige Aufgabe. Wer objektorientiert programmiert, möchte natürlich auch objektorientiert speichern und laden. Erfreulicherweise können Objekte tatsächlich meist genau so wie primitive Datentypen in einen Byte-Strom geschrieben bzw. von dort gelesen werden. Die Übersetzung eines Objektes (mit all seinen Instanzvariablen) in einen Bytestrom bezeichnet man recht treffend als *Objektserialisierung*, den umgekehrten Vorgang als *Objektdeserialisierung*. Wenn Instanzvariablen auf andere Objekte zeigen, werden diese in die Sicherung und spätere Wiederherstellung einbezogen. Weil auch die referenzierten Objekte wieder Mitgliedsobjekte haben können, ist oft ein ganzer *Objektbaum* (alias: *Objektgraph*) beteiligt. Ein mehrfach referenziertes Objekt wird dabei Ressourcen schonend nur *einmal* einbezogen.

Die zuständigen Klassen gehören zur **OutputStream**- bzw. **InputStream**-Hierarchie und hätten schon früher behandelt werden können. Für ein attraktives und wichtiges Spezialthema ist aber auch die Platzierung am Ende der EA-Behandlung (sozusagen als Krönung) nicht unangemessen.

Voraussetzungen für die Serialisierbarkeit einer Klasse:

- Die Klasse muss das Marker-Interface **Serializable** implementieren.
  Diese Schnittstelle deklariert keinerlei Methoden, und das Implementieren ist als Einverständniserklärung zu verstehen.
- Enthält eine Klasse Instanzobjekte, dann müssen auch deren Klassen mit der Serialisierung einverstanden sein.

Für das Schreiben von Objekten ist die byteorientierte Ausgabetransformationsklasse **ObjectOutputStream** zuständig, für das Lesen die byteorientierte Eingabetransformationsklasse **ObjectInputStream**. Ein komplexes Objektensemble in einen Bytestrom zu verwandeln bzw. von dort zu rekonstruieren, ist eine komplexe Aufgabe, die aber automatisiert abläuft.

Wir demonstrieren die Serialisation mit Hilfe der folgenden Klasse `Kunde`:

```
import java.io.*;
import java.math.BigDecimal;

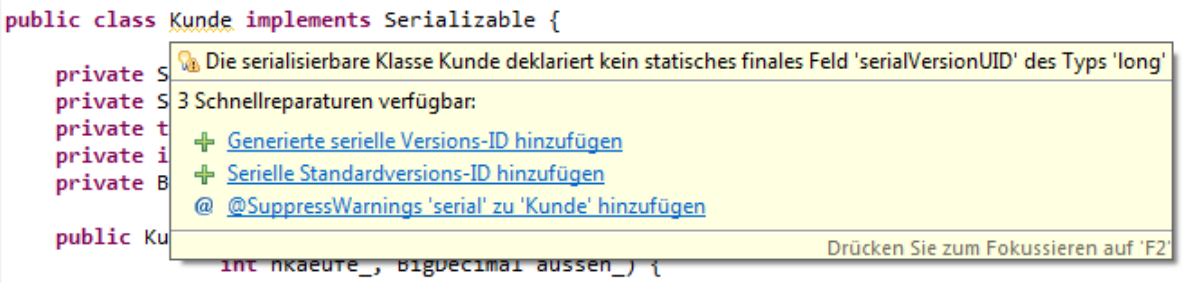
public class Kunde implements Serializable {

 private String vorname;
 private String name;
 private transient int stimmung;
 private int nkaeufe;
 private BigDecimal aussen;

 public Kunde(String vorname_, String name_, int stimmung_,
              int nkaeufe_, BigDecimal aussen_) {
  vorname = vorname_;
  name = name_;
  stimmung = stimmung_;
  nkaeufe = nkaeufe_;
  aussen = aussen_;
 }
 public void prot() {
  System.out.println("Name: " + vorname + " " + name);
  System.out.println("Stimmung: " + stimmung);
  System.out.println("Anz.Einkaeufe: " + nkaeufe +
                     ", Aussenstaende: " + aussen+ "\n");
 }
}
```

Für die Summe der Außenstände eines Kunden wird zur Vermeidung von Rundungsungenauigkeiten an Stelle einer Gleitkommavariablen ein Objekt der Klasse **BigDecimal** verwendet (vgl. Abschnitt 3.5.4).

Unsere Entwicklungsumgebung Eclipse reklamiert die fehlende **serialVersionUID**:



Eine solche Versionsangabe wird beim Serialisieren automatisch mit gespeichert und beim Deserialisieren überprüft, um Fehler durch veraltete, inkompatible Objektversionen zu verhindern. Akzeptiert man die angebotene Schnellreparatur **Generierte serielle Versions-ID hinzufügen**, dann wird der Mangel bequem und professionell behoben:

```
private static final long serialVersionUID = -798747263086382088L;
```

Die Eclipse-Warnung ist Ihnen sich nicht neu. Wir haben sie immer dann gesehen (und ignoriert), wenn eine selbst definierte Klasse die Schnittstelle **Serializable** von ihrer Basisklasse übernommen hatte.

In folgendem Beispielprogramm wird ein Objekt der serialisierbaren Klasse `Kunde` mit der **ObjectOutputStream-**Methode **writeObject()** in eine Datei befördert und anschließend mit der **ObjectInputStream**–Methode **readObject()** von dort zurück geholt. Außerdem wird demonstriert, dass die beiden Klassen auch Methoden zum Schreiben bzw. Lesen von primitiven Datentypen besitzen (z.B. **writeInt()** bzw. **readInt()**):

```
import java.io.*;

class Serialisierung {
 public static void main(String[] args) throws Exception {
  Kunde kunde = new Kunde("Fritz", "Orth", 1, 13,
     new java.math.BigDecimal("426.89"));
  System.out.println("Zu sichern:\n");
  kunde.prot();
  try (ObjectOutputStream oos =
       new ObjectOutputStream(new FileOutputStream("test.bin"))) {
   oos.writeInt(1);
   oos.writeObject(kunde);
  }

  try (ObjectInputStream ois =
       new ObjectInputStream(new FileInputStream("test.bin"))) {
   int anzahl = ois.readInt();
   Kunde unbekannt = (Kunde) ois.readObject();
   System.out.printf("Fall Nr. %d:\n\n", anzahl);
   unbekannt.prot();
  }
 }
}
```

Beim Schreiben eines Objekts wird auch seine Klasse samt **serialVersionUID** festgehalten. Beim Lesen eines Objekts wird zunächst die zugehörige Klasse festgestellt und nötigenfalls in die virtuelle Maschine geladen. Ist die **serialVersionUID** kompatibel, wird das Objekt auf dem Heap angelegt, und die Instanzvariablen erhalten ihre rekonstruierten Werte.

Als **transient** deklarierte Instanzvariablen werden von **writeObject()** und von **readObject()** übergangen. Damit eignet sich dieser Modifikator z.B. für ...

- Variablen, die aus Sicherheitsgründen nicht in eine Datei gespeichert werden sollen,
- Variablen, deren temporärer Charakter ein Speichern nutzlos macht.

In der Klasse `Kunde` ist die Instanzvariable `stimmung` als **transient** deklariert, was zu folgender Ausgabe des Beispielprogramms führt:

```
Zu sichern:

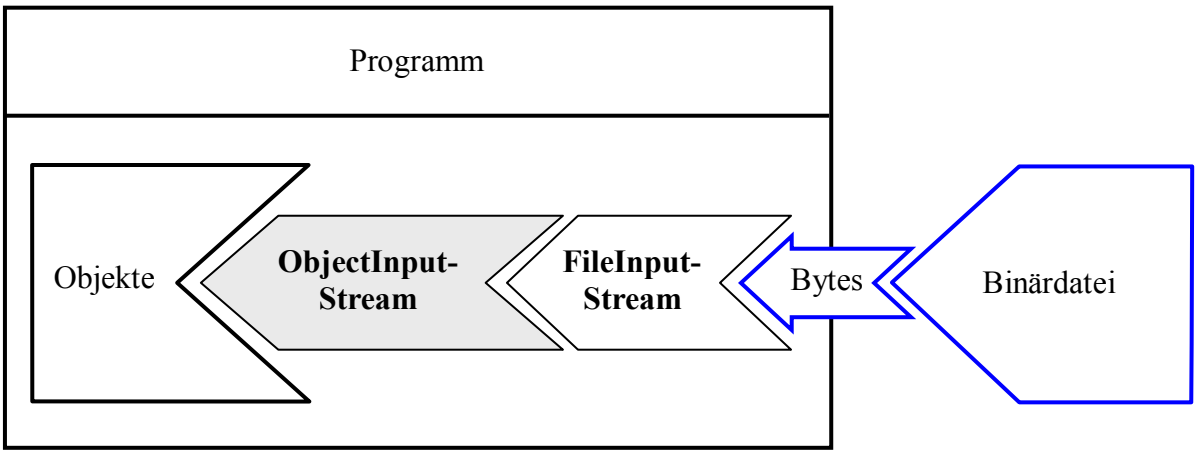
Name: Fritz Orth
Stimmung: 1
Anz.Einkaeufe: 13, Aussenstaende: 426.89

1 Fall eingelesen:

Name: Fritz Orth
Stimmung: 0
Anz.Einkaeufe: 13, Aussenstaende: 426.89
```

Die Instanzvariable `stimmung` des eingelesenen Objektes besitzt den **int**-Initialwert 0, während die übrigen Instanzvariablen über beide Serialisierungsschritte hinweg ihre Werte behalten haben.

In der folgenden Abbildung wird die Rekonstruktion eines Objekts skizziert:



13.7 Empfehlungen zur Verwendung der EA-Klassen

Weil die Ein-/Ausgabe - Behandlung in Java durch die Vielzahl beteiligter Klassen etwas unübersichtlich ist, folgt in diesem Abschnitt eine rezeptartige Beschreibung wichtiger Spezialfälle.

13.7.1 Ausgabe in eine Textdatei

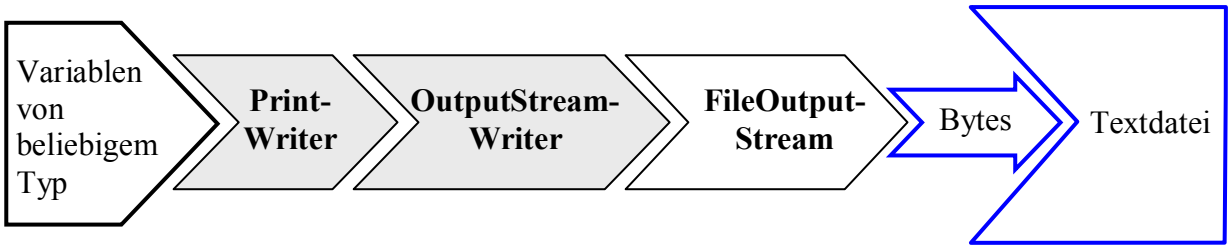
Um Textdaten (Datentypen **String**, **char**) oder die Zeichenfolgen-Repräsentationen beliebiger andere Datentypen in eine Datei zu schreiben, verwendet man in der Regel einen **FileWriter** (siehe Abschnitt 13.4.1.5) in Kombination mit einem **PrintWriter** (siehe Abschnitt 13.4.1.4), der bequeme Ausgabemethoden bietet (z.B. **println()**, **printf()**).

Beispiel:

```
PrintWriter pw = new PrintWriter(new FileWriter("test.txt"));
pw.println("Diese Zeile landet in der Datei test.txt.");
```

Die **PrintWriter**-Methode **printf()** ermöglicht eine flexible Formatierung der Ausgabe.

Wenn bei der Ausgabe von Textdaten das voreingestellte Kodierungsschema ungeeignet ist, ersetzt man den **FileWriter** durch die Kombination aus einem **OutputStreamWriter** mit wählbarer Kodierung (siehe Abschnitt 13.4.1.2) und einem **FileOutputStream** (siehe Abschnitt 13.3.1.2).

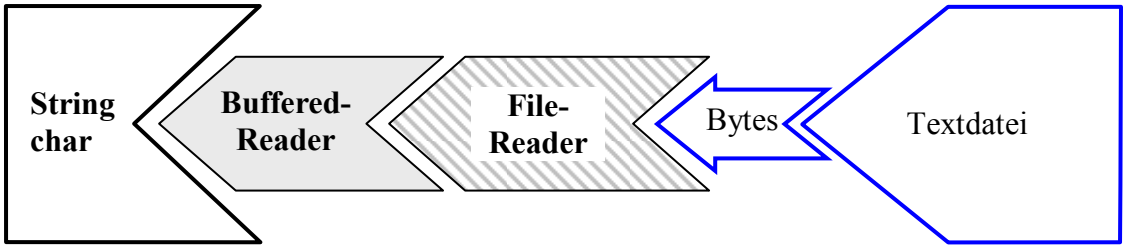


Wer die Verbindung zur Ausgabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, lässt sich von der statischen **Files**-Methode **newOutputStream()** einen **OutputStream** liefern. Man übergibt der Methode ein **Path**-Objekt mit dem Dateibezug und optionale Angaben zum Öffnungsmodus (vgl. Abschnitt 13.2.1.3), z.B.:

```
Path file = Paths.get("demo.txt");
try (OutputStream os = Files.newOutputStream(file);
   OutputStreamWriter osw = new OutputStreamWriter(os, "UTF-8");
   PrintWriter pw = new PrintWriter(osw, true)) {
    String ls = System.getProperty("line.separator");
    pw.println("UTF-8-kodierte Datei mit Umlauten in der zweiten Zeile:"+
               ls+"üöäÜÖÄß");
}
```

13.7.2 Textdaten einlesen

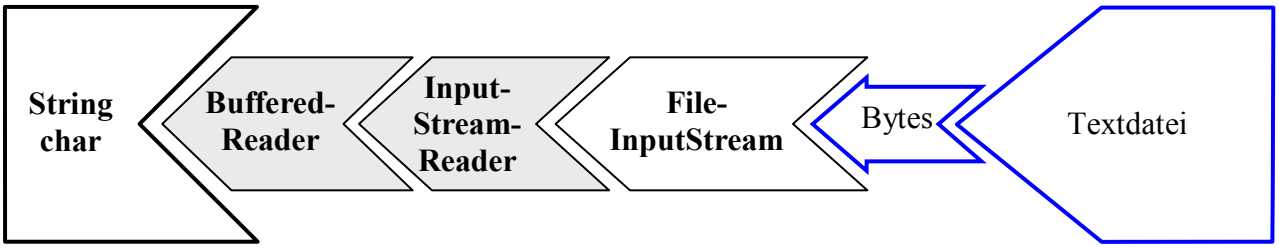
Um Textdaten aus einer Datei zu lesen, verwendet man in der Regel ein Objekt aus der Klasse **FileReader** (siehe Abschnitt 13.4.2.3). Meist schaltet man hinter den **FileReader** noch einen **BufferedReader**, der die Anzahl der Dateizugriffe reduziert und die bei Dateien mit Zeilenstruktur sehr nützliche Methode **readLine()** bietet.



Beispiel:

```
BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader("test.txt"));
String s = br.readLine();
```

Wer mit dem voreingestellten Kodierungsschema unzufrieden ist, ersetzt den **FileReader** durch die Kombination aus einem **InputStreamReader** mit wählbarer Kodierung und einem **FileInputStream**.



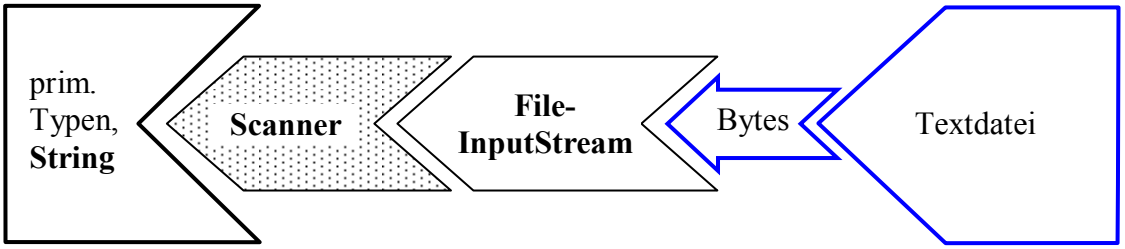
Wer die Verbindung zur Eingabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, lässt sich von der statischen **Files**-Methode **newInputStream()** einen **InputStream** liefern. Man übergibt der Methode ein **Path**-Objekt mit dem Dateibezug und optionale Angaben zum Öffnungsmodus (vgl. Abschnitt 13.2.1.3), z.B.:

```
Path file = Paths.get("demo.txt");
try (InputStream instr = Files.newInputStream(file, StandardOpenOption.READ);
   InputStreamReader isr = new InputStreamReader(instr, "UTF-8");
   BufferedReader br = new BufferedReader(isr)) {
  String s;
  while ((s = br.readLine()) != null)
    System.out.println(s);
}
```

Zum Lesen von Zeichenfolgen kommt auch die Klasse **Scanner** in Frage (siehe Abschnitte 13.5 und 13.7.2), die den Eingabestrom aufgrund wählbarer Trenneichen in Bestandteile (Tokens) zerlegen kann und die Wahl eines Kodierungsschemas erlaubt.

13.7.3 Primitive Datentypen aus einer Textdatei lesen

Um primitive Datentypen aus einer Textdatei zu lesen, kann man seit Java 5 (alias 1.5) ein Objekt aus der Klasse **Scanner** in Verbindung mit einem **FileInputStream** verwenden (siehe Abschnitt 13.5):



Beispiel:

```
Scanner input = new Scanner(new java.io.FileInputStream("daten.txt"));
double a = input.nextDouble();
int b = input.nextInt();
```

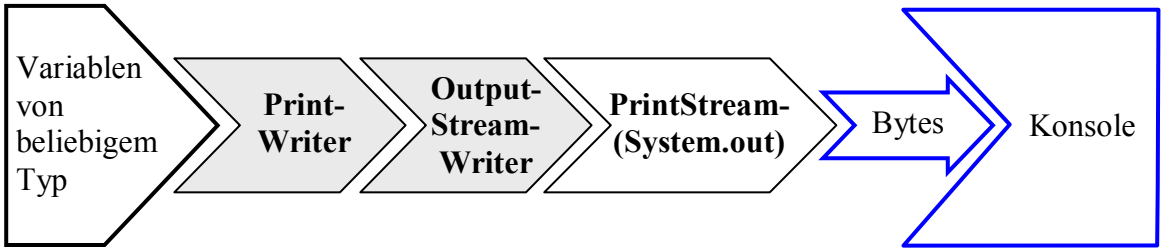
Wer die Verbindung zur Eingabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, lässt sich von der statischen **Files**-Methode **newInputStream()** einen **InputStream** liefern.

13.7.4 Ausgabe auf die Konsole

In den meisten Fällen genügt es, die Standardausgabe über die automatisch initialisierte Referenzvariable **System.out** mit **PrintStream**-Methoden anzusprechen.
Beispiel:

```
System.out.println("Hallo");
```

In Abschnitt 13.4.1.6 wird beschrieben, wie unter Windows eine perfekte Konsolenausgabe mit korrekter Darstellung der Umlaute zu bewerkstelligen ist:[90]



[90] Die Darstellung ist leicht vereinfacht, denn zwischen dem **PrintStream**-Filterobjekt und der Konsole agieren noch:

- ein **BufferedOutputStream**
- ein **FileOutputStream**

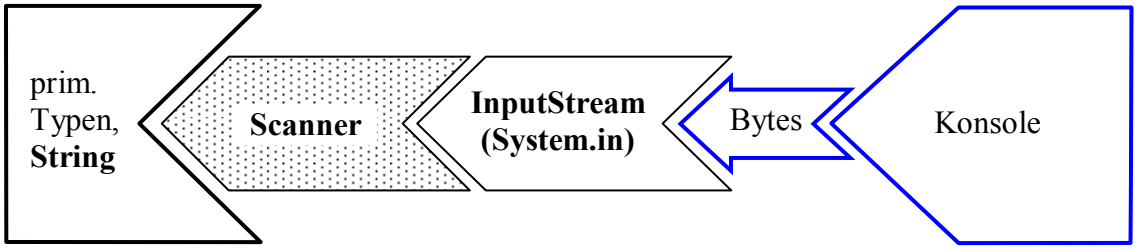
Weil der **OutputStreamWriter** die durch Wandlung von Unicode-Zeichen entstehenden Bytes automatisch puffert (vgl. Abschnitt 13.4.1.2), sollte beim **PrintWriter** die **autoFlush**-Option eingeschaltet werden.

Beispiel:

```
OutputStreamWriter osw = new OutputStreamWriter(System.out, "Cp850");
PrintWriter pw = new PrintWriter(osw, true);
pw.println("Hallo Wörld");
```

13.7.5 Eingabe von der Konsole

In Abschnitt 13.5 wird beschrieben, wie man Tastatureingaben mit Hilfe der Klasse **Scanner** entgegen nimmt:

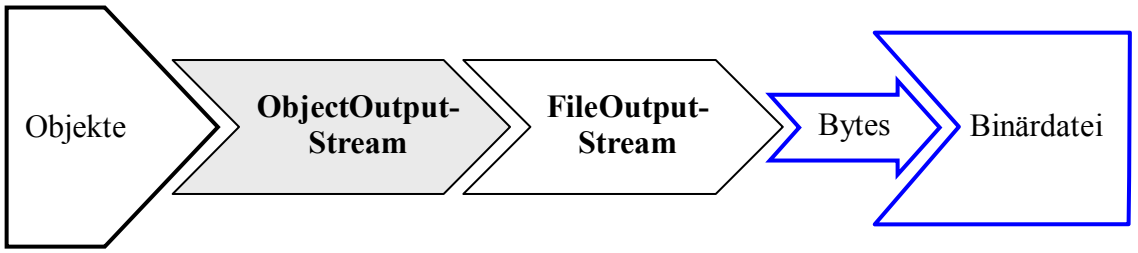


Beispiel:

```
Scanner input = new Scanner(System.in);
System.out.print("Ihr Alter: ");
int alter = input.nextInt();
```

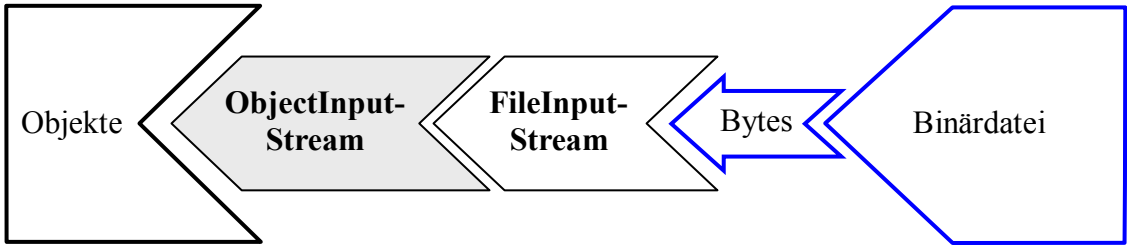
13.7.6 Objekte schreiben und lesen

Um Objekte in eine Datei zu schreiben oder aus einer zu Datei lesen, verwendet man die in Abschnitt 13.6 vorgestellten Klassen **ObjectOutputStream** und **ObjectInputStream**:



Beispiel:

```
ObjectOutputStream oos = new ObjectOutputStream(
                           new FileOutputStream("test.bin"));
oos.writeObject(demobj);
```



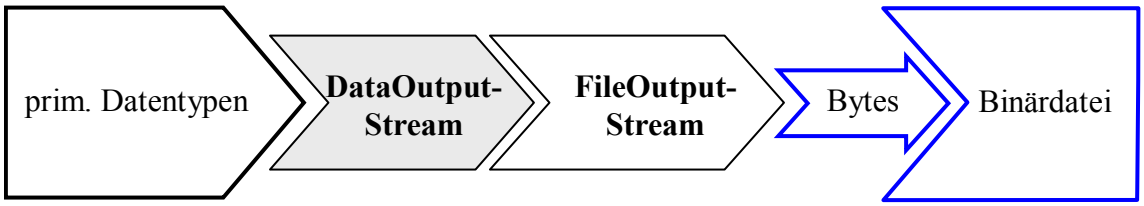
Beispiel:

```
ObjectInputStream ois = new ObjectInputStream(
                          new FileInputStream("test.bin"));
Kunde unbekannt = (Kunde) ois.readObject();
```

Wer die Verbindung zur Aus- bzw. Eingabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herstellen möchte, lässt sich von der statischen **Files**-Methode **newOutputStream()** einen **OutputStream** bzw. von der Methode **newInputStream()** einen **InputStream** liefern.

13.7.7 Primitive Datentypen in eine Binärdatei schreiben

Um primitive Datentypen (z.B. **int**, **double**) binär in eine Datei zu schreiben, verwendet man ein Filterobjekt aus der Klasse **DataOutputStream** in Kombination mit einem Ausgabeobjekt aus der Klasse **FileOutputStream**:

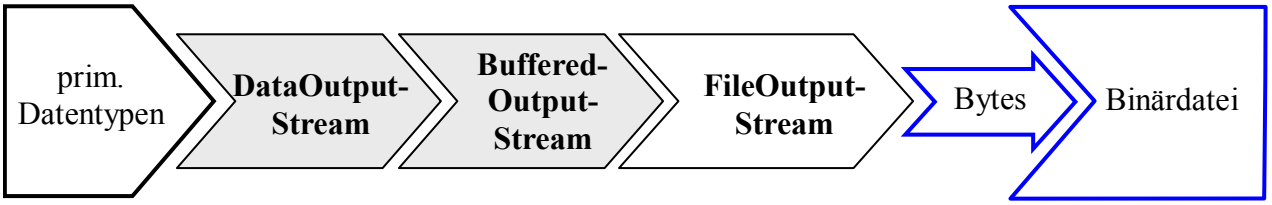


Beispiel:

```
DataOutputStream dos = new DataOutputStream(new FileOutputStream("demo.dat"));
dos.writeInt(4711);
dos.writeDouble(Math.PI);
```

Um die Verbindung zur Ausgabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herzustellen, lässt man sich von der statischen **Files**-Methode **newOutputStream()** einen **OutputStream** liefern.

Soll die Ausgabe gepuffert erfolgen, um die Anzahl der Dateizugriffe gering zu halten, dann muss ein Filterobjekt aus der Klasse **BufferedOutputStream** eingesetzt werden:



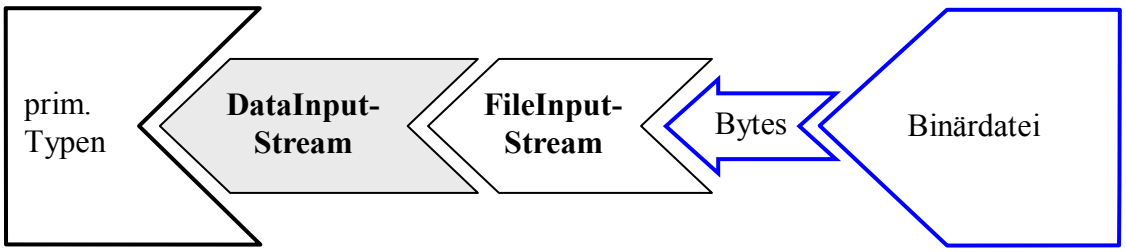
Hier wird ein Puffer mit 16384 Bytes Kapazität verwendet:

```
DataOutputStream dos = new DataOutputStream(
                         new BufferedOutputStream(
                           new FileOutputStream("demo.dat"), 16384));
```

Ein Puffer muss auf jeden Fall vor dem Programmende entleert werden, was am einfachsten durch die **try** - Anweisung die mit automatischer Ressourcen-Freigabe zu realisieren ist (siehe Beispiel in Abschnitt 13.1.2).

13.7.8 Primitive Datentypen aus einer Binärdatei lesen

Um primitive Datentypen (z.B. **int**, **double**) aus einer Binärdatei zu lesen, verwendet man ein Filterobjekt aus der Klasse **DataInputStream** in Kombination mit einem Eingabeobjekt aus der Klasse **FileInputStream**:

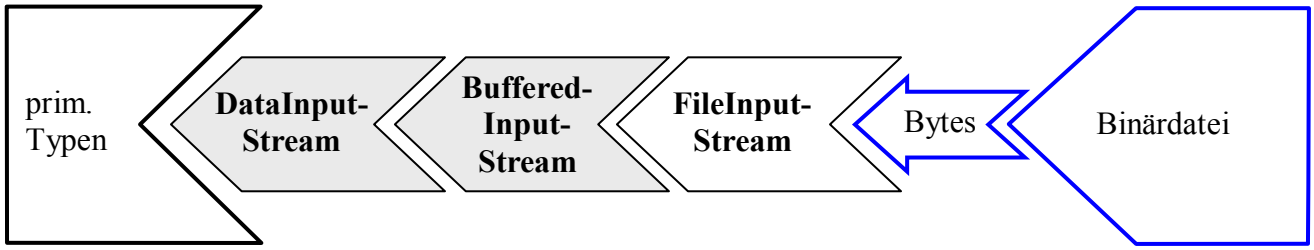


Beispiel:

```
DataInputStream dis = new DataInputStream(new FileInputStream("demo.dat"));
int i = dis.readInt();
double d = dis.readDouble();
```

Um die Verbindung zur Eingabedatei über das NIO.2 - API (vgl. Abschnitt 13.2.1) herzustellen, lässt man sich von der statischen **Files**-Methode **newOnputStream()** einen **InputStream** liefern.

Soll die Eingabe gepuffert erfolgen, um die Anzahl der Dateizugriffe gering zu halten, dann muss ein Filterobjekt aus der Klasse **BufferedInputStream** eingesetzt werden:



Hier wird ein Puffer mit 16384 Bytes Kapazität verwendet:

```
DataInputStream dis = new DataInputStream(
                        new BufferedInputStream(
                          new FileInputStream("demo.dat"), 16384));
```

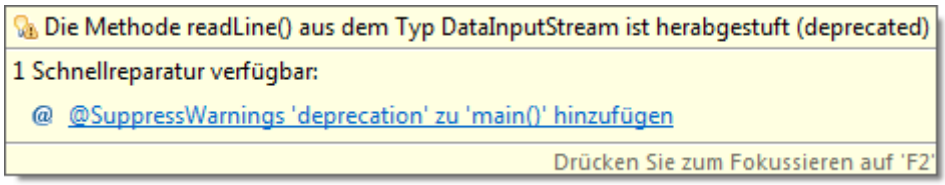
13.8 Herabgestufte Methoden

Im Laufe der Evolution des Java-EA-Systems mussten einige vormals gebräuchliche Methoden als *deprecated* (dt.: *herabgestuft*, *veraltet*, *unerwünscht*, *missbilligt*) eingestuft werden. Sie sind aus Kompatibilitätsgründen noch vorhanden, doch wird von ihrer Verwendung abgeraten. Ein Beispiel ist die Methode **readLine()** der Klasse **DataInputStream**, die in Java 1.0 verwendet wurde, um Zeichenketten von der Tastatur einlesen, z.B.:

Quellcode	Ausgabe
`import java.io.*;` `class DeprecatedDemo {` `  public static void main(String[] args) throws IOException {` `  String wort;` `  DataInputStream dis = new DataInputStream(System.in);` `  System.out.print("Wort eingeben: ");` `  wort = dis.readLine();` `  System.out.println("Sie gaben ein: " + wort);` `  }` `}`	`Wort eingeben: egal` `Sie gaben ein: egal`

Als byteorientierte Eingabetransformationsklasse kann **DataInputStream** mit beliebigen **InputStream**-Abkömmlingen kooperieren. In Java ist die Konsoleneingabe als Objekt aus der Klasse **InputStream** realisiert, das über die statische Variable **System.in** angesprochen werden kann.

Außerdem besitzt die Klasse **DataInputStream** eine Methode **readLine()**, und man kann erwarten, mit einem auf **System.in** aufgesetzten **DataInputStream**-Objekt Zeichenketten von der Tastatur einlesen zu können. Der Beispieldialog klappt auch erwartungsgemäß, aber die folgende Compiler-Warnung erinnert uns daran, dass man Zeichenketten ja eigentlich *nicht* mit byteorientierten Strömen einlesen soll:



In der Online-Dokumentation zur **DataInputStream**-Methode **readLine()** erhalten wir genauere Informationen und Empfehlungen:

> **Deprecated.** *This method does not properly convert bytes to characters. As of JDK 1.1, the preferred way to read lines of text is via the* `BufferedReader.readLine()` *method. Programs that use the* `DataInputStream` *class to read lines can be converted to use the* `BufferedReader` *class by replacing code of the form:*
>
> *DataInputStream d = new DataInputStream(in);*
>
> *with:*
>
> *BufferedReader d*
>
> *= new BufferedReader(new InputStreamReader(in));*

Diese Kritik richtet sich nur gegen die Methode **readLine()**, keinesfalls gegen die immer noch wichtige Klasse **DataInputStream**, mit der wir oben erfolgreich Werte primitiver Datentypen aus einer Binärdatei (!) gelesen haben.

13.9 Übungsaufgaben zu Kapitel 13

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Die Klasse **PrintStream** spielt in aktuellen Java-Programmen keine Rolle mehr.
2. Ein geschlossener Datenstrom kann anschließend nicht mehr zur Ein- bzw. Ausgabe verwendet werden.
3. Die **PrintWriter**-Methoden werfen *keine* **IOException**, sondern setzen ein Fehlersignal, das mit der Methode **checkError**() abgefragt werden kann.
4. Bei der Ausgabe von Textdaten verwenden die von **Writer** abstammenden Klassen stets die UTF-8 – Kodierung.

2) Die **FileInputStream**-Methode **read()** versucht, ein Byte aus der angeschlossenen Datei zu lesen. Warum verwendet sie den Rückgabetyp **int**?

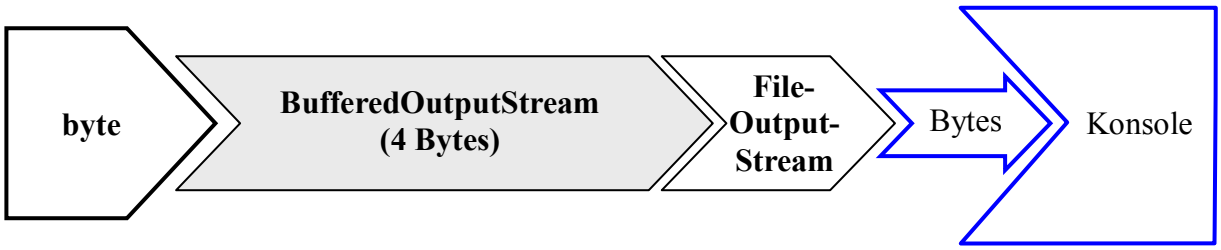
3) Erweitern Sie das Editor-Beispielprogramm in Abschnitt 12.7 um die Möglichkeit, den bearbeiteten Text zu sichern.

4) Erstellen Sie ein Programm zur Demonstration der Ausgabepufferung. Um mitverfolgen zu können, wie beim Überlaufen des Puffers Daten weitergeleitet werden, sollte Sie als Senke die Konsole verwenden.

Wie Sie aus dem Abschnitt 13.3.1.6 wissen, ist der per **System.out** ansprechbare **PrintStream** mit aktivierter **autoFlush**-Option hinter einen **BufferedOutputStream** mit 128 Bytes Puffergröße geschaltet, was insgesamt keine guten Beobachtungsmöglichkeiten bietet. Als Alternative mit besseren Forschungsmöglichkeiten wird daher folgende Ausgabestromkonstruktion vorgeschlagen:

```
FileOutputStream fos =
    new FileOutputStream(FileDescriptor.out);
BufferedOutputStream bos =
    new BufferedOutputStream(fos, 4);
```

Über die statische Variable **out** der Klasse **FileDescriptor** wird der Bezug zur Konsole hergestellt. Dorthin schreibt der **FileOutputStream** `fos`, an den der **BufferedOutputStream** `bos` mit der untypisch kleinen Puffergröße von 4 Bytes gekoppelt ist:



Wir kommen mit der **BufferedOutputStream**-Methode **write()** aus, wenn die auszugebenden Bytes so gewählt werden, dass eine interpretierbare Bildschirmausgabe entsteht. Dies ist z.B. bei folgendem Aufruf der Fall:

```
bos.write(i+47);
```

Bei `i` = 1 wird das niederwertigste Byte der **int**-Zahl 48 (= 0x30) in den Ausgabestrom geschoben. Dieses ist in jedem 8-Bit-Zeichensatz die Kodierung der Null, so dass diese Ziffer auf der Konsole erscheint. Bei `i` = 2 erscheint dementsprechend eine Eins usw.

Jetzt müssen Sie nur noch per „Zeitlupe“ dafür sorgen, dass man das Füllen und Entleeren des Puffers mitverfolgen kann, z.B.:

```
for (byte i = 1; i <= 10; i++) {
 time = start + i*1000;
 while (System.currentTimeMillis() < time);
 bos.write(i+47);
 System.out.print('\u0007');
}
```

Im Lösungsvorschlag wird zusätzlich per Ton die Ankunft eines Bytes im Puffer gemeldet. Wird ein Konsolenprogramm in Eclipse 3.x ausgeführt, produziert die **print()**-Ausgabe des Steuerzeichens \u0007 allerdings keinen Ton. Stattdessen erscheint in der Konsole ein Rechteck, was zur Demonstration der Ausgabepufferung sogar recht nützlich ist, z.B.:

```
□□□□4567
```

Sollten sich bei Programmende noch Bytes im Puffer befinden, müssen diese per **flush()** oder **close()** vor dem Untergang bewahrt werden.

5) Wie kann man beim folgenden Programm den Quellcode vereinfachen und dabei auch noch die Laufzeit erheblich reduzieren?

```
import java.io.*;
class AutoFlasche {
 public static void main(String[] egal) throws IOException {
  try (PrintWriter pw = new PrintWriter(new FileOutputStream("pw.txt"), true)) {
   long time = System.currentTimeMillis();
   for (int i = 1; i < 50_000; i++) {
    pw.println(i);
   }
   System.out.println("Zeit: " + (System.currentTimeMillis()-time));
  }
 }
}
```

6) Als byteorientierte Eingabetransformationsklasse kann **DataInputStream** in Kooperation mit beliebigen **InputStream**-Abkömmlingen die Werte primitiver Datentypen lesen. In Java zeigt die Referenzvariable **System.in** auf ein Objekt aus der Klasse **InputStream** (genauer: auf ein Objekt

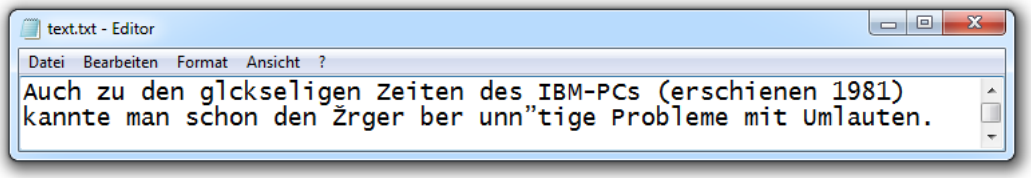
aus einer Klasse, die von der abstrakten Klasse **InputStream** abstammt). Nun kann man hoffen, mit einem **DataInputStream**-Objekt, das auf **System.in** aufsetzt, Werte primitiver Datentypen von der Tastatur entgegen nehmen zu können. In folgendem Programm wird versucht, beim Benutzer einen **short**-Wert (Ganzzahl mit 2 Bytes) zu erfragen:

Quellcode	Ausgabe
`import java.io.*;` `class DisSysIn {` `  public static void main(String[] args) throws IOException {` `   short zahl;` `   DataInputStream dis = new DataInputStream(System.in);` `   System.out.print("Zahl eingeben: ");` `   zahl = dis.readShort();` `   System.out.println("Gelesen: " + zahl);` `  }` `}`	`Zahl eingeben: 0` `Gelesen: 12301`

Wie ein Blick auf den Beispieldialog zeigt, ist das Verfahren nicht zu gebrauchen.

- Wie ist das Ergebnis zu erklären?
- Welcher **short**-Wert resultiert, wenn der Benutzer eine leere Eingabe mit Enter abschickt?
- Wie sollte man numerische Daten von der Konsole lesen?
- Wozu sollte man die Klasse **DataInputStream** verwenden?

7) Schreiben Sie ein Programm, das den Text



in der Datei

...\BspUeb\EA\ASCII-Text\text.txt

einlesen und korrekt in einem **JOptionPane**-Meldungsfenster darstellen kann:

8) Erstellen Sie eine Klasse zur Verwaltung einer Datenmatrix bestehend aus den Messwerten von *k* Merkmalen bei *n* Fällen. Verwenden Sie zur Aufbewahrung der Messwerte einen zweidimensionalen **double**-Array. Zu jedem Merkmal soll außerdem ein Name gespeichert werden. Objekte der Klasse sollten Daten aus einer Textdatei nach folgendem Muster lesen können:

```
nr temp alter gewicht
1 12,3 74,5 123,9
2 11,2 34,4 156,7
3  7,2 83,5 142,1
4 45,2 17,2 129,8
5  1,2 44,4 216,7
6 17,2 23,5 132,1
7 12,2 42,1 182,2
```

In der ersten Zeile stehen die Namen der Merkmale.

14 Applets

Java war eine Zeit lang vor allem dazu gedacht, das WWW (*World Wide Web*) mit kleinen „Prográmmchen“ (*Applet* = Verkleinerungsform des englischen Worts *Application*) aufzupolieren, die auf einem Webserver bereitgestellt, via Internet schnell zum lokalen Rechner transportiert und dort in einem Browser-Fenster ausgeführt werden können. Auf diese Weise lassen sich HTML-Seiten attraktiv (z.B. multimedial), dynamisch und interaktiv gestalten. Die Anwender können einen prinzipiell unbegrenzten Fundus an Software nutzen, ohne diese lokal installieren zu müssen. Ein Applet-Beispiel (mit einer Demonstration zur linearen Regressionsanalyse der Statistik) war schon in Abschnitt 1.2.5.8 zu sehen.

Die frühere Bevorzugung von Applets gegenüber den Java-Applikationen, die wir im bisherigen Kursverlauf ausschließlich kennen gelernt haben, kommt z.B. darin zum Ausdruck, dass einige Java-Versionen lang die Sound-Ausgabe ausschließlich in Applets möglich war. Mittlerweile hat sich die Lage jedoch grundlegend gewandelt:

- Es gibt etliche alternative Möglichkeiten zur dynamischen und interaktiven Gestaltung von Webseiten (z.B. JavaScript/Ajax, Flash, Silverlight, HTML5). In Abschnitt 1.2.5.8 findet sich eine kurze Einordnung der verschiedenen RIA-Techniken (***R**ich **I**nternet **A**pplication*).
- Java hat sich inzwischen zu einer vollwertigen, weitgehend universell einsetzbaren Programmiersprache mit großem Verbreitungsgrad entwickelt. Java-Applikationen haben mittlerweile eine größere Bedeutung als Applets. Außerdem ist die Java Enterprise Edition (JEE) zu einer festen Größe auf dem Markt für unternehmensweite oder serverorientierte Lösungen geworden, und die so genannten *Servlets* der JEE spielen heutzutage eine wichtigere Rolle als die Applets. Schließlich ist auch noch die Java Micro Edition (JME) für Kommunikationsgeräte mit beschränkter Leistung zu nennen, und bei der Entwicklung von Apps für Smartphones und Tablets unter dem Betriebssystem Android ist Java ebenfalls die erste Wahl.

Damit haben Applets zwar ihre ursprüngliche Bedeutung verloren, doch bieten sie nach wie vor interessante Möglichkeiten für viele Szenarien und stellen damit einen Zusatznutzen der Programmiersprache Java dar.

Wir konzentrieren uns im aktuellen Abschnitt auf die Besonderheiten von Applets hinsichtlich Funktionsweise und Laufzeitumgebung. Auf Grafik und Sound müssen wir verzichten, weil die entsprechende Ausgabetechnik erst im Kapitel 15 vorgestellt wird.

14.1 Kompatibilität

Durch die Browser-Einbettung ergeben sich zwar einige Besonderheiten bei Applets, doch bleiben wir bei derselben Programmiersprache, können also die Syntaxregeln und den größten Teil der Java-Klassen auch bei Applets verwenden.

Damit ein Java-Applet ausgeführt werden kann, muss der WWW-Browser mit einer virtuellen Java-Maschine kooperieren, die auf entsprechendem Versionsstand ist. Während man bei einer Java-*Applikation* die JVM problemlos mitliefern und mitinstallieren kann, ist man bei einem Applet auf die beim Benutzer vorhandene Ausführungsumgebung angewiesen. Um einen Java-fähigen Browser zu erhalten, müssen Anwender in der Regel die Java Runtime Environment (JRE) der Firma Oracle installieren (siehe Abschnitt 14.6). Seit Windows Vista hat die Firma Microsoft ihre frühere Praxis eingestellt, mit Windows eine eigene JVM auszuliefern. Weil Microsofts JVM nicht über die Version 1.1 hinausgekommen ist, sollte auch unter Windows XP die JRE der Firma Oracle installiert werden. Dabei resultiert eine aktuelle JVM, die vom Internet Explorer genauso genutzt wird wie von den Browsern der Mozilla-Familie.

Wer im Sinne maximaler Kompatibilität beim Anwender eine möglichst niedrige Java-Version voraussetzen möchte, benötigt einen passenden Compiler. In unserer Entwicklungsumgebung Eclipse 3 kann man über das Kontextmenü zu einem (Applet)-Projekt mit

Eigenschaften > Java-Compiler

die eine Java-Version als **Konformitätsstufe** einstellen. Über die aktuellen Prozentanteile der Versionen am Kuchen der Java-fähigen Internet-Browser informiert z.B. die Webseite

http://www.riastats.com/

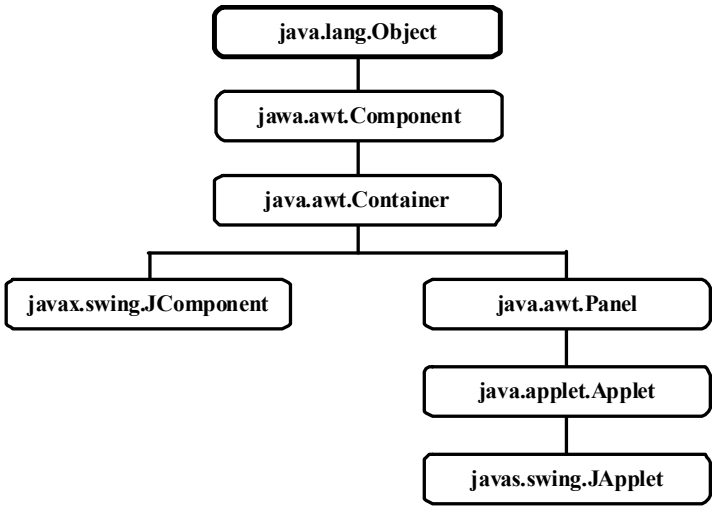
Im Frühjahr 2012 wird hier eine eindeutige Dominanz der Java-Version 6 (alias 1.6) mit einem Anteil von 91% berichtet, so dass man ältere Versionen ignorieren kann und die aktuelle Version 7 (alias 1.7) noch nicht voraussetzen sollte.

Im hauseigenen *Intranet* einer Firma oder Organisation lässt sich eine aktuelle Laufzeitumgebung für Applets auf den Klientenrechnern leicht herstellen.

14.2 Stammbaum der Applet-Basisklasse

Wie eine Java-*Anwendung* besteht auch ein Java-*Applet* aus mindestens einer Klassendefinition. Von der beim Start anzugebenden Hauptklasse eines Applets wird automatisch ein Objekt erzeugt, das als Top-Level - Container fungiert. Die Hauptklasse wird bei Beschränkung auf AWT-Technik aus **java.applet.Applet** und bei Verwendung von Swing-Komponenten aus **javax.swing.JApplet** abgeleitet.

Um zu wissen, welche Methoden und Variablen die Klasse **(J)Applet** von ihren Vorfahren erbt, lohnt sich ein Blick auf den Stammbaum:



Insbesondere ist ein Applet also eine *Komponente* und folglich eine potentielle Ereignisquelle. Während bei Java-Anwendungen auch der „ereignislose“ Konsolentyp möglich ist, besitzen Applets stets eine grafik- und ereignisorientierte Bedienoberfläche.

Die in der Klasse **(J)Applet** im Vergleich zu einer Java-*Anwendung* definierten Zusatzkompetenzen beziehen sich vor allem auf die Kooperation mit dem Browser, in dessen Kontext ein Applet abläuft. Wichtige Kooperationsmethoden werden gleich mit Hilfe des folgenden Beispiels erläutert, das auf der Klasse **java.applet.JApplet** basiert:

```
import java.awt.*;
import javax.swing.*;

public class Life extends JApplet {
 private int startAnzahl, stopAnzahl;
 private JLabel lblStatus, lblStatusWert, lblStart, lblStartAnzahl,
                lblStop, lblStopAnzahl;

 public void init() {
  lblStatus = new JLabel("Status");
  lblStatusWert = new JLabel("Neu initialisiert");
  lblStart = new JLabel("Start-Aufrufe");
  lblStartAnzahl = new JLabel("0");
  lblStop = new JLabel("Stop-Aufrufe");
  lblStopAnzahl = new JLabel("0");
  setLayout(new GridLayout(3,2));
  add(lblStatus); add(lblStatusWert);
  add(lblStart); add(lblStartAnzahl);
  add(lblStop); add(lblStopAnzahl);
 }

 public void start() {
  startAnzahl++;
  lblStartAnzahl.setText(String.valueOf(startAnzahl));
 }

 public void stop() {
  stopAnzahl++;
  lblStatusWert.setText("Altlast");
  lblStopAnzahl.setText(String.valueOf(stopAnzahl));
  JOptionPane.showMessageDialog(null, "Stop");
 }

 public void destroy() {
  JOptionPane.showMessageDialog(null, "Destroy");
 }
}
```

Weil hier kritische Ereignisse im Leben eines Applets sichtbar gemacht werden sollen, hat die Klasse den Namen `Life` erhalten.

Während die Startklasse einer Anwendung ohne den Modifikator **public** auskommt, kann die Startklasse eines Applets nicht darauf verzichten.

14.3 Applet-Start via Browser oder Appletviewer

Wesentliche Eigenart eines Applets ist seine Einbettung in eine HTML-Seite, wobei traditionell ein so genanntes **applet**-Tag verwendet wird, das im `Life`-Beispiel z.B. folgendermaßen aussehen kann:

```
<html>
<head>
<title>Demo-Applet Life</title>
</head>
<applet code="Life.class" width=250 height=100>
</applet>
</body>
</html>
```

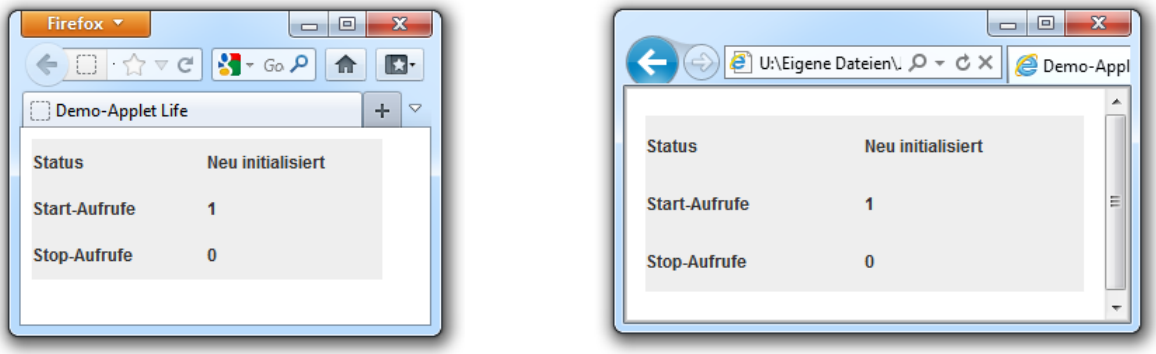
Bei den Attributen des **applet**-Tags beschränkt sich das Beispiel auf die wichtigsten Angaben:

- **code**
  Über dieses Attribut gibt man den Namen der Bytecodedatei zur Hauptklasse bekannt. Befindet sich diese Datei im selben Ordner wie das HTML-Dokument, ist keine Pfadangabe erforderlich.
- **width**, **height**
  Breite und Höhe der Appletfläche in Pixeln

Das **World Wide Web Consortium** (W3C) deklariert seit der HTML-Spezifikation 4 das **applet**-Tag als *deprecated* (herabgestuft, veraltet) und empfiehlt, stattdessen das **object**-Tag zu verwenden. In der Dokumentation zu Java 5.0[91] empfiehlt Oracle/Sun jedoch, das **applet**-Tag weiterhin zu verwenden:

> *Note: The HTML specification states that the `applet` tag is deprecated, and that you should use the `object` tag instead. However, the specification is vague about how browsers should implement the `object` tag to support Java applets, and browser support is currently inconsistent. Sun therefore recommends that you continue to use the `applet` tag as a consistent way to deploy Java applets across browsers on all platforms.*

Um ein Applet in einem Browser auszuführen, öffnet man die zugehörige HTML-Datei. Befindet sich diese Datei auf dem lokalen Rechner, kann man sie über das **Datei**-Menü, per Doppelklick oder Drag-&-Drop öffnen, z.B.:

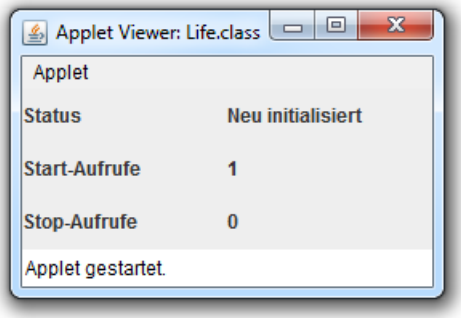


Die Rolle des Browsers beim Starten und Ausführen eines Java-Applets kann auch vom JDK-Hilfsprogramm **Appletviewer** übernommen werden. In der Entwicklungsphase ist der Appletviewer sogar zu bevorzugen, weil die übliche Cache-Strategie der Browser das Testen der aktuellen Applet-Version oft erschwert.

Man kann den Appletviewer in einem Konsolenfenster starten und dabei den Namen der HTML-Datei als Kommandozeilenparameter übergeben, z.B.:

```
U:\Eigene Dateien\Java\Life>appletviewer Life.htm
```

Das `Life` - Applet sieht im Fenster des Appletviewers unmittelbar nach dem Start so aus:



[91] http://docs.oracle.com/javase/1.5.0/docs/guide/plugin/developer_guide/using_tags.html

In Eclipse 3.7 lässt sich ein Applet z.B. über den **Ausführen**-Schalter starten, wobei die Entwicklungsumgebung den Appletviewer verwendet und automatisch eine umrahmende HTML-Datei erzeugt, die im Projektordner zu finden ist, während das aus Eclipse gestartete Applet läuft. Wie man sieht, verwendet auch Eclipse 3.7 das **applet**-Tag:

```
<html>
<body>
<applet code=Life.class width="200" height="200" >
</applet>
</body>
</html>
```

Über weitere Attribute des **applet**-Tags und sonstige Optionen beim Einbinden von Applets auf HTML-Seiten informiert z.B. Münz (2007).

14.4 Methoden für kritische Lebensereignisse

Wer das Applet in Abschnitt 14.2 vor dem Hintergrund unserer bisherigen Erfahrungen mit Java-Anwendungen näher betrachtet, wird sicher die **main()**-Methode vermissen, über die eine Java-*Anwendung* von der JVM in Gang setzt wird. Bei einem Applet läuft die Startphase anders ab:

- Der Browser (oder Appletviewer) erzeugt automatisch ein Objekt der im **applet**-Tag angegebenen Hauptklasse, die unbedingt als **public** deklariert werden muss.
- Anschließend ruft der Browser (oder Appletviewer) die **(J)Applet**-Methode **init()** auf, um das neue Objekt zu initialisieren. Bei Applets erledigt man das Initialisieren *nicht* per Konstruktor, weil vor dem **init()** - Aufruf keine vollständige Laufzeitumgebung garantiert ist, so dass z.B. das Laden von Bildern oder Audio-Clips misslingen könnte.
- Nach **init()** ruft der Browser (oder Appletviewer) die **start()**-Methode des Applets auf. Nun erscheint das Applet auf der Bildfläche, wird also zum Zeichnen seiner Komponenten aufgefordert und über Ereignisse informiert. Anders als bei einer Swing-*Anwendung* (vgl. Abschnitt 12.3) ist ein Aufruf der **Component**-Methode **setVisible()** weder erforderlich noch sinnvoll, um ein Applet in Szene zu setzen.

In unserem Beispiel erstellt **init()** sechs **JLabel**-Komponenten und fügt sie in den Top-Level - Container ein, der von einem **GridLayout** (vgl. Abschnitt 12.5.2) verwaltet wird. Ein **JApplet**-Container ist wie ein **JFrame**-Container mehrschichtig aufgebaut (vgl. Abschnitt 12.2.2), und alle Kind-Komponenten sollten in der Inhaltsschicht untergebracht werden. Dass die **add()**-Aufrufe trotzdem wie im folgenden Beispiel

```
add(lblStatus);
```

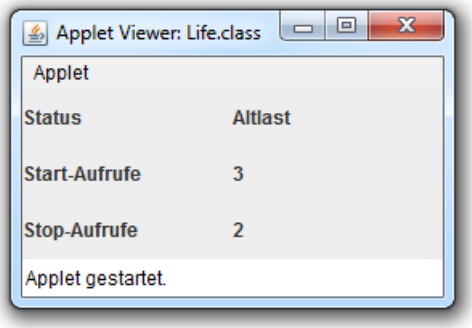
direkt an die **JApplet**-Komponente gerichtet werden können, liegt an den seit Java 5 vorhandenen Bequemlichkeitsüberschreibungen in der Klasse **JApplet**.[92]

Die Methoden **start()** und **stop()** erhöhen im Beispiel jeweils eine Zählvariable, welche die Anzahl der bisherigen Aufrufe festhält, z.B.:

---

[92] Wer neugierig darauf ist, wie in der **JApplet**-Klassendefinition die **add()**-Aufrufe weitergeleitet werden, sollte die Datei **JApplet.java** öffnen und einen Blick auf die Methode **addImpl()** werfen:

```
protected void addImpl(Component comp, Object constraints, int index) {
    if(isRootPaneCheckingEnabled()) {
        getContentPane().add(comp, constraints, index);
    } else {
        super.addImpl(comp, constraints, index);
    }
}
```



Damit der Browser (oder Appletviewer) die genannten Methoden aufrufen kann, müssen sie alle als **public** definiert werden. Sollten Sie anderes planen, wird schon der Compiler protestieren: Die Methoden sind in den Basisklassen als **public** definiert, und beim Überschreiben dürfen generell keine Zugriffsrechte eingeschränkt werden.

Nach Abschluss der Initialphase muss ein Applet zusätzlich mit folgenden Methodenaufrufen durch den Browser (oder Appletviewer) rechnen:

- Der Browser kann die **stop()**-Methode eines Applets aufrufen, um es vorübergehend zu deaktivieren, z.B. weil das Browserfenster in die Taskleiste beordert worden ist. Dabei bleiben alle Ressourcen des Applets erhalten, so dass es später fortgesetzt werden kann, wobei die **start()**-Methode erneut ausgeführt wird. Im Unterschied zum Appletviewer machen aktuelle Browser (Firefox 11, Internet Explorer 9) wenig Gebrauch von der **stop()**-Methode und rufen sie nur vor dem Beenden des Applets auf. Dementsprechend kommt die **Start()**-Methode nur in der Initialphase zum Einsatz.
- Schließt der Benutzer das Fenster bzw. die Registerkarte mit dem Applet, dann ruft der Browser die Methode **destroy()** auf, wobei das Applet ggf. Ressourcen freigegeben sollte.

14.5 Sonstige Methoden für die Applet-Browser - Kooperation

Anschließend werden noch einige Methoden für die Interaktion zwischen Applet und Browser vorgestellt. Wer sich für die Interaktion zwischen mehreren, simultan aktiven, Applets interessiert, kann sich z.B. bei Ullenboom (2012b, Abschnitt 15.2.5) informieren.

14.5.1 Parameterwerte aus der HTML-Datei übernehmen

Ein Applet-Programmierer kann seinem Kunden (dem Web-Designer) eine Möglichkeit schaffen, das Verhalten des Applets über Parameter zu steuern. Zur Vereinbarung von konkreten Parameterausprägungen im HTML-Code dienen **param**-Tags, z.B.:

```
<html>
<head>
<title>Parameterübernahme aus dem HTML-Quelltext</title>
</head>
<body>
<applet code="Param.class" width=200 height=50>
<param name = "Par1" value = "3">
</applet>
</body>
</html>
```

Pro **param**-Tag ist ein **name-value** - Paar erlaubt:

- **name**
  Unter diesem Namen ist ist der Paramter im Applet ansprechbar.
- **value**
  Das Applet erhält den Wert stets als **String**.

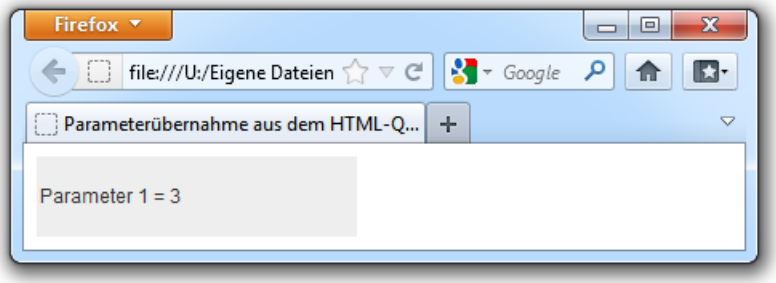
Ein Applet wird seine Steuerparameter in der Regel schon in der **init()**-Methode ermitteln, z.B.:

```
public class Param extends javax.swing.JApplet {
 public void init() {
  add(new java.awt.Label("Parameter 1 = " + getParameter("Par1")));
 }
}
```

Die zuständige **(J)Applet**-Methode **getParameter()** liefert nur Strings, so dass eventuell mit den entsprechenden Methoden der Verpackungsklassen für primitive Datentypen (vgl. Abschnitt 5.3.2) noch eine Konvertierung vorzunehmen ist, z.B.:

```
int pari1 = Integer.parseInt(par1);
```

Im Beispiel ist eine solche Wandlung nicht erforderlich:



14.5.2 Browser-Statuszeile ändern, Ereignisbehandlung

Über seine Methode **showStatus()** hat ein Applet Zugriff auf die Statuszeile des Browserfensters. In folgendem Beispiel werden dort Besuche der Maus dokumentiert:

```
import java.awt.event.*;

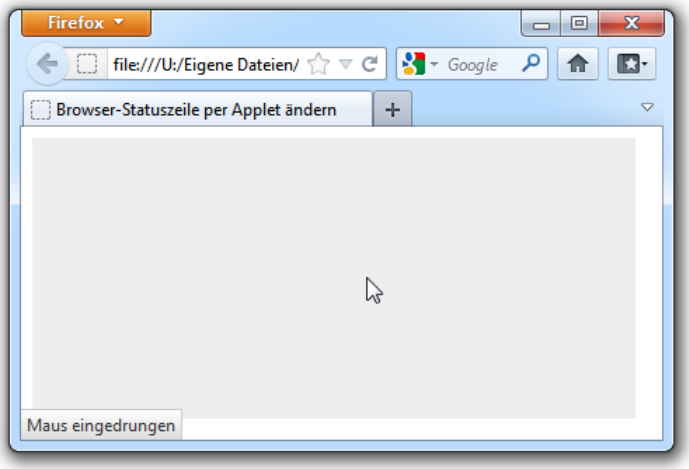
public class Statuszeile extends javax.swing.JApplet {
 public void init() {
  addMouseListener(new MouseDetector());
 }

 private class MouseDetector extends MouseAdapter {

  public void mouseEntered(MouseEvent e) {
   showStatus("Maus eingedrungen");
  }

  public void mouseExited(MouseEvent e) {
   showStatus("Maus entwischt");
  }
 }
}
```

Wie das Beispiel zeigt, ist die in Abschnitt 12.6 vorgestellte Ereignisbehandlung auch bei Applets verwendbar:



14.5.3 Andere Webseiten öffnen

Über die Möglichkeit, aus einem Applet heraus HTML-Seiten zu öffnen, kann man z.B. ein Frameset mit Navigationszone realisieren. Hier ist das anschließend beschriebene Applet-Beispiel im Safari-Browser unter Mac OS X zu sehen:

Im oberen Frame (`navigation` genannt) wird die Datei **Navigation.htm** geöffnet, die das Applet **Appligator.class** aufruft. Im unteren Frame (`content` genannt) wird initial die Datei **Content1.htm** (mit der animierten Java-Tasse) geöffnet. Das gesamte Frameset ist in der Datei **Navi-Demo.htm** enthalten:

```
<html>
<head>
<title>Navigation per Applet</title>
</head>
<frameset rows="*,*">
  <frame name="navigation" src="Navigation.htm">
  <frame name="content" src="Content1.htm">
  <noframes>
  <body>
  <p>Diese Seite verwendet Frames. Frames werden von Ihrem Browser aber nicht
  unterstützt.</p>
  </body>
  </noframes>
</frameset>
</html>
```

In der Datei **Navigation.htm** wird mit dem **center**-Tag für einen zentrierten Auftritt des Applets gesorgt:

```
<html>
<body>
<center>
<applet code="Appligator.class" width=200 height=30>
</applet>
</center>
</body>
</html>
```

Für das im `navigation` - Frame agierende Applet wird die folgende Klasse `Appligator` definiert:

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import java.net.*;
import javax.swing.*;

public class Appligator  extends JApplet  implements ActionListener {
 private JButton duke = new JButton("Duke");
 private JButton java = new JButton("Java");

 public void init() {
  add(java, BorderLayout.WEST);
  add(duke, BorderLayout.EAST);
  getContentPane().setBackground(Color.WHITE);
  java.addActionListener(this);
  duke.addActionListener(this);
 }

 public void actionPerformed(ActionEvent e) {
  URL url;
  try {
   if (e.getSource() == java)
    url = new URL(getCodeBase(), "Content1.htm");
   else
    url = new URL(getCodeBase(), "Content2.htm");
   getAppletContext().showDocument(url, "content");
  }
  catch (Exception ex) {//Ausnahmebehandlung
  }
 }
}
```

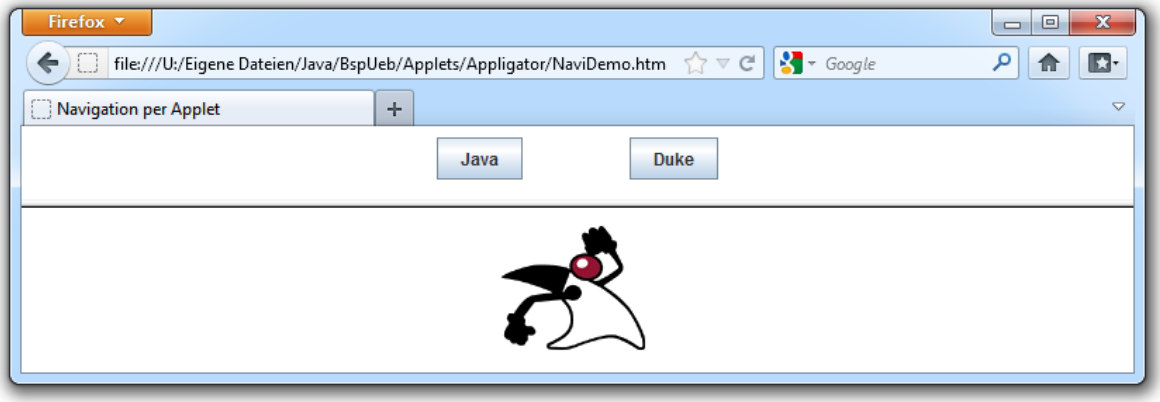
Die **JApplet**-Ableitung fungiert als Top-Level - Container und verwendet dabei das voreingestellte **BorderLayout** (vgl. Abschnitt 12.5.3). In der **init()**-Methode werden zwei **JButton**-Komponenten über die **Container**-Methode **add()** aufgenommen.

Die Klasse `Appligator` ist als **ActionEvent**-Empfänger für die Befehlsschalter gerüstet, weil sie das Interface **ActionListener** implementiert. In der Methode **actionPerformed()** wird je nach betätigtem Schalter ein **URL**-Objekt zur passenden HTML-Datei erzeugt (**Content1.htm** oder **Content2.htm**). Mit der Klasse **URL**, die Internet-Adressen repräsentiert, werden wir uns im Zusammenhang mit der Netzwerkprogrammierung noch näher beschäftigen (siehe Kapitel 17). Im verwendeten **URL**-Konstruktor wird die neue Adresse aus dem Namen der HTML-Datei und dem **URL**-Objekt zum Verzeichnis mit dem Applet zusammengesetzt. Letzteres liefert die **Applet**-Methode **getCodeBase()**.

Über die Methode **getAppletContext()** wird ein Objekt erreicht, welches den Browser vertritt. An dieses Objekt richtet sich die Botschaft **showDocument()**, die als Parameter das **URL**-Objekt zur gewünschten HTML-Seite sowie den Zielframe enthält. Wie alternative Ausgabeziele (z.B. ein neu-

es Fenster bzw. Registerblatt des Browsers) angesprochen werden können, ist in der API-Dokumentation zur **AppletContext**-Methode **showDocument()** zu erfahren.

Abschließend soll noch der Zustand nach einem Mausklick auf den Schalter **Duke** gezeigt werden:



14.6 Das Java-Browser-Plugin

Zusammen mit der Java Runtime Environment (JRE) der Firma Oracle wird per Voreinstellung für die angetroffenen Browser aus der Mozilla-Familie (z.B. Firefox) und für Microsofts Internet Explorer das **Java-Plugin** installiert. Es sorgt dafür, dass von den **applet**-Tags in HTML-Seiten die JVM der Firma Oracle angesprochen wird.

WWW-Browser können als 32- oder 64-Bit-Anwendung realisiert sein und benötigen dementsprechend eine 32- oder 64-Bit-JRE. Ob ein Browser ein funktionstüchtiges Java-Plugin besitzt, lässt sich über die folgende Webseite feststellen:

http://java.com/en/download/testjava.jsp

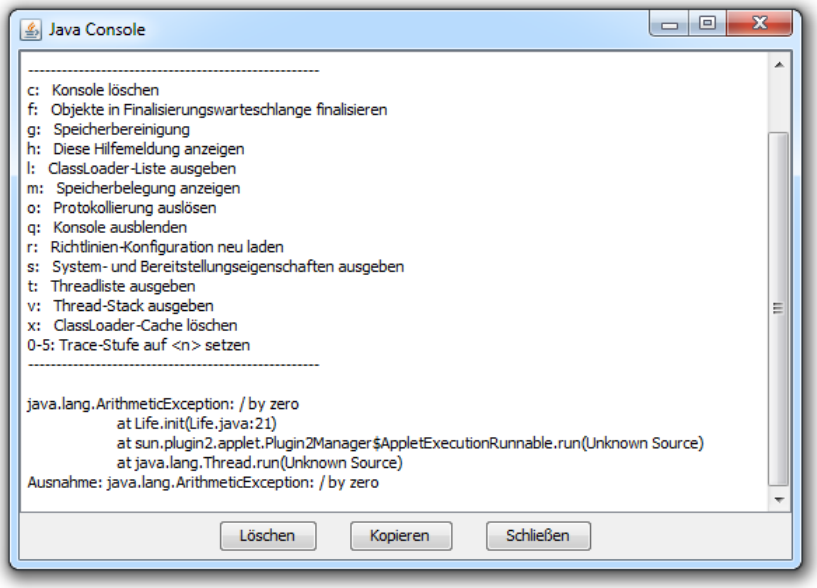
So sieht ein positives Testergebnis beim Firefox unter Windows 7-64 aus:

Bei Problemen mit dem Java-Plugin für den Firefox hilft die folgende Webseite weiter:

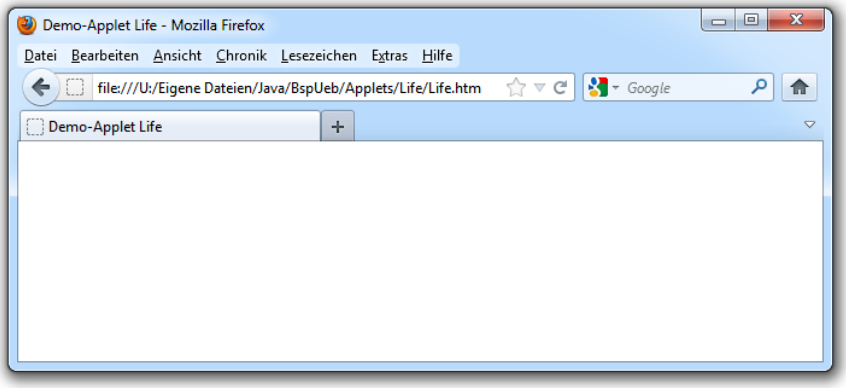
http://support.mozilla.org/de/kb/Das%20Java-Plugin%20mit%20Firefox%20nutzen

Ist das Java-Plugin zur Ausführung eines Applets aktiv, macht sich per Voreinstellung im Infobereich der Windows-Taskleiste (neben der Uhr) durch ein Java-Symbol bemerkbar, z.B.:

Über das Kontextmenü zu diesem Symbol lässt sich die **Java Konsole** öffnen, die bei der Fehlersuche helfen kann, z.B. wenn ein Applet wegen eines Ausnahmefehlers



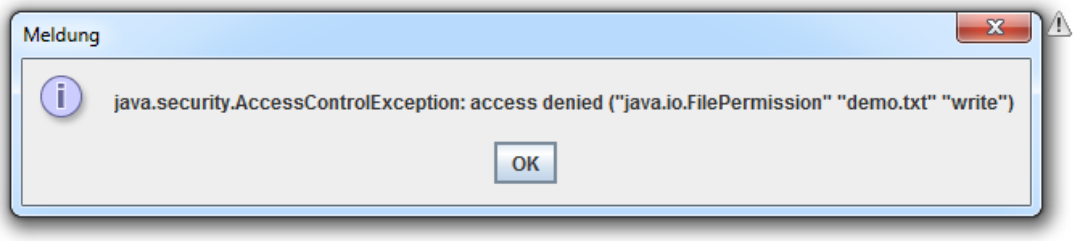
nicht auf der Bildfläche erscheint:



Ist der Quellcode zum Applet verfügbar, bietet unsere Entwicklungsumgebung Eclipse zusammen mit dem Appletviewer allerdings bessere Diagnosemöglichkeiten (vgl. Abschnitt 14.3).

14.7 Das Sicherheitsmodell für Applets

Ein via Browser gestartetes Applet wird in einem abgeschotteten **Sandkasten** ausgeführt und hat gegenüber einer Java-Anwendung deutlich reduzierte Standardrechte. Es darf weder lesend noch schreibend auf lokale Dateien zugreifen



und ist bei Netzwerkverbindungen auf den eigenen Herkunfts-Server beschränkt.

Für die Ausführung unter Eclipse 3 gelten diese Restriktionen nicht. Die Entwicklungsumgebung legt bei Applets automatisch im Projektordner die Datei **java.policy.applet** an und genehmigt hier für den Start aus Eclipse volle Zugriffsrechte:

```
/* AUTOMATICALLY GENERATED ON Tue Apr 16 17:20:59 EDT 2002*/
/* DO NOT EDIT */

grant {
  permission java.security.AllPermission;
};
```

Nähere Informationen zum Java-Sicherheitsmodell für Applets sind z.B. im Java-Tutorial zu finden:

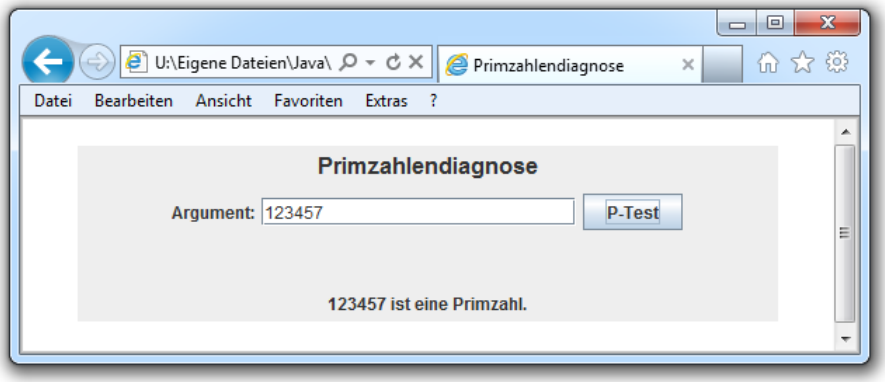
http://docs.oracle.com/javase/tutorial/deployment/applet/security.html

14.8 Übungsaufgaben zu Kapitel 14

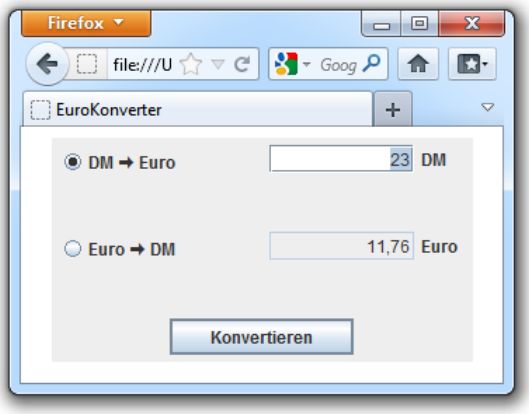
1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Unter den RIA-Lösungen (*Rich Internet Application*) sind die Applets eine oft unterschätzte Option.
2. Ein Applet wird aus Sicherheitsgründen in einer sogenannten Sandbox ausgeführt und darf z.B. per Voreinstellung nicht auf das lokale Dateisystem zugreifen.
3. Bei Applets sollte man keine Konstruktoren zum Initialisieren neuer Objekte verwenden.
4. Bei Applets sollte man aus Kompatibilitätsgründen auf das Swing-Toolkit verzichten.

2) Erstellen Sie ein Applet zur Primzahlendiagnose mit Swing-GUI, z.B.:



3) Erstellen Sie eine Applet-Variante zum Euro-DM - Konverter, den Sie als Übungsaufgabe zu Kapitel 12 entwickelt haben, z.B.:



15 Multimedia

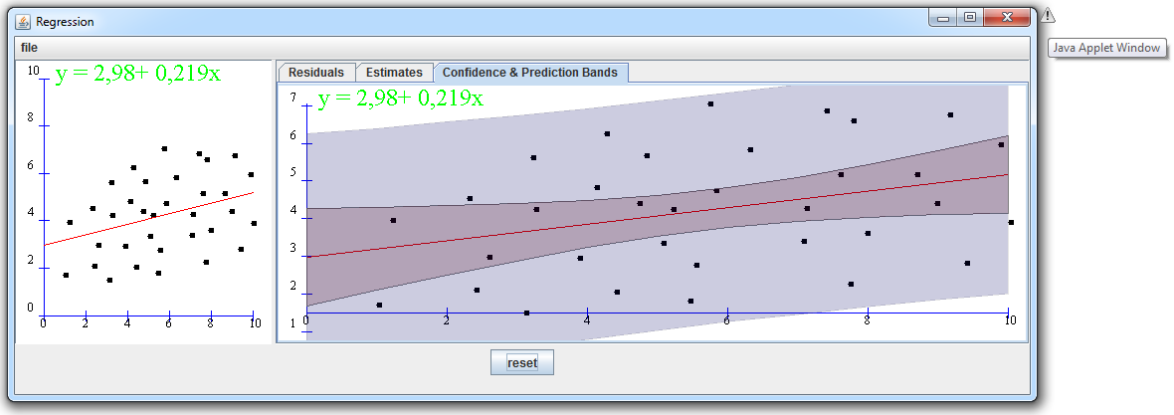
Dieses Kapitel behandelt elementare Techniken für die Ausgabe von 2D-Grafik und Sound.

15.1 2D-Grafik

Die bereits behandelten GUI-Steuerelemente (z.B. Befehlsschalter, Label, Texteingabefelder) bieten etliche Möglichkeiten zur individuellen Gestaltung der Bedienoberfläche. Allerdings ist oft eine freie Grafikaus- und -gabe unumgänglich. In diesem Abschnitt werden Klassen und Methoden zur Ausgabe von

- Vektorgrafik (z.B. Linien, Ellipsen, Rechtecke),
- Pixelgrafik und
- Text

vorgestellt. Wir haben als Beispiel (mit Vektorgrafik und Text) bereits in Abschnitt 1.2.5.8 dieses Applet



(von der Webseite http://www.math.csusb.edu/faculty/stanton/m262/index.html) bewundert, das die lineare Regressionsanalyse der Statistik mit Hilfe von 2D-Grafiken erläutert. Im Applet ist auch eine grafikorientierte Eingabe zum Setzen von Datenpunkten per Mausklick erlaubt.

Beim Swing-GUI kann man auf alle Objekte einer von **JComponent** abstammenden Klasse zeichnen. Die Top-Level - Container - Klasse **JFrame** hat einen alternativen Stammbaum und sollte *nicht* direkt bemalt werden. Stattdessen fügt man eine **JPanel**-Komponente ein und verwendet diese als Zeichenoberfläche.

Weil bei den AWT-Komponenten die Wirtsplattform wesentlich beteiligt ist, gelten hier Einschränkungen: Ein Bemalen der Oberfläche ist nur möglich bei den Top-Level - Containern (**Frame**, **Dialog**, **Window**, **Applet**) sowie bei der Komponente **Canvas**.

Auch bei der Grafikausgabe bietet das Swing-API wesentliche Verbesserungen im Vergleich zum älteren AWT-API (z.B. die automatische Doppelpufferung gegen das Flackern bei der Bildschirmausgabe).

Selbstverständlich ist der Bildschirm nicht das einzig mögliche Ausgabegerät für 2D-Grafik in Java. Als hoch relevante Alternative wird auch die Druckausgabe unterstützt, wobei eine Behandlung im Manuskript aus Zeitgründen leider nicht möglich ist.

Wie es bei einem erfolgreichen und traditionsreichen Software-System nicht anders zu erwarten, hat in Java auch bei der Grafikausgabe eine Entwicklung stattgefunden, so dass teilweise ursprüngliche und aktuelle Lösungen koexistieren. Wir behandeln zunächst die Grundlogik der Grafikausgabe und verwenden dabei die ursprüngliche, im AWT (***Abstract Windowing Toolkit***) enthaltene Ausgabetechnik. Sie ist weniger leistungsfähig, aber auch etwas einfacher als das **Java 2D - API**, das später vorgestellt wird.

15.1.1 Organisation der Grafikausgabe

15.1.1.1 Die Klasse Graphics

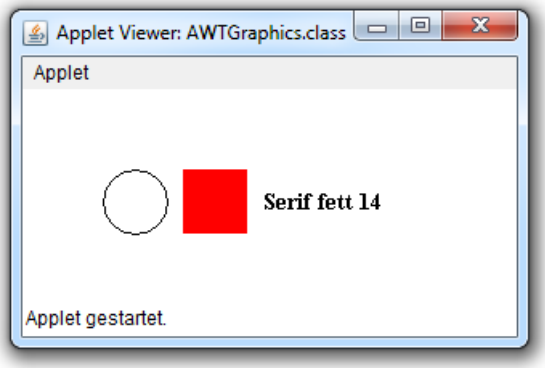
Als erstes Beispiel verwenden wir ein AWT-Applet, weil hier die Grafikausgabe besonders einfach zu realisieren ist. Bei der Grafikausgabe beschränken wir uns auf die bereits im AWT enthaltenen Methoden, verzichten also noch auf die Methoden aus dem Java 2D - API. Wegen dieser beiden Einschränkungen (AWT-Applet statt Swing-Applet, AWT-Grafik statt Java 2D - Grafik) taugt das Programm nicht als Muster für die Praxis:

```
import java.applet.Applet;
import java.awt.*;

public class AwtApplet extends Applet {
 public void init() {
  setFont(new Font(Font.SERIF, Font.BOLD, 14));
 }

 public void paint(Graphics g) {
  g.drawOval(50, 50, 40, 40);
  g.drawString("Serif fett 14", 150, 75);
  g.setColor(Color.RED);
  g.fillRect(100, 50, 40, 40);
 }
}
```

Im Appletviewer (vgl. Abschnitt 14.3) sieht die Ausgabe so aus:



Für die Grafikausgabe auf der Oberfläche einer Komponente ist ein Objekt aus einer Klasse zuständig, die von der abstrakten Klasse **java.awt.Graphics** abstammt.[93] Ein **Graphics**-Objekt bietet zahlreiche Ausgabemethoden für grafische Elemente wie Linien, Rechtecke, Ovale, Polygone, Texte etc. und verwaltet die dabei relevanten Kontextinformationen, z.B.

- Position und Größe der rechteckigen Zeichenfläche
- aktuelle Zeichenfarbe
- aktuelle Schriftart

Wie das Beispiel demonstriert und der Abschnitt 15.1.1.2 ausführlich erläutert, bringt man Arbeitsaufträge an **Graphics**-Objekte am besten in den Methoden unter, die vom Laufzeitsystem automatisch aufgerufen werden, wenn eine Komponente ihre Oberfläche neu zeichnen soll. Je nach GUI-Toolkit ist für diesen Zweck die **paint()**-Methode (AWT) bzw. die **paintComponent()**-

---

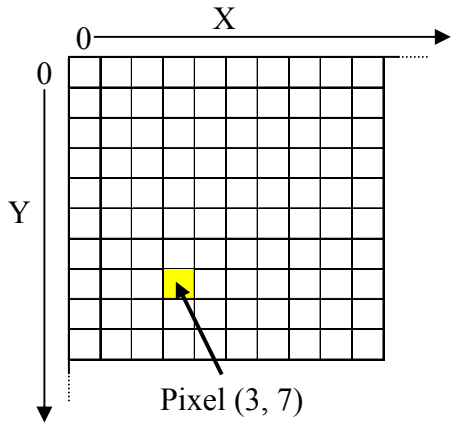
[93] Um welche Klasse es sich konkret handelt, kann man über die **Object**-Methode **getClass()** ermitteln:

```
g.drawString(g.getClass().toString(), 50,50);
```

Bei Java 7 stellt man z.B. unter Windows 7 die **K**lasse **sun.java2d.SunGraphics2D** fest.

Methode (Swing) einer Komponente zu überschreiben. Diesen Methoden wird beim Aufruf ein **Graphics**-Objekt per Parameter mitgeliefert.

Die Grafikausgabe basiert per Voreinstellung auf einem Koordinatensystem mit dem Ursprung (0,0) in der linken oberen Ecke der betroffenen Komponente, wobei die X-Werte von links nach rechts, und die die Y-Werte von oben nach unten wachsen:



Aus der Bindung an die Pixel-Matrix des Ausgabegeräts resultiert eine störende Auflösungsabhängigkeit, die im Java 2D - API überwunden wird (siehe Abschnitt 15.1.7).

In der **paint()**-Überschreibung des Beispiels kommen die **Graphics**-Methoden **drawOval()**, **drawString()**, **setColor()** und **fillRect()** zum Einsatz. Z.B. wird mit **drawOval()** an der Bildschirmposition (50, 50) ein Oval mit einer Höhe und Breite von 40 Pixeln gezeichnet, also ein Kreis mit diesem Durchmesser:

```
g.drawOval(50, 50, 40, 40);
```

Die auf spezielle geometrische Formen spezialisierten **Graphics**-Ausgabemethoden sind einfach zu verwenden. Durch die Parameter wird das umschreibende Rechtsecks festgelegt (X- und Y-Koordinate der linken oberen Ecke, Breite, Höhe). Wegen der begrenzten Gestaltungsmöglichkeiten dieser Methoden sind meist die jüngeren Java 2D - Alternativen **draw()** und **fill()** zu bevorzugen, die Objekte aus Klassen zur Repräsentation von geometrischen Formen als Parameter akzeptieren (siehe Abschnitt 15.1.3). Auf eine Erläuterung der veralteten **Graphics**-Methoden zum Zeichen von geometrischen Formen wird daher verzichtet.

15.1.1.2 System-initiierte Grafikausgabe

Eine Komponente muss aus verschiedenen Anlässen neu gezeichnet bzw. aktualisiert werden, z.B.:

- Das umgebende Rahmenfensters wird erstmals angezeigt oder kehrt aus dem minimierten Zustand zurück.
- Ein zuvor überdeckter Teil der Komponente wird sichtbar.
- Änderungen im Programm (im Modell hinter der Anzeige) erfordern eine Aktualisierung der Anzeige.

Solange sich ein GUI-Programm auf Steuerelemente (aus den Klassen **JButton**, **JLabel** etc.) beschränkt, muss man sich nicht damit beschäftigen, wie das Laufzeitsystem die Aktualisierung der (eventuell mehrstufig verschachtelten) Komponenten organisiert. Sobald sich ein Programm aber nicht auf Steuerelemente im Originaldesign beschränkt, sondern „freie“ Zeichnungen vornimmt, wird ein Blick hinter die Kulissen relevant:

- Die Aktualisierung beginnt mit der „umfassendsten“ änderungsbedürftigen Komponente und wird jeweils mit den enthaltenen Komponenten fortgesetzt.
- Weil die GUI-Ausgabemethoden im selben Thread (Ausführungsfaden, siehe Kapitel 16) ablaufen wie die Ereignisbehandlungsmethoden, gilt:

- Während eine Ereignisbehandlungsmethode abläuft, ist keine GUI-Ausgabe möglich.
- Während eine GUI-Ausgabemethode abläuft, ist keine Ereignisbehandlung möglich.

Genau genommen *konkurrieren* die GUI-Ausgabemethoden nicht mit den Ereignisbehandlungsmethoden, sondern es *sind* welche, ausgelöst vom Ereignis **PaintEvent**.

Einer Komponente wird vom Laufzeitsystem automatisch eine **paint()**- bzw. **paintComponent()**-Botschaft zugestellt, sobald ihre Oberfläche neu zu zeichnen ist, z.B. nach der Rückkehr eines Fensters aus der Windows-Taskleiste oder aus dem Macintosh-Dock. Alle von **java.awt.Component** abgeleiteten Klassen verfügen über eine **paint()**-Methode mit dem folgenden Definitionskopf:

public void paint(Graphics *g***)**

Das zum Zeichnen erforderliche **Graphics**-Objekt wird per Parameter geliefert.

Bei **paint()** handelt es sich um eine typische **Callback**-Methode, die vom Programm bereit gehalten und vom Laufzeitsystem aufgerufen wird.

Um die Bemalung einer Komponente zu beeinflussen, definiert man eine eigene Klasse mit geeigneter Basisklasse und überschreibt die Callback-Methode zur Grafikausgabe. Beim AWT-GUI wird die Methode **paint()** selbst überschrieben, beim komplexeren und leistungsfähigeren Swing-GUI hingegen meist die von **paint()** aufgerufene **JComponent**-Methode **paintComponent()**.

protected void paintComponent(Graphics *g***)**

15.1.1.3 Grafikausgabe im Swing-Toolkit

Bisher wurde ein AWT-Applet als Beispiel verwendet, weil seine Einfachheit die volle Konzentration auf die grundlegende Organisation der Grafikausgabe begünstigt hat. Auch im weit wichtigeren Swing-Toolkit erfolgt die Grafikausgabe nach der oben beschriebenen Logik. Allerdings ist zu beachten:

- Während auch bei einer **JApplet**-Komponente nichts gegen die direkte Verwendung als Zeichenoberfläche einzuwenden ist, sollte man keinesfalls direkt auf eine **JFrame**-Komponente zeichnen, sondern eine **JPanel**-Komponente als Zeichenoberfläche einfügen.
- Bei einer vom **JComponent** abstammenden Klasse sollte man an Stelle der **Component**-Methode **paint()** die **JComponent**-Methode **paintComponent()** überschreiben, die von **paint()** aufgerufen wird (siehe unten).

Um das folgende Trivialprogramm

zu realisieren, leiten wir eine eigene Klasse von **JPanel** ab und überschreiben die Methode **paintComponent()**:

```
import javax.swing.*;
import java.awt.*;

class SwingGuiAwtGraphics extends JFrame {
 SwingGuiAwtGraphics() {
  super("AWT-Grafik in Swing");
  MyPanel pan = new MyPanel();
  getContentPane().add(pan, BorderLayout.CENTER);
  setSize(300, 125);
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  setVisible(true);
 }

 public static void main(String[] args) {
  new SwingGuiAwtGraphics();
 }

 class MyPanel extends JPanel {
  protected void paintComponent(Graphics g) {
   super.paintComponent(g);
   g.setFont(new Font(Font.SERIF, Font.BOLD, 14));
   g.drawOval(50, 20, 40, 40);
   g.drawString("Serif fett 14", 150, 45);
   g.setColor(Color.RED);
   g.fillRect(100, 20, 40, 40);
  }
 }
}
```

Durch die mit Swing eingeführten Neuerungen (z.B. Komponenten-Umrahmungen, wählbares *Look & Feel*, automatische Doppelpufferung gegen das Flackern bei der Bildschirmausgabe) wurden einige Erweiterungen der Grafikausgabe erforderlich. Die **paint()**-Implementation der Klasse **javax.swing.JComponent** ruft nacheinander folgende Methoden auf:

- **paintComponent()**
  Bei den meisten Swing-Komponenten wird das *Look & Feel* (das Erscheinungsbild und das Interaktionsverhalten) durch ein separates Objekt aus der Klasse **ComponentUI** implementiert, und ein **paintComponent()** - Aufruf setzt einige Aktivitäten des **ComponentUI**-Objekts in Gang. Daher sollte bei einer **paintComponent()**-Überschreibung zu Beginn die Basisklassenvariante aufgerufen werden.
- **paintBorder()**
  Zeichnet den Rahmen der Komponente.
- **paintChildren()**
  Zeichnet die enthaltenen Komponenten.

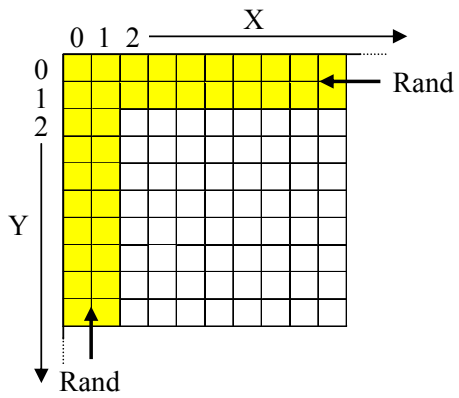
Sofern die bei Swing-Komponenten voreingestellte **Doppelpufferung** nicht abgeschaltet wurde, erhalten **paintComponent()**, **paintBorder()** und **paintChildren()** ein *Offscreen* - **Graphics**-Objekt. Erst die fertig gezeichnete Fläche gelangt auf den Bildschirm, so dass kein lästiges Flackern auftreten kann.

Für individuelle Grafikausgaben mit dem Swing-Toolkit sollte man so vorgehen:

- Eigene Klasse aus **JPanel** abgeleiten
  Zwar unterscheidet sich die Klasse **JPanel** seit der Java-Version 1.4 nur noch unwesentlich von ihrer Basisklasse **JComponent**, jedoch wird sie als Zeichnungsgrundlage in der Regel weiterhin bevorzugt. Ein **JFrame** - Top-Level - Container sollte keinesfalls bemalt werden.

- Methode **paintComponent()** überschreiben
  Wird paintComponent() überschrieben, bleibt die oben beschriebene, wesentlich von der **JComponent**-Methode **paint()** realisierte Logik der Swing-Grafikausgabe erhalten (z.B. Doppelpufferung, Zeichnen von eventuell enthaltenen Komponenten).
- Methode **super.paintComponent()** aufrufen
  Zu Beginn der **paintComponent()**-Überschreibung sollte unbedingt die Basisklassenvariante aufgerufen werden, weil dort das zur Look & Feel - Implementation eingeteilte Objekt (siehe oben) seine Aufträge erhält und z.B. bei einer Komponente mit dem **opaque**-Wert **true** den Hintergrund deckend zeichnet.
- Ggf. **paintBorder()** überschreiben
  Wer die Randzone einer Komponente individualisieren möchte, kann zusätzlich **paintBorder()** überschreiben, wobei zu Beginn wiederum die Basisklassenvariante aufgerufen werden sollte.

Beim Bemalen einer Swing-Komponente ist der ggf. vorhandene **Rand** zu berücksichtigen. So wird z.B. durch einen 2 Pixel breiten Rand der Punkt (2,2) zur linken oberen Ecke der verfügbaren Zeichenfläche, und bei Breite und Höhe gehen jeweils 4 Pixel verloren:



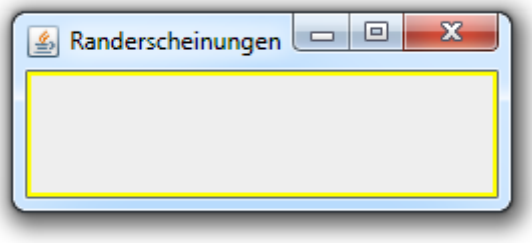
Über die aktuelle Größe der Zeichenfläche sowie der Ränder kann man sich mit den folgenden **JComponent**-Methoden informieren:

- **int getWidth()**
  Man erhält die Breite der Komponente in Pixeln.
- **int getHeight()**
  Man erhält die Höhe der Komponente in Pixeln.
- **Insets getInsets()**
  Man erhält ein **Insets**-Objekt, das mit seinen vier öffentlichen **int**-Feldern **left**, **right**, **top** und **bottom** über die Randbreiten informiert.

Im folgenden Codesegment wird für eine aus **JPanel** abgeleitete Komponente, die einen 2 Pixel breiten gelben Rand besitzt, mit der **Graphics**-Methode **drawRect()** versucht, die dem Rand innen liegend benachbarten Pixel rot einzufärben:

```
MyPanel pan = new MyPanel();
pan.setBorder(BorderFactory.createLineBorder(Color.YELLOW, 2));
getContentPane().add(pan, BorderLayout.CENTER);
  . . .
class MyPanel extends JPanel {
 protected void paintComponent(Graphics g) {
  super.paintComponent(g);
  g.setColor(Color.RED);
  g.drawRect(0, 0, getWidth(), getHeight());
 }
}
```

Im ersten Versuch ist keine **drawRect()**-Ausgabe zu erkennen:

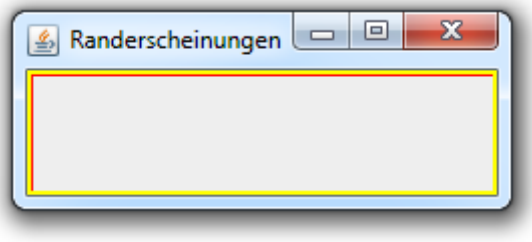


Sie wird vom ignorierten Rand überdeckt, den die *nach* **paintComponent()** aufgerufene Methode **paintBorder()** zeichnet (siehe Abschnitt 15.1.1.3).

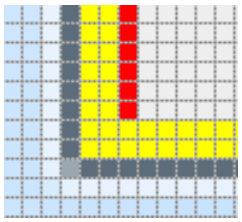
Beim folgenden **drawRect()**-Aufruf werden die Ränder (fast korrekt) berücksichtigt:

```
g.drawRect(getInsets().left, getInsets().top,
           getWidth()-getInsets().left-getInsets().right,
           getHeight()-getInsets().top-getInsets().bottom);
```

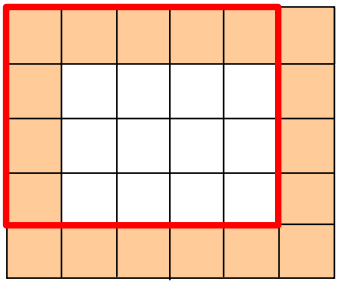
Am rechten und am unteren Rand ist allerdings die rote Linie immer noch verdeckt:



In der Vergrößerung der unteren linken Ecke ist das Problem besser zu erkennen:



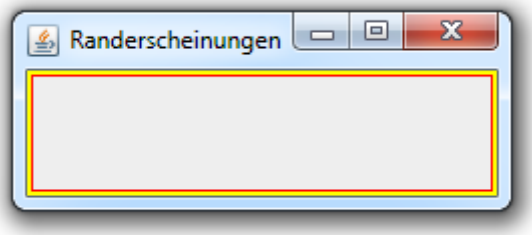
Das Resultat des zweiten Versuchs ist aus dem Verhalten der **Graphics**-Objekte beim Zeichnen von Umrisslinien zu erklären. Wird z.B. per **drawRect()** ein Rechteck mit der Breite 5 und der Höhe 4 angefordert, dann legt der virtuelle Zeichenstift Strecken mit den geforderten Längen zurück und zeichnet dabei mit einer Breite von einem Pixel *rechts neben* bzw. *unter* den Streckenverlauf, so dass die folgende Figur mit einer Breite von 6 und einer Höhe von 5 Pixeln entsteht:



Bei Berücksichtigung dieses „Vergrößerungseffekts“:

```
g.drawRect(getInsets().left, getInsets().top,
           getWidth()-getInsets().left-getInsets().right-1,
           getHeight()-getInsets().top-getInsets().bottom-1);
```

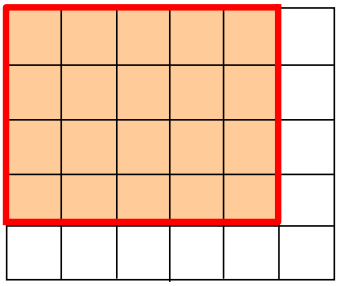
erhält man das gewünschte Ergebnis:



Die in Abschnitt 15.1.3.1 vorzustellenden Java 2D - Ausgabemethoden für geometrische Standardformen verhalten sich analog, sodass sich das letzte Defektbild auch mit den folgenden Anweisungen produzieren lässt:

```
Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;
Rectangle2D r1 = new Rectangle2D.Double(getInsets().left, getInsets().top,
   getWidth()-getInsets().left-getInsets().right,
   getHeight()-getInsets().top-getInsets().bottom);
g2.draw(r1);
```

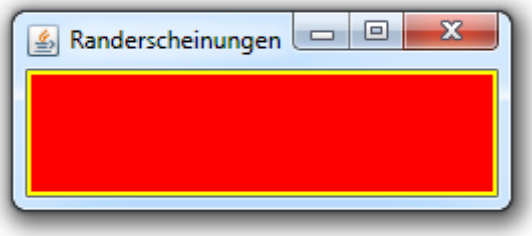
Bei *gefüllten* Figuren entstehen keine „Extrapixel“. Ein per **fillRect()** angefordertes Rechteck mit der Breite 5 und der Höhe 4 ist exakt von dieser Größe:



Der Methodenaufruf

```
g.fillRect(getInsets().left, getInsets().top,
           getWidth()-getInsets().left-getInsets().right,
           getHeight()-getInsets().top-getInsets().bottom);
```

liefert:



15.1.1.4 Vergebliche Bemühungen

Im nächsten Beispielprogramm (wiederum mit Swing-GUI) soll die Rolle der Callback-Methoden **paint()** bzw. **paintComponent()** noch einmal demonstriert werden, wobei ein Befehlsschalter ins Spiel kommt. Wie bereits erwähnt, sollte ein **JFrame**-Container generell nicht bemalt werden. Das Patentrezept für diese Lage kennen Sie schon aus dem letzten Beispiel: Für die Grafikausgaben kommt eine **JPanel**-Komponente zum Einsatz. Um individuelle Grafikausgaben in einer **paintComponent()**-Überschreibung vornehmen zu können, leiten wir eine eigene Klasse von **JPanel** ab:

```
import java.awt.*;
import javax.swing.*;
import java.awt.event.*;

public class Vergeblich extends JFrame implements ActionListener {
 private JButton cbEi;
 private MyPanel panEier;

 Vergeblich() {
  super("Vergeblich");
  Container cont = getContentPane();
  cbEi = new JButton("Ei legen");
  cbEi.addActionListener(this);
  cont.add(cbEi, BorderLayout.NORTH);
  panEier = new MyPanel();
  cont.add(panEier, BorderLayout.CENTER);
  setSize(300, 200);
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  setVisible(true);
 }

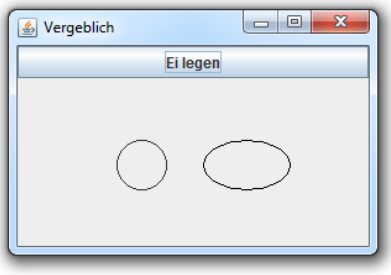
 public void actionPerformed(ActionEvent e) {
  panEier.getGraphics().drawOval(150, 50, 70, 40);
 }

 public static void main(String[] args) {
  new Vergeblich();
 }

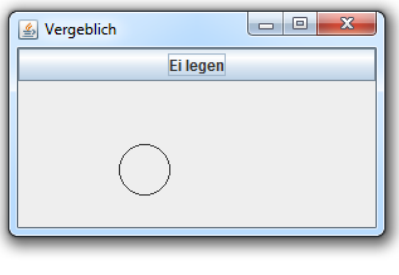
 class MyPanel extends JPanel {
  public void paintComponent(Graphics g) {
   super.paintComponent(g);
   g.drawOval(80, 50, 40, 40);
  }
 }
}
```

Die bei jedem **PaintEvent** (d.h. bei Renovierungsbedarf) vom Laufzeitsystem aufgerufene **paintComponent()**-Methode unserer Klasse `MyPanel` malt ein Ei auf die Komponentenoberfläche, das folglich stets vorhanden ist. Die Ereignisbehandlungsmethode **actionPerformed()** zum Befehlsschalter des Beispielprogramms malt ebenfalls ein Ei, wählt aber den falschen Weg. Sie besorgt sich das **Graphics**-Objekt zur Panel-Komponente und veranlasst eine direkte Grafikausgabe. Ein Mausklick auf den Schalter hat zunächst den gewünschten Effekt, doch währt die Freude nur kurz:

Nach dem Start



Unmittelbar nach einem Mausklick auf den Schalter



Nach einer Größenänderung des Fensters

Was dauerhaft auf einer Komponente sichtbar sein soll, muss über deren **paint()**- bzw. **paintComponent()**-Methode gemalt werden.

Von der direkten Grafikausgabe ist in der Regel auch aus anderen Gründen ebenso abzuraten wie vom direkten Aufruf der **paint()**- bzw. **paintComponent()**-Methode (siehe Fowler 2003). Nun ist es aber keinesfalls ungewöhnlich, dass ein Programm oder Applet seine Oberfläche (möglichst unverzüglich) aktualisieren möchte. Im nächsten Abschnitt wird ein geeignetes Verfahren beschrieben.

15.1.1.5 Programm-initiierte Aktualisierung

Ein Programm oder Applet kann jederzeit die Aktualisierung der Grafikanzeige veranlassen, indem es die Methode **repaint()** für die betroffene Komponente aufruft. Diese Methode stellt ein **PaintEvent** in die Ereigniswarteschlange, das baldmöglichst vom zuständigen Thread (Ausführungsfaden, siehe Kapitel 16) bearbeitet wird und zum Aufruf der **paint()**- bzw. **paintComponent()**-Methode der betroffenen Komponente führt.

In der folgenden Variante des Eier-Programms aus dem letzten Abschnitt werden alle Eier in der **paint()**-Methode gemalt, beim rechten Ei in Abhängigkeit von der booleschen Instanzvariablen `eida`. Die Ereignismethode zum Befehlsschalter macht keine Grafikausgabe mehr, sondern verändert den Wert der Instanzvariablen `eida` und ruft dann die **repaint()**-Methode der zu bemalenden Komponente auf:

```
import java.awt.*;
import javax.swing.*;
import java.awt.event.*;

public class RepaintDemo extends JFrame implements ActionListener {
 private boolean eida = false;
 private JButton cbEi;
 private MyPanel mpEier;

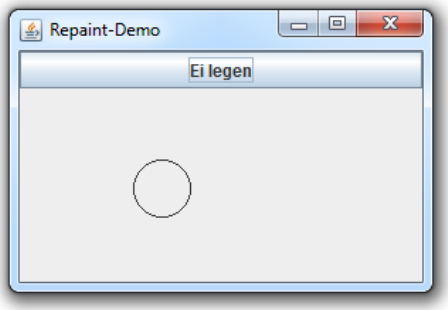
 RepaintDemo() {
  super("Repaint-Demo");
  Container cont = getContentPane();
  cbEi = new JButton("Ei legen");
  cbEi.addActionListener(this);
  cont.add(cbEi, BorderLayout.NORTH);
  mpEier = new MyPanel();
  cont.add(mpEier, BorderLayout.CENTER);
  setSize(300, 200);
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  setVisible(true);
 }

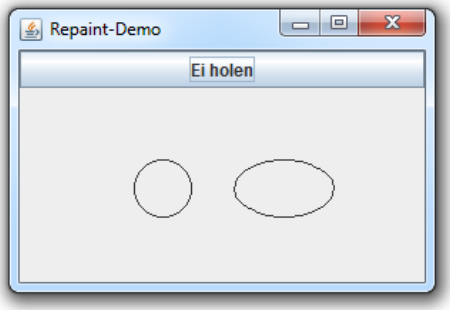
 public void actionPerformed(ActionEvent e) {
  eida = !eida;
  if (eida)
   cbEi.setText("Ei holen");
  else
   cbEi.setText("Ei legen");
  mpEier.repaint();
 }

 public static void main(String[] args) {
  new RepaintDemo();
 }
```

```
    class MyPanel extends JPanel {
     public void paintComponent(Graphics g) {
      super.paintComponent(g);
      g.drawOval(80, 50, 40, 40);
      if (eida)
       g.drawOval(150, 50, 70, 40);
     }
    }
  }
```

Das Ei kann praktisch verzögerungsfrei per Mausklick gelegt und geholt werden:





Der aktuelle Zustand des Geleges wird unter allen Umständen (z.B. nach der Rückkehr aus der Taskleiste) korrekt angezeigt.

Trotz einiger Unterschiede bei der Grafikausgabe gilt für das AWT- wie für das Swing-Toolkit (vgl. Fowler 2003):

- Um die Anzeige einer Komponente zu aktualisieren, ruft man deren **repaint()**-Methode auf.
- Man sollte die **paint()**- bzw. **paintComponent()**-Methode nicht direkt aufrufen.

An Stelle der parameterfreien **repaint()**-Methode ist zur Beschleunigung der Grafikausgabe bei komplexen Komponenten eine Überladung mit Angabe des tatsächlich aktualisierungsbedürftigen Rechtecks zu bevorzugen:

void repaint(**int** *x*, **int** *y*, **int** *width*, **int** *height*)

Wenn eine Animation mit schnell wechselnder Oberflächenbemalung ablaufen soll, ist ausnahmsweise die direkte Grafikausgabe sinnvoll. Man ermittelt (z.B. in einer Ereignisbehandlungsmethode) bei der zu gestaltenden Komponente das zuständige Graphics-Objekt mit der Methode **getGraphics()**, um es anschließend mit Grafikausgaben zu beauftragen. Gleichzeitig ist dafür zu sorgen, dass die **paint()**- bzw. **paintComponent()**-Methode beim nächsten System-initiierten Aufruf ein aktuelles Bild zeichnet.

15.1.2 Das Java 2D API

Für anspruchsvolle Grafikausgaben sollten die Klassen und Methoden aus dem **Java 2D API** verwendet werden, um die folgenden Optionen nutzen zu können:

- Flexible Klassen für Standardformen (z.B. Linien, Rechtecke, Ellipsen, Kurven) sowie zur Kreation von individuellen Formen durch Zusammensetzen von einfachen Formen
- Erkennen von Mausklicks bei Formen, Texten und Bildern.
- Komposition von Objekten (z.B. Vereinigen, Schneiden)
- Flexible Farbverwaltung
- Unterstützung beim Drucken komplexer Dokumente
- Qualitätssteigerung bei der Grafikausgabe (beim Rendern von Grafiken) durch Rendering Hints (z.B. zur Kantenglättung)

Das einer **paintComponent()**-Methode beim Aufruf übergebene **Graphics**-Objekt stammt eigentlich aus der abgeleiteten Klasse **Graphics2D**[94], und genau ein solches Objekt wird benötigt, um die Java 2D - Optionen nutzen zu können. Man muss lediglich mit der übergebenen Referenz eine Typwandlung vornehmen, z.B.:

```
Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;
```

Während bei der traditionellen Grafikausgabe für jede geometrische Form (z.B. Rechteck) ein Paar von **Graphics**-Methoden zum Zeichen der Umrisslinie (z.B. **drawRect()**) bzw. zum Füllen der Form (z.B. **fillRect()**) verwendet wird, besitzt das Java 2D - API konsequent objektorientiert für jede Standardform eine Klasse. Alle Klassen für geometrische Formen erfüllen das Interface **Shape**, und die Klasse **Graphics2D** beherrscht die Methoden **draw()** und **fill()**, die ein Argument vom Typ **Shape** akzeptieren und seine Umrisslinie bzw. seine Fläche ausgeben. Dabei kann ein Stift vom Typ **Stroke** bzw. ein Färbemittel vom Typ **Paint** flexibel gestaltet werden.

Die im weiteren Verlauf von Abschnitt 15.1 vorgestellten Ausgabetechniken erfordern in der Regel die Klasse **Graphics2D**, sind gelegentlich aber auch mit der älteren Basisklasse **Graphics** realisierbar.

15.1.3 Geometrische Formen

Bei den anschließend vorgestellten Java 2D - Ausgabemethoden sind (wie bei den AWT-Entsprechungen) zwei „Randerscheinungen“ zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 15.1.1.3):

- Beim Bemalen einer Swing-Komponente ist der ggf. vorhandene **Rand** zu berücksichtigen. So wird z.B. durch einen 2 Pixel breiten Rand der Punkt (2,2) zur linken oberen Ecke der verfügbaren Zeichenfläche, und bei Breite und Höhe gehen jeweils 4 Pixel verloren.
- Es ist das Verhalten der **Graphics2D**-Objekte beim Zeichnen von Umrisslinien zu berücksichtigen. Wird z.B. per **draw()** - Aufruf ein Rechteck mit der Breite 5 und der Höhe 4 angefordert, dann legt der virtuelle Zeichenstift Strecken mit den geforderten Längen zurück und zeichnet dabei *rechts neben* bzw. *unter* den Streckenverlauf, so dass z.B. bei der Liniestärke 1 eine Figur mit der Breite 6 und der Höhe 5 entsteht.

15.1.3.1 Standardformen

Zur Realisation von elementaren Formen (z.B. Linien, Rechtecken) stehen im Paket **java.awt.geom** passende Klassen (z.B. **Line2D**, **Rectangle2D**) zur Verfügung, deren Objekte als Parameter für die **Graphics2D**-Methoden **draw()** und **fill()** erlaubt sind. Im Vergleich zur Verwendung der älteren **Graphics**-Zeichenmethoden (z.B. **drawRect()**, **fillRect()**), die oben im Rahmen eines Beispiels zu sehen waren (vgl. Abschnitt 15.1.1) verbessert sich die Gestaltungsfreiheit (und der objektorientierte Programmierstil).

Weil die Java 2D - Klassen für geometrische Formen das Interface **Shape** implementieren, sind Methoden zur Diagnose von Anordnungsrelationen vorhanden. So lässt sich z.B. ein **Shape**-Objekt über die Methode **intersects()** befragen, ob das Innere der Form sich mit dem Inneren eines **Rectangle2D**-Objekts überlappt.

Zur Lokalisation geometrischer Objekte eignet sich oft die Klasse **Point2D.Double**, die Punkte im Koordinatensystem repräsentiert. Sie ist als statische Mitgliedsklasse (vgl. Abschnitt 12.6.6.1) und Ableitung der Klasse **Point2D** realisiert, z.B.:

```
double x=10, y=10;
Point2D.Double pt1 = new Point2D.Double(x, y);
Point2D.Double pt2 = new Point2D.Double(100, 100);
Line2D.Double ld = new Line2D.Double(pt1, pt2);
```

[94] Wie die Klasse **Graphics** ist auch die Klasse **Graphics2D** abstrakt und wird plattformspezifisch konkretisiert.

Neben der Klasse **Point2D.Double** mit öffentlichen Instanzvariablen vom Typ **Double** für die beiden Koordinaten und einem entsprechenden Klassennamen bietet das Paket **java.awt.geom** auch die Alternative **Point2D.Float** mit Instanzvariablen vom Typ **Float** an. Analoge Verhältnisse bestehen z.B. bei den Klassen **Line2D.Double** und **Line2D.Float**. Wir verwenden im Manuskript stets die **Double**-Variante und erwähnen die **Float**-Alternative nicht explizit.

Anschließend werden die Klassen für elementare geometrische Formen kurz vorgestellt. Zur Ausgabe dient jeweils die **Graphics2D**-Methode **draw()**, die einen Parameter vom Typ **Shape** erwartet.

Line2D.Double

Die Klasse **Line2D.Double** mit dem offensichtlichen Zweck, Linien zu repräsentieren, bietet einen Konstruktor mit zwei **Point2D.Double**-Argumenten sowie eine Alternative mit Parametern für die X- und Y-Koordinaten der beiden Endpunkte, z.B.:

```
Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;
  .  .  .
g2.draw(new Line2D.Double(50, 20, 500, 300));
```

Sind bei einer Linie Start und Ziel identisch, erhält man einen Punkt.

Rechtecke

Die Klassen **Rectangle2D.Double** für einfache Rechtecke und **RoundRectangle2D.Double** für Rechtecke mit abgerundeten Ecken stammen von der gemeinsamen Basisklasse **RectangularShape** ab. Im folgenden **Rectangle2D.Double** - Konstruktoraufruf werden die Koordinaten der linken oberen Ecke sowie die Breite und die Höhe des Rechtecks angegeben:

```
Rectangle2D r1 = new Rectangle2D.Double(30, 30, 60, 60);
```

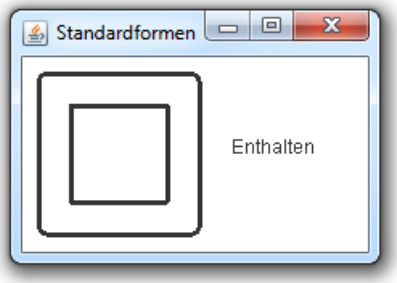
Bei einem Rechteck mit abgerundeten Ecken kommen noch die Breite und Höhe der Eckbögen hinzu, z.B.:

```
RoundRectangle2D r2 = new RoundRectangle2D.Double(10, 10, 100, 100, 10, 10);
```

Die beiden **draw()** - Aufrufe

```
g2.draw(r1); g2.draw(r2);
```

erzeugen dieses Bild:



In der folgenden **if**-Anweisung wird das **RoundRectangle2D.Double** - Objekt `r2` mit der **RectangularShape** - Methode **contains()** befragt, ob das **Rectangle2D.Double** - Objekt `r1` komplett enthalten ist:

```
if (r2.contains(r1))
 g2.drawString("Enthalten", 130, 60);
```

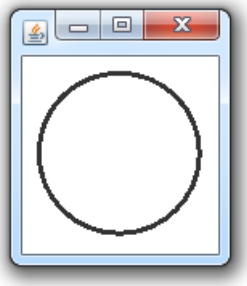
Ein positiver Testausgang wird per **drawString()** - Aufruf dokumentiert.

Ellipse2D.Double

Auch die Klasse **Ellipse2D.Double** für Ellipsen stammt (über die direkte Basisklasse **Ellipse2D**) von **RectangularShape** ab, was zu Konstruktoren mit analoger Parameterausstattung führt. Die folgende Anweisung

```
g2.draw(new Ellipse2D.Double(10, 10, 100, 100));
```

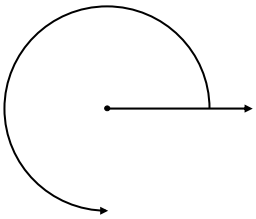
liefert das Ergebnis:



Arc2D.Double

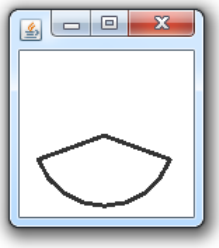
Auch die Klasse **Arc2D.Double** für Bogensegmente stammt (über die direkte Basisklasse **Arc2D**) von **RectangularShape** ab, wobei zur Konstruktoren eines Bogensegments zusätzlich zu Position und Größe des umschreibenden Rechtecks weitere Angaben erforderlich sind:

- Startwinkel
  Der Winkel ist in Grad (von 0 bis 360) anzugeben und wird im mathematischen Sinn (links herum) ab X-Achse gemessen:

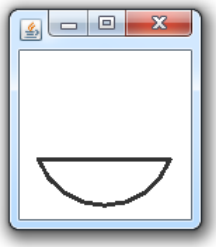


- Größe des Winkelsegments in Grad
- Abschlusstyp
  Die möglichen Varianten können über Konstanten (öffentliche, statische und finalisierte Felder) der Klasse Arc2D gewählt werden:
  - **Arc2D.OPEN**
    Man erhält einen offenen Bogen ohne Verbindungslinie zwischen Start- und Endpunkt, z.B.:

  - **Arc2D.PIE**
    Man erhält ein Tortensegment mit Verbindungslinie zwischen Start- und Endpunkt, z.B.:



  - **Arc2D.CHORD**
    Man erhält einen Bogen mit Sehne, z.B.:



Für das obige Tortenstück ist die folgende Anweisung verantwortlich:

```
g2.draw(new Arc2D.Double(10, 10, 100, 100, 200, 140, Arc2D.PIE));
```

QuadCurve2D.Double

Mit Hilfe der Klasse **QuadCurve2D.Double** realisiert man eine quadratische Kurve, die über zwei Endpunkte sowie einen dazwischen liegenden Kontrollpunkt definiert ist. Im folgenden Beispiel kommt ein Konstruktor mit Parametern für die X- und Y-Koordinaten der drei Punkte zum Einsatz:

```
QuadCurve2D.Double k = new QuadCurve2D.Double(10, 10, 60, 110, 110, 10);
g2.draw(k);
```

Das Ergebnis:

Wie die Gestaltung (z.B. Dicke, Farbe) einer Linie per **Stroke**-Objekt zu gestalten ist, erfahren Sie in Abschnitt 15.1.4.

Mit der **QuadCurve2D.Double**-Methode **setCurve()** lassen sich die definierenden Punkte einer quadratischen Kurve ändern, z.B.:

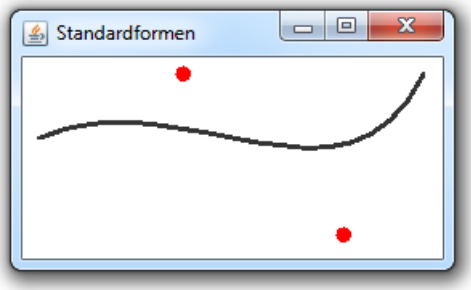
```
k.setCurve(10, 10, 60, 110, 110, 10);
```

CubicCurve2D.Double

Mit Hilfe der Klasse **CubicCurve2D.Double** realisiert man eine kubische Kurve (alias Bézier-Kurve), die über zwei Endpunkte sowie zwei dazwischen liegenden Kontrollpunkt definiert ist und damit mehr Flexibilität bietet als quadratische Kurve. Im folgenden Beispiel wird eine Kurve parameterfrei konstruiert und anschließend über die Methode **setCurve()** und vier Parameter vom Typ **Point2D.Double** definiert:

```
CubicCurve2D c = new CubicCurve2D.Double();
Point2D.Double p1 = new Point2D.Double(10, 50);
Point2D.Double p2 = new Point2D.Double(250, 10);
Point2D.Double k1 = new Point2D.Double(100, 10);
Point2D.Double k2 = new Point2D.Double(200, 110);
c.setCurve(p1, k1, k2, p2);
g2.draw(c);
```

In der folgenden Ausgabe sind außerdem die Kontrollpunkte zu sehen, die den Verlauf der Kurve beeinflussen:



Ausgehend vom Startpunkt wird die Kurve zunächst vom ersten Kontrollpunkt und dann vom zweiten Kontrollpunkt angezogen, um schließlich im Endpunkt zu landen. Im obigen Quellcodesegment fehlen die Anweisungen zur Ausgabe der Kontrollpunkte.

15.1.3.2 Eigene Pfade

Komplexe Formen können über ein Objekt der Klasse **Path2D.Double** realisiert werden, wobei zur Konstruktion eines Pfads aus Linien sowie quadratischen und kubischen Kurven u.a. die folgenden Methoden vorhanden sind:

- **public final void moveTo(double** *x*, **double** *y***)**
  Der „Zeichenstift“ wird zur gewünschten Position bewegt (ohne eine Spur zu zeichen).
- **public final void lineTo(double** *x***, double** *y***)**
  Es entsteht ein Liniensegment von der aktuellen Position des „Zeichenstifts“ bis zu der durch die Parameter angegebenen Position.
- **public final void quadTo(double** *x1***, double** *y1***, double** *x2***, double** *y2***)**
  Es entsteht eine quadratische Kurve von der aktuellen Position des „Zeichenstifts“ bis zum Punkt (*x*2, *y*2) mit dem Kontrollpunkt (*x*1, *y*1).
- **public final void curveTo(double** *x1***, double** *y1***, double** *x2***, double** *y2***, double** *x3***, double** *y3***)**
  Es entsteht eine kubische Kurve von der aktuellen Position des „Zeichenstifts“ bis zum Punkt (*x*3, *y*3) mit den Kontrollpunkten (*x*1, *y*1) und (*x*2, *y*2).
- **public final void closePath()**
  Die Form wird geschlossen durch eine gerade Linie von der aktuellen Position des „Zeichenstifts“ bis zu den Koordinaten des letzten **moveTo()** - Aufrufs, also bis zum letzten Aufsetzen des „Zeichenstifts“.

Wird ein **Path2D**-Objekt mit Kreuzungen im Pfadverlauf durch die **Graphics2D**-Methode **fill()** flächig gefärbt, entscheidet die **Füllregel** (engl. *winding rule*) darüber, welche Punkte zum Inneren der Form gerechnet und eingefärbt werden. Dabei sind zwei Regeln von Interesse:

- **Gerade-Ungerade - Regel** (engl. *even odd rule*)
  Für jeden Punkt wird ein Strahl aus der Figur heraus betrachtet und die Anzahl seiner Kreuzungen mit Pfadsegmenten betrachtet. Ein innerer Punkt liegt genau dann vor, wenn sein „Fluchtstrahl“ eine positive Anzahl von Kreuzungen aufweist.
- **Nicht-Null - Regel** (engl. *non zero rule*)
  Auch bei dieser Regel werden für jeden Punkt die Kreuzungen seines „Fluchstrahls“ mit Pfadsegmenten betrachtet, wobei aber auch die Richtung der gekreuzten Segmente relevant ist: Verläuft das gekreuzte Segment von links nach rechts, wird die Anzahl inkrementiert, sonst dekrementiert. Ein innerer Punkt liegt genau dann vor, wenn das Ergebnis von Null verschieden ist.

Zur Wahl der Füllregel bietet die Klasse **Path2D.Double** einen Konstruktor mit einem entsprechenden Parameter:

public Path2D.Double(int *regel***)**

Für die beiden sinnvollen Aktualparameterwerte stehen in der Klasse **Path2D.Double** die Konstanten **WIND_EVEN_ODD** und **WIND_NON_ZERO** zur Verfügung. Verwendet man den **Path2D.Double** - Konstruktor, ist die Nicht-Null - Regel eingestellt.

Die folgende **paintComponent()** - Methode

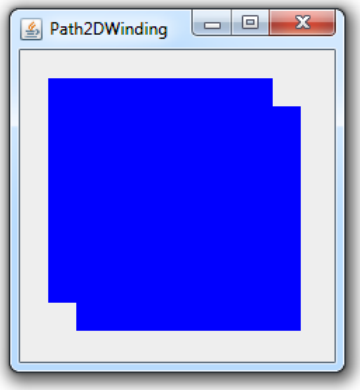
```
public void paintComponent(Graphics g) {
   super.paintComponent(g);
   Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;
   g2.setColor(Color.blue);

   Path2D.Double winding = new Path2D.Double(Path2D.WIND_NON_ZERO);
   double x = 20, y = 20, b=160;
   winding.moveTo(x, y);
   winding.lineTo(x+b, y); winding.lineTo(x+b, y+b);
   winding.lineTo(x, y+b); winding.lineTo(x, y);

   x = 40; y = 40;
   winding.moveTo(x, y);
   winding.lineTo(x+b, y); winding.lineTo(x+b, y+b);
   winding.lineTo(x, y+b); winding.lineTo(x, y);

   g2.fill(winding);
}
```

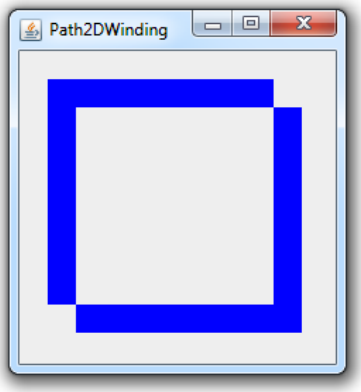
erstellt einen aus zwei diagonal verschobenen Quadraten bestehenden Pfad. Haben beide Quadrate denselben Umlaufsinn, führt die Nicht-Null - Regel zum folgenden Ergebnis:



Ändert man z.B. beim unteren Quadrat den Umlaufsinn,

```
winding.moveTo(x, y);
winding.lineTo(x, y+b);winding.lineTo(x+b, y+b);
winding.lineTo(x+b, y);winding.lineTo(x, y);
```

dann resultiert diese Figur:

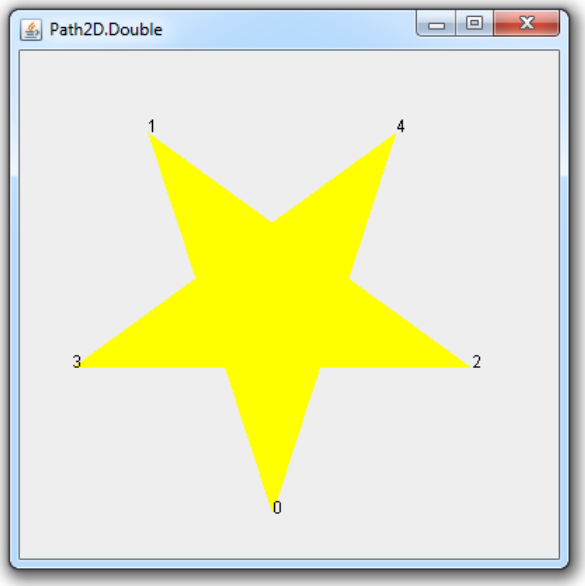


Unter der Gerade-Ungerade - Regel

```
Path2D.Double winding = new Path2D.Double(Path2D.WIND_EVEN_ODD);
```

resultiert unabhängig vom Umlaufsinn der Quadrate die zweite Figur.

Am Ende des Abschnitts über geometrische Formen soll noch ein etwas anspruchsvolleres Beispiel präsentiert werden. Diesen Stern



zeichnet die folgende **paintComponent()** - Methode geschickt über ein Polygon mit lediglich fünf Liniensegmenten:

```
public void paintComponent(Graphics g) {
 super.paintComponent(g);
 Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;
 g2.setColor(Color.yellow);

 // Endpunkte der Zacken berechnen
 int anzacken = 5;
 int[] xvek = new int[anzacken];
 int[] yvek = new int[anzacken];
 int shift = 180, len = 150;
 double winkel = Math.PI / 2;
 for (int i = 0; i < anzacken; i++) {
  double kosinus = Math.cos(winkel);
  double sinus = Math.sin(winkel);
  int x = (int) (shift + kosinus * len);
  int y = (int) (shift + sinus * len);
  xvek[i] = x;
  yvek[i] = y;
  winkel += 4 * Math.PI / anzacken;
 }
 Path2D.Double stern = new Path2D.Double();
 stern.moveTo(xvek[0], yvek[0]);
 for (int i = 1; i < anzacken; i++)
  stern.lineTo(xvek[i], yvek[i]);
 stern.closePath();
 g2.fill(stern);
 g2.setColor(Color.black);
 for (int i = 0; i < anzacken; i++)
  g2.drawString(String.valueOf(i), xvek[i], yvek[i]);

}
```

Zur Berechnung der Koordinaten ist ein wenig Trigonometrie erforderlich:

- Die Koordinaten zu den Endpunkten der Zacken werden über die Kosinus- bzw. Sinus-Funktion des aktuellen Winkels ermittelt. Dabei ist zu beachten, dass die Winkelmethoden ein Argument im Bogenmaß erwarten (von 0 bis 2 π).
- Zwischen zwei Punkten wird der Winkel um $\frac{2\pi}{5} \cdot 2$ erhöht.
- Obwohl die trigonometrischen Methoden den mathematisch-positiven Umlaufsinn verwenden (links herum), führt der initiale Winkel von π/2 (entspricht 90°) zu einem auf dem Kopf stehenden Stern, weil die Y-Koordinaten der Pixel bekanntlich von oben nach unten wachsen.
- Für eine passende Größe und Position des Sterns sorgen eine Streckung und eine Verschiebung der Koordinaten.

Zur Klärung der Konstruktion werden die fünf Punkte des Pfads per **drawString()** nummeriert.

15.1.4 Füllungen und Umrisslinien

15.1.4.1 Farben

Mit der **Graphics**-Methode **setColor()** kann die aktuelle Zeichenfarbe gesetzt werden, wobei ein Objekt der Klasse **Color** zu übergeben ist. Java verwendet ein **ARGB-Farbmodell** mit einem Alpha- (Transparenz-) Kanal sowie den Farbkanälen Rot, Grün und Blau. In der Klasse **Color** stehen u.a. die beiden folgenden Konstruktoren zur Verfügung:

- **public Color(int** *red***, int** *green***, int** *blue***, int** *alpha***)**
  Für alle vier Kanäle stehen die Ausprägungen von 0 bis 255 zur Verfügung, wobei der Alpha-Wert 0 für Transparenz und der Alpha-Wert 255 für komplette Deckung steht, z.B.:
  ```
  g.setColor(new Color(150, 0, 150, 255));
  ```
- **public Color(float** *red***, float** *green***, float** *blue***, float** *alpha***)**
  Für alle vier Kanäle stehen die Ausprägungen von 0,0 bis 1,0 zur Verfügung, wobei der Alpha-Wert 0,0 für Transparenz und der Alpha-Wert 1,0 für komplette Deckung steht, z.B.:
  ```
  g.setColor(new Color(0.7f, 0.0f, 0.7f, 0.5f));
  ```

Statt eine eigene Farbe zu mixen, kann man über Konstanten der Klasse **Color** auf 13 Standardfarben zugreifen, z.B.:[95]

```
g.setColor(Color.RED);
```

Color-Objekte sind ebenso unveränderlich wie z.B. **String**-Objekte.

15.1.4.2 Füllungen

Während ein **Graphics**-Objekt Flächen nur monochrom füllen kann, stellt ein **Graphics2D**-Objekt über die Methode **setPaint()** diverse Färbemittel zur Wahl (monochromes Färben, Farbverläufe, Texturen), wobei der Methode ein Objekt vom Typ einer Klasse zu übergeben ist, die das Interface **Paint** erfüllt.

Im folgenden Beispiel wird über ein Objekt der Klasse **GradientPaint** ein linearer Farbverlauf zwischen zwei Punkten definiert:

---

[95] Bis zur Java-Version 1.3 waren abweichend von der üblichen Bezeichnungsweise die statischen und finalisierten Referenzvariablen zu den **Color**-Objekten für die Standardfarben *klein* zu schreiben (z.B. `Color.red`). Seit der Version 1.4 sind auch groß geschriebene Variablennamen vorhanden (z.B. `Color.RED`).

```
g2.setPaint(new GradientPaint(20, 500, Color.WHITE, 220, 500, Color.BLUE, true));
g2.fill(new Rectangle2D.Double(20, 400, 400, 200));
```

Vom Start- bis zum Endpunkt findet ein kontinuierlicher Farbübergang statt:

Auf der Senkrechten zur Verbindungslinie zwischen dem Start- und dem Endpunkt des Farbverlaufs haben alle Punkte einer zu füllenden Figur dieselbe Farbe.

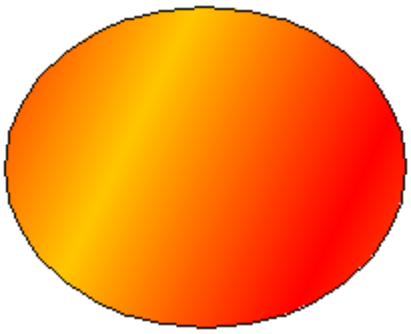
Die sieben Parameter des verwendeten **GradientPaint**-Konstruktors haben folgende Bedeutungen:

- **float** *x1*, **float** *y1*
  Koordinaten des Startpunkts für den Farbverlauf
- **Color** *color1*
  Startfarbe für den Verlauf
- **float** *x1*, **float** *y1*
  Koordinaten des Endpunkts für den Farbverlauf
- **Color** *color2*
  Endfarbe für den Verlauf
- **boolean** *cyclic*
  Liegt die senkrechte Projektion eines Punkts auf die Verbindungslinie von Start- und Endpunkt vor dem Start- oder hinter dem Endpunkt, hängt seine Farbe vom letzten Parameter ab. Bei zyklischer Farbvergabe (siehe obige Abbildung) startet der Farbverlauf in umgekehrter Richtung neu. Anderenfalls bleibt die Farbe der passierten Grenze fixiert, z.B.:

Mit diagonalen Farbverläufen

```
g2.setPaint(new GradientPaint(0, 0, Color.RED, 100, 50,Color.ORANGE, true));
Ellipse2D.Double ellip = new Ellipse2D.Double(20, 20, 200, 160);
g2.fill(ellip);
g2.setColor(Color.BLACK);
g2.draw(ellip);
```

lassen sich attraktive Ostereier gestalten:



Mit einem Objekt der Klasse **TexturePaint**, die ebenfalls das Interface **Paint** implementiert, lässt sich das Innere einer Figur tapezieren. Man benötigt ein Objekt der Klasse **BufferedImage** mit dem

(in der Regel wiederholt) aufzubringenden Muster. Zum Gestalten eines solchen Objekts kann man eine Bitmapdatei importieren (siehe Abschnitt 15.1.6), oder das zugehörige **Graphics2D**-Objekt über die **BufferedImage**-Methode **createGraphics()** anfordern und die in Abschnitt 15.1.2 vorgestellten 2D-Ausgabetechniken benutzen. Wir beschreiten den zweiten Weg und erstellen ein **BufferedImage**-Objekt mit einer (25 × 25) - Pixelmatrix sowie einem einfachen RGB-Farbmodell (*R*ot-*G*rün-*B*lau, ohne Alpha-Transparenzkanal):

```
BufferedImage bi = new BufferedImage(25, 25, BufferedImage.TYPE_INT_RGB);
Graphics2D big2 = bi.createGraphics();
big2.setColor(new Color(153, 217, 234));
big2.fill(new Rectangle2D.Double(0, 0, 25, 25));
big2.setColor(new Color(255, 174, 201));
big2.fill(new Ellipse2D.Double(5, 5, 14, 14));
```

Aus dem fertigen **BufferedImage**-Objekt

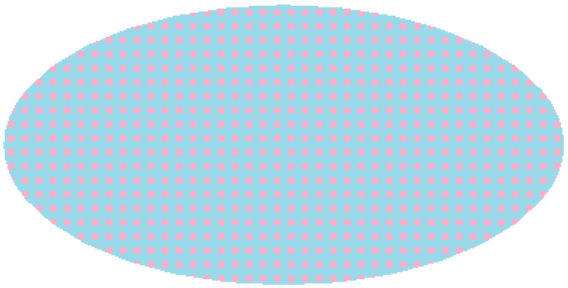
erstellen wir ein **TexturePaint**-Objekt und übergeben es der **Graphics2D**-Methode **setPaint()** als Füllmuster:

```
g2.setPaint(new TexturePaint(bi, new Rectangle2D.Double(0, 0, 10, 10)));
```

Im **TexturePaint**-Konstruktor ist ein außerdem ein Rechteck anzugeben, das die Verankerung und Wiederholung der Textur festlegt. Mit einer Kachel der Größe (10 × 10) liefert die Anweisung

```
g2.fill(new Ellipse2D.Double(20, 400, 400, 200));
```

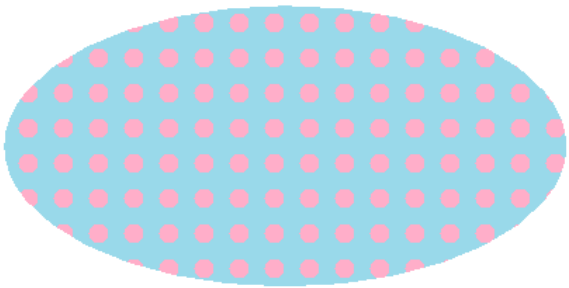
das folgende Ergebnis:



Ist die Textur-Kachel von derselben Größe wie das **BufferedImage**-Objekt,

```
g2.setPaint(new TexturePaint(bi, new Rectangle2D.Double(0, 0, 25, 25)));
```

resultiert das folgende Ergebnis:



15.1.4.3 Umrisslinien

Auch bei der Wahl eines Zeichenwerkzeugs für Umrisslinien bietet die **Graphics2D**-Methode **setStroke()** einige Gestaltungsmöglichkeiten. Sie erwartet ein Objekt vom Typ einer Klasse, die das Interface **Stroke** erfüllt. Im folgenden Beispiel wird über ein Objekt der Klasse **BasicStroke** (die einzige in der Dokumentation zu Java 7 bekannte **Stroke**-Implementierung) eine Linie mit Strichmuster definiert:

```
g2.setPaint(Color.ORANGE);
float[] dash = {30, 10, 15, 10};
g2.setStroke(new BasicStroke(5, BasicStroke.CAP_ROUND,
 BasicStroke.JOIN_ROUND, 1, dash, 0));
g2.draw(new Rectangle2D.Double(20, 200, 200, 100));
```

Das Ergebnis:

Die sechs Parameter des verwendeten **BasicStroke**-Konstruktors haben folgende Bedeutungen:

- **float** *width*
  Linienbreite mit erlaubten Werten größer oder gleich 0.0f
- **int** *cap*
  Um den Stil für die Linienenden anzugeben, verwendet man eine von den folgenden Konstanten aus der Klasse **BasicStroke**:
  - **CAP_BUTT**
  - **CAP_ROUND**
  - **CAP_SQUARE**

- **int** *join*
  Um den Stil für die Linienverbindungen anzugeben, verwendet man eine von den folgenden Konstanten aus der Klasse **BasicStroke**:
  - **JOIN_BEVEL**
  - **JOIN_MITER**
  - **JOIN_ROUND**

- **float** *miterlimit*
  Beim Verbindungsstil **JOIN_MITER** können durch kleine Winkel zwischen den sich treffenden Linien große Gehrungslängen (Abstand zwischen der Innen- und der Außenecke) entstehen. Per Voreinstellung ist das Verhältnis aus Gehrungslänge und Linienstärke auf 10.0f beschränkt. Per Parameter kann ein alternativer Werte größer oder gleich 1.0f gewählt werden.
- **float[]** *dash*
  Mit den Elementen in diesem Array definiert man die Längen der Segmente im Liniemuster. Das Element 0 bestimmt die erste Strichlänge, das Element 1 die erste Pausenlänge, das Element 2 die zweite Strichlänge, das Element 3 die zweite Pausenlänge usw. Da jedem Strich eine Pause folgt, sollte der Vektor auch für die Pause nach dem letzten Strich eine Längenangabe besitzen. Anderenfalls bezieht die terminale Pause ihre Länge vom Element 0, und das Muster verändert sich.
- **float** *dash_phase*
  Man kann das Muster auf der Linie um *dash_phase* Einheiten nach links verschieben, so dass die Linie nicht mit der Musterposition 0 startet.

15.1.5 Textausgabe

Bei der Textausgabe müssen wir uns auf den Umgang mit Schriftarten und die Verbesserung der Darstellung durch Kantenglättung beschränken. Über die komplexen Aufgaben beim Positionieren von Text (z.B. im Blocksatz) nach einer präzisen Berechnung des Platzbedarfs informiert z.B. das Java-Tutorial (Oracle 2012).

15.1.5.1 Schriftarten

Mit der Methode **setFont()** kann man die Schriftart für spätere Textausgaben festlegen, wobei ein **Font**-Objekt zu übergeben ist, z.B.:

```
g.setFont(new Font(Font.SERIF, Font.BOLD, 14));
```

Eine Methode **setFont()** steht sowohl in der Klasse **java.awt.Component** als auch in der Klasse **java.awt.Graphics** zur Verfügung. Wir haben die Klasse **Font** schon in Kapitel 12 verwendet und lernen jetzt noch einige Details kennen.

Im Beispiel wird der folgende **Font**-Konstruktor verwendet:

public Font(String *family***, int** *style***, int** *size***)**

Im ersten Parameter ist der Name einer Schriftfamilie zu übergeben, wobei die verfügbare Auswahl vom lokalen Betriebssystem abhängt. Für die folgenden, über Konstanten der Klasse **Font** ansprechbaren *logischen* Schriftfamilien garantiert Java eine generelle Verfügbarkeit durch geeignete Abbildung auf lokal vorhandene („physikalische“) Schriften mit voller Unicode-Unterstützung:

- **SERIF**
- **SANS_SERIF**
- **MONOSPACED**
- **DIALOG**
- **DIALOG_INPUT**

Welche Schriftabbildungen eine JVM verwendet, ist unter Windows der Datei **fontconfig.properties.src** im **lib**-Ordner der JRE-Installation zu entnehmen, die hier auszugsweise wiedergegeben ist:

```
serif.plain.alphabetic=Times New Roman
serif.bold.alphabetic=Times New Roman Bold
serif.italic.alphabetic=Times New Roman Italic
serif.bolditalic.alphabetic=Times New Roman Bold Italic

sansserif.plain.alphabetic=Arial
sansserif.bold.alphabetic=Arial Bold
sansserif.italic.alphabetic=Arial Italic
sansserif.bolditalic.alphabetic=Arial Bold Italic

monospaced.plain.alphabetic=Courier New
monospaced.bold.alphabetic=Courier New Bold
monospaced.italic.alphabetic=Courier New Italic
monospaced.bolditalic.alphabetic=Courier New Bold Italic

dialog.plain.alphabetic=Arial
dialog.bold.alphabetic=Arial Bold
dialog.italic.alphabetic=Arial Italic
dialog.bolditalic.alphabetic=Arial Bold Italic

dialoginput.plain.alphabetic=Courier New
dialoginput.bold.alphabetic=Courier New Bold
dialoginput.italic.alphabetic=Courier New Italic
dialoginput.bolditalic.alphabetic=Courier New Bold Italic
```

Auch zur Spezifikation der Schriftauszeichnung (normal, **fett**, *kursiv*, ***fett-kursiv***) im *style*-Parameter des **Font**-Konstruktors bieten sich Konstanten der Klasse **Font** an. Im folgenden Beispiel

wird eine schnörkellose, ***fett-kursive*** Schrift durch additive Kombination von zwei Stilkonstanten angefordert:

```
g.setFont(new Font(Font.SANS_SERIF, Font.BOLD+Font.ITALIC, 16));
```

Im *size*-Parameter des **Font**-Konstruktors wird die Schriftgröße in Punkten zu 1/72 Zoll angegeben.

Per Voreinstellung verwendet das Java 2D - API die folgende Schriftart:

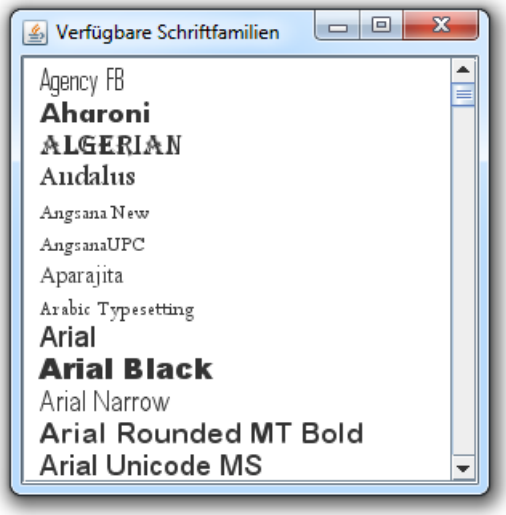
```
Font(Font.DIALOG, Font.PLAIN, 12));
```

Font-Objekte sind ebenso unveränderlich wie z.B. **String**- oder **Color**-Objekte.

An eine Liste der lokal vorhandenen Schriftartfamilien gelangt man über ein Objekt der Klasse **GraphicsEnvironment**, das Informationen über verfügbare Schriften und Grafikausgabegeräte (Bildschirm, Drucker) bereit hält. Die **paintComponent()**-Überladung der folgenden **JPanel**-Ableitung schreibt alle Familiennamen mit der **Graphics**-Methode **drawString()** auf die Komponentenoberfläche:

```
private class FontPanel extends JPanel {
 public void paintComponent(Graphics g) {
  super.paintComponent(g);
  GraphicsEnvironment ge = GraphicsEnvironment.getLocalGraphicsEnvironment();
  String[] fontFamilies = ge.getAvailableFontFamilyNames();
  Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;
  RenderingHints rh = new RenderingHints(
     RenderingHints.KEY_TEXT_ANTIALIASING,
     RenderingHints.VALUE_TEXT_ANTIALIAS_ON);
  g2.setRenderingHints(rh);
  int i = 0;
  for (String s : fontFamilies) {
   i++;
   Font font = new Font(s, Font.PLAIN, 18);
   g.setFont(font);
   g.drawString(s, 10, i*20);
  }
  setPreferredSize(new Dimension(100, i*20));
 }
}
```

Für das folgende Beispielprogramm



wurde ein Objekt der eben definierten Klasse `FontPanel` durch eine **JScrollPane**-Hülle (vgl. Abschnitt 12.7.6) mit Rollbalken ausgestattet und dann auf dem **BorderLayout**-Zentrum der **JFrame**-Inhaltsschicht untergebracht:

```
import javax.swing.*;
import java.awt.*;

class AvailableFontFamilies extends JFrame {
 public AvailableFontFamilies() {
  super("Verfügbare Schriftfamilien");
  FontPanel pan = new FontPanel();
  pan.setBackground(Color.WHITE);
  add(new JScrollPane(pan), BorderLayout.CENTER);
  setSize(300, 300);
  setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
  setVisible(true);
 }

 private class FontPanel extends JPanel {
   .  .  .
 }

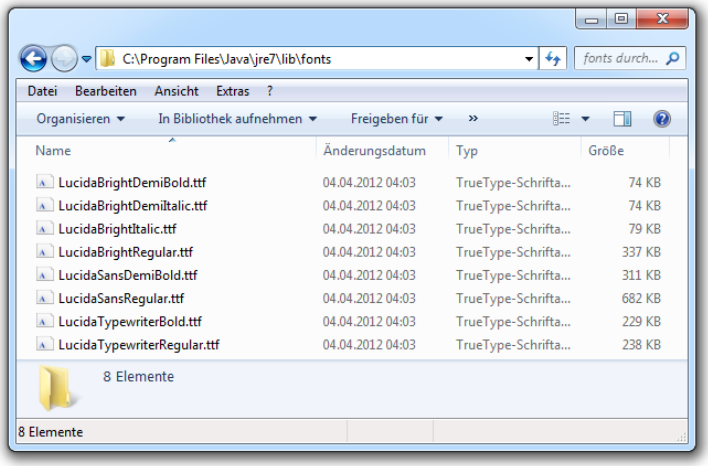
 public static void main(String[] args) {
  SwingUtilities.invokeLater(new Runnable() {
   public void run() {
    new AvailableFontFamilies();
   }
  });
 }
}
```

Das Programm demonstriert übrigens die prinzipielle Notwendigkeit, über die statische Methode **invokeLater()** aus der Klasse **SwingUtilities** (oder **EventQueue**) dafür zu sorgen, dass der Swing - Fenster-Konstruktor im Ereignisverteilungs-Thread ausgeführt wird (vgl. Abschnitte 12.3 und 16.3). Eine **main()** - Variante nach dem im Manuskript bisher aus Bequemlichkeit meist verwendeten, aber nicht korrekten Muster

```
public static void main(String[] args) {
 new AvailableFontFamilies();
}
```

führt zu einer fehlerhaften Anzeige: Der beim Programmstart fehlende vertikale Rollbalken erscheint erst nach einer Änderung der Fenstergröße.

Um für ein Programm eine identische Schriftausgabe auf jedem Rechner und auf jeder Plattform zu erzielen, kann man auf die (physikalischen!) TrueType-Schriftarten der **Lucida**-Familie zurückgreifen, die als Bestandteil der JRE ausgeliefert werden, z.B.:



Um diese Schriftarten nutzen zu können, muss man sie beim Programmstart laden (siehe Ullenboom 2012b, Abschnitt 10.3.5).

15.1.5.2 Kantenglättung

Ein **Graphics2D**-Grafikkontext erlaubt über ein Objekt der Klasse **RenderingHints** u.a. das Aktivieren der **Kantenglättung** (engl. *Antialiasing*[96]) für die Textausgabe:

```
RenderingHints rh = new RenderingHints(
  RenderingHints.KEY_TEXT_ANTIALIASING,
  RenderingHints.VALUE_TEXT_ANTIALIAS_ON);
g2.setRenderingHints(rh);
```

Von den beiden folgenden Schriftproben ist die linke geglättet:

15.1.6 Rastergrafik

Mit der Klasse **BufferedImage** (Paket **java.awt.image**) unterstützt das Java 2D API die Darstellung und Bearbeitung von Rastergrafiken, die z.B. mit Hilfe der Klasse **ImageIO** (Paket **javax.imageio**) aus einer Datei importiert werden können:

```
private BufferedImage biLand;
  ...
try {
  biLand = ImageIO.read(new File("land.jpg"));
} catch (IOException e) {}
```

Die folgende **paintComponent()**-Überladung der Klasse `ImagePanel` zeichnet das Bild im **BufferedImage**-Objekt `biLand` (Größe: 256 × 256 Pixel) zweimal mit verschiedenen Überladungen der **Graphics**-Methode **drawImage()**:

```
private class ImagePanel extends JPanel {
  public void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    g.drawImage(biLand, 10, 10, null);
    g.drawImage(biLand, 276, 10, 676, 266, 0, 0, 256, 256, null);
  }
}
```

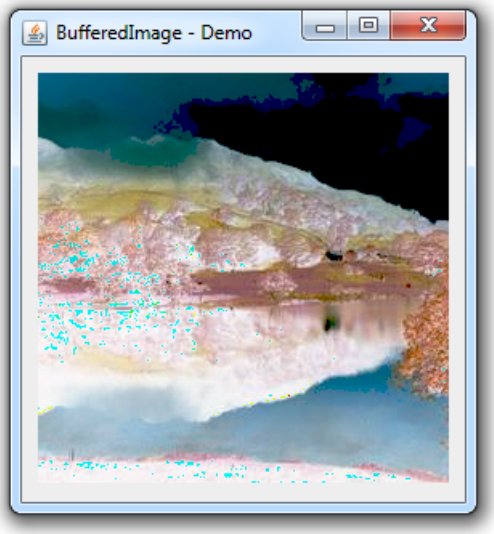
Zunächst werden die Bildkoordinaten unverändert übernommen. In der zweiten **drawImage()**-Überladung wird das Bild horizontal auf eine Breite von 400 Pixeln gedehnt:

---

[96] Vermutlich stammt der Begriff *Antialiasing* aus der Signalverarbeitung, wo eine Signalverfälschung durch eine zu geringe Abtastfrequenz als *Alias-Effekt* bezeichnet wird. Analog kann z.B. eine Treppe nur als Ersatz (Alias) für eine schräge Gerade gelten. Versuche, die Abweichung vom Original zu mildern, bezeichnet man als *Antialiasing*.

Mit Hilfe des letzten Parameters der verwendeten **drawImage()**-Überladungen kann sich ein Programm über Veränderungen bei einem asynchron geladenen Bild informieren lassen. Weil diese Option selten relevant ist, verwendet man meist den Aktualparameterwert **null**.

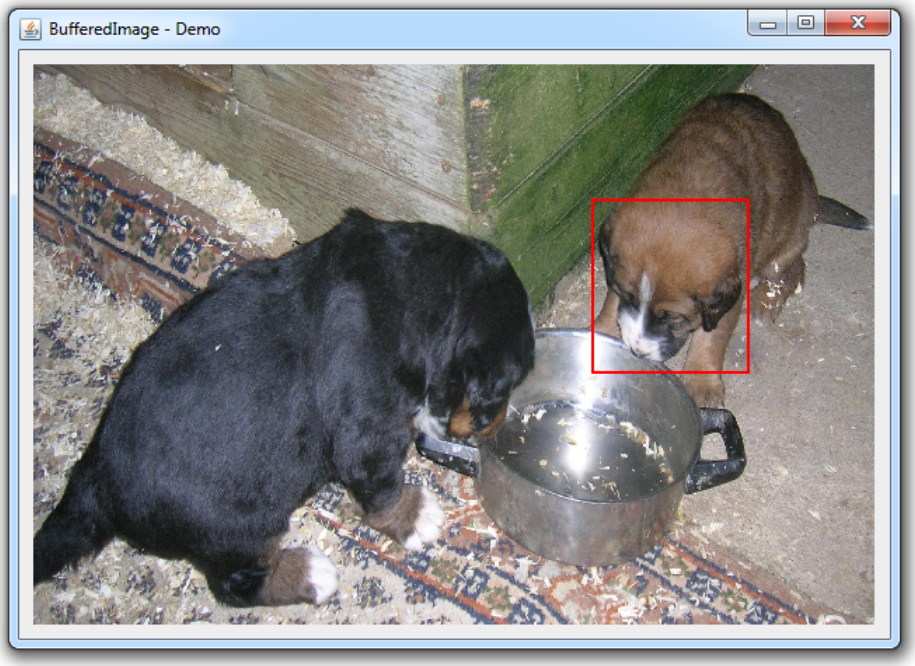
Eine **drawImage()**-Überladung der Klasse **Graphics2D** bietet die Möglichkeit, **Filter** auf **BufferedImage**-Objekte anzuwenden. Hier wird ein Vorschlag aus dem Java - Tutorial (Oracle 2012) umgesetzt:



Um ein **BufferedImage**-Objekt im Speicher zu *ändern*, verschafft man sich ein **Graphics(2D)**-objekt

```
private BufferedImage biEB;
  ...
Graphics2D g2 = (Graphics2D) biEB.getGraphics();
g2.setPaint(Color.RED);
g2.setStroke(new BasicStroke(5));
g2.draw(new Rectangle2D.Double(1440, 276, 400, 350));
```

und gibt die Renovierungsarbeiten in Auftrag. Hier wird zur Hervorhebung eines wichtigen Bildbereichs ein Rechteck eingezeichnet:



In Abschnitt 15.1.4.2 haben wir zur Verwendung für eine Textur ein „leeres“ **BufferedImage**-Objekt erstellt und mit einem Muster verziert.

Die oben bereits zum Lesen von Bilddateien verwendete Klasse **ImageIO** beherrscht auch das Schreiben, wobei als Dateiformate u.a. JPEG, PNG, GIF und BMP unterstützt werden, z.B.:

```
private BufferedImage biEB;
  ...
try {
   ImageIO.write(biEB, "jpg", new File("EmmaBodoMod.jpg"));
} catch (IOException e) {}
```

15.1.7 Transformationen

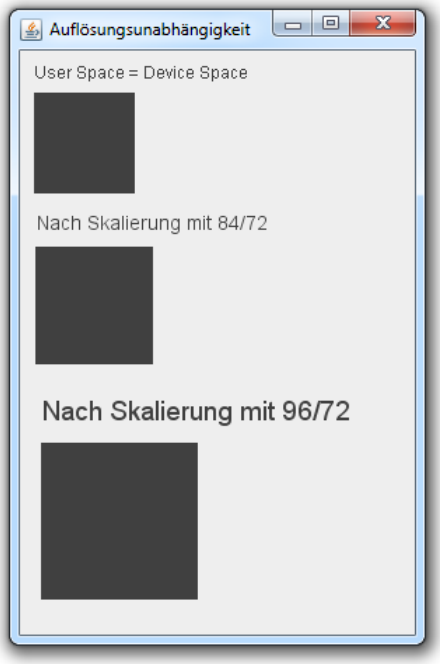
Im Java 2D - API verwendet der Programmierer logische Koordinaten mit einer Einheit von 1/72 Zoll (*User Space*), die durch eine Transformation in die in Gerätekoordinaten eines Bildschirms oder Druckers übersetzt werden (*Device Space*). Per Voreinstellung ist allerdings die identische Transformation eingestellt, und die im Java 2D - API versprochene Auflösungsunabhängigkeit stellt sich *nicht* automatisch ein. Ist die Auflösung (Größe eines Pixels) bekannt, kann eine Skalierungstransformation vorgenommen werden, so dass die logischen Koordinaten korrekt in Pixel umgerechnet werden. Mit dem folgenden Methodenaufruf bringt man die Vermutung des Betriebssystems über die Auflösung in Erfahrung:

```
int dpi = Toolkit.getDefaultToolkit().getScreenResolution();
```

Mit der **Graphics2D**-Methode **scale()**-Aufruf nimmt man eine Transformation in Betrieb, welche die logischen Koordinaten (Einheit von 1/72 Zoll) in Gerätekoordinaten umsetzt:

```
g2.scale(dpi/72.0 , dpi/72.0);
```

Bei einer vermuteten Auflösung > 72 dpi führt die Transformation zu einer Vergrößerung, z.B.:



Moderne Bildschirme arbeiten meist mit einer Auflösung oberhalb von 72 dpi, und aktuelle Windows-Versionen unterstellen in der Regel 96 dpi. Liegt die Unterstellung des Betriebssystems zu hoch, schießt die zur Normalisierung gedachte Transformation über das Ziel hinaus. Bei einem LCD-Display mit einer tatsächlichen Pixelgröße von 0,303 mm und einer resultierenden Auflösung von ca. 84 dpi wird ein Quadrat mit der logischen Kantenlänge 72 (= ein Zoll = 2,54 cm) mit einer Breite von 2,9 cm angezeigt. Die korrekte Skalierung

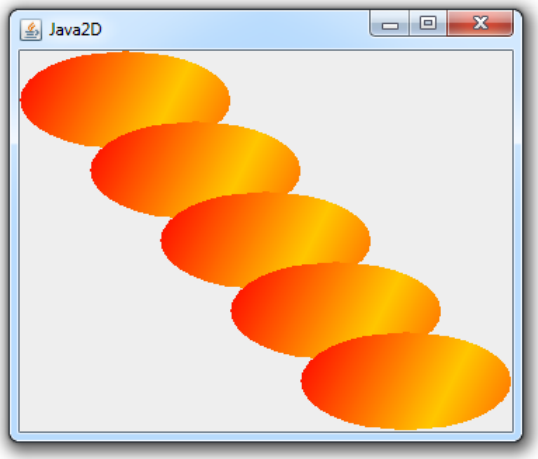
```
g2.scale(84/72.0 , 84/72.0);
```

sorgt auf dem Bildschirm für die erwartete Kantenlänge.

Neben der Auflösungsanpassung gibt es weitere Gründe für eine Transformation beim Übergang von logischen Koordinaten in Gerätekoordinaten, und ein **Graphics2D**-Objekt beherrscht neben **scale()** auch noch die Methoden **translate()** und **rotate()**, die eine Verschiebung bzw. Rotation bewirken. Im folgenden Beispiel wird eine Ellipse wiederholt gezeichnet bei zwischenzeitlicher Verschiebung des Ursprungs:

```
Ellipse2D.Double pr = new Ellipse2D.Double(0, 0, 150, 70);
for (int i = 0; i < 5; i++) {
   g2.fill(pr);
   g2.translate(50, 50);
}
```

Das Ergebnis:



15.1.8 Anzeigebereiche

Bisher haben wir die gesamte Zeichenfläche einer Komponente zur Grafikausgabe genutzt. Über die **Graphics**-Methode **setClip()** lässt sich ein eingeschränkter Anzeigebereich (engl. *clip area*) definieren, auf den die Grafikausgabe anschließend beschränkt bleiben soll. Neben rechteckigen Anzeigebereichen sind mit Hilfe von **Shape**-Objekten auch beliebig geformte Bereiche möglich (vgl. Abschnitt 15.1.3.2). In der folgenden **paintComponent()**-Methode wird ein Anzeigebereich in Form eines Schlüssellochs mit Hilfe eines **Path2D.Double**-Objekts per **setClip()** definiert und per **draw()** markiert:

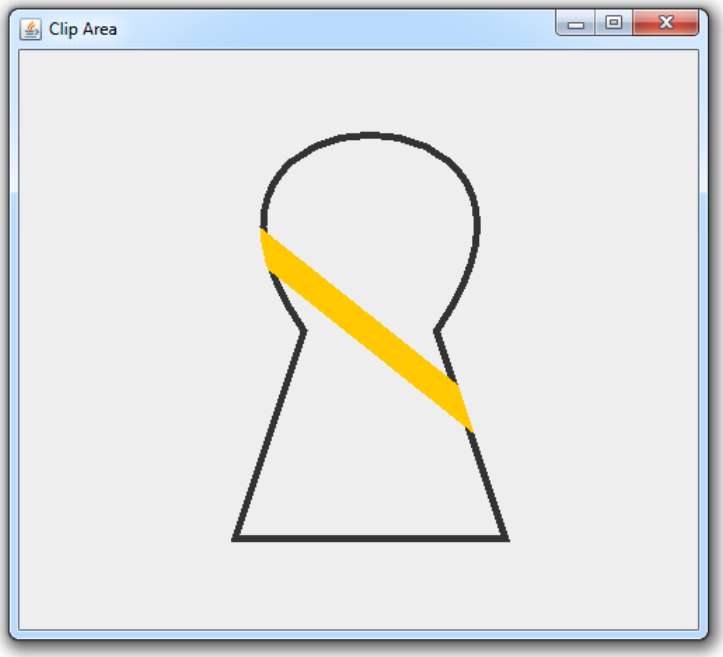
```
public void paintComponent(Graphics g) {
   super.paintComponent(g);
   Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;
   g2.setStroke(new BasicStroke(10));

   int[] xvek = {150, 350, 300, 430, 70, 200};
   int[] yvek = {350, 350, 200, 10, 10, 200};
   Path2D.Double sl = new Path2D.Double();
   sl.moveTo(xvek[0], yvek[0]);
   for (int i = 1; i < 3; i++)
      sl.lineTo(xvek[i], yvek[i]);
   sl.curveTo(xvek[3], yvek[3], xvek[4], yvek[4], xvek[5], yvek[5]);
   sl.closePath();
```

```
    g2.setClip(sl);
    g2.draw(sl);

    g2.setStroke(new BasicStroke(20));
    g2.setPaint(Color.ORANGE);
    g2.draw(new Line2D.Double(10, 10, 500, 400));
  }
```

Die mit **draw()** gezeichnete Linie ist nur innerhalb des Clip-Bereichs zu sehen:



15.2 Sound

In folgendem Applet wird eine Musikbox realisiert, die derzeit fünf Stücke spielen kann, aber beliebig ausbaufähig ist:

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import java.applet.*;
import javax.swing.*;

public class MusicBox extends JApplet implements ActionListener {
  private JButton cbStart = new JButton("Start");
  private JButton cdChange = new JButton("Wechseln");
  private JButton cbStop = new JButton("Stopp");
  private JLabel label = new JLabel("");
  private final static int MAXCLIP = 5;
  private int actclip = 0;
  private boolean musicOn;
  private AudioClip[] clips = new AudioClip[MAXCLIP];
  private String[] titles = new String[MAXCLIP];

  public void init() {
    cbStart.addActionListener(this);
    cdChange.addActionListener(this);
    cbStop.addActionListener(this);

    add(cbStart, BorderLayout.WEST);
    add(cdChange, BorderLayout.CENTER);
    add(cbStop, BorderLayout.EAST);
    add(label, BorderLayout.SOUTH);

    java.net.URL cb = getCodeBase();
```

```
    clips[0] = getAudioClip(cb,"chirp1.au");
    titles[0] = "Vogel-Geschwister (.au)";
    clips[1] = getAudioClip(cb,"elise.mid");
    titles[1] = "Für Elise (mid)";
    clips[2] = getAudioClip(cb,"trippygaia1.mid");
    titles[2] = "Trippygaia (mid)";
    clips[3] = getAudioClip(cb,"BoogieWoogie.mid");
    titles[3] = "Boogie Woogie Blues (mid)";
    clips[4] = getAudioClip(cb,"spacemusic.au");
    titles[4] = "Spacemusic (au)";
    label.setText(titles[0]);
  }

  public void stop() {
    clips[actclip].stop();
  }

  public void start() {
    if (musicOn)
      clips[actclip].loop();
  }

  public void destroy () {
    clips[actclip].stop();
  }

  public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    clips[actclip].stop();
    if (e.getSource() == cbStop)
      musicOn = false;
    else {
      if (e.getSource() == cdChange) {
        if (actclip < MAXCLIP-1)
           actclip++;
          else
           actclip = 0;
        label.setText(titles[actclip]);
      } else // Source == start
        musicOn = true;
      if (musicOn)
        clips[actclip].loop();
    }
  }
}
```

Die **(J)Applet**-Methode **getAudioClip()** erstellt aus einer Audiodatei ein Objekt aus einer Klasse[97], die das Interface **AudioClip** erfüllt. Im Beispiel werden die Audiodateien mit Hilfe eines URL-Objekts im Pfad des Applets lokalisiert (vgl. Abschnitt 14.5.3):

```
java.net.URL cb = getCodeBase();
clip[0] = getAudioClip(cb,"chirp1.au");
```

Jedes **AudioClip**-Objekt repräsentiert ein Musikstück und bietet u.a. die folgenden Methoden:

- **play()**
  Einmal spielen
- **loop()**
  Endlos spielen
- **stop()**
  Wiedergabe beenden

[97] Für besonders Neugierige: Es handelt sich um die Klasse **sun.applet.AppletAudioClip**.

In Bezug auf den Abschnitt 15.1 ist die Bemerkung angebracht, dass im Sound-Applet (wie in früheren GUI-Anwendungen und -Applets) keine **paint()**-Methode überschrieben werden muss. Auf der Oberfläche des Applets befinden sich nur Steuerelemente im Original-Design, und diese verstehen sich selbst zu zeichnen, wenn sie vom umgebenden Container dazu aufgefordert werden.

Die Bedienungsoberfläche des Applets hat noch kein disko-taugliches Design, sieht aber zumindest auf einem Mac recht passabel aus:

Obwohl die beschrieben Sound-Technik offenbar für Applets konzipiert wurde, ist sie auch in Java-Applikationen anwendbar, z.B.:

```
import java.awt.*;
import javax.swing.*;
public class Die extends JPanel {
 private java.applet.AudioClip clip;
   ...
 public Die() {
  java.net.URL clipURL = getClass().getResource("werfen.wav");
  clip = java.applet.Applet.newAudioClip(clipURL);
 }
    .  .  .
}
```

Für anspruchsvollere Aufgaben bei Wiedergabe und Aufzeichnung von Audio- und Videoströmen eignet sich das Java Media Framework[98] (JMF), das leider seit einigen Jahren nicht mehr weiterentwickelt wird (siehe Eidenberger & Divotkey 2004). Es bleibt zu hoffen, dass die in JavaFX 2.0 (vgl. Abschnitt 1.2.5.8) enthaltenen *Java Media Components* bald auch in der Java Standard Edition verfügbar sind.

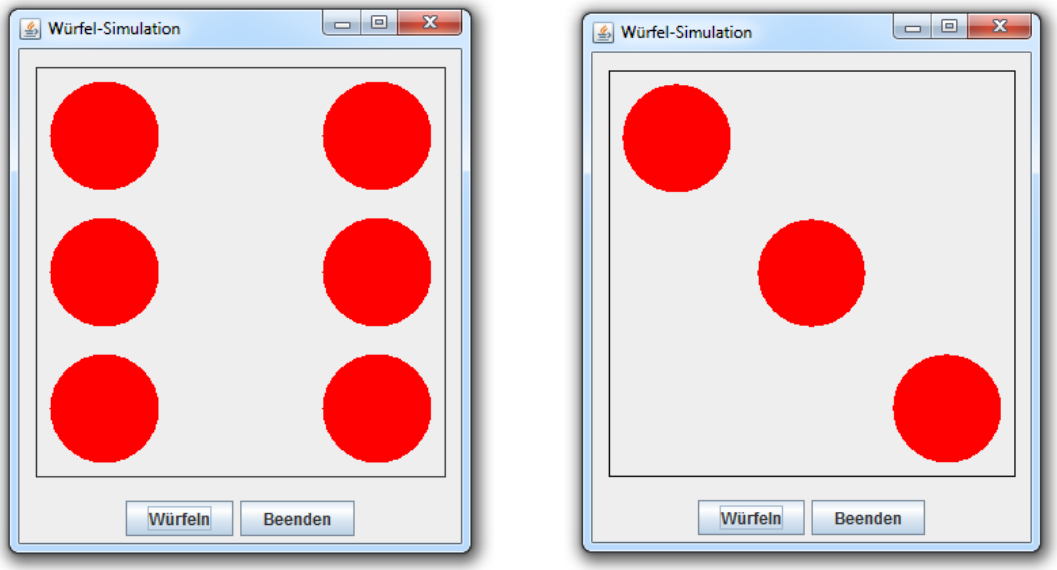
[98] Das JMF ist über die folgende Webseite als separater Download verfügbar:
http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-140239.html

15.3 Übungsaufgaben zu Kapitel 15

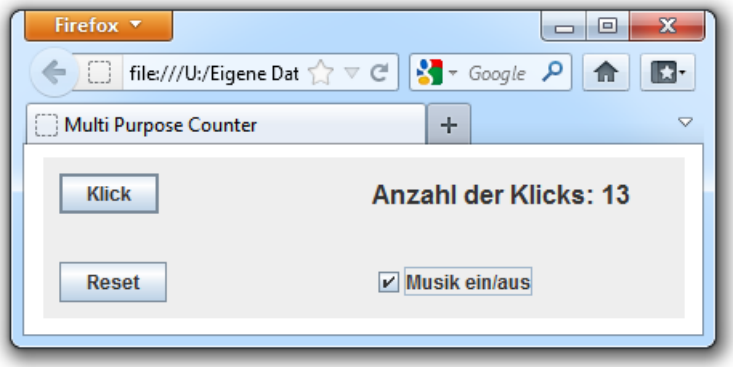
1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Der Ursprung des Java-Koordinatensystems (Punkt 0,0) befindet sich in der linken oberen Ecke der Zeichenfläche.
2. Die direkte Grafikausgabe in einer Ereignisbehandlungsmethode (außerhalb der Methode **paint()** bzw. **paintComponent()** für die System-initiierte Grafikausgabe) ist grundsätzlich unsinnig.
3. Im Java 2D - API liegt allen Größen und Positionsangaben die Einheit 1/72 Zoll zugrunde.
4. Bei einem **Font**-Objekt kann man lediglich die Größe ändern, Schriftfamilie und Schriftschnitt liegen hingegen fest.

2) Erstellen Sie ein Swing-Programm, das einen virtuellen Würfel realisiert:



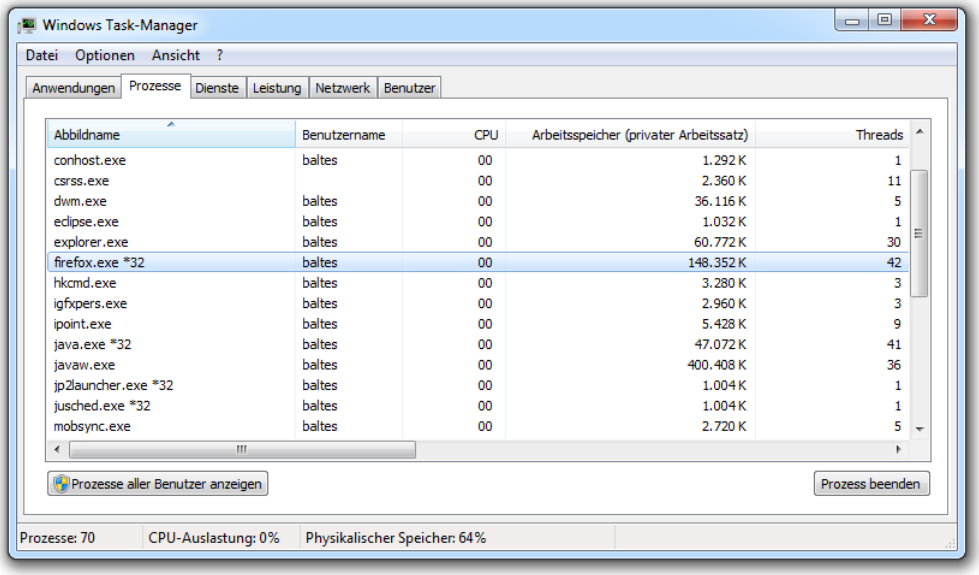
3) Erstellen Sie ein Applet, das zum Zählen von Ereignissen beliebiger Art über einen Schalter sowie über ein Label mit aktueller Anzeige des Zählerstands verfügt. Dem zuständigen Sachbearbeiter soll seine monotone Tätigkeit durch eine nach Belieben ein- und ausschaltbare Hintergrundmusik erleichtert werden, so dass sich ungefähr folgende Bedienoberfläche ergibt:



16 Multithreading

Wir sind längst daran gewöhnt, dass moderne Betriebssysteme mehrere Programme (Prozesse) parallel betreiben können, sodass z.B. ein längerer Ausdruck keine Zwangspause zur Folge hat. Während der Druckertreiber die Ausgabeseiten aufbaut, kann z.B. ein Java-Programm entwickelt oder im Internet recherchiert werden. Sofern nur *ein* Prozessor vorhanden ist, der den einzelnen Programmen bzw. Prozessen reihum vom Betriebssystem zur Verfügung gestellt wird, reduziert sich zwar die Ausführungsgeschwindigkeit jedes Programms im Vergleich zum Solobetrieb, doch ist in den meisten Anwendungen ein flüssiges Arbeiten möglich.

Als Ergänzung zum gerade beschriebenen **Multitasking**, das ohne Zutun der Anwendungsprogrammierer vom Betriebssystem bewerkstelligt wird, ist es oft sinnvoll oder gar unumgänglich, auch *innerhalb* einer Anwendung nebenläufige *Ausführungsfäden* zu realisieren, wobei man hier vom **Multithreading** spricht. Bei einem Internet-Browser muss man z.B. nach dem Anstoßen eines längeren Downloads nicht untätig den Fortschrittsbalken im Download-Fenster anstarren, sondern kann parallel mit anderen Fenstern arbeiten. Wie unter Windows ein Blick in die Prozessliste mit dem Task-Manager zeigt, sind z.B. bei einer typischen Firefox-Sitzung ca. 40 Threads aktiv, wobei die Anzahl ständig schwankt, z.B.:



Die Multithreading-Technik kommt aber nicht nur dann in Frage, wenn eine Anwendung mehrere Aufgaben gleichzeitig erledigen soll. Sind auf einem Rechner *mehrere* Prozessoren oder Prozessorkerne verfügbar, dann sollten aufwändige Einzelaufgaben (z.B. das Rendern einer 3D-Ansicht, Virenanalyse einer kompletten Festplatte) in Teilaufgaben zerlegt werden, um die CPU-Kerne auszulasten und Zeit zu sparen. Mittlerweile (2012) sind 4 Kerne guter Standard und dank Intels Hyper-Threading - Technologie sieht das Betriebssystem bei einer Quad-Core - CPU in der Regel sogar 8 logische Kerne.

Multi-Core - CPUs erhöhen den Druck auf die Software-Entwickler, per Multithreading für gut skalierende Anwendungen zu sorgen, die auf einem Quad-Core - Rechner deutlich schneller laufen als auf einem Single-Core - Rechner. Die Möglichkeit zum (Quasi-)parallelbetrieb mehrerer Programmfunktionen ist aber unabhängig von der Zahl verfügbarer CPU-Kerne in vielen Situationen für die Anwender sehr nützlich.

Beim Multithreading ist allerdings eine sorgfältige Einsatzplanung erforderlich, denn:

- Thread-Wechsel sind mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden und sollten daher nicht zu häufig stattfinden.
- Das Laufzeitsystem wird durch die Verwaltung von Threads zusätzlich belastet.
- In der Regel erfordert das Synchronisieren von Threads einige Aufmerksamkeit beim Programmierer (siehe Abschnitt 16.2). Hier kommt es oft zu Fehlern, die zudem aufgrund variabler Ergebnisse schwer zu analysieren sind.

Während jeder *Prozess* einen eigenen Adressraum besitzt, laufen die *Threads* eines Programms im selben Adressraum ab, so dass sie gelegentlich auch als *leichtgewichtige Prozesse* bezeichnet werden. Sie haben einen gemeinsamen Heap-Speicher, wohingegen jeder Thread als selbständiger Kontrollfluss bzw. Ausführungsfaden aber einen eigenen Stack-Speicher benötigt.

Vor der Einführung von Java gehörte die Unterstützung von Threads zur Guru-HighTech-Programmierung, weil man die Single-Thread-Architektur von Programmiersprachen wie C/C++ durch direkte Betriebssystemaufrufe erweitern musste. In Java ist die Multithreading-Unterstützung in die Sprache bzw. das API eingebaut und von jedem Programmierer ohne großen Aufwand zu nutzen. Um diese Technik möglichst gut zu beherrschen, muss man sich allerdings mit neuen Konzepten und Aufgaben vertraut machen.

Übrigens sind bei *jeder* Java – Anwendung mehrere Threads aktiv; so läuft z.B. der Garbage Collector stets in einem eigenen Thread.

16.1 Start und Ende eines Threads

Das erste Beispiel soll im klassischen Produzenten-Konsumenten - Paradigma den Start und das Ende eines Threads sowie die Koordination von zwei Threads veranschaulichen, wobei von den potentiellen Vorteilen einer Multi-Thread - Lösung noch nicht viel zu sehen sein wird. Wie bei vielen ambitionierten Programmiertechniken kann man mit kleinen Beispielen zwar das Grundprinzip gut veranschaulichen, aber den Nutzen nicht nachweisen.

16.1.1 Die Klasse Thread

Ein Thread wird in Java durch ein Objekt aus der Klasse **Thread** oder aus einer Unterklasse realisiert. Im ersten Beispiel werden die Klassen `ProThread` und `KonThread` aus der Klasse **Thread** abgeleitet. Sie sollen einen Produzenten und einen Konsumenten modellieren, die gemeinsam auf einen Lagerbestand einwirken, der von einem Objekt der Klasse `Lager` gehütet wird:

```
class Lager {
 private int bilanz;
 private int anz;
 private final int manz = 20;

 Lager(int start) {
  bilanz = start;
  System.out.println("Der Laden ist offen (Bestand = "+bilanz+")\n");
 }

 boolean offen() {
  if (anz < manz)
   return true;
  else {
   System.out.println("\nLieber "+Thread.currentThread().getName()+
    ", es ist Feierabend!");
   return false;
  }
 }
```

```
  private String formZeit() {
   return java.text.DateFormat.getTimeInstance().format(
                                                  new java.util.Date());
  }

  void ergaenze(int add) {
   bilanz += add;
   anz++;
   System.out.println("Nr. "+anz+":\t"+Thread.currentThread().getName()+
    " ergaenzt\t"+add+"\tum "+formZeit()+" Uhr. Stand: "+bilanz);
  }

  void liefere(int sub) {
   bilanz -= sub;
   anz++;
   System.out.println("Nr. "+anz+":\t"+Thread.currentThread().getName()+
    " entnimmt\t"+sub+"\tum "+formZeit()+" Uhr. Stand: "+bilanz);
  }
}
```

Das folgende Hauptprogramm erzeugt ein `Lager`-Objekt mit initialem Bestand

```
class ProKonDemo {
 public static void main(String[] args) {
  Lager lager = new Lager(100);
  ProThread pt = new ProThread(lager);
  KonThread kt = new KonThread(lager);
  pt.start();
  kt.start();
 }
}
```

und generiert dann ein `ProThread`- sowie ein `KonThread`-Objekt. Weil beide Threads mit dem `Lager`-Objekt kooperieren sollen, erhalten sie als Konstruktor-Parameter eine entsprechende Referenz.

Anschließend werden die beiden Threads vom Zustand **new** durch Aufruf ihrer **start()**-Methode in den Zustand **ready** gebracht:

```
pt.start();
kt.start();
```

Von der **start()**-Methode eines Threads wird seine **run()**-Methode aufgerufen, welche die im Thread auszuführenden Anweisungen enthält. Eine aus **Thread** abgeleitete Klasse muss also die **run()**-Methode überschreiben, z.B.:

```
class ProThread extends Thread {
 private Lager pl;

 ProThread(Lager pl) {
  super("Produzent");
  this.pl = pl;
 }

 public void run() {
  while (pl.offen()) {
   pl.ergaenze((int) (5 + Math.random()*100));
   try {
    sleep((int) (1000 + Math.random()*3000));
   } catch(InterruptedException ie) {}
  }
 }
}
```

Im Beispiel enthält die **run()**-Methode eine **while**-Schleife, die bis zum Eintreten einer Terminierungsbedingung läuft.

Ein Thread im Zustand **ready** wartet auf die Zuteilung der (bzw. einer) CPU und erreicht dann den Zustand **running**. Die JVM verwaltet die Threads in enger Zusammenarbeit mit dem Wirtsbetriebssystem, wobei ein Thread zwischen den Zuständen **ready** und **running** wechselt (siehe Abschnitt 16.5.1).

Sobald seine **run()**-Methode abgearbeitet ist, endet ein Thread. Er befindet sich dann im Zustand **terminated** und kann *nicht* erneut gestartet werden.

Im Beispiel ergänzt der `ProThread` innerhalb einer **while**-Schleife das Lager um eine zufallsbestimmte Menge. Er spricht über die per Konstruktor-Parameter erhaltene Referenz das `Lager`-Objekt an und ruft dessen `ergaenze()`-Methode auf:

```
pl.ergaenze((int) (5 + Math.random()*100));
```

Anschließend legt er sich durch Aufruf der statischen **Thread**-Methode **sleep()** ein (wiederum zufallsabhängiges) Weilchen zur Ruhe:

```
sleep((int) (1000 + Math.random()*3000));
```

Durch Ausführen dieser Methode wechselt der Thread vom Zustand **running** zum Zustand **sleeping** und konkurriert vorübergehend nicht mehr um Prozessorzeit. Schlafphasen eignen sich wegen der unzuverlässigen, vom Wirtsbetriebssystem abhängigen Einhaltung der Zeiten nicht für eine präzise Programmablaufsteuerung.

Weil von der Methode **sleep()** potentiell eine **InterruptedException** zu erwarten ist, muss sie in einem **try**-Block ausgeführt werden. Die in Abschnitt 16.4 näher zu beschreibende **Thread**-Methode **interrupt()** wird oft dazu eingesetzt, einen per **sleep()** in den Schlaf oder per **wait()** (siehe Abschnitt 16.2.2) in den Wartezustand geschickten Thread wieder zu aktivieren. Im Beispielprogramm ist allerdings keine Unterbrechungsaufforderung an einen schlafenden Thread enthalten.

Zum `ProThread`-Konstruktor ist noch anzumerken, dass im Aufruf des Superklassen-Konstruktors ein Thread-Name festgelegt wird.

Der Konsumenten-Thread ist weitgehend analog definiert:

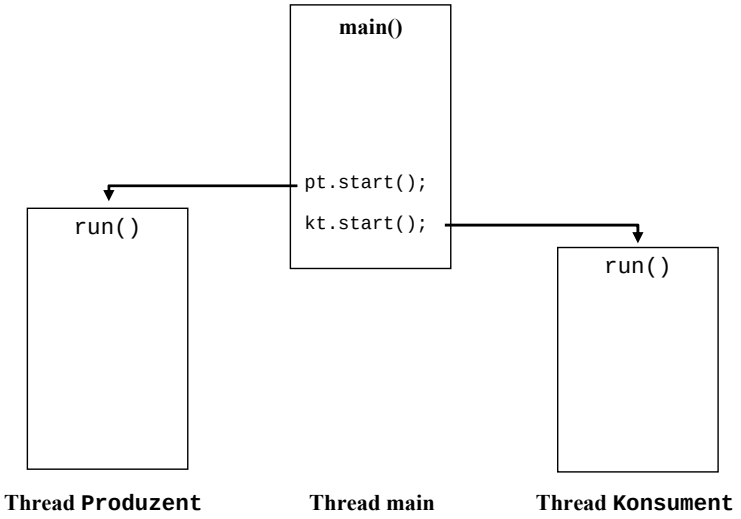
```
class KonThread extends Thread {
 private Lager pl;

 KonThread(Lager pl) {
  super("Konsument");
  this.pl = pl;
 }

 public void run() {
  while (pl.offen()) {
   pl.liefere((int) (5 + Math.random()*100));
   try {
    sleep((int) (1000 + Math.random()*3000));
   } catch(InterruptedException ie) {}
  }
 }
}
```

In beiden **run()**-Methoden wird vor jedem Schleifendurchgang geprüft, ob das Lager noch offen ist. Nach Dienstschluss des Lagers (im Beispiel: nach 20 Ein- oder Auslieferungen) enden beide **run()**-Methoden und damit auch die zugehörigen Threads.

Auch der automatisch zur Startmethode kreierte Thread **main** ist zu diesem Zeitpunkt bereits Geschichte. Die Aufrufe der **Thread**-Methode **start()** kehren praktisch unmittelbar zurück, und anschließend endet mit der der **main() -** Methode auch der **main** – Thread:[99]



Wenn die drei Benutzer-Threads abgeschlossen sind, endet auch das Programm.

In den beiden Ausführungsfäden `Produzent` bzw. `Konsument` führt ein `ProThread`- bzw. ein `KonThread`-Objekt seine **run()**-Methode aus, wobei das `Lager`-Objekt wesentlich zum Einsatz kommt:

- In seiner Methode `offen()`, die in beiden Threads aufgerufen wird, entscheidet es auf Anfrage, ob weitere Veränderungen des Lagers möglich sind.
- Die Methoden `ergaenze()` und `liefere()` erhöhen oder reduzieren den Lagerbestand, aktualisieren die Anzahl der Lagerveränderungen und protokollieren jede Maßnahme. Dazu besorgen Sie sich mit der statischen **Thread**-Methode **currentThread()** eine Referenz auf den aktuell ausgeführten Thread und stellen per **getName()** dessen Namen fest.
- Mit Hilfe der privaten `Lager`-Methode `formZeit()` erhält das Ereignisprotokoll formatierte Zeitangaben.

In einem typischen Ablaufprotokoll des Programms zeigen sich einige Ungereimtheiten, verursacht durch das unkoordinierte Agieren des Produzenten- und des Konsumenten-Threads:

```
Der Laden ist offen (Bestand = 100)

Nr. 1:    Produzent ergaenzt       72     um 12:43:33 Uhr. Stand: 74
Nr. 2:    Konsument entnimmt       98     um 12:43:33 Uhr. Stand: 74
Nr. 3:    Konsument entnimmt       31     um 12:43:35 Uhr. Stand: 43
Nr. 4:    Produzent ergaenzt       32     um 12:43:37 Uhr. Stand: 75
Nr. 5:    Konsument entnimmt       42     um 12:43:38 Uhr. Stand: 33
Nr. 6:    Produzent ergaenzt       44     um 12:43:39 Uhr. Stand: 77
Nr. 7:    Konsument entnimmt       63     um 12:43:41 Uhr. Stand: 14
Nr. 8:    Produzent ergaenzt       42     um 12:43:42 Uhr. Stand: 56
Nr. 9:    Konsument entnimmt       99     um 12:43:43 Uhr. Stand: -43
Nr. 10:   Produzent ergaenzt       77     um 12:43:44 Uhr. Stand: 34
Nr. 11:   Konsument entnimmt       13     um 12:43:44 Uhr. Stand: 21
Nr. 12:   Konsument entnimmt       83     um 12:43:47 Uhr. Stand: -62
Nr. 13:   Produzent ergaenzt       90     um 12:43:47 Uhr. Stand: 28
Nr. 14:   Produzent ergaenzt       47     um 12:43:48 Uhr. Stand: 75
Nr. 15:   Konsument entnimmt       101    um 12:43:51 Uhr. Stand: -26
Nr. 16:   Produzent ergaenzt       42     um 12:43:51 Uhr. Stand: 16
Nr. 17:   Konsument entnimmt       79     um 12:43:52 Uhr. Stand: -63
```

[99] Nachdem Sie unter Windows ein Java-Programm aus einem Konsolenfenster gestartet haben, können Sie mit der Tastenkombination **Strg+Pause** eine Liste seiner aktiven Threads anfordern.

```
Nr. 18:    Produzent ergaenzt        22      um 12:43:53 Uhr. Stand: -41
Nr. 19:    Konsument entnimmt        90      um 12:43:56 Uhr. Stand: -131
Nr. 20:    Produzent ergaenzt        54      um 12:43:57 Uhr. Stand: -77

Lieber Konsument, es ist Feierabend!

Lieber Produzent, es ist Feierabend!
```

U.a. fällt negativ auf:

- Im ersten Protokolleintrag wird berichtet, dass vom Startwert 100 ausgehend eine Ergänzung von 72 Einheiten zu einem Bestand von 74 Einheiten geführt habe.
- Der zweite Eintrag behauptet, dass die Entnahme von 98 Einheiten ohne Effekt auf den Lagerbestand geblieben sei.
- Zwischenzeitlich wird der Bestand mehrmals negativ, was in einem realen Lager nicht passieren kann.

Ansonsten zeigt die Verzahnung der beiden Threads keine ausgeprägte Regelmäßigkeit, sondern demonstriert den Indeterminismus bei einem Multi-Thread - Programmablauf.

In Abschnitt 16.2 werden Techniken zur Koordination bzw. Synchronisation von Threads vorgestellt, mit denen man fehlerhafte Anzeigen und Schlimmeres verhindern kann.

16.1.2 Das Interface Runnable

Als Basis für einen eigenständigen Kontrollfluss haben wir eben eine **Thread**-Ableitung definiert und die geerbte **run()**-Methode überschrieben. In Java sind aber auch andere Klassen Thread-fähig, sofern sie das Interface **Runnable** implementieren. Es verlangt lediglich eine parameterfreie Methode **run()** mit Rückgabetyp **void**. Diese Flexibilität ist sehr zu begrüßen, weil Java bekanntlich keine Mehrfachvererbung unterstützt, eine Klasse aber beliebig viele Schnittstellen unterstützen kann.

Wir verwenden weiterhin das Produzenten-Konsumenten - Beispiel aus Abschnitt 16.1.1, ersetzen allerdings die **Thread**-Ableitung `ProThread`

```
class ProThread extends Thread {
   .  .  .
}
```

durch die Klasse `Produzent`, die das Interface **Runnable** erfüllt:

```
class Produzent implements Runnable {
 private Lager pl;

 Produzent(Lager pl) {
  this.pl = pl;
 }

 public void run() {
  while (pl.offen()) {
   pl.ergaenze((int) (5 + Math.random()*100));
   try {
    Thread.sleep((int) (1000 + Math.random()*3000));
   } catch(InterruptedException ie) {}
  }
 }
}
```

Mit dieser Vorgehensweise wird der funktionsäquivalente Umbau demonstriert. Solange `Produzent` keine spezielle Basisklasse erweitert, bleibt der potentielle Vorteil der **Runnable**-Konstruktion im Beispiel allerdings ungenutzt.

Im Rumpf der `Produzent`-Definition sind im Vergleich zur `ProThread`-Lösung nur zwei Änderungen erforderlich:

- Im Konstruktor der Klasse `Produzent` kann der Produzenten-Thread keinen Namen erhalten. Eine alternative Möglichkeit zur Benennung wird gleich vorgestellt.
- Beim Aufruf der statischen **Thread**-Methode **sleep()** in der `Produzent`-Methode **run()** ist der Klassenname anzugeben, was bei der **Thread**-Ableitung `ProThread` nicht erforderlich war.

Beim *Erzeugen* eines Ausführungsfadens wird aber doch ein **Thread**–Objekt benötigt, wobei man der passenden Konstruktor-Überladung einen Aktualparameter vom Typ **Runnable** übergibt:

- **public Thread(Runnable** *target***)**
- **public Thread(Runnable** *target***, String** *name***)**

Optional kann man zusätzlich den Namen des neuen Threads festlegen. Dies geschieht in der Startklasse des aktualisierten Beispiels, wo im Vergleich zur vorherigen Lösung nur eine einzige Zeile zu ändern ist:

```
class ProKonDemo {
 public static void main(String[] args) {
  Lager lager = new Lager(100);
  Thread pt = new Thread(new Produzent(lager), "Produzent");
  KonThread kt = new KonThread(lager);
  pt.start();
  kt.start();
 }
}
```

Nun machen wir uns daran, im Produzenten-Konsumenten - Beispiel die beiden Threads so zu synchronisieren, dass keine wirren Anzeigen und keine negativen Lagerbestände mehr auftreten.

16.2 Threads synchronisieren

16.2.1 Monitore und synchronisierte Bereiche

Am Anfang des oben wiedergegebenen Ablaufprotokolls stehen zwei „wirre“ Einträge, die folgendermaßen durch eine so genannte *Race Condition* zu erklären sind:

- Der (zuerst gestartete) Produzenten-Thread nimmt nach einer erfolgreichen `offen()`-Anfrage die Methode `ergaenze()` in Angriff und führt die Anweisung

  ```
  bilanz += add;
  ```

  aus, was zur Zwischenbilanz von 172 führt.
- Dann muss der Produzent seine Arbeit unterbrechen, weil der Konsumenten-Thread aktiviert, d.h. vom Zustand **ready** in den Zustand **running** befördert wird.
- Mit seiner Anforderung von 98 Einheiten bringt der Konsument in der Methode `liefere()` die Lagerbilanz von 172 auf 74.
- Nach dem nächsten Thread-Wechsel macht der Produzent mit seiner Protokollausgabe weiter, wobei aber der *aktuelle* `bilanz`-Wert (unter Berücksichtigung der zwischenzeitlichen Konsumenten-Aktivität) erscheint.
- Schließlich vervollständigt der Konsumenten-Thread seine Meldung.

Es kann aber nicht nur zu wirren Protokolleinträgen kommen, sondern auch zu einem fehlerhaften `bilanz`-Wert. Scheinbar einschrittige Operationen wie die folgende Anweisung in der vom Produzenten-Thread aufgerufenen Methode `ergaenze()`

```
bilanz += add;
```

haben in einen Rechner mehrere Teilschritte zur Folge, sind also nicht **atomar**, z.B.:

- aktuellen `bilanz`-Wert aus dem Hauptspeicher in ein CPU-Register einlesen
- Wert (der lokalen Kopie!) erhöhen
- Neuen Wert in den Hauptspeicher schreiben

In der vom Konsumenten-Thread aufgerufenen Methode `liefere()` führt die Anweisung

```
bilanz -= sub;
```

analog zu folgenden Teilschritten:

- aktuellen `bilanz`-Wert aus dem Hauptspeicher in ein CPU-Register einlesen
- Wert (der lokalen Kopie!) reduzieren
- Neuen Wert in den Hauptspeicher schreiben

Durch unglückliche Thread-Wechsel kann es z.B. zu folgender Sequenz kommen:

- Der Produzent liest den Wert 100.
- Der Konsument liest den Wert 100.
- Der Produzent erhöht seine `bilanz`-Kopie um 10 auf 110 und schreibt das Ergebnis in den Hauptspeicher.
- Der Konsument reduziert seine `bilanz`-Kopie um 10 auf 90 und schreibt das Ergebnis in den Hauptspeicher. Damit ist der Beitrag des Produzenten verloren gegangen.

Es kann sogar passieren, dass ein Thread beim Schreiben eines **long**- oder **double**-Werts (64 Bit groß) unterbrochen wird, und dass schlussendlich die 64 Bits einer Variablen von zwei verschiedenen Threads geschrieben werden (siehe Abschnitt 16.7.2).

Offenbar muss im Beispiel verhindert werden, dass zwei Threads simultan auf das Lager zugreifen. Das ist mit dem von Java unterstützten **Monitor**-Konzept leicht zu realisieren. Zu einem Monitor kann jedes Objekt werden, wenn eine seiner Methoden als **synchronized** deklariert ist.

Sobald ein Thread eine als **synchronized** deklarierte Methode eines noch freien Monitors aufruft, wird er zum Besitzer dieses Monitors. Man kann sich vorstellen, dass er den (einzigen) Schlüssel zu den synchronisierten Bereichen des Monitors an sich nimmt. In der englischen Literatur wird der Vorgang als *obtaining the lock* beschrieben. Versucht ein anderer Thread, eine der synchronisierten Methoden desselben Monitors aufzurufen, wird er in den Wartezustand versetzt (**waiting**, vgl. Abschnitt 16.5.2). Sobald der Monitor-Besitzer die **synchronized**-Methode beendet, kann ein wartender Thread den Monitor übernehmen und seine Arbeit fortsetzen. Die Freigabe erfolgt auch dann zuverlässig, wenn die **synchronized**-Methode mit einer unbehandelten Ausnahme endet.

Die Synchronisation per Monitor klappt auch bei statischen Methoden, wobei dasjenige Objekt beteiligt ist, welches die Klasse in der JVM repräsentiert (siehe Abschnitt 16.2.4). Solche Klassenobjekte lassen sich mit der **Object**-Methode **getClass()** ermitteln und dann z.B. mit **getName()** nach dem Namen der repräsentierten Klasse befragen.

In unserem Beispiel sollten die `Lager`-Methoden `offen()`, `ergaenze()` und `liefere()` als **synchronized** deklariert werden, z.B.:

```
synchronized void ergaenze(int add) {
 bilanz += add;
 anz++;
 System.out.println("Nr. "+anz+":\t"+Thread.currentThread().getName()+
   " ergaenzt\t"+add+"\tum "+formZeit()+" Uhr. Stand: "+bilanz);
}
```

Nun unterbleiben die wirren Protokolleinträge, doch die Ausflüge in negative Lagerzustände finden nach wie vor statt:

```
Der Laden ist offen (Bestand = 100)

Nr. 1:    Produzent ergaenzt        54      um 14:54:31 Uhr. Stand: 154
Nr. 2:    Konsument entnimmt        68      um 14:54:31 Uhr. Stand: 86
Nr. 3:    Konsument entnimmt        26      um 14:54:33 Uhr. Stand: 60
Nr. 4:    Produzent ergaenzt        58      um 14:54:34 Uhr. Stand: 118
Nr. 5:    Konsument entnimmt        70      um 14:54:35 Uhr. Stand: 48
Nr. 6:    Produzent ergaenzt        13      um 14:54:35 Uhr. Stand: 61
Nr. 7:    Konsument entnimmt        74      um 14:54:38 Uhr. Stand: -13
Nr. 8:    Produzent ergaenzt        11      um 14:54:38 Uhr. Stand: -2
Nr. 9:    Konsument entnimmt        65      um 14:54:40 Uhr. Stand: -67
Nr. 10:   Produzent ergaenzt        26      um 14:54:41 Uhr. Stand: -41
Nr. 11:   Konsument entnimmt        71      um 14:54:42 Uhr. Stand: -112
Nr. 12:   Produzent ergaenzt        9       um 14:54:43 Uhr. Stand: -103
Nr. 13:   Konsument entnimmt        8       um 14:54:45 Uhr. Stand: -111
Nr. 14:   Produzent ergaenzt        100     um 14:54:46 Uhr. Stand: -11
Nr. 15:   Konsument entnimmt        5       um 14:54:47 Uhr. Stand: -16
Nr. 16:   Produzent ergaenzt        43      um 14:54:48 Uhr. Stand: 27
Nr. 17:   Konsument entnimmt        44      um 14:54:51 Uhr. Stand: -17
Nr. 18:   Produzent ergaenzt        68      um 14:54:51 Uhr. Stand: 51
Nr. 19:   Konsument entnimmt        97      um 14:54:53 Uhr. Stand: -46
Nr. 20:   Konsument entnimmt        73      um 14:54:54 Uhr. Stand: -119

Lieber Produzent, es ist Feierabend!

Lieber Konsument, es ist Feierabend!
```

Befindet sich ein Thread in einem synchronisierten Bereich, darf er andere, vom *selben* Monitor geschützte Bereiche betreten, was bei verschachtelten oder rekursiven Methodenaufrufen relevant ist.

Weil bei einem Konstruktor der Modifikator **synchronized** *nicht* erlaubt ist, sollte man in dieser Methode keine Referenz zum entstehenden Objekt veröffentlichen, wenn interferierende Zugriffe aus anderen Threads zu befürchten sind.

Neben dem **synchronized**-Modifikator für Methoden bietet Java auch den synchronisierten *Block*, wobei statt einer kompletten Methode nur eine einzelne Blockanweisung in den synchronisierten Bereich aufgenommen und ein beliebiges Objekt als Monitor angegeben wird. Um andere Threads möglichst wenig zu behindern, muss ein Monitor so schnell wie möglich wieder frei gegeben werden. Daher kann ein möglichst klein gewählter synchronisierter Block günstiger sein als das Synchronisieren einer kompletten Methode.

Obwohl in der `Lager`-Klassendefinition des Produzenten-Konsumenten – Beispiels der **synchronized**-Modifikator perfekt geeignet ist, ersetzen wir ihn zu Demonstrationszwecken bei der Methode `ergaenze()`:

```
void ergaenze(int add) {
 synchronized (this) {
  bilanz += add;
  anz++;
  System.out.println("Nr. "+anz+":\t"+Thread.currentThread().getName()+
   " ergaenzt\t"+add+"\tum "+formZeit()+" Uhr. Stand: "+bilanz);
 }
}
```

Nach dem Schlüsselwort **synchronized** ist in runden Klammern ein Objekt als Monitor explizit anzugeben, während bei Verwendung des **synchronized**-Methodenmodifikators das ausführende Objekt diese Rolle automatisch übernimmt. Im Beispiel belassen wir über das Schlüsselwort **this** die Monitor-Rolle beim Lageristen. Der zu einem Monitor gehörige synchronisierte Bereich kann beliebig über synchronisierte Methoden und/oder Blöcke zusammengestellt werden.

In einer per **sleep()**-Methode ausgelösten Ruhephase werden im Besitz eines Threads befindliche Monitore *nicht* zurück gegeben. Folglich ist die **sleep()**-Methode in synchronisierten Bereichen zu vermeiden.

16.2.2 Koordination per wait(), notify() und notifyAll()

Mit Hilfe der **Object**-Methoden **wait()** und **notify()** können in unserem Produzenten-Lager-Konsumenten - Beispiel negative Lagerbestände verhindert werden: Trifft eine Konsumenten-Anfrage auf einen unzureichenden Lagerbestand, dann wird der Thread mit der Methode **wait()** in den Zustand **waiting** versetzt (vgl. Abschnitt 16.5.2). Die Methode **wait()** kann nur in einem synchronisierten Bereich, aufgerufen werden, z.B.:

```
synchronized void liefere(int sub) {
 while (bilanz < sub)
  try {
   System.out.println(Thread.currentThread().getName()+
    " muss warten: Keine "+sub+" Einheiten vorhanden.");
   wait();
  } catch (InterruptedException ie) {
     System.err.println(ie);
  }

 bilanz -= sub;
 anz++;
 System.out.println("Nr. "+anz+":\t"+Thread.currentThread().getName()+
  " entnimmt\t"+sub+"\tum "+formZeit()+" Uhr. Stand: "+bilanz);
}
```

Dem Konsumenten-Thread wird der Monitor entzogen, so dass der Produzenten-Thread freie Bahn hat, den synchronisierten Block zu betreten und den Lagerzustand aufzubessern.

Mit den **Object**-Methoden **notify()** bzw. **notifyAll()** kann ein Thread aus dem Zustand **waiting** in den Zustand **ready** versetzt werden:

- **public final void notify()**
  Ein auf den betroffenen Monitor wartender Thread wird in den Zustand **ready** versetzt, sobald der Aufrufer den synchronisierten Bereich verlassen hat. Die Entscheidung zwischen mehreren Kandidaten ist der JVM-Implementation überlassen.
- **public final void notifyAll()**
  Alle auf den betroffenen Monitor wartenden Threads werden in den Zustand **ready** versetzt, sobald der Aufrufer den synchronisierten Bereich verlassen hat.

Wie **wait()** können auch **notify()** und **notifyAll()** nur in einem synchronisierten Bereich aufgerufen werden, z.B.:

```
synchronized void  ergaenze(int add) {
 bilanz += add;
 anz++;
 System.out.println("Nr. "+anz+":\t"+Thread.currentThread().getName()+
  " ergaenzt\t"+add+"\tum "+formZeit()+" Uhr. Stand: "+bilanz);
 notify();
}
```

Nun produziert das Beispielprogramm nur noch realistische Lagerprotokolle, z.B.:

```
Der Laden ist offen (Bestand = 100)

Nr. 1:    Produzent ergaenzt        29      um 15:21:21 Uhr. Stand: 129
Nr. 2:    Konsument entnimmt        78      um 15:21:21 Uhr. Stand: 51
Konsument muss warten: Keine 92 Einheiten vorhanden.
Nr. 3:    Produzent ergaenzt        36      um 15:21:25 Uhr. Stand: 87
Konsument muss warten: Keine 92 Einheiten vorhanden.
```

```
Nr. 4:    Produzent ergaenzt        10      um 15:21:27 Uhr. Stand: 97
Nr. 5:    Konsument entnimmt        92      um 15:21:27 Uhr. Stand: 5
Nr. 6:    Produzent ergaenzt        39      um 15:21:29 Uhr. Stand: 44
Nr. 7:    Konsument entnimmt        24      um 15:21:29 Uhr. Stand: 20
Nr. 8:    Produzent ergaenzt        6       um 15:21:31 Uhr. Stand: 26
Nr. 9:    Produzent ergaenzt        30      um 15:21:32 Uhr. Stand: 56
Konsument muss warten: Keine 62 Einheiten vorhanden.
Nr. 10:   Produzent ergaenzt        66      um 15:21:35 Uhr. Stand: 122
Nr. 11:   Konsument entnimmt        62      um 15:21:35 Uhr. Stand: 60
Nr. 12:   Produzent ergaenzt        35      um 15:21:36 Uhr. Stand: 95
Konsument muss warten: Keine 97 Einheiten vorhanden.
Nr. 13:   Produzent ergaenzt        98      um 15:21:39 Uhr. Stand: 193
Nr. 14:   Konsument entnimmt        97      um 15:21:39 Uhr. Stand: 96
Konsument muss warten: Keine 99 Einheiten vorhanden.
Nr. 15:   Produzent ergaenzt        38      um 15:21:43 Uhr. Stand: 134
Nr. 16:   Konsument entnimmt        99      um 15:21:43 Uhr. Stand: 35
Nr. 17:   Konsument entnimmt        23      um 15:21:45 Uhr. Stand: 12
Nr. 18:   Produzent ergaenzt        17      um 15:21:46 Uhr. Stand: 29
Konsument muss warten: Keine 74 Einheiten vorhanden.
Nr. 19:   Produzent ergaenzt        87      um 15:21:49 Uhr. Stand: 116
Nr. 20:   Konsument entnimmt        74      um 15:21:49 Uhr. Stand: 42

Lieber Produzent, es ist Feierabend!

Lieber Konsument, es ist Feierabend!
```

Mit **notify()** bzw. **notifyAll()** wird mitgeteilt, dass eine neue Lage eingetreten ist. Ob ein reaktivierter Thread nun die benötigten Voraussetzungen für seine Tätigkeit vorfindet, muss er selbst entscheiden. Endet die Prüfung negativ, muss er erneut **wait()** aufrufen. Daher sollte **wait()** stets in einer Schleife aufgerufen werden, deren Bedingungsteil die kritische Prüfung enthält (siehe oben).

Ein Thread kann per **InterruptedException** aus dem Wartezustand gerissen werden, weil ihm per **interrupt()** aus einem anderen Thread ein Unterbrechungssignal zugestellt wurde (vgl. Abschnitt 16.4). Im Beispiel wartet die Methode `liefere()` nach einer Protokollausgabe im **catch**-Block unbeirrt weiter auf einen ausreichenden Lagerzustand. In anderen Fällen kann es sinnvoll sein, den bisherigen Handlungsplan aufzugeben und eine Beendigung des Threads in Erwägung zu ziehen.

Man könnte das Beispiel noch um eine Absicherung gegen Lagerüberlauf absichern. Wir gehen jedoch der Einfachheit halber von einem unendlich großen Lager aus.

16.2.3 Explizite Lock-Objekte

Im bisherigen Verlauf von Kapitel 16 wurden Klassen und Methoden vorgestellt, die schon in der ersten Java-Version vorhanden waren. In der Version 5.0 (alias 1.5) wurde Java um neue Optionen zur Parallelverarbeitung erweitert, die mehr Flexibilität, teilweise aber auch mehr Verantwortung für Programmierer mit sich bringen. Man findet die neuen Klassen und Schnittstellen im Paket **java.util.concurrent** sowie in den untergeordneten Paketen.

Im Vergleich zur Synchronisation von Methoden bieten die das Interface ***Lock*** aus dem Namensraum **java.util.concurrent.locks** implementierenden Klassen (z.B. **ReentrantLock**) u.a. folgende Vorteile:

- Während per Synchronisation Monitore (implizite Locks) blockorientiert erworben und (automatisch) beim Verlassen des Blocks zurückgegeben werden, ist bei expliziten **Lock**-Objekten der Gültigkeitsbereich *nicht* an einen Block gebunden. Allerdings ist der Programmierer nun für die Freigabe der Locks verantwortlich (per **unlock()**-Aufruf).
- Mit der **Lock**-Methode **tryLock()** lässt sich feststellen, ob ein Lock zu haben ist. Alternativ kann man noch eine maximale Wartezeit angeben.

Über die Klasse **ReentrantReadWriteLock**) kann man *einen* Writer-Thread, aber beliebig viele Reader-Threads zulassen und auf diese Weise unnötige Blockaden vermeiden.

Mit einem **Lock**-Objekt lassen sich über die Methode **newCondition()** beliebig viele **Condition**-Objekte verbinden und deren Methoden **await()**, **signal()** und **signalAll()** erlauben eine Verfeinerung der in Abschnitt 16.2.2 beschriebenen Thread-Koordinierung.

16.2.4 Deadlock

Wer sich beim Einsatz von Monitoren oder Lock-Objekten zur Thread-Synchronisation ungeschickt anstellt, kann einen so genannten *Deadlock* (deutsch: eine *Systemverklemmung*) produzieren, wobei sich Threads gegenseitig blockieren. Im folgenden Beispiel sind die beiden **ReentrantLock**-Objekte `lock1` und `lock2` im Spiel:

```
import java.util.concurrent.locks.*;

class Deadlock {
 static Lock lock1 = new ReentrantLock();
 static Lock lock2 = new ReentrantLock();

 public static void main(String[] args) {
  (new T1()).start();
  (new T2()).start();
 }
}

class T1 extends Thread {
 public void run() {
  Deadlock.lock1.lock();
  System.out.println("Thread 1 besitzt Lock 1.");
  try {Thread.sleep(100);} catch (Exception e) {}
  System.out.println("Thread 1 moechte Lock 2 erwerben.");
  Deadlock.lock2.lock();
  System.out.println("Thread 1 besitzt Lock 2.");
  Deadlock.lock2.unlock();
  Deadlock.lock1.unlock();
 }
}

class T2 extends Thread {
 public void run() {
  Deadlock.lock2.lock();
  System.out.println("Thread 2 besitzt Lock 2.");
  try {Thread.sleep(100);} catch (Exception e) {}
  System.out.println("Thread 2 moechte Lock 1 erwerben.");
  Deadlock.lock1.lock();
  System.out.println("Thread 2 besitzt Lock 1.");
  Deadlock.lock1.unlock();
  Deadlock.lock2.unlock();
 }
}
```

Zwei Threads versuchen jeweils, beide Sperrobjekte zu erwerben:

- Der erste Thread erwirbt `lock1`, beschäftigt sich ein Weilchen (simuliert per **sleep()**-Aufruf) und versucht dann, zusätzlich auch noch `lock2` zu erwerben.
- Der zweite Thread erwirbt `lock2`, beschäftigt sich ein Weilchen (simuliert per **sleep()**-Aufruf) und versucht dann, zusätzlich auch noch `lock1` zu erwerben.

Die beiden Threads sind im ersten Schritt erfolgreich und blockieren sich dann gegenseitig:

```
Thread 1 besitzt Lock 1.
Thread 2 besitzt Lock 2.
Thread 1 moechte Lock 2 erwerben.
Thread 2 moechte Lock 1 erwerben.
```

Wenn beide Threads in *derselben Reihenfolge* vorgehen, also z.B. beide zunächst `lock1` anstreben und danach `lock2`, kommen sie zum Erfolg, wobei sich ein Thread etwas gedulden muss, z.B.:

```
Thread 1 besitzt Lock 1.
Thread 1 moechte Lock 2 erwerben.
Thread 1 besitzt Lock 2.
Thread 2 besitzt Lock 1.
Thread 2 moechte Lock 1 erwerben.
Thread 2 besitzt Lock 1.
```

16.2.5 Weck mich, wenn Du fertig bist (join)

Wenn ein Thread erst dann weiterarbeiten möchte, wenn ein anderer Thread seine Tätigkeit beendet hat, kann er diesen mit der Methode **join()** um entsprechende Benachrichtigung bitten und dann in Ruhe auf die Reaktivierung warten.

Ein aus der folgenden Klasse resultierender Thread schreibt fünf Zeilen auf die Konsole:

```
class Thread1 extends Thread {
 public void run() {
  for (int i = 0; i < 5; i++)
   System.out.println("Thread 1, i = "+i);
 }
}
```

Bevor ein Thread aus der folgenden Klasse ebenfalls fünf Zeilen schreibt, wartet er auf das Arbeitsende eines Kollegen, den er per Konstruktor kennen lernt:

```
class Thread2 extends Thread {
 private Thread1 t1;

 Thread2(Thread1 t1) {
  this.t1 = t1;
 }

 public void run() {
  try {
   t1.join();
  } catch (InterruptedException  ie) {
   return;
  }
  for (int i = 0; i < 5; i++)
   System.out.println("Thread 2, i = "+i);
 }
}
```

Wie **sleep()** und **wait()** reagiert auch **join()** bei einer **interrupt()**-Aufforderung an den passiven Thread mit einer **InterruptedException**.

Ist der per **join()** angesprochene Thread bereits terminiert, hat der Aufruf keinen Effekt.

Nach dem Start der beiden Threads

```
class JoinDemo {
 public static void main(String[] args) {
  Thread1 t1 = new Thread1();
  Thread2 t2 = new Thread2(t1);
  t1.start();
  t2.start();
 }
}
```

arbeiten sie nacheinander:

```
Thread 1, i = 0
Thread 1, i = 1
Thread 1, i = 2
Thread 1, i = 3
Thread 1, i = 4
Thread 2, i = 0
Thread 2, i = 1
Thread 2, i = 2
Thread 2, i = 3
Thread 2, i = 4
```

Ohne Koordination per **join()** resultiert eine schlecht vorhersehbare Sequenz:

```
Thread 1, i = 0
Thread 1, i = 1
Thread 2, i = 0
Thread 2, i = 1
Thread 2, i = 2
Thread 2, i = 3
Thread 2, i = 4
Thread 1, i = 2
Thread 1, i = 3
Thread 1, i = 4
```

In einer alternativen **join()**-Überladung kann man die maximale Wartezeit in Millisekunden angeben, z.B.

```
t1.join(5000);
```

16.3 Threads und Swing

16.3.1 Ereignisverteilungs-Thread und Single-Thread - Regel

Greifen mehrere Threads simultan auf eine Swing-Komponente zu, kann es zu irregulärem Verhalten (z.B. bei der Bildschirmaktualisierung) kommen, weil die meisten Swing-Methode *nicht* synchronisiert sind. Man hat auf eine Synchronisation verzichtet, weil Performanzprobleme bis hin zur blockierten Bedienoberfläche auftreten könnten.

Daher muss (bis auf einige Ausnahmen, siehe unten) der Zugriff auf die Swing-Komponenten dem bei GUI–Anwendungen bzw. –Applets mit dem Erscheinen des ersten Fensters vorhandenen **Ereignisverteilungs-Thread** (engl.: *Event Dispatch - Thread*, kurz: *EDT*) vorbehalten bleiben. In diesem Thread laufen ab:

- **paint()**-Aufrufe zur Fensterrenovierung
- Aufrufe von Ereignisbehandlungsmethoden
- vom Programm per **invokeLater()** zur asynchronen Ausführung im EDT veranlasste Methodenaufrufe

Bei allen im EDT ausgeführten Methodenaufrufen muss sich der Zeitaufwand in Grenzen halten (maximal 100 Millisekunden[100]), weil sonst die Bedienoberfläche zäh reagiert. Aufwendige Arbeiten gehören in einen Hintergrund-Thread, der in der Regel irgendwann Ergebnisse seiner Tätigkeit an der Oberfläche sichtbar machen möchte (siehe Abschnitte 16.3.3 und 16.3.4).

Bei Verwendung des Swing-Toolkits ist also unbedingt die folgende **Single-Thread - Regel** zu beachten (Muller & Walrath 2000):

> Methoden, die eine bereits *realisierte* Swing-Komponente modifizieren oder von ihrem Zustand abhängen, dürfen nur im EDT ausgeführt werden. Als *realisiert* gilt eine Swing-Komponente dann, wenn für das zugehörige Top-Level-Fenster eine der Methoden **setVisible(true)**, **show()** oder **pack()** aufgerufen worden ist.

Analoge Regeln gelten übrigens auch für andere GUI-Frameworks, z.B. für das zur Windows-Programmierung mit C# häufig verwendete WinForms-Framework.

16.3.2 Thread-sichere Swing-Initialisierung

Wenn man es ganz genau nimmt, müssen schon die realisierenden Methoden **setVisible(true)**, **show()** und **pack()** im EDT ausgeführt werden, denn:

- Beim Realisieren nimmt der EDT seinen Betrieb auf, so dass Ereignisbehandlungsmethoden mit Wirkung auf Swing-Komponenten aufgerufen werden können.
- Die realisierenden Methoden sind aber zu diesem Zweitpunkt noch nicht beendet. Absolvieren sie ihre Restlaufzeit *nicht* im EDT (sondern im Thread **main**), kann es zu Multithreading-Problemen wie Deadlocks kommen.

Statt der bisher im Skript meistens benutzten Swing-Initialisierung

```
import javax.swing.*;
import java.awt.*;

class SwingInitNotThreadSafe extends JFrame {
   private static final String LAB = "Swing-Initialisierung nicht Thread-sicher";
   SwingInitNotThreadSafe() {
      super(LAB);
      setDefaultCloseOperation(EXIT_ON_CLOSE);
      JLabel lblText = new JLabel(LAB);
      lblText.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
      getContentPane().add(lblText, BorderLayout.CENTER);
      setSize(360, 100);
      setVisible(true);
   }

   public static void main(String args[]) {
      new SwingInitNotThreadSafe();
   }
}
```

muss streng genommen über ein **Runnable**-Objekt dafür gesorgt werden, dass die Methode **setVisible(true)** im EDT abläuft, z.B.:

---

[100] Diese Empfehlung stammt von der Webseite:
http://java.sun.com/developer/technicalArticles/javase/swingworker/index.html#EDT

```
import javax.swing.*;
import java.awt.*;

class SwingIniThreadSafe extends JFrame {
 private static final String LAB = "Swing-Initialisierung Thread-sicher";
 SwingIniThreadSafe() {
  super(LAB);
  setDefaultCloseOperation(EXIT_ON_CLOSE);
  JLabel lblText = new JLabel(LAB);
  lblText.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
  getContentPane().add(lblText, BorderLayout.CENTER);
  setSize(360, 100);
  setVisible(true);
 }

 public static void main(String args[]) {
  SwingUtilities.invokeLater(new Runnable() {
   public void run() {
    new SwingIniThreadSafe();
   }
  });
 }
}
```

Über die Methode **invokeLater()** der Klasse **SwingUtilities** mit einem Parameter vom Typ **Runnable** wird dafür gesorgt, dass die **run()**-Methode der anonymen Klasse und damit der Fensterkonstruktor baldmöglichst im EDT abläuft. Eine äquivalente Methode ist auch in der Klasse **EventQueue** vorhanden. Bei dieser Technik sind nur minimale Änderungen gegenüber der bisherigen Vorgehensweise erforderlich.

Erwartungsgemäß vorbildlich verhält sich der im Eclipse-Plugin *WindowBuilder* enthaltene Quellcode-Generator beim Starten einer Swing-Anwendung. Der in Abschnitt 4.8 beschriebene visuelle Entwurf einer Swing-Anwendung zum Kürzen von Brüchen führt zu der folgenden **main()**-Methode:

```
public static void main(String[] args) {
 try {
  UIManager.setLookAndFeel(UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
 } catch (Throwable e) {
  e.printStackTrace();
 }
 EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
  public void run() {
   try {
    BK window = new BK();
    window.frmKrzenVonBrchen.setVisible(true);
   } catch (Exception e) {
    e.printStackTrace();
   }
  }
 });
}
```

Nach Muller & Walrath (2000) ist die oben skizzierte Konfliktkonstellation sehr unwahrscheinlich, und wir haben bisher in bester Gesellschaft (z.B. mit Deitel & Deitel 2005, Krüger & Hansen 2011, Mössenböck 2005, Ullenboom 2012) auf die perfekt Thread-Sicherheit unsere Swing-Programme verzichtet. In Abschnitt 15.1.5.1 waren wir allerdings bei einem Beispielprogramm zur korrekten Vorgehensweise gezwungen, um einen Anzeigefehler zu vermeiden. Im weiteren Verlauf des Manuskripts werden wir auf eine regelkonforme GUI-Initialisierung achten. Wir haben nun genügend Wissen zur Verfügung, um die systemseitig im Einsatz befindlichen Threads (z.B. **main**, EDT) zu

verstehen, und um aufwändige Algorithmen in eigene Benutzer- bzw. Hintergrund-Threads auszulagern.

Das Java-Tutorial (Oracle 2012) empfiehlt auch für Swing-Applets analoge Initialisierungstechniken. Allerdings ist nach Muller & Walrath (2000) die GUI-Gestaltung in der **init()**-Methode (vgl. Abschnitt 14.4) unproblematisch, obwohl diese *nicht* im EDT ausgeführt wird. Weil ein Applet nicht vor Rückkehr der **init()**-Methode angezeigt und vom EDT mit Nachrichten beschickt wird, kann es nicht zu Konflikten kommen.

16.3.3 Swing-Komponenten aus Hintergrund-Threads modifizieren

Das Swing-API bietet etliche Möglichkeiten, Änderungen von Komponenten auf sichere Weise aus beliebigen Threads zu veranlassen:

- **Thread-sichere Methoden**
  Als Ausnahme von der generellen Regel finden sich bei einigen Swing-Komponenten doch Thread-sichere Methoden, z.B.: **JTextComponent.setText()**.
- **repaint()**
  Die angesprochene GUI-Komponente wird gebeten, sich baldmöglichst neu zu zeichnen.
- **invokeLater()**, **invokeAndWait()**
  Mit diesen statischen **SwingUtilities**-Methoden kann die **run()**-Methode eines per Parameter übergebenen **Runnable**-Objekts asynchron im Ereignisverteilungs-Thread ausgeführt werden. Die Methode kommt zum Zug, wenn alle aktuell anstehenden Ereignisse abgearbeitet sind. In Abschnitt 16.3.2 war schon die Thread-sichere Swing-Initialisierung über die Methode **invokeLater()** zu sehen.
- **Ereignisempfängerlisten ändern**

Im folgenden Beispiel implementiert eine von **JApplet** abstammende Klasse das Interface **Runnable**:

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;

public class Laufschrift extends JApplet implements Runnable{
 private final String TXT = "Wo laufen sie denn?  Wo laufen sie denn hin?";
 private final int pause  = 20;
 private final int sprung = 1;
 private GraphicsPanel gp;
 private int x, tb;
 private final String LABELPREFIX = "  Anzahl der Klicks: ";
 private JLabel lab;
 private int numClicks = 0;

 public void init() {
  lab = new JLabel(LABELPREFIX + "0    ");
  JButton butt = new JButton("Klicker");
  JPanel pan = new JPanel();
  pan.add(butt); pan.add(lab);
  add(pan, BorderLayout.CENTER);
  butt.addActionListener(new ActionListener() {
   public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    numClicks++;
    lab.setText(LABELPREFIX + numClicks);
   }
  });
```

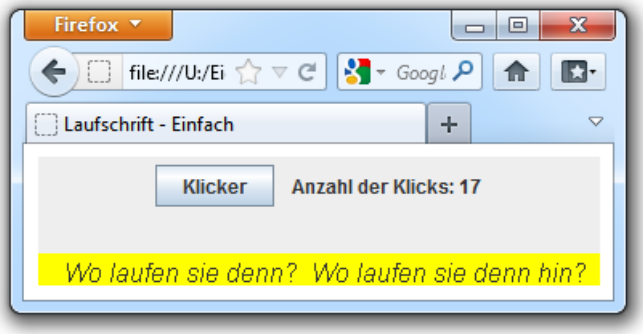
```
    gp = new GraphicsPanel();
    gp.setBackground(Color.YELLOW);
    gp.setFont(new Font("SansSerif", Font.ITALIC, 16));
    tb = getFontMetrics(gp.getFont()).stringWidth(TXT);
    gp.setPreferredSize(new Dimension(0, 20));
    add(gp, BorderLayout.SOUTH);

    (new Thread(this)).start();
  }

  public void run() {
    while (true) {
      try {
        Thread.sleep(pause);
      } catch(InterruptedException ie) {}
      if (x-sprung + tb < 0)
        x = getSize().width;
      else
        x -= sprung;
      gp.repaint();
    }
  }

  private class GraphicsPanel extends JPanel {
    public void paintComponent(Graphics g){
      super.paintComponent(g);
      g.drawString(TXT, x, 18);
    }
  }
}
```

Während ein Hintergrund-Thread damit beschäftigt ist, einen Text kontinuierlich über die Applet-Fläche laufen zu lassen, interagiert der Ereignisverteilungs-Thread mit dem Benutzer, der z.B. vorbeifahrende Autos per Mausklick zählen kann:



Bei der Kommunikation zwischen den Threads kommt die **repaint()**-Methode zum Einsatz:

- Der Hintergrund-Thread erzeugt bzw. überarbeitet relevante Daten für das GUI (er erneuert das Modell). Im Beispiel wird die x-Koordinate der Schrift-Ausgabeposition neu berechnet.
- Dann wird die betroffene GUI-Komponente (als Ansicht bzw. View) durch einen Aufruf ihrer **repaint()**-Methode gebeten, die Oberfläche zu erneuern, was sie unter Berücksichtigung des aktuellen Modells tut.

Ein Swing-Initialisierungsproblem im Sinn von Abschnitt 16.3.1 ist nach Muller & Walrath (2000) bei Applets *nicht* zu befürchten, wenn

- die GUI-Gestaltung in der **init()**-Methode stattfindet,
- beim Applet auf die (hier überflüssigen) Methoden **show()** und **setVisible()** verzichtet wird.

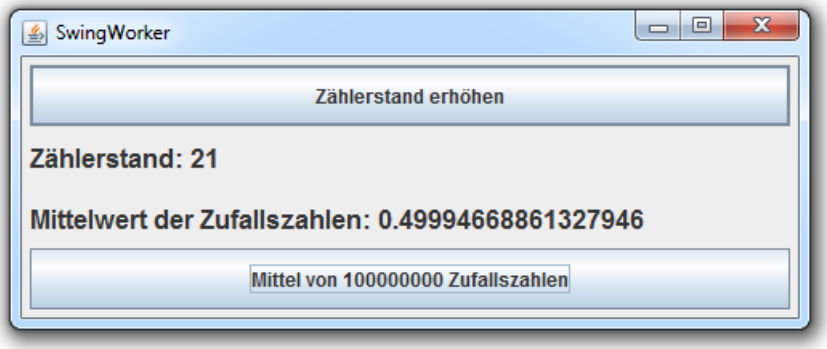
16.3.4 Die Klasse SwingWorker<T, V>

Seit Java 6 vereinfacht es die generische Klasse **SwingWorker<T,V>** (im Paket **javax.swing**), …

- aufwändige Arbeiten in Hintergrund-Threads zu verlagern
- und deren Ergebnisse im Swing-GUI zu präsentieren.

Als Beispiel erstellen wir ein Zählprogramm, das auch bei intensiver Rechentätigkeit eines Hintergrund-Threads perfekt bedienbar bleibt:

Nachdem der Hintergrund-Thread den Mittelwert aus 100 Millionen pseudozufälligen **double**-Zahlen (im Intervall von 0,0 bis 1,0) berechnet hat, lässt er den EDT (Event Dispatch Thread) die Beschriftung einer **JLabel**-Komponente entsprechend ändern:



Für das Beispielprogramm wird die folgende innere Klasse `RandomNumberCruncher` definiert:

```
private class RandomNumberCruncher extends SwingWorker<Double, Void> {
 private double d;

 public Double doInBackground() {
  for (int i = 0; i < anz; i++)
   d += Math.random();
  return new Double(d/anz);
 }

 public void done() {
  try {
   lblRandom.setText("Mittelwert der Zufallszahlen: "+get());
  } catch (Exception e) {
   JOptionPane.showMessageDialog(null, "Berechnung gescheitert");
  }
 }
}
```

Die im Hintergrund-Thread auszuführende Methode **doInBackground()** berechnet die monströse Zahl und liefert sie als Rückgabewert an das Framework ab. Nach Rückkehr der Methode **doInBackground()** wird vom Framework die `RandomNumberCruncher`-Methode **done()** im EDT

ausgeführt. Hier können also gefahrlos Swing-Komponenten modifiziert werden, wobei per **get()** der **doInBackground()**-Rückgabewert verfügbar ist.

In der **ActionEvent**-Behandlungsmethode zum unteren Schalter des Beispielprogramms wird ein Objekt der Klasse `RandomNumberCruncher` erzeugt und per **execute()**-Aufruf dazu gebracht, die Rechenarbeit in einem Hintergrund-Thread zu erledigen:

```
cbWorker = new JButton("Mittel von "+ANZ+" Zufallszahlen");
cbWorker.addActionListener(new ActionListener() {
 public void actionPerformed(ActionEvent e) {
  lblRandom.setText("Berechnung läuft ...");
  RandomNumberCruncher worker = new RandomNumberCruncher();
  worker.execute();
 }
});
```

Über die in **doInBackground()** aufzurufende **SwingWorker**-Methode **publish()** und die im EDT aufzurufende **SwingWorker**-Methode **process()** können auch Zwischenergebnisse vom Hintergrund-Thread in den EDT übernommen werden.

Den vollständigen Quellcode des Beispielprogramms finden Sie im Ordner

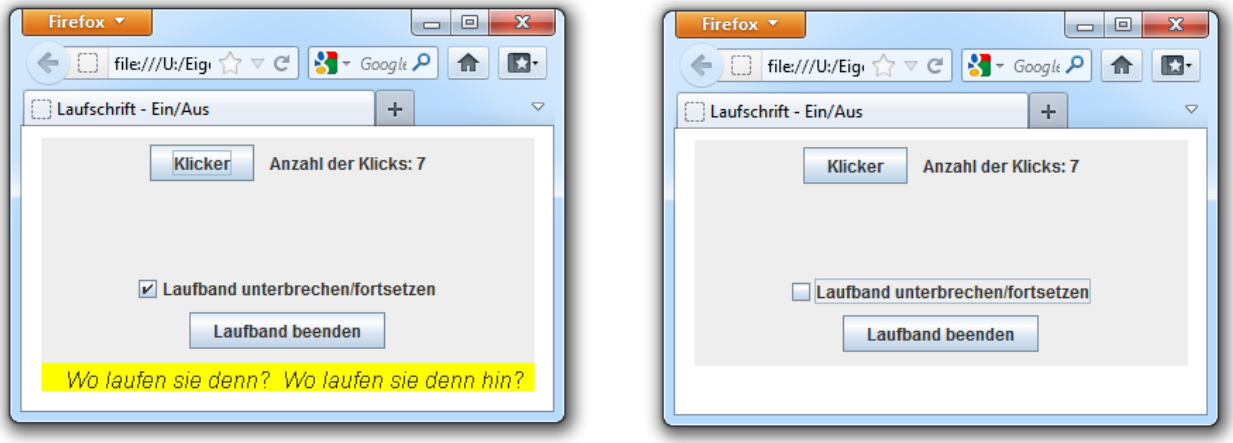
...\BspUeb\Multithreading\Swing\SwingWorker

16.4 Andere Threads unterbrechen, fortsetzen oder beenden

16.4.1 Unterbrechen und Reaktivieren

Zum Unterbrechen und Reaktivieren eines anderen Threads sollten die früher vorgesehenen **Thread**-Methoden **suspend()** und **resume()** *nicht* mehr verwendet werden. Ein **suspend()**-Aufruf kann leicht zu einem Deadlock (deutsch: zu einer *Systemverklemmung*) führen, weil ein suspendierter Thread die in seinem Besitz befindlichen Monitore behält. Statt dessen wird eine Inter-Thread - Kommunikation über die **Object**-Methoden **wait()** und **notify()** empfohlen, die wir schon in Abschnitt 16.2.2 kennen gelernt haben. Dabei wird dem Ziel-Thread ggf. über eine von ihm regelmäßig zu beobachtende Variable signalisiert, dass er sich durch einen **wait()**-Aufruf in den Zustand **waiting for monitor** begeben sollte. In seinem Besitz befindliche Monitore werden dabei automatisch zurück gegeben, so dass kein Deadlock droht.

In der folgenden Variante des Swing-Applets aus Abschnitt 16.3.3 wird ein Kontrollkästchen angeboten, um aus dem Ereignisverteilungs-Thread der Bedienoberfläche (siehe Abschnitt 16.3) den Laufschrift-Thread zu unterbrechen bzw. fortzusetzen:



In der booleschen Instanzvariablen `lbAnAus` des Applets wird der aktuelle Schaltzustand des Kontrollkästchens gespeichert. Wird in der **run()**-Methode des Laufschrift-Threads der `lbAnAus`-Wert **false** angetroffen, dann begibt sich der Thread per **wait()**-Aufruf freiwillig in den Wartezustand.

Wie Sie aus Abschnitt 16.2.2 bereits wissen, darf die Methode **wait()** nur in einem synchronisierten Bereich aufgerufen werden. Die **run()**-Methode eines Threads als **synchronized** zu deklarieren, kann nicht sinnvoll sein. Weil diese Methode bis zum **Thread**-Ende aktiv bleibt, wäre der synchronisierte Block in dieser Zeit besetzt. Als Alternative zum **synchronized**-Modifikator für Methoden steht in Java der **synchronized**-Block zur Verfügung, wobei statt einer kompletten Methode nur eine einzelne Blockanweisung in den synchronisierten Bereich aufgenommen wird, z.B.:

```
public void run() {
 while (true) {
  if (Thread.currentThread().isInterrupted()) {
   lbAnAus = false;
   gp.repaint();
   return;
  }
  try {
   Thread.sleep(pause);
   if (!lbAnAus)
    synchronized(this) {wait();}
  } catch(InterruptedException ie) {Thread.currentThread().interrupt();}
  if (x-sprung + tb < 0)
   x = getSize().width;
  else
   x -= sprung;
  gp.repaint();
 }
}
```

Nach dem Schlüsselwort **synchronized** wird in runden Klammern ein geeignetes Objekt als Monitor (Lock-Objekt) für die Synchronisation angegeben. Im Beispiel übernimmt das **JApplet**-Objekt diese Rolle selbst.

Um den wartenden Laufschrift-Thread aus dem Ereignisverteilungs-Thread zu reaktivieren, wird in der Ereignisbehandlungsmethode **itemStateChanged()** zum Kontrollkästchen die **notify()**-Anweisung ausgeführt. Diese Anweisung muss zum selben synchronisierten Bereich gehören wie **wait()**-Anweisung, so dass wiederum das **JApplet**-Objekt zur Synchronisation zu verwenden ist. Dabei sollte ein möglichst kleiner **synchronized**-Block gebildet werden, um andere Monitor-Anwärter nicht unnötig zu behindern, z.B.:

```
public synchronized void itemStateChanged(ItemEvent e) {
 lban = !lban;
 if (lban)
  synchronized(this) {notify();}
 else
  repaint();
}
```

16.4.2 Beenden

Zum **Stoppen** eines anderen Threads sollte man die unerwünschte (herabgestufte) **Thread**-Methode **stop()** *nicht* mehr verwenden, weil sie aufgrund einer konzeptionellen Schwäche zu Stabilitätsproblemen führen kann: Ein gestoppter Thread verliert seine Monitor-Besitzrechte, so dass unter seinem Schutz befindliche Objekte beschädigt werden können. Statt der rabiaten **stop()**-Methode sollte ein auf freundliche Kooperation angelegtes Verfahren benutzt werden:

- Mit der Methode **interrupt()** wird einem Thread signalisiert, dass er seine Tätigkeit einstellen soll. Der betroffene Thread wird nicht abgebrochen, sondern sein Interrupt-Signal wird auf den Wert **true** gesetzt, falls der Java-Security-Manger keine Einwände hat.
- Ein gut erzogener Thread, der mit einem Interrupt-Signal rechnen muss, prüft in seiner **run()**-Methode regelmäßig durch Aufruf der **Thread**-Methode **isInterrupted()**, ob er sein Wirken einstellen soll. Falls ja, verlässt er die **run()**-Methode und erreicht damit den Zustand **terminated**.
- Bei einem schlafenden oder wartenden Thread führt der **interrupt()**-Aufruf zu einer **InterruptedException**, und der Thread entscheidet im Exception Handler über das weitere Vorgehen (siehe unten).

Zur Demonstration des Verfahrens erhält das Applet mit Laufband (siehe Abschnitt 16.3.3) einen Schalter zum (irreversiblen) Beenden des Laufband-Threads:

Bei einem Klick auf den Schalter wird aus dem Ereignisverteilungs-Thread der Bedienoberfläche (siehe Abschnitt 16.3) für den Laufschrift-Thread das Interrupt-Signal gesetzt:

```
cbLbBeenden.addActionListener(new ActionListener() {
 public void actionPerformed(ActionEvent e) {
  chkLaufband.setEnabled(false);
  cbLbBeenden.setEnabled(false);
  threadLb.interrupt();
 }
});
```

In der **while**-Schleife seiner **run()**-Methode prüft der Laufband-Thread, ob sein Interrupt-Signal gesetzt ist, und beendet ggf. seine Tätigkeit per **return**:

```
public void run() {
 while (true) {
  if (Thread.currentThread().isInterrupted()) {
   lbAnAus = false;
   gp.repaint();
   return;
  }
     . . .
 }
}
```

Angewandt auf einen per **sleep()**, **wait()** oder **join()** in den Wartezustand versetzten Thread hat **interrupt()** folgende Effekte:

- Der Thread wird sofort in den Zustand **ready** versetzt.

- Es wird eine **InterruptedException** geworfen, und das Interrupt-Signal wird *aufgehoben* (auf **false** gesetzt). Es kann daher sinnvoll sein, **interrupt()** in der **catch**-Klausel der **InterruptedException**-Behandlung erneut aufzurufen, um das Interrupt-Signal wieder auf **true** zu setzen, damit die **run()**-Methode bei nächster Gelegenheit passend reagiert.

Falls beim angesprochenen Thread kein Wartezustand aus den eben genannten Gründen vorliegt, wird das Interrupt-Signal gesetzt. Das kann also auch einem Thread passieren, der gerade auf einen Monitor wartet.

16.5 Thread-Lebensläufe

In diesem Abschnitt wird zunächst die Vergabe von Arbeitsberechtigungen für konkurrierende Threads behandelt. Dann fassen wir unsere Kenntnisse über die verschiedenen Zustände eines Threads und über Anlässe für Zustandswechsel zusammen.

16.5.1 Scheduling und Prioritäten

Den Bestandteil der virtuellen Maschine, der die verfügbare Rechenzeit auf die arbeitswilligen und -fähigen Threads verteilt, bezeichnet man als **Scheduler**.

Er orientiert sich u.a. an den **Prioritäten** der Threads, die in Java Werte von 1 bis 10 annehmen können:

int-Konstante in der Klasse **Thread**	Wert
Thread.MAX_PRIORITY	10
Thread.NORM_PRIORITY	5
Thread.MIN_PRIORITY	1

Es hängt allerdings zum Teil von der Plattform ab, wie viele Prioritätsstufen wirklich unterschieden werden. Der in einer Java-Anwendung automatisch gestartete Thread **main** hat z.B. die Priorität 5, was man unter Windows in einer Java-Konsolenanwendung über die Tastenkombination **Strg+Pause** in Erfahrung bringen kann, z.B.:

```
"main" prio=5 tid=0x00035b28 nid=0xd48 runnable [0x0007f000..0x0007fc3c]
```

Ein Thread (z.B. **main**) überträgt seine aktuelle Priorität auf die bei seiner Ausführung gestarteten Threads, z.B.:

```
"Konsument" prio=5 tid=0x00ab5a40 nid=0xa74 waiting on condition [0x0ad0f000..0x0ad0fd68]
   .   .   .
"Produzent" prio=5 tid=0x00ab58c0 nid=0xfb0 waiting on condition [0x0accf000..0x0accf9e8]
```

Mit den **Thread**-Methoden **getPriority()** bzw. **setPriority()** lässt sich die Priorität eines Threads feststellen bzw. ändern.

In der Spezifikation für die virtuelle Java-Maschine wird das Verhalten des Schedulers bei der Rechenzeitvergabe an die Threads nicht sehr präzise beschrieben. Er muss lediglich sicherstellen, dass die einem Thread zugeteilte Rechenzeit mit der Priorität ansteigt.

In der Regel kommt von den arbeitswilligen Threads derjenige mit der höchsten Priorität zum Zug, jedoch kann der Scheduler Ausnahmen von dieser Regel machen, z.B. um das *Verhungern* (engl. *starvation*) eines anderen Threads zu verhindern, der permanent auf Konkurrenten mit höherer Priorität trifft. Daher darf keinesfalls der korrekte Ablauf eines Pogramm davon abhängig sein, dass sich die Rechenzeitvergabe an Threads in einem strengen Sinn an den Prioritäten orientiert.

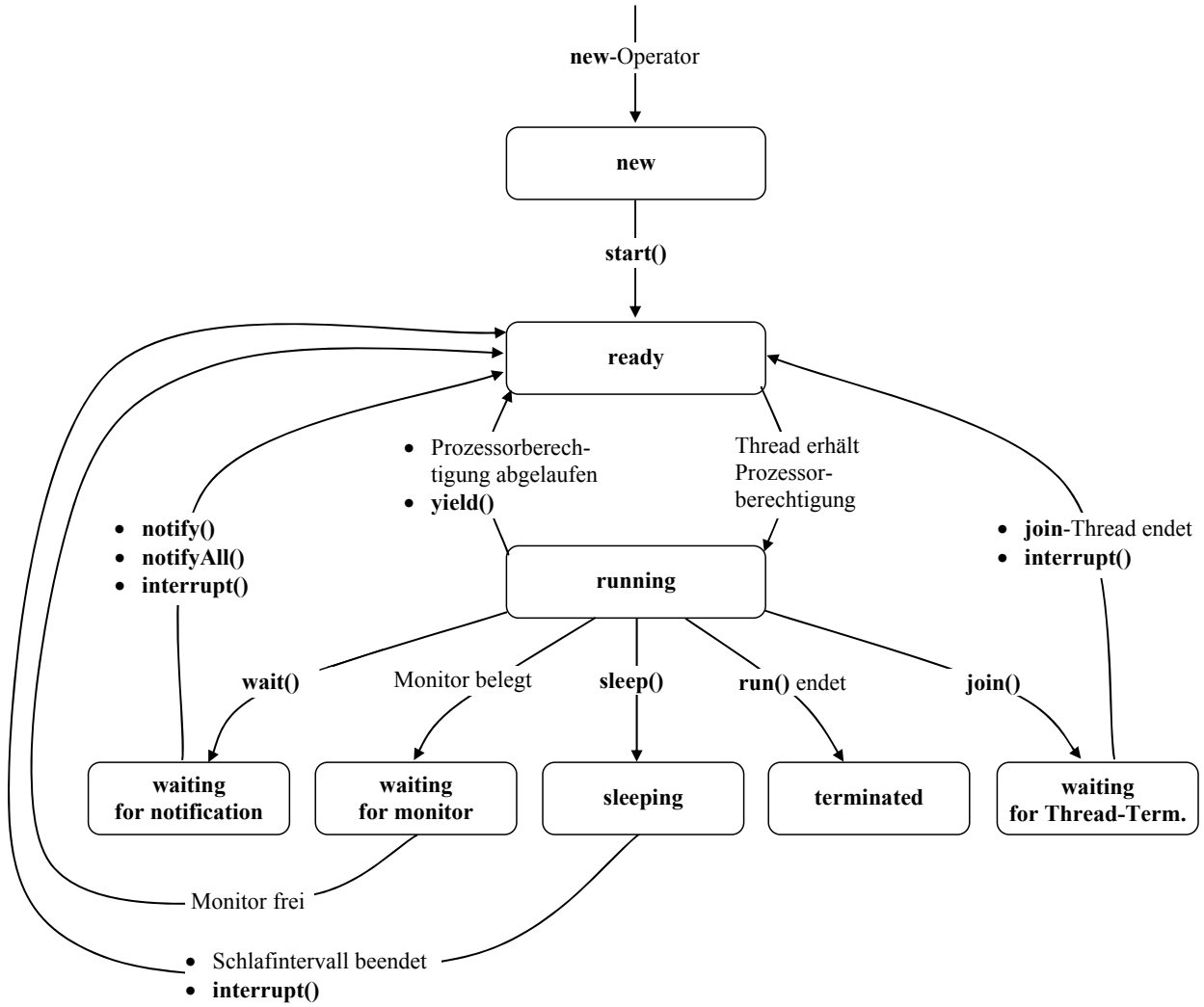
Weil der JVM-Scheduler eng mit dem Wirtsbetriebssystem zusammenarbeiten muss, besteht bei der Verteilung von Rechenzeit auf mehrere Threads mit *gleicher* Priorität *keine vollständige* Plattformunabhängigkeit. Auf einigen Plattformen (z.B. Windows) kommt das **preemtive Zeitscheibenverfahren** zum Einsatz:

- Threads gleicher Priorität werden reihum (*Round-Robin*) jeweils für eine festgelegte Zeitspanne ausgeführt.
- Ist die Zeitscheibe eines Threads verbraucht, wird er vom Scheduler in den Zustand **ready** versetzt, und der Nachfolger erhält Zugang zu einem Prozessor.

Über die Methode **yield()** kann ein **Thread** seine Zeitscheibe freiwillig abgeben und sich wieder in die Warteschlage der rechenwilligen Threads einreihen.

16.5.2 Zustände von Threads

In der folgenden Abbildung nach Deitel & Deitel (1999, S. 738) werden wichtige Thread-Zustände und Anlässe für Zustandsübergänge dargestellt:



16.6 Threadpools

Um zahlreiche Einzelaufgaben im Parallelbetrieb zu erledigen, muss ein Programm nicht für jeden Auftrag einen neuen Thread erzeugen und nach Erledigung wieder abschreiben. Stattdessen kann ein Threadpool beauftragt werden. Neue Aufträge werden auf die verfügbaren Pool-Threads verteilt. Nach Erledigung eines Auftrags wird ein Thread nicht beendet, sondern er steht für weitere Aufgaben bereit.

Die im aktuellen Abschnitt vorgestellten Klassen und Schnittstellen sollten keinesfalls (etwa aufgrund der Präsentation am Ende des Kapitels) als Lösungen für besonders komplexe Anwendungs-

fälle verstanden werden. Sie gehören (neben den in Abschnitt 16.2.3 vorgestellten expliziten Lock-Objekten) zu den mit Java 5 (alias 1.5) eingeführten Concurrency - APIs und eignen sich für die bequeme und leistungsfähige Multithreading-Routine.

16.6.1 Eine einfache und effektive Standardlösung

Ein bequemer und empfohlener Weg zum Threadpool führt über die statische Methode **newCachedThreadPool**() der Klasse **Executors**, z.B.:

```
ExecutorService es = Executors.newCachedThreadPool();
```

Man erhält ein Objekt aus einer Klasse, die das Interface **ExecutorService** implementiert und folglich u.a. die Methode **execute()** beherrscht:

public void execute(Runnable *runnable***)**

Die zum Parameterobjekt gehörige **run()**-Methode wird in einem eigenen Thread ausgeführt, nach Möglichkeit durch Wiederverwendung eines vorhandenen Pool-Threads, z.B.:

```
es.execute(new KonThread(lagerist, i));
```

Findet sich für einen ruhenden Thread binnen 60 Sekunden keine neue Verwendung, wird er terminiert und aus dem Pool entfernt, so dass sich der Ressourcenverbrauch stets am Bedarf orientiert.

Wer mehr Kontrolle über die Eigenschaften eines Threadpools benötigt (z.B. maximale Idle-Zeit eines ruhenden Threads, maximale Anzahl der Pool-Threads), kann ein Objekt der Klasse **ThreadPoolExecutor** verwenden.

In einer Variante unseres Produzenten-Konsumenten - Beispiels wird ein Threadpool verwendet, um eine größere Anzahl von Konsumenten zu bedienen:

```
import java.util.concurrent.*;

class ProKonDemo {
 public static void main(String[] args) {
  Lager lagerist = new Lager(1000);
  ProThread pt = new ProThread(lagerist);
  pt.start();

  ExecutorService es = Executors.newCachedThreadPool();
  for (int i = 1; i <= 5; i++) {
   es.execute(new KonThread(lagerist, i));
   try {Thread.sleep(3000);
   } catch (Exception ignored) {}
  }
 }
}
```

Ein Objekt der leicht modifizierten Konsumentenklasse beendet seine Einkaufstour nach drei Zugriffen:

```
class KonThread extends Thread {
   private Lager pl;
   private int custID;
   final private int manz = 2;
   private int nr;

   KonThread(Lager pl, int custID) {
      super ("Kunde Nr "+custID);
      this.custID = custID;
      this.pl = pl;
   }
```

```
    public void run() {
       while (nr++ < manz) {
          pl.liefere((int) (5 + Math.random()*100), custID);
          try {
             sleep((int) (1000 + Math.random()*3000));
          } catch(InterruptedException ie){
             System.err.println(ie);
          }
       }
       System.out.println("\nDer Kunde "+custID+" hat keine Wuensche mehr.\n");
    }
}
```

Wie das folgende Ablaufprotokoll zeigt, versorgt z.B. der Thread **pool-1-thread-1** nacheinander die Kunden 1, 3 und 5:

```
Der Laden ist offen (Bestand = 1000)

Nr. 1:   Produzent ergaenzt                          593   um 17:03:11 Uhr. Stand: 1593
Nr. 2:   pool-1-thread-1 (Kunde 1) entnimmt          14    um 17:03:11 Uhr. Stand: 1579
Nr. 3:   pool-1-thread-1 (Kunde 1) entnimmt          86    um 17:03:13 Uhr. Stand: 1493
Nr. 4:   Produzent ergaenzt                          526   um 17:03:13 Uhr. Stand: 2019
Nr. 5:   pool-1-thread-2 (Kunde 2) entnimmt          49    um 17:03:14 Uhr. Stand: 1970
Nr. 6:   Produzent ergaenzt                          590   um 17:03:15 Uhr. Stand: 2560

Der Kunde 1 hat keine Wuensche mehr.

Nr. 7:   pool-1-thread-2 (Kunde 2) entnimmt          79    um 17:03:17 Uhr. Stand: 2481
Nr. 8:   pool-1-thread-1 (Kunde 3) entnimmt          32    um 17:03:17 Uhr. Stand: 2449

Der Kunde 2 hat keine Wuensche mehr.

Nr. 9:   Produzent ergaenzt                          528   um 17:03:18 Uhr. Stand: 2977
Nr. 10:  pool-1-thread-1 (Kunde 3) entnimmt          30    um 17:03:19 Uhr. Stand: 2947
Nr. 11:  pool-1-thread-2 (Kunde 4) entnimmt          57    um 17:03:20 Uhr. Stand: 2890
Nr. 12:  Produzent ergaenzt                          593   um 17:03:20 Uhr. Stand: 3483

Der Kunde 3 hat keine Wuensche mehr.

Nr. 13:  Produzent ergaenzt                          562   um 17:03:23 Uhr. Stand: 4045
Nr. 14:  pool-1-thread-1 (Kunde 5) entnimmt          33    um 17:03:23 Uhr. Stand: 4012
Nr. 15:  pool-1-thread-2 (Kunde 4) entnimmt          55    um 17:03:24 Uhr. Stand: 3957
Nr. 16:  pool-1-thread-1 (Kunde 5) entnimmt          27    um 17:03:25 Uhr. Stand: 3930
Nr. 17:  Produzent ergaenzt                          555   um 17:03:26 Uhr. Stand: 4485

Der Kunde 4 hat keine Wuensche mehr.

Der Kunde 5 hat keine Wuensche mehr.

Nr. 18:  Produzent ergaenzt                          515   um 17:03:30 Uhr. Stand: 5000
Nr. 19:  Produzent ergaenzt                          597   um 17:03:32 Uhr. Stand: 5597
Nr. 20:  Produzent ergaenzt                          585   um 17:03:36 Uhr. Stand: 6182

Der Produzent macht Feierabend.
```

Den vollständigen Quellcode finden Sie im Ordner

...\BspUeb\Multithreading\ProKon\Threadpool

16.6.2 Verbesserte Inter-Thread - Kommunikation über das Interface Callable<V>

Um die Kommunikation zwischen Threads zu verbessern wurde in Java 1.5 (bzw. 5.0) das generische Interface **Callable<V>** eingeführt, das ausschließlich die Methode **call()** vorschreibt:

```
public interface Callable<V> {
  V call() throws Exception;
}
```

Implementiert eine Klasse dieses Interface, kann die **call()**-Methode eines Objekts in einem eigenen Thread ausgeführt werden, wobei im Vergleich zum Interface **Runnable** (vgl. Abschnitt 16.1.2) einige Unterschiede bestehen.

Im Unterschied zur **Runnable**-Methode **run()**, die ebenfalls in einem eigenen Thread ausgeführt werden kann, liefert die **Callable**-Methode **call()** einen Rückgabewert. Eine analoge Option ist uns übrigens schon bei der Klasse **SwingWorker** begegnet (vgl. Abschnitt 16.3.4). Natürlich lässt sich eine Ergebnisübergabe auch per **Runnable**-Klasse realisieren, wobei aber ein höherer Aufwand erforderlich ist, z.B.:

- Ergebnis in einer Instanzvariablen speichern
- Abfragemethode anbieten

Außerdem darf **call()** eine vorbereitungspflichtige Ausnahme (vgl. Abschnitt 11.5) werfen, was der Methode **run()** aufgrund der **Runnable**-Definition verboten ist.

Es ist nicht möglich, ein **Callable**-Objekt als Argument an einen **Thread**-Konstruktor zu übergeben. Zur Ausführung in einem eigenen Thread wird stattdessen ein Objekt aus einer Klasse benötigt, die das Interface **ExecutorService** implementiert:

```
public interface ExecutorService extends Executor {
  <T> Future<T> submit(Callable<T> task);
    .  .  .
}
```

Ein solches Objekt verschafft man sich in der Regel mit einer statischen Methode der Klasse **Executors** , die wir schon im Abschnitt 16.6.1 kennen gelernt haben, z.B.:

```
ExecutorService es = Executors.newSingleThreadExecutor();
```

Hier entsteht ein Exekutor, der einen einzelnen Thread für verschiedene Aufgaben verwenden kann.

Nun wird es Zeit, eine das Interface **Callable** implementierende Beispielklasse vorzustellen:

```
class RandomNumberCruncher implements Callable<Double> {
  public Double call() throws TimeoutException {
    final int anz = 20000000;
    double d = 0.0;
    long start = System.currentTimeMillis();
    for (int i = 0; i < anz; i++) {
      d += Math.random();
      if (System.currentTimeMillis() - start > 5000)
      throw new TimeoutException();
    }
    return new Double(d/anz);
  }
}
```

Objekte dieser Klasse berechnen in ihrer **call()**-Methode das Mittel von reichlich vielen **double**-Werten aus dem Intervall [0, 1), realisieren also eine Zufallsgröße mit dem Erwartungswert 0,5. Um eine Berechnung zu starten und an das Ergebnis heran zu kommen, wird die **ExecutorService**-Methode **submit()** mit einem `RandomNumberCruncher`-Objekt als Aktualparameter aufgerufen:

```
public static void main(String[] args) {
  DateFormat df = DateFormat.getDateTimeInstance();
  ExecutorService es = Executors.newSingleThreadExecutor();
  Future<Double> fd = es.submit(new RandomNumberCruncher());
  while (!fd.isDone()) {
    System.out.println("Warten auf call()-Ende ("+df.format(new Date())+")");
```

```
        try {
           Thread.sleep(1000);
        } catch (Exception e) {}
     }
     try {
        System.out.println("\nMittelwert der Zufallszahlen: "+fd.get());
     } catch (Exception e) {
        System.out.println("\nException beim get()-Aufruf:\n  "+e);
     }
     es.shutdown();
  }
```

Der **submit()**-Aufruf endet sofort und liefert im Beispiel als Rückgabe ein Objekt aus einer das Interface **Future<Double>** implementierenden Klasse. Über die Methode **isDone()** kann man sich bei diesem Objekt über die Fertigstellung des Auftrags informieren.

Seine Methode **get()** liefert schließlich die **call()**-Rückgabe oder leitet ein von **call()** geworfenes Ausnahmeobjekt weiter. Bei einem gelungenen Aufruf (ohne **TimeoutException**) liefert das Beispielprogramm die Ausgabe:

```
Warten auf call()-Ende (07.04.2012 17:30:15)
Warten auf call()-Ende (07.04.2012 17:30:16)
Warten auf call()-Ende (07.04.2012 17:30:17)
Warten auf call()-Ende (07.04.2012 17:30:18)

Mittelwert der Zufallszahlen: 0.5000502329857485
```

Der vom Exekutor verwaltete Thread (mit dem Namen **pool-1-thread-1**) verbleibt nach Abschluss des **call()**-Aufrufs in Lauerstellung und verhindert das Programmende:

```
"pool-1-thread-1" prio=6 tid=0x02b2a400 nid=0x91c waiting on condition [0x02e0f000]
   java.lang.Thread.State: WAITING (parking)
```

Im Beispiel wird der überflüssig gewordene Exekutor über seine **shutdown()**-Methode gestoppt:

```
es.shutdown();
```

Den vollständigen Quellcode des Beispielprogramms finden Sie im Ordner

...\BspUeb\Multithreading\Callable

16.6.3 Threadpools mit Timer-Funktionalität

Mit der im Manuskript nicht behandelten Klasse **Timer** (im Paket **java.util**) ist es möglich, Aufgaben einmalig oder regelmäßig zu einer vorbestimmten Zeit in einem Hintergrund-Thread ausführen zu lassen. Bei einer periodisch auszuführenden Aufgabe werden zeitliche Überschneidungen von aufeinanderfolgenden Episoden verhindert. Bevor die nächste Wiederholung gestartet wird, muss also die vorherige beendet sein. Für eine einzelne periodisch auszuführende Aufgabe genügt also die Klasse **Timer**, die nur einen Thread verwendet.

Sobald jedoch mehrere wiederholt und mit individuellem Zeitplan auszuführende Aufgaben vorliegen, bietet sich die Klasse **ScheduledThreadPoolExecutor** im Paket **java.util.concurrent** an, die einen Threadpool mit festem Umfang verwendet. Die Pool-Threads können flexibel für unterschiedliche Aufgabenflexibel eingesetzt und damit effizient genutzt werden.

Im folgenden Beispiel wird ein **ScheduledThreadPoolExecutor**-Objekt über die statische **Executors**-Methode **newScheduledThreadPool()** erzeugt:

```
import java.util.concurrent.*;

class ScheduledThreadPoolExecutorDemo {
 public static void main(String[] args) {
  ScheduledThreadPoolExecutor es =
   (ScheduledThreadPoolExecutor) Executors.newScheduledThreadPool(2);
  es.scheduleAtFixedRate(new ScheduledRunner(1,es),
                         0,1000,TimeUnit.MILLISECONDS);
  es.scheduleAtFixedRate(new ScheduledRunner(2,es),
                         2000,2000,TimeUnit.MILLISECONDS);
  es.scheduleAtFixedRate(new ScheduledRunner(3,es),
                         3000,3000,TimeUnit.MILLISECONDS);
  try {Thread.sleep(5000);
  } catch (Exception ignored) {}
  es.shutdown();
 }
}
```

Ihm werden über seine Methode **scheduleAtFixedRate()** drei Aufträge erteilt, wobei jeweils mit individuellem Zeitplan (Initialverzögerung und Startabstand) die **run()**-Methode eines Objekts der folgenden Klasse auszuführen ist:

```
class ScheduledRunner implements Runnable {
 private int nr;
 private ScheduledThreadPoolExecutor es;

 public ScheduledRunner(int nr, ScheduledThreadPoolExecutor es) {
  this.nr = nr;
  this.es = es;
 }

 private String formZeit() {
  return java.text.DateFormat.getTimeInstance().format(
                                                 new java.util.Date());
 }

 public void run() {
  System.out.println("ScheduledRunner "+nr+", Zeit: "+formZeit()+
     ", Aktive Pool-Threads: "+es.getActiveCount());
  try {Thread.sleep(500*nr);
  } catch (Exception ignored) {}
 }
}
```

Wie das folgende Ablaufprotokoll zeigt, variiert die Anzahl der aktiven Threads, wobei das Maximum 2 nicht überschritten wird:

```
ScheduledRunner 1, Zeit: 18:49:24, Aktive Pool-Threads: 1
ScheduledRunner 1, Zeit: 18:49:25, Aktive Pool-Threads: 1
ScheduledRunner 2, Zeit: 18:49:26, Aktive Pool-Threads: 2
ScheduledRunner 1, Zeit: 18:49:26, Aktive Pool-Threads: 2
ScheduledRunner 1, Zeit: 18:49:27, Aktive Pool-Threads: 2
ScheduledRunner 3, Zeit: 18:49:27, Aktive Pool-Threads: 2
ScheduledRunner 1, Zeit: 18:49:28, Aktive Pool-Threads: 2
ScheduledRunner 2, Zeit: 18:49:28, Aktive Pool-Threads: 1
ScheduledRunner 1, Zeit: 18:49:29, Aktive Pool-Threads: 2
```

Die Methode **main()** fordert den Exekutor nach fünf Sekunden Fleißarbeit per **shutdown()**-Methode auf, seine Tätigkeit einzustellen. Daraufhin werden keine neuen Ausführungen mehr begonnen, so dass die Pool-Threads nach einiger Zeit enden.

Die im Paket **javax.swing** enthaltenen Klasse **Timer** unterscheidet sich von den oben vorgestellten Lösungen in folgenden Punkten:

- Einfache Integration in Swing-Anwendungen
- Ereignisgesteuerte Ausführung
  Weil die einmalig oder regelmäßig zu einer vorbestimmten Zeit auszuführenden Aufgaben von Ereignisbehandlungsmethoden, also im Event Dispatch Thread (EDT), ausgeführt werden, sind zugunsten einer flüssig regierenden Bedienoberfläche nur Aufgaben mit sehr geringem Zeitaufwand sinnvoll (z.B. Aktualisieren einer Zeitanzeige).

16.6.4 Fork-Join - Framework

Das mit Java 7 eingeführte Fork-Join - Framework unterstützt die Aufteilung einer Aufgabe zur gemeinsamen Bearbeitung durch mehrere CPU-Kerne. Durch Verzweigung (*forking*) entstehen separate „Produktionsstraßen“, die später wieder zusammengeführt werden (*joining*). Voraussetzung ist eine Gesamtausgabe, die sich in unabhängig ausführbare Teilaufgaben zerlegen lässt, so dass mehrere Threads ohne nennenswerten Koordinierungsbedarf jeweils eine Teilaufgabe erledigen können. Trotz der recht speziellen Anforderungen finden sich zahlreiche Beispiele für eine potentiell erfolgreiche Anwendung des Fork-Join - Frameworks:

- In der Statistik ist zum Schätzen des Mittelwerts bzw. Varianz für einen Array mit Zahlen die Summe der einfachen bzw. quadrierten Werte zu bestimmen. Man kann segmentweise Zwischensummen berechnen, die später zusammengeführt werden.
- Ein weiteres Beispiel aus dem Bereich der Statistik sind Bootstrap-Schätzmethoden, wobei aus der Primärstichprobe in einem Array zahlreiche (z.B. 1000) Sekundärstichproben gezogen werden, um daraus jeweils denselben Kenwert zu berechnen.
- Beim Filtern einer Bitmap-Grafik lässt sich die Gesamtaufgabe in einzelne Kacheln zerlegen.

Zur Lösung einer Aufgabe verwendet man im Fork-Join - Framework ein rekursives Verfahren, das durch den folgenden Pseudo-Code beschrieben wird:

```
Wenn (Umfang der Aufgabe unterhalb einer Schwelle)
 Erledige die Aufgabe mit einer sequentiellen Technik.
Sonst
 Zerlege die Aufgabe in zwei Teilaufgaben.
 Lasse die Teilaufgaben vom Framework in eigenen Threads erledigen.
 Warte auf die Fertigstellung der Teilaufgaben.
 Führe die Ergebnisse zusammen.
```

Das Verfahren wird vom Fork-Join - Framework so weit als möglich automatisiert, wobei ein Threadpool zum Einsatz kommt. Anwendungsprogrammierer haben Einfluss auf zwei Stellgrößen des Verfahrens:

- Wie viele Threads sollen beteiligt sein? Als in der Regel geeignete Voreinstellung verwendet das Framework die Anzahl der verfügbaren CPU-Kerne.
- Von der Umfangsschwelle hängt die Anzahl der entstehenden Teilaufgaben ab. In der Regel wählt man die Zahl der Teilaufgaben höher als die Zahl der verfügbaren CPU-Kerne, um dem Framework Flexibilität bei der Auftragsplanung zu lassen. Diese kommt z.B. dann zum Tragen, wenn die Teilaufgaben unterschiedlich lange Bearbeitungszeiten haben (Grossmann 2012). In der Praxis zeigt sich, dass die Anzahl der Teilaufgaben abgesehen von extremen Fällen (überhaupt keine Aufteilung, maximale Zersplitterung) wenig Einfluss auf die gesamte Bearbeitungsdauer hat.

Von den Typen des Fork-Join - Frameworks, die im Paket **java.util.concurrent.forkjoin** zu finden sind, werden bei einer einfachen Anwendung folgende Klassen benötigt:

- Zur Modellierung einer (Teil)aufgabe verwendet man eine Ableitung der generischen Klasse **ForkJoinTask<T>** als Basisklasse für eine eigene, aufgabenspezifische Klassendefinition. Müssen Teilaufgaben *kein* Ergebnis melden (z.B. beim Zerlegen einer Bitmap-Filterung auf einzelne Kacheln), verwendet man die Klasse **RecursiveAction** als Basisklasse, anderenfalls kommt die Klasse **RecursiveTask<T>** zum Einsatz. In der eigenen Aufgabenklasse sind folgende Kompetenzen zu implementieren:
  - Direktlösung einer hinreichend kleinen Aufgabe
  - Rekursives Abspalten von „halbierten“ Teilaufgaben
- Für die Verwaltung der Teilaufgaben und der Pool-Threads verwendet man ein Objekt der Klasse **ForkJoinPool**, die das Interface **ExecutorService** implementiert. Jeder Pool-Thread besitzt eine Warteschlange von Teilaufgaben, die er zu erledigen hat. Wenn ein Thread die eigene Aufgabenwarteschlange abgearbeitet hat und auf die Fertigstellung einer Teilaufgabe warten muss, übernimmt er Teilaufgaben aus den Warteschlangen anderer Pool-Threads (*Work-stealing*). Zum Starten der Auftragsabwicklung erteilt man der **ForkJoinPool**-Instanz den Auftrag **invoke()** und übergibt als Parameter ein Objekt der aufgabenspezifischen eigene Klasse, das den kompletten Arbeitsumfang repräsentiert.

Als Beispiel betrachten wir (vielen Vorbildern im Internet folgend) die Aufgabe, in einem (ziemlich großen) **double**-Array den Index zum Element mit dem größten Wert zu ermitteln. In der von **RecursiveTask<Integer>** abstammenden Klasse `MaxTask`

```
private static class MaxTask extends RecursiveTask<Integer> {
 private double[] daten;
 private int schwelle;
 private int start, ende;
 private int maxInd;

 public MaxTask(double[] daten, int start, int ende, int schwelle) {
  this.daten = daten;
  this.start = start;
  this.ende = ende;
  this.schwelle = schwelle;
 }

 public int findeMax(int start, int ende) {
  int maxInd = start;
  double aktMax = daten[start];
  for (int i = start+1; i < ende; i++) {
   double kand = daten[i];
   if (kand > aktMax) {
       aktMax = kand;
    maxInd = i;
   }
    }
  return maxInd;
 }
```

```
    @Override
    protected Integer compute() {
      int umfang = ende - start;
      if (umfang <= schwelle)
        maxInd = findeMax(start, ende);
      else {
        int haelfte = umfang/2;
        MaxTask task1 = new MaxTask(daten, start, start+haelfte, schwelle);
        MaxTask task2 = new MaxTask(daten, start+haelfte, ende, schwelle);
        task2.fork();
        int erg1 = task1.compute();
        int erg2 = task2.join();
        maxInd = daten[erg2] > daten[erg1] ? erg2 : erg1;
      }
      return maxInd;
    }
  }
```

ist eine (Teil)Aufgabe (ein Objekt) definiert durch (siehe Konstruktor):

- die Referenz auf einen **double**-Array
- Star- und Endindex des zu untersuchenden Segments
- Schwellenwert für ein hinreichend kleines, direkt zu bearbeitendes Segment

Die Methode `findeMax()` ist für den simplen Job zuständig, eine hinreichend kleine Aufgabe direkt zu lösen. Weitaus interessanter ist die Methode **compute()**, die sich nach einer Umfangsbeurteilung zwischen der Direktlösung und der Aufgabenzerlegung entscheidet. Durch die freiwillige, durchaus empfehlenswerte, im Manuskript leider nicht regelmäßig angewandte Annotation **@Override** (vgl. Abschnitt 7.4) wird dem Compiler signalisiert, dass wir eine Basisklassenmethode zu Überschreiben beabsichtigen. Bei einer Aufgabenzerlegung ...

- werden zwei neue `MaxTask`-Objekte mit einem ungefähr halbiertem Umfang gebildet. Die neuen Objekte erhalten keinesfalls Kopien mit den zu bearbeitenden Array-Segmenten, sondern lediglich angepasste Indizes.
- Dann wird dem Framework eine Teilaufgabe (`task2`) durch einen Aufruf der Methode **fork()** zur parallelen Bearbeitung übergeben, wobei in der Regel ein anderer Pool-Thread zum Einsatz kommt. Dieser Methodenaufruf kehrt sofort zurück. Die **ForkJoinPool**-Methode **invoke()**, mit der das gesamte Fork-Join - Verfahren gestartet wird (sieh unten), sollte keinesfalls aus der **compute()**-Methode eines **RecursiveTask**- oder **RecursiveAction**-Objekts gestartet werden (Grossmann 2012).
- Anschließend wird das erste Teilaufgabenobjekt (`task1`) durch einen Aufruf seiner Methode **compute()** aufgefordert, im aktiven Thread seine Aufgabe zu erledigen. Der **compute()** - Aufruf kehrt erst dann zurück, wenn die Teilaufgabe erledigt ist.
- Nach Rückkehr des **compute()** - Aufrufs wird das zweite Teilaufgabenobjekt (`task2`) durch die Methode **join()** aufgefordert, sein Ergebnis abzuliefern. Liegt das Ergebnis noch nicht vor, kümmert sich der aktive Thread um andere Teilaufgaben in seiner eigenen Warteschlange. Ist diese leer, übernimmt er Teilaufgaben aus den Warteschlangen anderer Pool-Threads (Goetz 2007). Somit verhält sich die **ForkJoinTask<T>** - Methode **join()** deutlich anders als die gleichnamige Methode der Klasse **Thread** (vgl. Abschnitt 16.2.5).
- Sind beide Teilaufgaben abgeschlossen, werden die Ergebnisse zusammengefasst. Im Beispiel liegen aus den beiden Array-Segmenten die Indizes zu den Elementen mit dem jeweils größten Wert vor, und es muss lediglich der größere Wert bestimmt werden. Im unwahrscheinlichen Fall identischer **double**-Werte gewinnt der kleinere Index.

Um die Suche nach dem Index zum maximalen Wert über eine statische Methode namens `findeMax()` bequem nutzbar zu machen, wird im Beispiel die Klasse `MaxFinder` definiert und die Aufgabenklasse `MaxTask` als statische Mitgliedsklasse implementiert:

```
import java.util.concurrent.*;

public class MaxFinder {
   static private ForkJoinPool pool = new ForkJoinPool();

   private MaxFinder() {}

   static public int findeMax(double[] daten, int schwelle) {
      MaxTask task = new MaxTask(daten, 0, daten.length, schwelle);
      pool.invoke(task);
      return  task.join();
   }

   private static class MaxTask extends RecursiveTask<Integer> {
      .  .  .
   }
}
```

In der Klasse `MaxFinder` ist ein statisches Mitgliedobjekt der Klasse **ForkJoinPool** deklariert, wobei durch die Wahl des parameterfreien Konstruktors die Anzahl der Pool-Threads mit der Anzahl der verfügbaren CPU-Kerne gleich gesetzt wird. Es wird nur *ein* **ForkJoinPool**-Objekt benötigt, das beim Laden der Klasse `MaxFinder` entsteht. In der statischen `MaxFinder`-Methode `findeMax()` wird ...

- ein Objekt der Aufgabenklasse `MaxTask` mit der kompletten Aufgabe erstellt,
- die Bearbeitung durch einen Aufruf der **ForkJoinPool**-Methode **invoke()** gestartet, die als Parameter das `MaxTask`-Objekt erhält,
- durch einen Aufruf der **ForkJoinTask<Integer>** - Methode **join()** das Ergebnis ermittelt und an den Aufrufer gemeldet.

Damit ist die Suche nach dem maximalen Array-Element mit Hilfe der Fork-Join - Technik leicht anzuwenden, z.B.:

```
import java.util.concurrent.ForkJoinPool;

class ForkJoinTest {
 public static void main(String[] args) {
  int anzahl = 50_000_000;
  int schwelle = 50_000;

  double[] daten = new double[anzahl];
  for (int i = 0; i < anzahl; i++) {
   daten[i] = Math.random();
  }

   long start = System.currentTimeMillis();
   int ergebnis = MaxFinder.findeMax(daten, schwelle);
   System.out.println("Laufzeit mit FJF bei Schwelle "+schwelle+
                      ":\t "+(System.currentTimeMillis()-start)+
                      " Millisekunden (Max.: "+ergebnis+")\n");
 }
}
```

Mit einer etwas erweiterten Variante des obigen Testprogramms wurden erwartungsfroh Laufzeitvergleiche zwischen einer Single-Thread - Lösung und der Fork-Join - Lösung vorgenommen, die zu wenig beeindruckenden Ergebnissen führten, z.B. (bei fünf Wiederholungen, gemessen auf einem PC mit der Intel-CPU Core i3 mit 3,2 GHz, 2 Kerne plus Hyperthreading):

```
Kerne: 4
Laufzeit ohne FJF:                          66 Millisekunden (Max.: 3070688)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:        50 Millisekunden (Max.: 3070688)

Laufzeit ohne FJF:                          61 Millisekunden (Max.: 3070688)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:        44 Millisekunden (Max.: 3070688)

Laufzeit ohne FJF:                          59 Millisekunden (Max.: 3070688)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:        43 Millisekunden (Max.: 3070688)

Laufzeit ohne FJF:                          60 Millisekunden (Max.: 3070688)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:        43 Millisekunden (Max.: 3070688)

Laufzeit ohne FJF:                          56 Millisekunden (Max.: 3070688)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:        43 Millisekunden (Max.: 3070688)
```

Ursache für den geringen Vorsprung der Fork-Join - Lösung ist die ebenso beliebte wie ungeeignete Beispielaufgabe (Suche nach dem Index zum größten Array-Element). Weil fast keine Rechenleistung gefordert wird, hängt die Gesamtdauer stark vom Zeitaufwand für die Speicherzugriffe ab (Grossmann 2012). Um das Problem zu beheben, wurde die Aufgabestellung (mehr oder weniger sinnvoll) abgewandelt: Suche in einem **double**-Array mit Werten aus dem Intervall [0, π) den Index zum Element mit dem größten Sinus-Funktionswert. Somit werden Sinus-Berechnungen erforderlich, z.B. in der Methode `findeMax()`:

```
public int findeMax(int start, int ende) {
 int maxInd = start;
 double aktMax = Math.sin(daten[start]);
 for (int i = start+1; i < ende; i++) {
     double kand = Math.sin(daten[i]);
     if (kand > aktMax) {
         aktMax = kand;
      maxInd = i;
     }
 }
 return maxInd;
}
```

Nun zeigen die Messergebnisse ziemlich genau den bei zwei realen CPUs plus Hyperthreading zu erwartenden Vorsprung der Fork-Join - Lösung:

```
Kerne: 4
Laufzeit ohne FJF:                        2193 Millisekunden (Max.: 46585342)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:       810 Millisekunden (Max.: 46585342)

Laufzeit ohne FJF:                        2185 Millisekunden (Max.: 46585342)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:       824 Millisekunden (Max.: 46585342)

Laufzeit ohne FJF:                        2166 Millisekunden (Max.: 46585342)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:       802 Millisekunden (Max.: 46585342)

Laufzeit ohne FJF:                        2176 Millisekunden (Max.: 46585342)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:       813 Millisekunden (Max.: 46585342)

Laufzeit ohne FJF:                        2185 Millisekunden (Max.: 46585342)
Laufzeit mit FJF bei Schwelle 50000:       803 Millisekunden (Max.: 46585342)
```

Den vollständigen Quellcode des Beispielprogramms finden Sie im Ordner

...\BspUeb\Multithreading\Fork-Join\RecursiveTask MaxSin

16.7 Sonstige Thread-Themen

16.7.1 Daemon-Threads

Neben den bisher behandelten Benutzer-Threads kennt Java noch so genante Daemon-Threads, die im Hintergrund zur Unterstützung anderer Threads tätig sind und dabei nur aktiv werden, wenn ungenutzte Rechenzeit vorhanden ist. Auch der mittlerweile sicher wohlbekannte Garbage Collector arbeitet im Rahmen eines Daemon-Threads.

Mit der Thread-Methode **setDeamon()** lässt sich auch ein Benutzer-Thread dämonisieren, was vor dem Aufruf seiner **start()**-Methode geschehen muss.

Um das Terminieren von Daemon-Threads braucht man sich in der Regel nicht zu kümmern, denn ein Java-Programm oder -Applet endet, sobald ausschließlich Daemon-Threads vorhanden sind.

16.7.2 Der Modifikator volatile

Greifen zwei Threads schreibend auf ein Feld vom Typ **double** oder **long** zu, kann es durch einen unglücklichen Thread-Wechsel passieren, dass die beiden Threads jeweils 32 Bit zu einem sinnlosen Speicherwert mit insgesamt 64 Bit beisteuern (Ullenboom 2012b, Abschnitt 2.7). Dies wird durch den Modifikator **volatile** verhindert, z.B.:

```
private volatile long counter;
```

Außerdem verhindert die **volatile**-Deklaration eventuelle Speicherzugriffsoptimierungen der Laufzeitumgebung durch Zwischenspeicherung (Cache-Strategien). Somit ist sichergestellt, dass jede Wertänderung sofort allen Threads zur Verfügung steht. Dieser Effekt des Modifikators ist potentiell bei Feldern von beliebigem Typ von Bedeutung, z.B. bei einem Objekt der Klasse **StringBuffer**:

```
private volatile StringBuffer sbAdress;
```

16.8 Übungsaufgaben zu Kapitel 16

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Ein Java-Programm endet zusammen mit seinem Thread **main**.
2. Swing-Ereignisbehandlungsmethoden laufen im EDT (Event Dispatcher Thread) ab und nach spätestens 100 Millisekunden beendet sein
3. Ein terminierter Thread kann nicht mehr neu gestartet werden.
4. Ein Thread im Zustand **sleeping** gibt alle Monitore zurück.

2) Das folgende Programm startet einen Thread aus der Klasse `Schnarcher`, lässt ihn 5 Sekunden lang gewähren und versucht dann, den Thread wieder zu beenden:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
  Schnarcher st = new Schnarcher();
  st.start();
  System.out.println("Thread gestartet.");
  Thread.sleep(3000);
  while(st.isAlive()) {
   st.interrupt();
   System.out.println("\nThread beendet!?");
   Thread.sleep(1000);
  }
 }
}
```

Außerdem wird demonstriert, dass man auch den Thread **main** per **sleep()** in den vorübergehenden Ruhezustand schicken kann. Um eine **try-catch**-Konstruktion zu vermeiden, wird die von **sleep()** potentiell zu erwartende **InterruptedException** in **main()**-Methodenkopf per **throws**-Klausel deklariert.

Der `Schnarcher`-Thread führt in seiner **run()**-Methode eine **while**-Schleife aus, prüft bei jedem Umlauf zunächst, ob das Interrupt-Signal gesetzt ist, und beendet sich ggf. per **return**. Falls keine Einwände gegen seine weitere Tätigkeit bestehen, schreibt der Thread nach einer kurzen Wartezeit ein Sternchen auf die Konsole:

```
class Schnarcher extends Thread {
   public void run() {
      while (true) {
         if(isInterrupted())
            return;
         try {
            sleep(100);
         } catch(InterruptedException ie) {}
         System.out.print("*");
      }
   }
}
```

Wie die Ausgabe eines Programmlaufs zeigt, bleiben die **interrupt()**-Aufrufe wirkungslos:

```
Thread beendet!?
**********
Thread beendet!?
***********
Thread beendet!?
*********
Thread beendet!?
**********
Thread beendet!?
**********
  .  .  .
```

Wie ist das Verhalten zu erklären, und wie sorgt man für ein zuverlässiges Beenden des Threads?

3) Warum ist der Modifikator **volatile** für lokale Variablen überflüssig (und verboten)?

17 Netzwerkprogrammierung

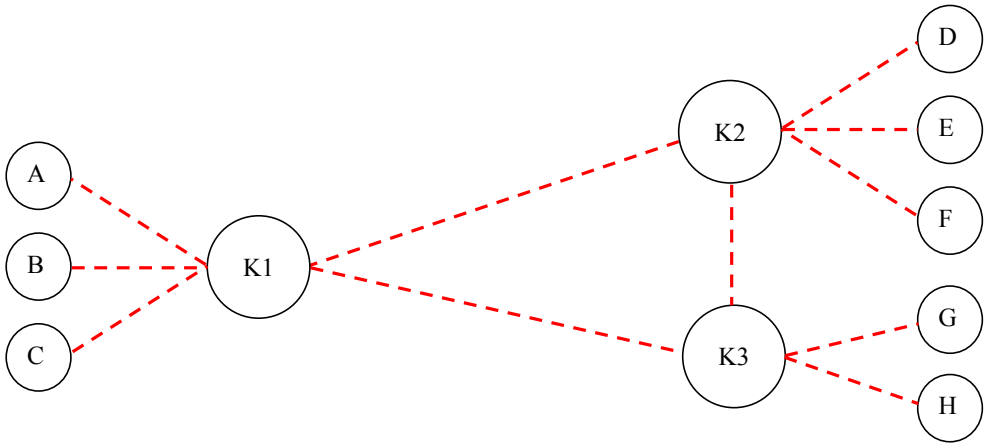
Konform zu ihrem bereits 1982 formulierten Leitsatz *The Network is the Computer* hat sich die (mittlerweile von der Firma Oracle übernommene) Firma Sun Microsystems beim Java-Design erfolgreich darum bemüht, leistungsfähige und dabei möglichst einfach realisierbare Netzwerkanwendungen zu ermöglichen.

17.1 Wichtige Konzepte der Netzwerktechnologie

Als **Netzwerk** bezeichnet man eine Anzahl von Systemen (z.B. Rechnern), die über ein **gemeinsames Medium** (z.B. Ethernet-Kabel, WLAN, Infrarotkanal) verbunden sind und über ein **gemeinsames Protokoll** (z.B. TCP/IP) Daten austauschen können.

Unter einem **Protokoll** ist eine Menge von **Regeln** zu verstehen, die für eine erfolgreiche Kommunikation von allen beteiligten Systemen eingehalten werden müssen.

Zwischen zwei Kommunikationspartnern jeweils eine reservierte Leitung (temporär) zu schalten und auch in „Funkpausen“ aufrecht zu erhalten, wäre unökonomisch. Bei den meisten aktuellen Netzwerkprotokollen werden **Datenpakete** mit **Adressierung** übertragen, was die gemeinsame Verwendung eines Verbindungswegs für mehrere, simultan ablaufende Kommunikationsprozesse ermöglicht. Dabei sind Vermittlungsstationen für die korrekte Weiterleitung der Pakete zuständig:



Von der Anwendungsebene (z.B. Versandt einer E-Mail über einen SMTP-Server (*Simple Mail Transfer Protocol*)) bis zur physikalischen Ebene (z.B. elektromagnetische Wellen auf einem Ethernet-Kabel) sind zahlreiche Übersetzungen vorzunehmen bzw. Aufgaben zu lösen, jeweils unter Beachtung der zugehörigen Regeln. Im nächsten Abschnitt werden die beteiligten **Ebenen** mit ihren jeweiligen Protokollen behandelt, wobei wir uns auf Themen mit Relevanz für die Anwendungsentwicklung konzentrieren.

17.1.1 Das OSI-Modell

Nach dem **OSI – Modell** (*Open System Interconnection*) der ISO (*International Standards Organisation*) werden bei der Kommunikation über Netzwerke sieben aufeinander aufbauende Schichten (engl.: *layers*) mit jeweiligen Aufgaben und zugehörigen Protokollen unterschieden. Bei der anschließenden Beschreibung dieser Schichten sollen wichtige Begriffe und vor allem die heute üblichen Internet-Protokolle (z.B. IP, TCP, UDP, ICMP) eingeordnet werden.

1. Physikalische Ebene (Bit-Übertragung, z.B. über Kupferdrahtleitungen)

Hier wird festgelegt, wie von der Netzwerk-Hardware Bits zwischen zwei direkt verbundenen Stationen zu übertragen sind. Im einfachen Beispiel einer seriellen Verbindung über Kupferkabel wird z.B. festgelegt, dass zur Übertragung einer Null eine bestimmte Spannung während einer festgelegten Zeit angelegt wird, während eine Eins durch eine gleichlange Phase der Spannungsfreiheit ausgedrückt wird.

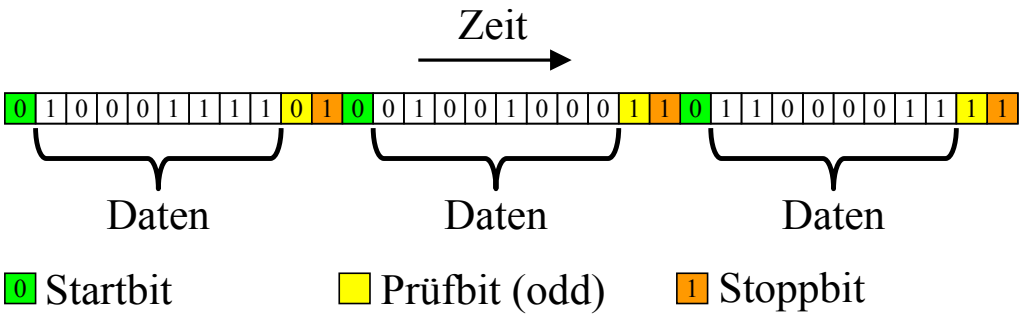
2. Link-Ebene (gesicherte Frame-Übertragung, z.B. per Ethernet)

Hier wird vereinbart, wie zwischen zwei direkt verbundenen Stationen ein *Frame* zu übertragen ist, der aus einer Anzahl von Bits besteht und durch eine Prüfsumme gesichert ist. In der Regel gehören zum Protokoll dieser Ebene auch Start- und Endmarkierungen, damit sich die beteiligten Geräte rechtzeitig auf eine Informationsübertragung einstellen können.

Im Beispiel der seriellen Datenübertragung kann folgender Frame-Aufbau verwendet werden:

Startbit:	0
8 Datenbits	
Prüfbit:	odd (siehe unten)
Stoppbit:	1

In folgender Abbildung sind drei Frames zu sehen, die nacheinander über eine serielle Leitung gesendet werden:



Das odd-Prüfbit wird so gesetzt, dass es die acht Datenbits zu einer ungeraden Summe ergänzt.

Bei einem Ethernet-Frame ist der Aufbau etwas komplizierter (siehe Spurgeon 2000, S. 40ff):

- Der Header enthält u.a. die MAC-Adressen (*Media Access Control*) von Sender und Empfänger. Diese Level-2 - Adressen sind nur für die Subnetz-interne Kommunikation relevant.
- Es können zwischen Daten im Umfang von 46 bis 1500 Byte transportiert werden.

3. Netzwerkebene (Paketübertragung, z.B. per IP)

Die Frames der eben behandelten zweiten Ebene hängen von der verwendeten Netzwerktechnik ab, so dass auf der Strecke vom Absender bis zum Empfänger in der Regel *mehrere* Frame-Architekturen beteiligt sind (z.B. bei der LAN-Verbindung zum hausinternen Router eine andere als auf der Telefonstrecke zum DSL-Provider). Auf der dritten Ebene kommen hingegen Informations-**Pakete** zum Einsatz, die auf der gesamten Strecke (im Intra- und/oder im Internet) unverändert bleiben und beim Wechsel der Netzwerktechnik in verschiedene Schicht 2 - Container umgeladen werden (siehe Abschnitt 17.1.2).

Durch die Protokolle der Schicht 3 sind u.a. folgende Aufgaben zu erfüllen:

- **Adressierung (über Subnetzgrenzen hinweg gültig)**
  Jedes Paket enthält eine Absender- und eine Zieladresse mit globaler Gültigkeit (über Subnetzgrenzen hinweg).

- **Routing**
  In komplexen (und ausfallsicheren) Netzen führen mehrere Wege vom Absender eines Paketes zum Ziel. Vermittlungsrechner (sog. *Router*) entscheiden darüber, welchen Weg ein Paket nehmen soll.
- **Datenflusskontrolle**
  Eine weitere Aufgabe der dritten Protokollebene besteht in der Datenflusskontrolle zur Vermeidung von Überlastungen.

Bei aktuellen Netzwerken kommt auf der Ebene 3 überwiegend das **IP-Protokoll** zum Einsatz. Seine Pakete bezeichnet man auch als **IP-Datagramme**. In der heute noch üblichen IP-Version 4 (IPv4) besteht eine Adresse aus 32 Bits, üblicherweise durch vier per Punkt getrennte Dezimalzahlen (aus dem Bereich von 0 bis 255) dargestellt, z.B.:

192.168.178.12

Bei der (schon seit vielen Jahren) kommenden IP-Version 6 (IPv6) besteht eine Adresse aus 128 Bits, welche durch acht per Doppelpunkt getrennte Hexadezimalzahlen (aus dem Bereich von 0 bis FFFF) dargestellt werden, z.B.:

2001:88c7:c79c:0000:0000:0000:88c7:c79c

Innerhalb eines Blocks dürfen führende Nullen weggelassen werden, z.B.:

2001:88c7:c79c:0:0:0:88c7:c79c

Eine Gruppe aufeinanderfolgender Blöcke mit dem Wert 0000 bzw. 0 darf durch zwei Doppelpunkte ersetzt werden, z.B.:

2001:88c7:c79c::88c7:c79c

Der OSI-Ebene 3 wird auch das **Internet Control Message Protocol** (ICMP) zugerechnet, das zur Übermittlung von Fehlermeldungen und verwandten Informationen dient. Wenn z.B. ein Router ein IP-Datagramm verwerfen muss, weil seine Maximalzahl von Weiterleitungen (*Time To Live*, TTL) erreicht wurde, dann schickt er in der Regel eine *Time Exceeded* – Meldung an den Absender. Auch die von **ping** - Anwendungen versandten *Echo Requests* und die zugehörigen Antworten zählen zu den ICMP - Nachrichten.

4. Transportschicht (gesicherte Paketübertragung, z.B. per TCP)

Zwar bemüht sich die Protokollebene 3 darum, Pakete auf möglichst schnellem Weg vom Absender zum Ziel zu befördern, sie kann jedoch nicht garantieren, dass *alle* Pakete in *korrekter Reihenfolge* ankommen. Dafür sind die Protokolle der Transportschicht zuständig, wobei momentan vor allem das **Transmission Control Protocol** (TCP) zum Einsatz kommt. Das TCP wiederholt z.B. die Übertragung von Paketen, wenn innerhalb einer festgelegten Zeit keine Bestätigung eingetroffen ist.

5. Sitzungsebene (Übertragung von Byte-Strömen zwischen Anwendungen, z.B. per TCP)

Auf dieser Ebene sind Regeln angesiedelt, die den Datenaustausch zwischen zwei **Anwendungen** (meist auf verschiedenen Rechnern) ermöglichen. Auch solche Aufgaben werden in der heute üblichen Praxis vom Transmission Control Protocol (TCP) abgedeckt, das folglich für die OSI-Schichten 4 und 5 zuständig ist.

Damit eine spezielle Anwendung auf Rechner A mit einer speziellen Anwendung auf Rechner B kommunizieren kann, werden so genannte **Ports** verwendet. Hierbei handelt es sich um Zahlen zwischen 0 und 65535 (2^{16} - 1), die eine kommunikationswillige bzw. -fähige Anwendung identifizieren. So wird es z.B. möglich, auf einem Rechner verschiedene Serverprogramme zu installieren, die trotzdem von Klienten aufgrund ihrer verschiedenen Ports (z.B. 21 für einen FTP-Server, 80 für einen WWW-Server) gezielt angesprochen werden können. Während die Ports von 0 bis 1023 (2^{10} -

1) für Standarddienste fest definiert sind, werden die höheren Ports nach Bedarf vergeben, z.B. zur temporären Verwendung durch kommunikationswillige Klientenprogramme.

Eine TCP-Verbindung ist also bestimmt durch:

- Die IP-Adresse des Serverrechners und die Portnummer des Dienstes
- Die IP-Adresse des Klientenrechners und die dem Klientenprogramm für die Kommunikation zugeteilte Portnummer

Weitere Eigenschaften einer TCP-Verbindung:

- Das TCP-Protokoll stellt eine *virtuelle Verbindung* zwischen zwei Anwendungen her.
- Auf beiden Seiten steht eine als **Socket** bezeichnete Programmierschnittstelle zur Verfügung. Die beiden Sockets kommunizieren über **Datenströme** miteinander. Aus der Sicht des Anwendungsprogrammierers werden per TCP keine Pakete übertragen, sondern Ströme von Bytes.

Von den Internet-Protokollen ist auch das **User Datagram Protocol** (UDP) auf der Ebene 5 anzusiedeln. Es sorgt ebenfalls für eine Kooperation zwischen *Anwendungen* und nutzt dazu Ports wie das TCP. Allerdings sind die Ports praktisch die einzige Erweiterung gegenüber der IP-Ebene. Es handelt sich also um einen ungesicherten Paketversandt ohne Garantie für eine vollständige Auslieferung in korrekter Reihenfolge. Aufgrund der somit eingesparten Verwaltungskosten eignet sich das UDP zur Übertragung größerer Datenmengen, wenn dabei der Verlust einzelner Pakete zu verschmerzen ist (z.B. beim Multimedia - Streaming). Im Unterschied zu den Datenstrom-Sockets der TCP-Kommunikation spricht man beim UDP-Protokoll von *Datagramm-Sockets*. Java unterstützt auch das UDP-Protokoll. Wir werden uns jedoch in diesem Manuskript auf das wichtigere TCP-Protokoll beschränken.

6. Präsentation

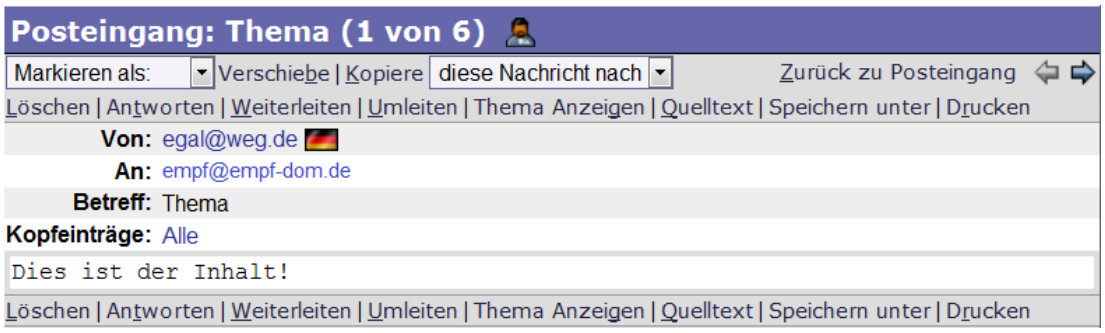
Hier geht es z.B. um die Verschlüsselung oder Komprimierung von Daten. Die TCP/IP - Protokollfamilie kümmert sich nicht darum, sondern überlässt derlei Arbeiten den Anwendungen.

7. Anwendung (Protokolle für Endbenutzer-Dienstleistungen, z.B. per HTTP oder SMTP)

Hier wird für verschiedene Dienste festgelegt, wie Anforderungen zu formulieren und Antworten auszuliefern sind. Einem SMTP-Serverprogramm (*Simple Mail Transfer Protocol*), das an Port 25 lauscht, kann ein Klientenprogramm z.B. folgendermaßen eine Mail übergeben:

Klient	**Serverantwort**
`telnet srv.srv-dom.de 25`	`220 srv.srv-dom.de ESMTP Postfix`
`HELO mainpc.client-dom.de`	`250 srv.srv-dom.de`
`MAIL FROM:egal@weg.de`	`250 Ok`
`RCPT TO:empf@srv-dom.de`	`250 Ok`
`DATA`	`354 End data with <CR><LF>.<CR><LF>`
`From: egal@weg.de`	
`To: empf@srv-dom.de`	
`Subject: Thema`	
`Dies ist der Inhalt!`	
`.`	`250 Ok: queued as 43A7D6D91AC`
`QUIT`	`221 Bye`

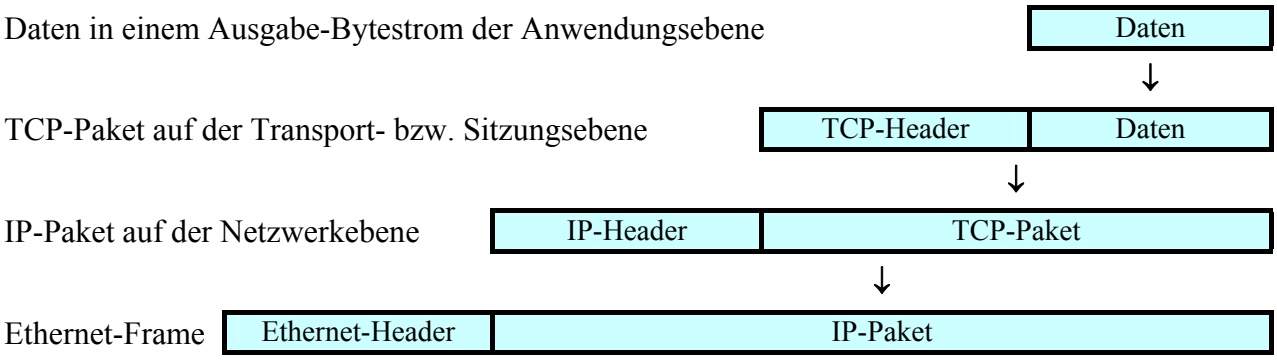
Der Mailempfänger glaubt hoffentlich nicht an die angezeigten Adressen:



Noch häufiger als das SMTP-Protokoll kommt im Internet auf Anwendungsebene das HTTP-Protokoll (*Hyper Text Transfer Protocol*) für den Austausch zwischen Web-Server und -Browser zum Einsatz.

17.1.2 Zur Funktionsweise von Protokollstapeln

Möchte eine Anwendung (genauer: eine aktive Anwendungsinstanz) auf dem Rechner A über ein TCP/IP – Netzwerk eine gemäß zugehörigem Anwendungsebenen-Protokoll (z.B. SMTP) zusammengestellte Sendung an eine korrespondierende Anwendung auf dem Rechner B schicken, dann übergibt sie eine Serie von Bytes an die TCP-Schicht von Rechner A, welche daraus TCP-Pakete erstellt. Wir beschränken uns auf den einfachen Fall, dass alle Daten in *ein* TCP-Paket passen, und machen die analoge Annahme auch für alle weiteren Neuverpackungen:



Wichtige Bestandteile des TCP-Headers sind:

- Die Portnummern der Quell- und Zielanwendung
- TCP-Flags
  Hierzu gehört z.B. das zur Gewährleistung der Auslieferung von TCP-Paketen benutzte ACK-Bit. Weil es bei allen Paketen einer Verbindung mit Ausnahme des initialen Pakets gesetzt ist, kann z.B. eine Firewall-Software an diesem Bit erkennen, ob ein von Außen eintreffendes Paket zur (unerwünschten) Verbindungsaufnahme dienen soll.

Das TCP-Paket wird weiter „nach unten“ durchgereicht zur IP-Schicht, die ihren eigenen Header ergänzt, der u.a. folgende Informationen enthält:

- Die IP-Adressen von Quell- und Zielrechner
- Typ des eingepackten Protokolls (z.B. TCP oder UDP)
- Time-To-Live (TTL)
  Beim Routing kann es zu Schleifen kommen. Damit ein Paket nicht ewig rotiert, startet es mit einer Time-To-Live - Angabe mit der maximalen Anzahl von erlaubten Router - Passagen, die von jedem Router dekrementiert wird. Muss ein Router den TTL-Wert auf Null setzen, verwirft er das Paket und informiert den Absender eventuell per ICMP-Paket über den Vorfall.

Wenn der nächste Router auf dem Weg zum Zielrechner über ein lokales Netzwerk mit Ethernet-Technik erreicht wird, muss das IP-Paket in einen Ethernet-Frame verpackt werden, wobei der Ethernet-Header z.B. die MAC-Adressen des Empfängers (hier: des Routers) und des Senders (hier: der Netzwerkkarte in Rechner A) aufnimmt.

Auf dem Rechner B wird der umgekehrte Weg durchlaufen: Jede Schicht entfernt ihren eigenen Header und reicht den Inhalt an die nächst höhere Ebene weiter, bis die übertragenen Daten schließlich in einem Eingabestrom der zuständigen Anwendung (identifiziert über die Portnummer im TCP-Header) gelandet sind.

17.1.3 Optionen zur Netzwerkprogrammierung in Java

Java unterstützt sowohl die Socket-orientierte TCP- bzw. UDP-Kommunikation (auf der Ebene 5 des OSI-Modells) als auch die Nutzung wichtiger Protokolle auf der Anwendungsebene (z.B. HTTP, SMTP). Ein Zugriff auf tiefere Protokollschichten ist nur über externe, per JNI (*Java Native Interface*) angebundene Software möglich, was allerdings bei Netzwerkprogrammen selten erforderlich ist. Die zur Netzwerkprogrammierung in Java erforderlichen API-Klassen befinden sich meist im Paket **java.net.**

Wir beschäftigen uns in diesem Manuskript u.a. mit folgenden Themen:

- Internet-Ressourcen (WWW-Seiten, Dateien) in Java-Programmen nutzen
- Client-Server - Programmierung auf Socket-Ebene
  Dabei beschränken wir uns auf das TCP-Protokoll, verzichten also auf das nur für wenige Anwendungen relevante UDP-Protokoll.
- Erstellung von Web-Applikationen mit Servlet- und JSP-Technik
  Dieses Thema wird in später im Kapitel zur Java Enterprise Edition (JEE) nachgeholt.

17.2 Internet-Ressourcen nutzen

Obwohl im Internet die Interaktivität im Vordergrund steht, sind vielfach automatisierte Routinezugriffe auf Webangebote per Programm von Nutzen (z.B. Abrufen von Wetterdaten, Abholen der monatlichen Provider-Rechnung, Download der aktuellen Signaturdatei einer Schutz-Software). In einem Artikel des Computer-Magazins **c't** (Ausgabe 04/2010) mit dem Titel „*Persönliche Webroboter*“ werden entsprechende Lösungen in Skriptsprachen wie Perl, Ruby oder PowerShell beschrieben. Wer die Programmiersprache Java beherrscht, findet im Standard-API und weiteren Bibliotheken sehr gute Voraussetzungen zum Erstellen von „persönlichen Webrobotern“.

Auf Internet-Ressourcen, die über einen so genannten **Uniform Resource Locator** (URL) ansprechbar sind, kann man in Java genau so einfach zugreifen wie auf lokale Dateien.

Ein URL wie z.B.

http://www.egal.de:81/cgi-bin/beispiel/cgi.pl?vorname=Kurt

ist folgendermaßen aufgebaut:

Syntax:	*Protokoll*	**://**	*User:Pass@* (optional)	*Rechner*	**:***Port* (optional)	*Pfad*	**?***URL-Parameter* (optional)
Beispiel:	http	://		www.egal.de	:81	/cgi-bin/beispiel/cgi.pl	?vorname=Kurt

Bei vielen *statischen* Webseiten kann am Ende der Pfadangabe durch # eingeleitet noch ein seiteninternes Sprungziel genannt werden, z.B.:

http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/forms/methods.html#fund

Die URL-Parameter dienen zur Anforderung von individuellen bzw. dynamisch erstellten Webseiten unter Verwendung der GET-Methode aus dem HTTP-Protokoll (siehe Abschnitt 17.2.5.3).

Durch das Zeichen **&** getrennt dürfen auch *mehrere* Parameter (als Name-Wert - Paare) angegeben werden, z.B.:

?vorname=Kurt&nachname=Schmidt

In der deutschen Sprachpraxis wird meist über *die URL* zu einer Webressource gesprochen, was auch der angesehene Übersetzungedienstleiter http://www.leo.org/ bestätigt:

ENGLISCH		DEUTSCH
		3 Treffer
Unmittelbare Treffer		
URL - *acronym for uniform resource locator* [comp.]		die (*seltener:* der) **URL**
uniform resource locator [abbr.: **URL**] [comp.]		der Uniform-Resource-Locator [Abk.: **URL**]
Zusammengesetzte Einträge		
uniform resource locator [abbr.: **URL**] [comp.]		die Internetadresse

Im Manuskript wird unter Beachtung der Grammatik von *dem* URL (Uniform Resource Locator) gesprochen, nach Möglichkeit aber eine geschlechtsneutrale Formulierung gewählt (z.B. der Plural *die URLs*).

17.2.1 Die Klasse URL

In vielen Fällen kommt man in Java-Programmen beim Zugriff auf Internet-Ressourcen mit der einfachen Klasse **URL** aus dem Paket **java.net** aus. Das folgende Programm fordert per **URL**-Objekt die Homepage der Universität Trier an und listet die ersten 8 Zeilen des HTML-Codes auf:

```
import java.net.*;
import java.io.*;

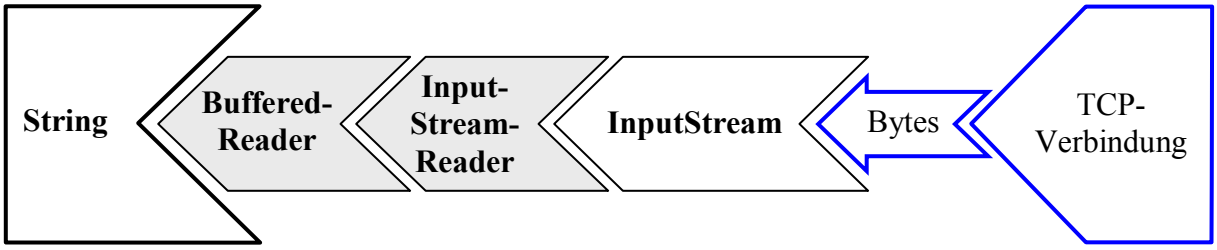
class URLDemo {
 public static void main(String[] args)   {
  try (BufferedReader br = new BufferedReader(new InputStreamReader(
     (new URL("http://www.uni-trier.de/")).openStream()))) {
    String s;
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
     s = br.readLine();
     if (s == null)
      break;
     System.out.println(s);
    }
  } catch (MalformedURLException e) {
    e.printStackTrace();
  } catch (IOException e ) {
    e.printStackTrace();
  }
 }
}
```

In Java wird fast jeder Datenaustausch via Netz (mit Ausnahme der UDP-Kommunikation) mit derselben Datenstromtechnik abgewickelt, die auch beim seriellen Datenaustausch mit dem lokalen Dateisystem zum Einsatz kommt. Wir werden daher im aktuellen Kapitel bei den meisten Beispielprogrammen neben dem Paket **java.net** mit den Java-API-Klassen zur Netzwerkprogrammierung auch das Paket **java.io** mit den Datenstromklassen importieren.

Wird dem **URL**-Konstruktor ein **String**-Objekt mit irregulärer Syntax übergeben, ist eine **MalformedURLException** – Exception fällig, auf die sich ein Programm vorbereiten muss.

Die **URL**-Methode **openStream()** öffnet die Verbindung zur Ressource und gibt ein **InputStream**-Objekt für den Zugriff auf die vom angesprochenen Server gelieferten Bytes zurück. Bei Verbindungsproblemen wirft **openStream()** eine **IOException**, die bekanntlich vom Aufrufer in einer **catch**-Klausel behandelt oder im Methodenkopf angekündigt werden muss.

Im Beispiel wandelt ein **InputStreamReader**-Objekt die angelieferten Bytes in Unicode-Zeichen, wobei unter Windows das Kodierungsschema Windows Latin-1 (Cp1252) voreingestellt ist. Um zeilenweise mit der bequemen Methode **readLine()** lesen zu können, schaltet man in der Regel noch einen **BufferedReader** hinter den **InputStreamReader**, so dass sich folgende „Pipeline“ ergibt:



An Stelle der Klasse **BufferedReader** kann auch die Klasse **Scanner** eingesetzt werden (siehe Abschnitt 13.5).

Ein Netzwerkeingabestrom sollte möglichst früh geschlossen werden, um die beteiligten Netzwerkressourcen (z.B. den lokalen Port) frei zu geben. Im Beispielprogramm wird dazu die mit Java 7 eingeführte automatische Ressourcenfreigabe verwendet (siehe Abschnitt 11.8.2). Zur Klärung der Frage, welche TCP-Verbindungen ein Programm aktuell offen hält, eignet sich unter Windows z.B. das Werkzeug **TCPView**[101].

Ein Programmlauf am 10.04.2011 liefert folgendes Ergebnis:

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<!DOCTYPE html
     PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
     "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" xml:lang="de" lang="de">
<head>

<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1" />
```

Mit den folgenden **URL**-Methoden lassen sich wichtige URL-Bestandteile ermitteln:

getProtocol(), **getHost**(), **getPort()**, **getPath()**, **getFile()**, **getQuery()**

Über weitere Möglichkeiten der Klasse **URL** informiert die API-Dokumentation.

Zur direkten Lektüre durch Benutzer ist der HTML-Code wenig geeignet. Im der Standardbibliothek von Java 7 wird die Fähigkeit zur Darstellung (engl. *rendern*) von HTML-Code durch die Swing-Komponente **JEditorPane** realisiert, die wir im Editor-Projekt von Kapitel 12 zur Darstellung von unformatiertem Text verwendet haben. Allerdings beschränkt sich die **JEditorPane**-Anzeigekompetenz auf die hoffnungslos veraltete HTML-Version 3.2, so dass z.B. die Homepage der Universität Trier fehlerhaft dargestellt wird:

[101] Das von Mark Russinovich entwickelte Programm ist auf der Microsoft-Webseite
http://technet.microsoft.com/en-us/sysinternals/bb897437.aspx
kostenlos verfügbar.

Außerhalb der Java-Standardbibliothek sind vermutlich leistungsfähigere Java-Lösungen zur HTML-Darstellung verfügbar. Andererseits muss man nicht unbedingt das Ziel verfolgen, eine Alternative zu den aktuellen Web-Browsern zu entwickeln.

17.2.2 Die Klasse URLConnection

Erhält ein Objekt der angenehm einfach verwendbaren Klasse **URL** den Auftrag **openStream()**, dann wird hinter den Kulissen ein Objekt der Klasse **URLConnection** über seine Methode **getInputStream()** gebeten, einen Netzwerkeingabestrom zu erstellen, der Daten vom Server beschaffen kann. Durch expliziten Einsatz der Klasse **URLConnection** gewinnt man flexiblere Möglichkeiten, Anforderungen zu formulieren und die Antworten eines Servers auszuwerten. Bei Verwendung des HTTP-Protokolls kann man ...

- über **Request-Header** eine Anforderung näher spezifizieren. Wer z.B. an einer Ressource nur bei entsprechend aktuellem Änderungsdatum interessiert ist, kann dies per **If-Modified-Since** – Feld ausdrücken.
- über **Response-Header** Meta-Informationen über den von einem WWW-Server gelieferten Inhalt erhalten. Im Feld **Content-Type** wird z.B. das Format einer Ressource beschrieben.

Die Klasse **URLConnection** hält Methoden bereit, um die Header-Felder zu besetzen bzw. auszuwerten (siehe unten). Eine Liste mit allen Header-Feldern der HTTP-Version 1.1 findet sich im RFC-Dokument (*Request For Comments*) 2616, das auf der folgenden Webseite des World Wide Web Consortiums (W3C) zu finden ist:

http://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616-sec14.html

Zum Erzeugen einer **URLConnection** steht kein öffentlicher Konstruktor zur Verfügung. Man ruft stattdessen die **openConnection()** - Methode eines passenden **URL**-Objekts auf.

Im folgenden Programm wird über einen per Kommandozeile festgelegten URL (oder http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/net/URLConnection.html) eine Webseite angefordert, falls diese seit dem 01.01.2012 geändert worden ist:

```
import java.net.*;
import java.io.*;
import java.text.*;
import java.util.*;
```

```
class URLConnectionDemo {
  public static void main(String[] args) {
    BufferedReader br = null;
    try {
      String urlString;
      if (args.length == 0)
        urlString = "http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/net/URLConnection.html";
      else
        urlString = args[0];

      URL url = new URL(urlString);
      URLConnection urlConn = url.openConnection();

      DateFormat df = DateFormat.getDateTimeInstance();
      urlConn.setIfModifiedSince(df.parse("01.01.2012 00:00:00").getTime());

      urlConn.connect();

      System.out.println("\nResponse-Header:");
      System.out.println("  Content-Type:\t\t"+urlConn.getContentType());
      System.out.println("  Content-Length:\t"+urlConn.getContentLength());
      System.out.println("  Expiration:\t\t"+df.format(new Date(urlConn.getExpiration())));
      System.out.println("  Last Modified:\t"+df.format(new Date(urlConn.getLastModified())));

      System.out.println("\nWeiter zum Inhalt mit Enter");
      System.in.read();
      br = new BufferedReader(new InputStreamReader(urlConn.getInputStream()));
      String zeile;
      while ((zeile = br.readLine()) != null)
        System.out.println(zeile);
    } catch (MalformedURLException e) {
      e.printStackTrace();
    } catch (IOException e) {
      e.printStackTrace();
    } catch (ParseException e) {
      e.printStackTrace();
    } finally {
      if (br != null)
        try {br.close();} catch (IOException e) { }
    }
  }
}
```

Die **URL**-Methode **openConnection()** baut noch keine Verbindung zum Server auf, sondern liefert ein **URLConnection**-Objekt und schafft so die Möglichkeit, die zum **URL**-Objekt gehörige Anforderung über Request-Header näher zu spezifizieren. Generell dient dazu die Methode

public void setRequestProperty(String *key***, String** *value***)**

Hier wird z.B. das **If-Modified-Since** – Feld gesetzt:

```
urlConn.setRequestProperty("If-Modified-Since","Mon, 11 Feb 2012 00:00:00 GMT");
```

Einige Felder können aber auch mit speziellen **URLConnection** - Methoden gesetzt werden, z.B. das Feld **If-Modified-Since** mit der Methode **setIfModifiedSince()**:

```
DateFormat df = DateFormat.getDateTimeInstance();
urlConn.setIfModifiedSince(df.parse("11.02.2008 00:00:00").getTime());
```

Im Beispiel wird eine Klartext - Datums/Zeit - Angabe mit Hilfe der Klassen **Date** und **DateFormat** in die von **setIfModifiedSince()** benötigte Anzahl von Millisekunden seit dem 1. Januar 1970 (GMT) umgewandelt.

Man kann sich übrigens nicht unbedingt darauf verlassen, dass sich ein angesprochener Server nach der **If-Modified-Since** - Angabe richtet. Das RFC-Dokument 2616 zum HTTP-Protokoll (URL: siehe oben) enthält zu dieser Frage eher eine Empfehlung als eine Vorschrift:

```
c) If the variant has not been modified since a valid If-
   Modified-Since date, the server SHOULD return a 304 (Not
   Modified) response.
```

Außerdem hat das Attribut **If-Modified-Since** an Bedeutung verloren, weil mittlerweile sehr viele Webseiten generell dynamisch erzeugt werden (z.B. von einem Content Management System).

Erst durch Aufruf der **URLConnection**-Methode **connect()** wird die TCP-Verbindung zur Gegenstelle tatsächlich geöffnet. Gelingt dies, können anschließend die Response-Header der Webserver-Antwort über passende **URLConnection**-Methoden abgefragt werden. Das Beispielprogramm hat am 11.04.2012 bei einem Start ohne Kommandozeilenparameter folgende Ausgaben geliefert:

```
Response-Header:
  Content-Type:    text/html
  Content-Length:  105041
  Expiration:      01.01.1970 01:00:00
  Last Modified:   09.01.2012 19:09:06
```

Die **URLConnection**-Methoden **getExpiration()** und **getLastModified()** liefern Millisekunden seit dem 1. Januar 1970 (GMT), die im Beispiel mit Hilfe der Klassen **Date** und **DateFormat** in verständliche Ausgaben übersetzt werden.

Über die **URLConnection**-Methode **getInputStream()** erreicht man denselben Eingabestrom mit den angeforderten Daten, den auch die **URL**-Methode **openStream()** (siehe Abschnitt 17.2.1) liefert.

Zu der Frage, ob man den durch die **URLConnection**-Methode **getInputStream()** erhaltenen Eingabestrom explizit schließen sollte, äußert sich die API-Dokumentation zu Java 7 so:[102]

> Invoking the `close()` methods on the `InputStream` or `OutputStream` of an `URLConnection` after a request may free network resources associated with this instance, unless particular protocol specifications specify different behaviours for it.

Im Programm wird der Eingabestrom vorsichtshalber geschlossen, obwohl eine Inspektion mit dem Diagnoseprogramm **TCPView** ergeben hat, dass offenbar der HTTP-Server die Verbindung nach Ablieferung seiner Daten spontan beendet. Weil im Beispielprogramm der Eingabestrom über ein URL-Objekt gewonnen wird, das von einem Startparameter abhängt, kann die ansonsten im Manuskript bevorzugte automatische Ressourcen-Freigabe nicht verwendet werden. Stattdessen wird der **close()**-Aufruf in der **finally**-Klausel der **try**-Anweisung vorgenommen. Weil von **close()** eine **IOException** zu befürchten ist, wird die Methode in einer eigenen **try**-Anweisung aufgerufen. Um eine **NullPointerException** zu vermeiden, wird das Stromobjekt nur dann angesprochen, wenn es tatsächlich existiert. Allerdings würde eine **NullPointerException** ohnehin vom leeren Exception Handler „kassiert“, und bei weiteren Beispielen verzichten wir auf die perfektionistische Existenzkontrolle für zu schließende Stromobjekte.

Sind Verbindungsprobleme zu befürchten, sollte vor dem **connect()**-Aufruf mit der **URLConnection**-Methode

> **public void setConnectTimeout(int** *timeout*)

eine maximale Wartezeit festgelegt werden. Ein Überschreiten dieser Zeit wird von **connect()** per **SocketTimeoutException** signalisiert.

---

[102] Siehe: http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/net/URLConnection.html

17.2.3 Datei-Download

Mit den Klassen **URL** und **URLConnection** kann man nicht nur HTML- und sonstige Textdateien von einem Server beziehen, sondern auch binäre Dateien herunterladen, was in folgendem Beispiel mit der Archivdatei **SPSS20.zip** geschieht:

```
import java.net.*;
import java.io.*;

class DateiDownload {
 public static void main(String[] args) {
  BufferedInputStream in = null;
  BufferedOutputStream out = null;
  try {
   String urlString = "http://www.uni-trier.de/fileadmin/urt/doku/spss/v20/SPSS20.zip";
   URL url = new URL(urlString);
   System.out.println("Die Datei "+urlString+" wird herunter geladen ...");
   in = new BufferedInputStream(url.openStream());
   out = new BufferedOutputStream(
      new FileOutputStream((new File(url.getPath()).getName())));
   int i, n = 0;
   while ((i = in.read()) != -1) {
    out.write(i);
    n++;
   }
   System.out.println("Fertig! (Bytes geschrieben: "+n+")");
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  } finally {
   try {
    in.close();
    out.close();
   } catch (Exception e) { }
  }
 }
}
```

Wir kommen mit Byte-orientierten Strömen aus, kombinieren diese aber zur Transportbeschleunigung jeweils mit einem Puffer (siehe Abschnitt 13.3).

Die URL-Methode **getPath()** liefert im Beispiel die Zeichenfolge:

/fileadmin/urt/doku/spss/v20/SPSS20.zip

Um eine Datei mit dem Namen **SPSS20.zip** im aktuellen Verzeichnis anzulegen, wird aus der Zeichenfolge ein **File**-Objekt erzeugt und mit **getName()** befragt.

17.2.4 Die Klasse HttpURLConnection

Von den Klassen **URL** und **URLConnection** werden einige Spezifika des HTTP-Protokolls *nicht* unterstützt (z.B. Statuscode). Abhilfe schafft die aus **URLConnection** abgeleitete Klasse **HttpURLConnection**, die u.a. folgende Erweiterungen bietet:

- **getResponseCode()**
  Liefert den Statuscode einer Anfrage
- **usingProxy()**
  Informiert darüber, ob ein Proxy-Server involviert ist

Bei passendem Protokoll liefert die URL-Methode **openConnection()** ohnehin ein **HttpURLConnection**-Objekt, so dass nur noch eine Typumwandlung erforderlich ist, damit die erweiterte Funktionalität verfügbar wird, z.B.:

```
URL url = new URL(urlString);
URLConnection urlConn = url.openConnection();
urlConn.connect();
if (urlConn instanceof HttpURLConnection) {
 HttpURLConnection huc = (HttpURLConnection) urlConn;
   .  .  .
}
```

Über ein **HttpURLConnection**-Objekt lässt sich nun z.B. der Statuscode einer Webserver-Antwort ermitteln:

```
System.out.println("\nRequest-Status:\n  Code:\t\t" + huc.getResponseCode() +
 "\n  Message:\t" + huc.getResponseMessage());
```

Hat alles geklappt, erhält man den Code 200:

```
Request-Status:
  Code:         200
  Message:      OK
```

Den folgenden Request-Status haben Sie vermutlich schon öfter gesehen:

```
Request-Status:
  Code:         404
  Message:      Not Found
```

17.2.5 Dynamisch erstellte Webinhalte anfordern

17.2.5.1 Überblick

WWW-Server halten in der Regel nicht nur statische HTML-Seiten und sonstige Dateien bereit, sondern beherrschen auch verschiedene Technologien, um HTML-Seiten dynamisch nach Kundenwunsch zu erzeugen und an Klientenprogramme (meist **WWW-Browser**) auszuliefern (z.B. mit den Ergebnissen eines Suchauftrags oder mit einer individuellen Produktkonfiguration). WWW-Nutzer äußern ihre Wünsche, indem sie per Browser eine Formularseite (mit Eingabeelementen wie Textfeldern, Kontrollkästchen usw.) ausfüllen und ihre Daten zum **WWW-Server** übertragen. Dieses Programm (z.B. Apache HTTP Server, MS Internet Information Server) analysiert und beantwortet Formulardaten aber nicht selbst, sondern überlässt diese Arbeit externen Anwendungen, die in unterschiedlichen Programmier- bzw. Skriptsprachen erstellt werden können (z.B. Java, PHP, ASP.NET, Perl). Traditionell kooperieren WWW-Server und Ergänzungsprogramm über das so genannte **Common Gateway Interface** (**CGI**), wobei das Ergänzungsprogramm bei jeder Anforderung neu gestartet und nach dem Erstellen der HTML-Antwortseite wieder beendet wird. Mittlerweile werden jedoch Lösungen bevorzugt, die stärker mit dem Webserver verzahnt sind, permanent im Speicher verbleiben und so eine bessere Leistung bieten (z.B. PHP als Apache - Modul). So wird vermieden, dass bei jeder Anforderung ein Programm (z.B. der PHP-Interpreter) gestartet und eventuell auch noch eine Datenbankverbindung aufwändig hergestellt werden muss. Außerdem wird bei den genannten Lösungen die nicht sehr wartungsfreundliche Erstellung kompletter HTML-Antwortseiten über Ausgabeanweisungen der jeweiligen Programmiersprache vermieden. Stattdessen können in *einem* Dokument statische HTML-Abschnitte mit Bestandteilen der jeweiligen Programmiersprache zur dynamischen Produktion individueller Abschnitte kombiniert werden. Wir werden anschließend der Einfachheit halber alle Verfahren zur dynamischen Produktion individueller HTML-Seiten als *CGI - Lösungen* bezeichnen. Eine wichtige Gemeinsamkeit dieser Verfahren besteht darin, dass die Browser zur Formulierung ihrer Anforderungen (Requests) die Methoden **GET** oder **POST** aus dem HTTP - Protokoll benutzen (siehe unten).

Bei den integrierten, performanten und wartungsfreundlichen Lösungen spielt auch Java eine herausragende Rolle, und insbesondere bei anspruchsvollen Server-Dienstleistungen (z.B. Online-Banking) kommen häufig *Java-Servlets* bzw. *Java Server Pages* zum Einsatz, die von einem Java - Application Server wie *Tomcat* oder *Glassfish* ausgeführt werden (siehe unten).

Im aktuellen Abschnitt wird die Anforderung von dynamisch erstellen Webinhalten durch klientenseitige Java-Programme behandelt. Damit lässt sich in vielen Fällen das Abrufen von Informationen (z.B. Börsenkurse, Wetterdaten) vereinfachen bzw. automatisieren. Außerdem werden uns die Erfahrungen in der Klientenrolle nützlich sein, wenn wir später die „Seite wechseln“ und die Realisation dynamischer Webangebote durch serverseitige Java-Lösungen behandeln.

Es besteht eine Verwandtschaft zu den neuerdings sehr populären **Webdiensten** (engl.: *Web Services*), die allerdings keine HTML-Seiten für Browser produzieren, sondern XML - Dateien. Von dieser interessanten Technik zur Erstellung von verteiltem Anwendungen kann in diesem Manuskript weder die server- noch die klientenseitige Programmierung behandelt werden.

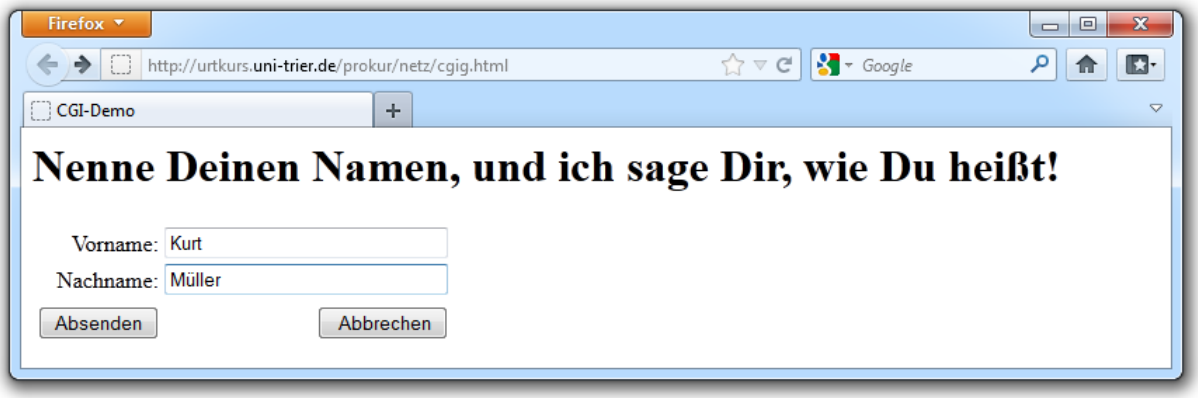
17.2.5.2 Arbeitsablauf

Beim CGI - Einsatz sind üblicherweise folgende Programme beteiligt:

- WWW-Browser
- WWW-Server
  In der Regel läuft dieses Programm auf einem fremden Rechner im Internet.
- CGI-Lösung
  Wir bezeichnen der Einfachheit halber jedes Verfahren zur dynamischen HTML-Produktion als *CGI - Lösung*.

Der Browser zeigt eine vom Server erhaltene HTML-Seite mit Formularelementen an, über die Benutzer eine CGI-Anfrage formulieren und abschicken können. Zur Erläuterung technischer Details betrachten wir ein sehr einfaches Formular, das ein in PHP[103] realisiertes CGI-Skript auf einem WWW-Server an der Universität Trier anspricht.

In diesem Browser-Fenster



ist die HTML-Seite zu sehen, die über den URL

http://urtkurs.uni-trier.de/prokur/netz/cgig.html

abrufbar ist und den folgenden HTML-Code mit Formular enthält:[104]

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//DE">
<html>
<head>
 <title>CGI-Demo</title>
 <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=UTF-8">
</head>
```

[103] PHP ist eine auf das Erstellen von dynamischen Webseiten spezialisierte Programmiersprache.
[104] Der HTML-Code ist nicht normkonform, weil am Anfang die Dokumenttyp-Deklaration fehlt.

```
<h1>Nenne Deinen Namen, und ich sage Dir, wie Du hei&szlig;t!</h1>
<form method="get" action="cgig.php">
<table border="0" cellpadding="0" cellspacing="4">
 <tr>
  <td align="right">Vorname:</td>
  <td><input name="vorname" type="text" size="30"></td>
 </tr><tr>
  <td align="right">Nachname:</td>
  <td><input name="nachname" type="text" size="30"></td>
 </tr>
 <tr> </tr>
 <tr>
  <td align="right"> <input type="submit" value=" Absenden "> </td>
  <td align="right">  <input type="reset" value=" Abbrechen"> </td>
  </td>
 </tr>
</table>
</form>
</html>
```

Klickt der Benutzer auf den Schalter **Absenden**, werden die Formularfelder mit der Syntax

Name=Wert

als Parameter für die CGI - Software zum WWW-Server übertragen. Zwei Felder werden jeweils durch ein &-Zeichen getrennt, so dass im obigen Beispiel mit den Feldern `vorname` und `nachname` (siehe HTML-Quelltext) folgende Sendung resultiert:

```
vorname=Kurt&nachname=M%FCller
```

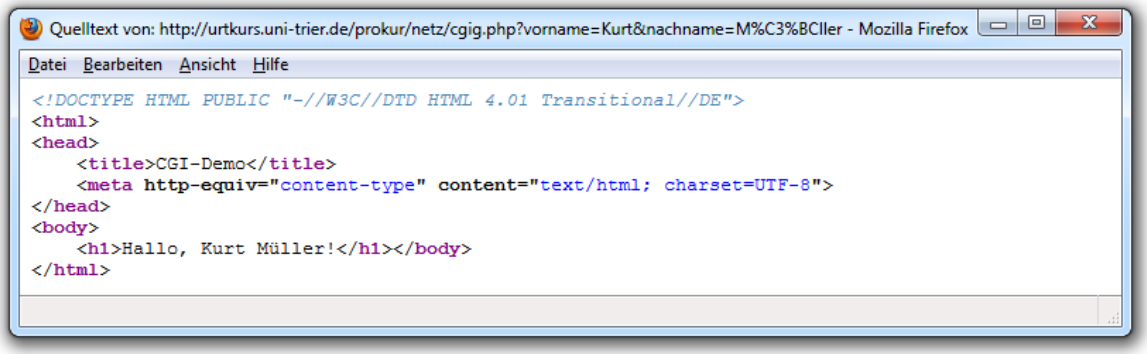
Den Umlaut „ü“ kodiert der Browser automatisch durch ein einleitendes Prozentzeichen und seinen Hexadezimalwert im Zeichensatz der Webseite. Analog werden andere Zeichen behandelt, die nicht zum Standard - ASCII-Code gehören. Weitere Regeln dieser so genannten **URL-Kodierung**:

- Leerzeichen werden durch ein „+“ ersetzt.
- Für die mit einer speziellen Bedeutung belasteten Zeichen (also &, +, = und %) erscheint nach einem einleitenden Prozentzeichen ihr Hexadezimalwert im Zeichensatz.

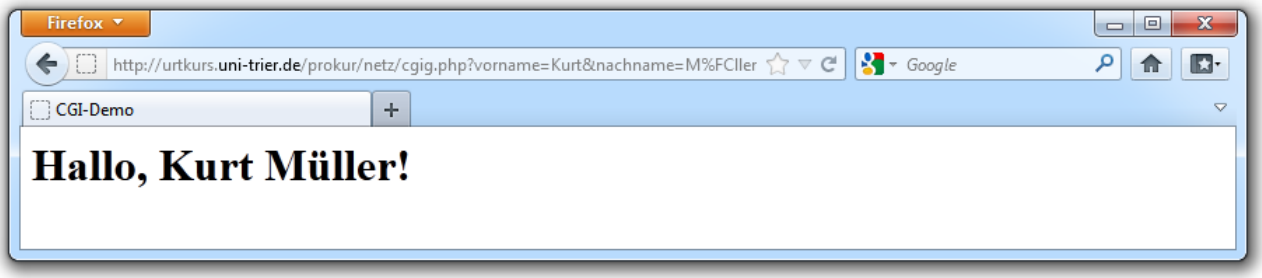
Auf gleich noch näher zu erläuternde Weise übergibt der WWW-Server die Formulardaten an das im **action**-Attribut der Formulardefinition angegebene externe Programm oder Skript. Im Beispiel handelt es sich um folgendes PHP-Skript, das wenig kreativ aus den übergebenen Namen einen Gruß formuliert:

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//DE">
<html>
<head>
   <title>CGI-Demo</title>
   <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=UTF-8">
</head>
<body>
   <?php
   $vorname = $_GET["vorname"];
   $nachname = $_GET["nachname"];
   echo "<h1>Hallo, $vorname $nachname!</h1>";
   ?>
</body>
</html>
```

Das PHP-Skript ist in eine HTML-Seite eingebettet und ergänzt den statischen Rahmen um die variablen Anteile. Das Endprodukt gelangt über den WWW-Server per HTTP-Protokoll zum Browser, der den empfangenen HTML-Quelltext



anzeigt:



17.2.5.3 GET

Zum Versandt der Name-Wert - Paare eines Formulars an einen WWW-Server kennt das HTTP-Protokoll zwei Verfahren (GET und POST), die nun vorgestellt und dabei auch gleich in Java-Klientenprogrammen realisiert werden sollen.

Beim GET-Verfahren, das man im **form** - Tag einer HTML-Seite durch die Angabe

```
method="get"
```

wählt (siehe oben), schickt der Browser die Name-Wert - Paare als URL-Bestandteil hinter einem trennenden Fragezeichen an den WWW-Server. Weil nach Eintreffen der Antwortseite die zugrunde liegende Anforderung in der Adresszeile des Browsers erscheint, kann die GET-Syntax dort inspiziert werden (siehe oben).

Aus der Integration der HTTP-Parameter in die Anforderung an den WWW-Server ergibt sich eine Längenbeschränkung, wobei die konkreten Maximalwerte vom Server und vom Browser abhängen. Man sollte vorsichtshalber eine Anforderungsgesamtlänge von 255 Zeichen einhalten und ggf. das POST-Verfahren verwenden (siehe unten), das keine praxisrelevante Längenbeschränkung kennt.

Der WWW-Server schreibt die Name-Wert - Paare in eine Umgebungsvariable namens **QUERY_STRING** und stellt auf analoge Weise der CGI-Software gleich noch weitere Informationen zur Verfügung, z.B.:

```
QUERY_STRING="vorname=Kurt&nachname=M%3Fller"
REMOTE_PORT="1211"
REQUEST_METHOD="GET"
```

In obigem PHP-Skript erfolgt der der Zugriff auf die Parameter in der Umgebungsvariablen **QUERY_STRING** über den so genannten superglobalen Array **$_GET**.

Um in Java eine CGI-Software anzusprechen, die per GET mit Parametern versorgt werden möchte, genügt ein Objekt der angenehm einfach aufgebauten Klasse **URL** (siehe Abschnitt 17.2.1). Für die URL-Kodierung der Parameterwerte (vgl. Abschnitt 17.2.5.2) sorgt eine statische Methode der Klasse **URLEncoder**, wobei durch die Angabe eines Zeichensatzes korrekte Hexadezimalwerte der

Sonderzeichen sichergestellt werden sollten. Im folgenden Beispiel kommt der Windows-Zeichensatz Cp1252 zum Einsatz:

```
import java.io.*;
import java.net.*;

class GET {
 public static void main(String[] args) {
  BufferedReader br = null;
  try {
   BufferedReader in = new BufferedReader(new InputStreamReader(System.in));
   System.out.print("Vorname:  ");
   String vorname = in.readLine();
   System.out.print("Nachname: ");
   String nachname = in.readLine();
   System.out.println();
   URL url = new URL(
      "http://urtkurs.uni-trier.de/prokur/netz/cgig.php?vorname="+
      URLEncoder.encode(vorname,"Cp1252")+
      "&nachname="+URLEncoder.encode(nachname,"Cp1252"));
   br = new BufferedReader(new InputStreamReader(url.openStream()));
   String zeile;
   while ((zeile = br.readLine()) != null)
      System.out.println(zeile);
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  } finally {
   try {
    br.close();
   } catch (Exception e) { }
  }
 }
}
```

Weil das Programm die vom CGI-Skript gelieferte HTML-Seite nur als unformatierten Text darstellt, ist sein Auftritt nicht berauschend:

```
Vorname:  Kurt
Nachname: Müller

<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//DE">
<html>
<head>
   <title>CGI-Demo</title>
   <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=UTF-8">
</head>
<body>
   <h1>Hallo, Kurt Müller!</h1></body>
</html>
```

In welchem Ausmaß durch das explizite Schließen der Netzwerkströme Ressourcen eingespart werden, wurde schon in Abschnitt 17.2.2 diskutiert. Über die **URL**-Methode **openStream()** erhält man ein Eingabestromobjekt vom zugrunde liegenden **URLConnection**-Objekt. Der Aufruf

```
url.openStream()
```

ist also äquivalent zu expliziten Variante

```
url.openConnection().getInputStream()
```

17.2.5.4 POST

Beim **POST**-Verfahren, das man im **form** - Tag einer HTML-Seite durch eine entsprechende **method**-Angabe

```
<form method="post" action="cgip.php">
```

wählt, werden die Formulardaten (im selben Format wie beim GET-Verfahren) mit Hilfe des WWW-Servers zur *Standardeingabe* der CGI-Software übertragen. Was genau gemäß HTTP-Protokoll zu tun ist, braucht Java-Programmierer kaum zu interessieren, weil die Klasse **URLConnection** einen Ausgabestrom zur Verfügung stellt, über den man die CGI-Standardeingabe mit Parametern versorgen kann.

In folgendem Beispielprogramm wird zunächst wie in Abschnitt 17.2.2 über die **URL**-Methode **openConnection()** ein Objekt der Klasse **URLConnection** (genauer: **HttpURLConnection**) erzeugt. Anschließend wird dieses Objekt mit dem Methodenaufruf **setDoOutput(true)** darauf vorbereitet, dass Daten zum Server übertragen werden sollen. An den mit **getOutputStream()** angeforderten Ausgabestrom wird ein **PrintWriter** angekoppelt, um die URL-kodierten CGI-Parameter mit der bequemen **print()**-Methode „posten“ zu können:

```
import java.io.*;
import java.net.*;

class POST {
 public static void main(String[] args) {
  BufferedReader br = null;
  PrintWriter pw = null;
  try {
   BufferedReader in = new BufferedReader(new InputStreamReader(System.in));
   System.out.print("Vorname:  ");
   String vorname = in.readLine();
   System.out.print("Nachname: ");
   String nachname = in.readLine();
   System.out.println();
   URL url = new URL("http://urtkurs.uni-trier.de/prokur/netz/cgip.php");
   URLConnection urlConn = url.openConnection();
   urlConn.setDoOutput(true);
   pw = new PrintWriter(urlConn.getOutputStream());
   pw.print("vorname="+URLEncoder.encode(vorname,"Cp1252")+
     "&nachname="+URLEncoder.encode(nachname,"Cp1252"));
   pw.flush();
   br = new BufferedReader(new InputStreamReader(urlConn.getInputStream()));
   String zeile;
   while ((zeile = br.readLine()) != null)
      System.out.println(zeile);
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  } finally {
   try {
    br.close();
    pw.close();
   } catch (Exception e) { }
  }
 }
}
```

Weil **PrintWriter** grundsätzlich puffern (vgl. Abschnitt 13.4.1.4), sorgt im Beispiel ein Aufruf der Methode **flush()** dafür, dass die Parameterdaten auf die Reise gehen.

In welchem Ausmaß durch das explizite Schließen der Netzwerkströme Ressourcen eingespart werden, wurde schon in Abschnitt 17.2.2 diskutiert.

Das angesprochene PHP-Skript unterscheidet sich kaum von der GET-Variante: Anstelle des superglobalen Arrays **$_GET** ist der analoge Array **$_POST** zu verwenden.

17.3 IP-Adressen bzw. Host-Namen ermitteln

Jeder an das Internet angeschlossene Rechner verfügt über eine **IP-Adresse** (32-bittig in IPv4, 128-bittig in IPv6) sowie über einen **Host-Namen**, wobei die Zuordnung vom **Domain Name System** (DNS) geleistet wird.

In Java werden IP-Adressen durch Objekte der Klasse **InetAddress** repräsentiert. Zum Erzeugen neuer **InetAddress**-Objekte fehlt ein öffentlicher Konstruktor, doch stehen für diesen Zweck statische **InetAddress**-Methoden bereit, z.B.:

- **public static InetAddress getLocalHost()**
  liefert ein **InetAddress**-Objekt zum lokalen Rechner
- **public static InetAddress getByName(String** *host*)
  liefert ein **InetAddress**-Objekt zum Rechner mit dem angegebenen Host-Namen
- **public static InetAddress getByAddress(byte[]** *address*)
  liefert ein **InetAddress**-Objekt zum Rechner mit der angegebenen IP-Adresse

Das folgende Programm stellt für den lokalen Rechner IP-Adresse und Host-Namen fest:

```
import java.net.*;
class InetAddressDemo {
 public static void main(String[] args) {
  try {
   InetAddress lh = InetAddress.getLocalHost();
   System.out.println("IP-Adresse des lokalen Rechners:\t"+
    lh.getHostAddress());
   System.out.println("Host-Name des lokalen Rechners:\t\t"+
    lh.getHostName());
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  }
 }
}
```

Eine Beispielausgabe:

```
IP-Adresse des lokalen Rechners:   192.168.178.12
Host-Name des lokalen Rechners:    domino
```

Das nächste Beispielprogramm kann zwischen einer IPv4-Adresse und einem Host-Namen übersetzen und bietet dabei einen zeitgemäßen Bedienkomfort:

Aufgrund der Swing-Oberfläche ist der Quelltext deutlich länger als beim vorherigen Beispiel. Daher wird nur der für beide Schaltflächen zuständige **ActionEvent**-Handler wiedergegeben:

```
public void actionPerformed(ActionEvent ae) {
 try {
  if (ae.getSource() == cbGetIP) {
   InetAddress ia = InetAddress.getByName(tfHostName.getText());
   tfIP.setText(ia.getHostAddress());
  } else {
   byte[] ipAddr = new byte[4];
   StringTokenizer st = new StringTokenizer(tfIP.getText(), ".", false);
   for (int i = 0; i < 4; i++)
    ipAddr[i] = (byte) Integer.parseInt(st.nextToken());
```

```
      InetAddress ia = InetAddress.getByAddress(ipAddr);
      tfHostName.setText(ia.getHostName());
     }
    } catch(Exception e) {
     JOptionPane.showMessageDialog(null, e,
       "Exception", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
    }
  }
```

Ein Objekt der Klasse **StringTokenizer** hilft dabei, aus einer Zeichenfolge mit einer mutmaßlichen IPv4-Adresse den im **getByAddress()**-Aufruf benötigten **byte**-Array zu gewinnen.

Den vollständigen Quellcode finden Sie im Ordner

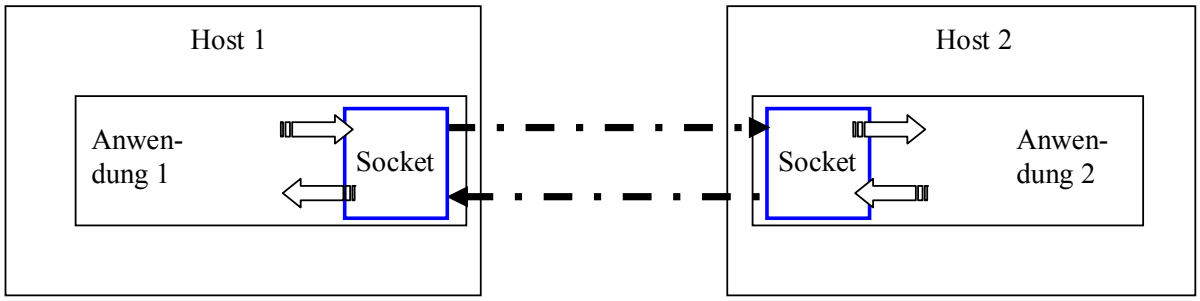
…\BspUeb\Netzwerk\DNS

17.4 Socket-Programmierung

Unsere bisherigen Beispielprogramme in Kapitel 17 haben hauptsächlich WWW-Inhalte von Servern bezogen und dazu API-Klassen benutzt, die ein fest „verdrahtetes“ Anwendungsprotokoll (meist HTTP) realisieren. Im aktuellen Abschnitt gewinnen wir eine erweiterte Flexibilität durch den direkten Einsatz des TCP-Protokolls. Daraus ergibt sich z.B. die Möglichkeit, *eigene* Anwendungsprotokolle zu entwickeln. Das auf der Transport- bzw. Sitzungsebene des OSI-Modells (siehe Abschnitt 17.1.1) angesiedelte TCP-Protokoll schafft zwischen zwei (durch *Portnummern* identifizierten) Anwendungen, die sich meist auf verschiedenen (durch *IP-Adressen* identifizierten) Rechnern befinden, eine virtuelle, *Datenstrom-orientierte* und *gesicherte Verbindung*. An beiden Enden der Verbindung steht das von praktisch allen aktuellen Programmiersprachen unterstützte *Socket-API* zur Verfügung, das in Java durch die Klasse **Socket** realisiert wird.

TCP-Programmierer müssen sich nicht um IP-*Pakete* kümmern, weder die Zustellung noch die Integrität oder die korrekte Reihenfolge überwachen, sondern (nach den Regeln eines Protokolls der Anwendungsschicht) Bytes in einen Ausgabestrom einspeisen bzw. aus einen Eingabestrom entnehmen und interpretieren. Dabei ist der Ausgabestrom des Senders virtuell mit dem Eingabestrom des Empfängers verbunden.

Ein **Socket**-Objekt bietet einen Ausgabe- *und* einen Eingabestrom, sodass zwei Anwendungen mit Hilfe ihrer **Socket**-Objekte bidirektional miteinander kommunizieren können:



Wir beschäftigen uns in diesem Abschnitt mit der Erstellung von Klienten- *und* Serveranwendungen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Rollen besteht darin, dass ein Serverprogramm mehr oder weniger permanent läuft und an einem fest vereinbarten Port auf eingehende Verbindungswünsche wartet, während ein Klientenprogramm nur bei Bedarf aktiv wird und dabei einen dynamisch zugewiesenen Port benutzt.

17.4.1 TCP-Klient

Wir erstellen einen TCP-Klienten, der die aktuelle Tageszeit bei einem Daytime-Server erfragt. Der Daytime-Dienst (vgl. RFC 867) eignet sich wegen des extrem einfachen Anwendungsprotokolls für

unsere Zwecke, ist aber bei längeren Paketlaufzeiten für die Zwecke der Zeitsynchronisation zu ungenau und wurde daher durch das *Network Time Protocol* (NTP) ersetzt. Meist ist der Zugang zu einem Daytime-Server per Firewall auf Rechner im lokalen Netzwerk restringiert. Wer zum Üben keinen ansprechbaren Daytime-Server findet, sei auf den Abschnitt 17.4.2 vertröstet, wo wir einen eigenen Daytime-Server erstellen.

Für den Daytime-Klienten erzeugen wir ein Objekt aus der Klasse **Socket**, das mit einem Daytime-Server Verbindung aufnehmen soll. Im Konstruktor muss neben dem Host-Namen bzw. der IP-Adresse des Servers auch die Portnummer des Zeitansagers auftauchen. Daytime-Dienste lauschen am TCP-Port 13, z.B.:

```
Socket time = new Socket("uhr.uni-trier.de", 13);
```

Mit **getInputStream()** besorgen wir uns beim **Socket**-Objekt seinen Byte-orientierten Eingabestrom, transformieren diesen per **InputStreamReader** in einen Zeichenstrom und greifen über die bequemen Methoden eines **BufferedReaders** zu:

```
import java.io.*;
import java.net.*;
class DaytimeClient {
 public static void main(String[] args) {
  BufferedReader br = null;
  try {
   Socket time = new Socket("uhr.uni-trier.de", 13);
   System.out.println("Verbindung hergestellt (lokaler Port: "+
      time.getLocalPort()+")");
   time.setSoTimeout(1000);
   br = new BufferedReader(new InputStreamReader(time.getInputStream()));
   System.out.print("Aktuelle Zeit: "+br.readLine());
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  } finally {
   try {
    br.close();
   } catch (Exception e) { }
  }
 }
}
```

Sofern Netz und Server mitspielen, kann die gewünschte Uhrzeit per **readLine()** ermittelt werden, z.B.:

```
Verbindung hergestellt (lokaler Port: 53729)
Aktuelle Zeit: Thu Apr 12 23:56:40 2012
```

Oft ist es empfehlenswert, für ein **Socket**-Objekt per **setSoTimeout()** eine maximale Wartezeit für das Lesen aus seinem **InputStream** festzulegen, damit das Programm bei Verbindungsproblemen nicht zu lange blockiert wird, z.B.:

```
time.setSoTimeout(1000);
```

Beim Überschreiten der vereinbarten Wartezeit (im Beispiel: 1000 Millisekunden) wird eine **SocketTimeoutException** geworfen, auf die das Programm geeignet reagieren kann.

Die Methode **setSoTimeout()** ist relevant bei Lese- und Schreiboperationen, hat keinen Einfluss auf die maximale Wartezeit bei der Verbindungsaufnahme, die im Beispielprogramm per **Socket()**-Konstruktor angefordert wird. Hier ist eine vermutlich plattformabhängige Timeout-Zeit im Spiel, die unter Windows ca. 20 Sekunden beträgt. Mit der folgenden Konstruktion lässt sich für die Verbindungsaufnahme eine kürzere Timeout-Zeit unter der Kontrolle des Programmierers erzwingen:

```
Socket time = new Socket();
time.connect(new InetSocketAddress("uhr.uni-trier.de", 13), 1000);
```

Hier ist für die Verbindungsaufnahme nicht Konstruktor zuständig, sonder die **Socket**-Methode **connect()**, wobei ein Objekt der Klasse **InetSocketAddress** zum Einsatz kommt.

Mit dem **close()**-Aufruf erreicht man das Schließen der Datenstrom-Pipeline und die sofortige Freigabe des lokalen Ports. Das Beispiel soll an die prinzipiell empfehlenswerte Praxis erinnern, wobei ein **close()**-Aufruf für einen Eingabestrom unmittelbar vor dem Programmende eigentlich überflüssig ist.

17.4.2 TCP-Server

Als Gegenstück zum eben präsentierten Daytime-Klienten erstellen wir nun einen Zeitserver, der am TCP-Port 13 lauscht und anfragenden Klienten die aktuelle Tageszeit mitteilt. Ein solcher Server kann in der Entwicklungsphase unter Verwendung der so genannten **loopback-Adresse** (IPv4: 127.0.0.1, IPv6: 0:0:0:0:0:0:0:1) durchaus auf dem eigenen Rechner aufgesetzt und von ebenfalls lokal ausgeführten Klientenprogrammen genutzt werden. Unter Windows ist der Server allerdings trotz lokaler Adresse nur dann ansprechbar, wenn der Rechner über eine *aktive* Netzwerkverbindung (z.B. per Ethernet oder WLAN) verfügt, was heutzutage ziemlich selbstverständlich ist.

17.4.2.1 Firewall-Ausnahme für einen TCP-Server unter Windows

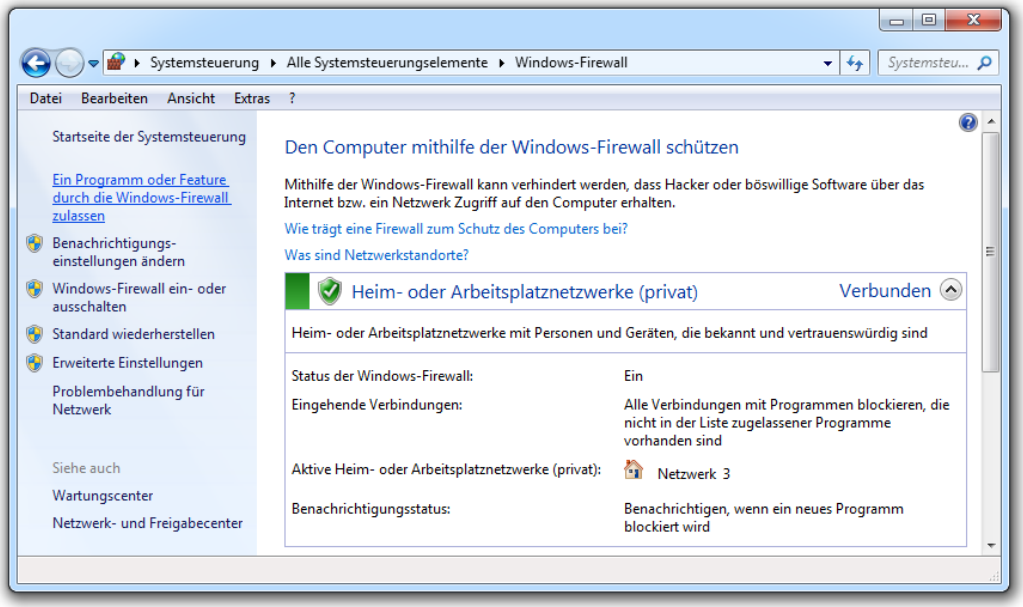
Damit unter Windows ein per **java.exe** oder **javaw.exe** gestartetes Serverprogramm an einen Port tätig werden darf, muss seit der Version XP mit Service Pack 2 eine Firewall-Ausnahme vereinbart werden.

17.4.2.1.1 Windows 7

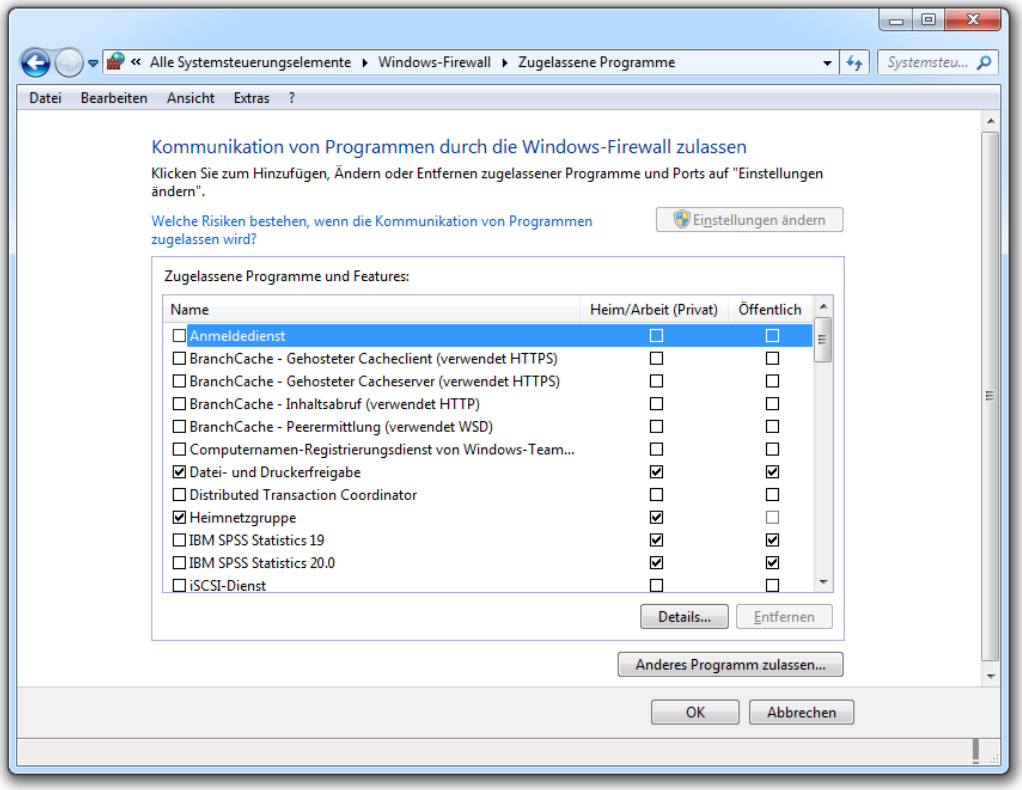
Unter Windows 7 (getestet mit der 64 Bit-Version) öffnet man über

Systemsteuerung > Anzeige = Kleine Symbole > Windows-Firewall

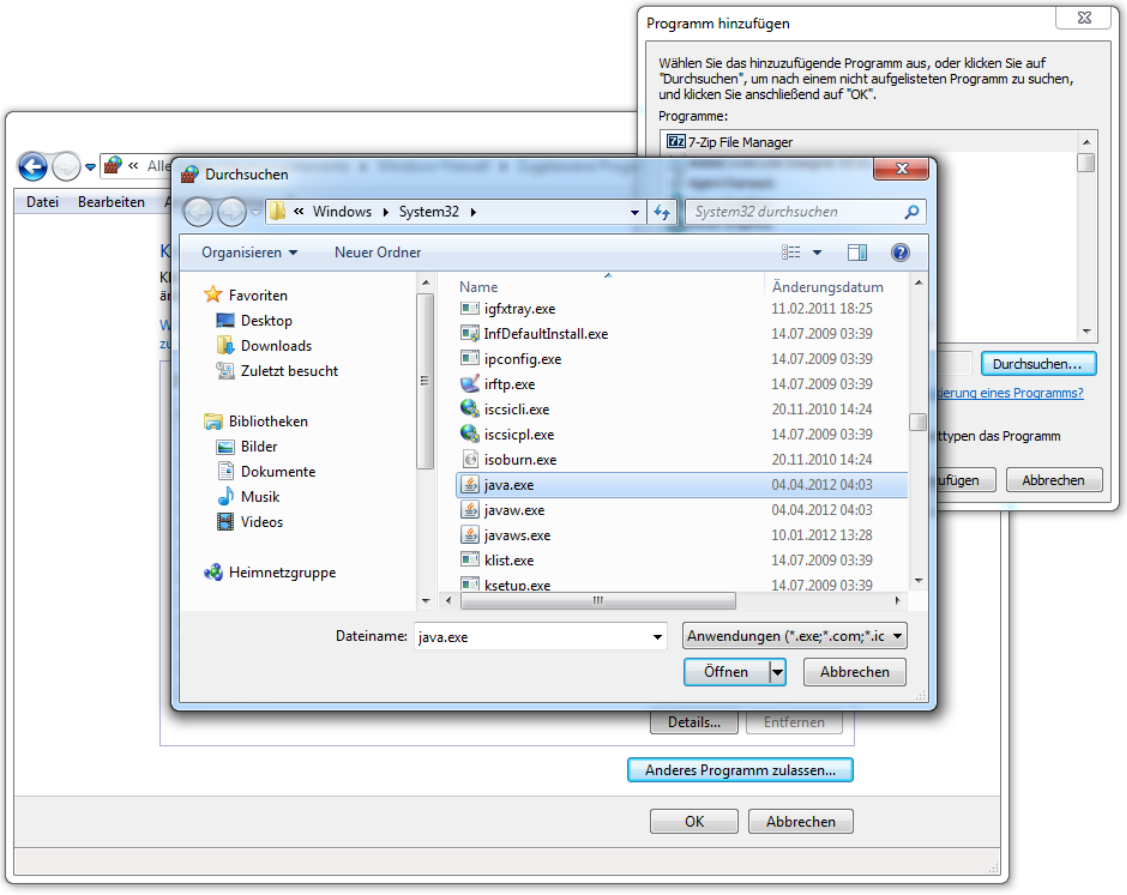
die folgende Dialogbox



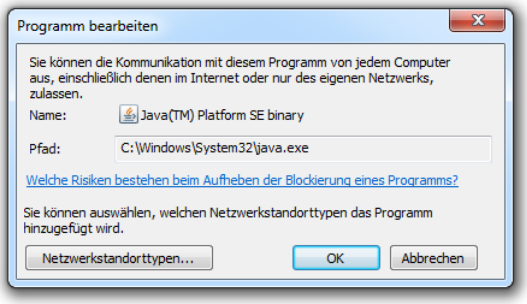
und klickt auf den Link **Ein Programm oder Feature durch die Windows-Firewall zulassen**. Im nächsten Dialog bekundet man seine Absichten per Mausklick auf den Schalter **Einstellungen ändern** und bestätigt anschließend die Nachfrage der Benutzerkontensteuerung.



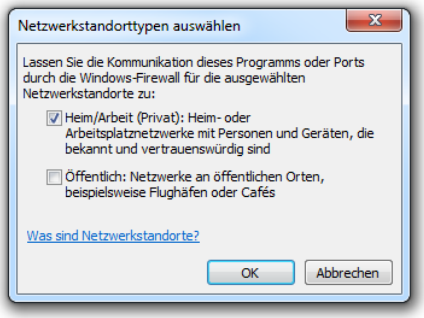
Nach einem Mausklick auf den nun verfügbaren Schalter **Anderes Programm zulassen** verfügbar, erscheint eine Dialogbox mit der Titelzeile **Programm hinzufügen**. Hier setzt man einen Mausklick auf den Schalter **Durchsuchen** und wählt schließlich einen JRE-Starter (**java.exe** oder **javaw.exe**):



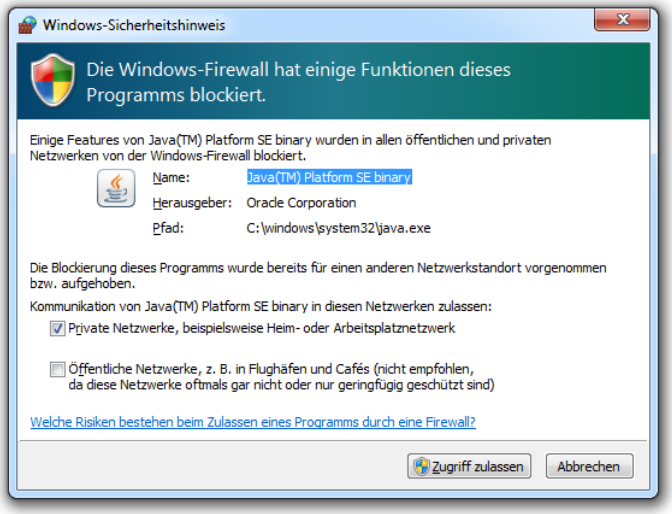
Über die Schalter-Sequenz **Öffnen > Hinzufügen** wird der JRE-Starter in die Liste der zugelassenen Programme aufgenommen. Im markierten Zustand lassen sich **Details** regeln:



Man sollte die **Netzwerkstandorttypen** so ändern, dass nur vertrauenswürdige Rechner den Serverprozess (also eine beliebige, von der JRE ausgeführte Java-Anwendung!) erreichen können, z.B.:



Statt vorausschauend eine Ausnahme für die Windows-Firewall einzutragen, kann man auf die besorgte Nachfrage des Betriebssystems



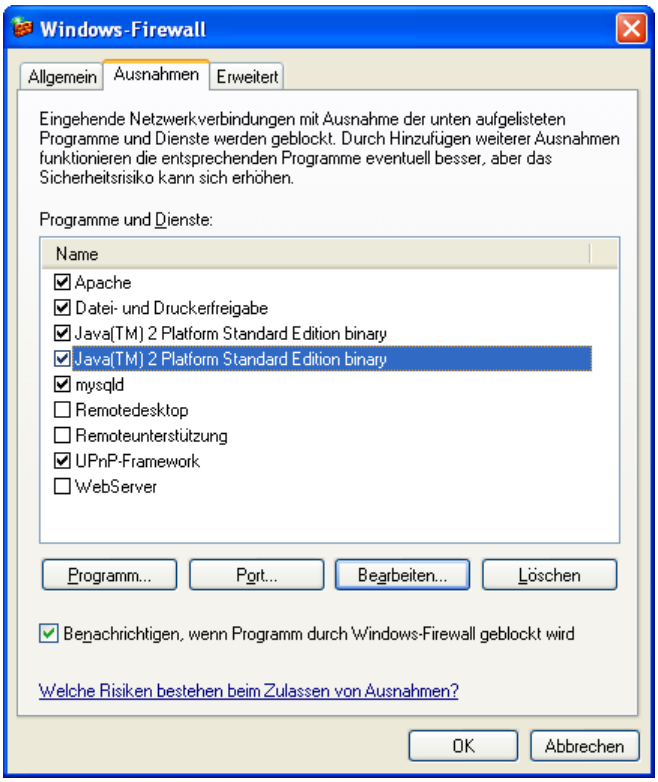
beim Start eines Servers warten, die zulässigen Kommunikationspartner festlegen und den **Zugriff zulassen**. Eine so aufgenommene Genehmigung kann man später gemäß obiger Beschreibung konfigurieren oder auch entfernen.

17.4.2.1.2 Windows XP

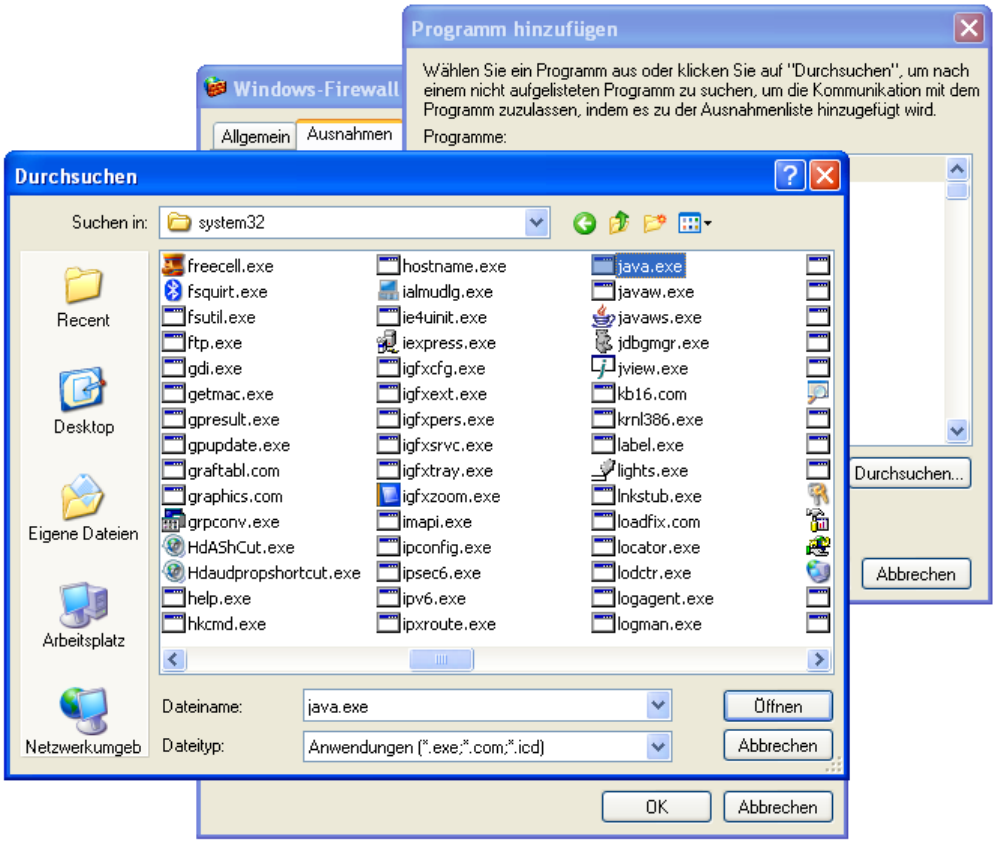
Unter Windows XP öffnet man über

Systemsteuerung > Firewall

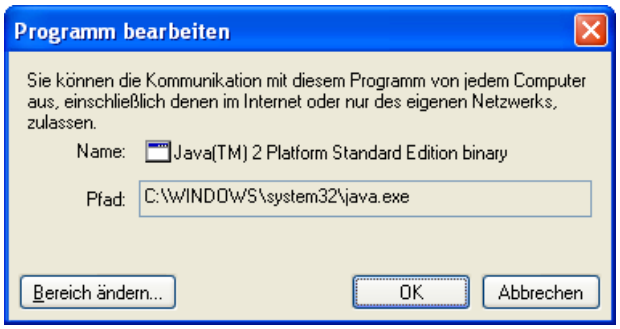
die folgende Dialogbox



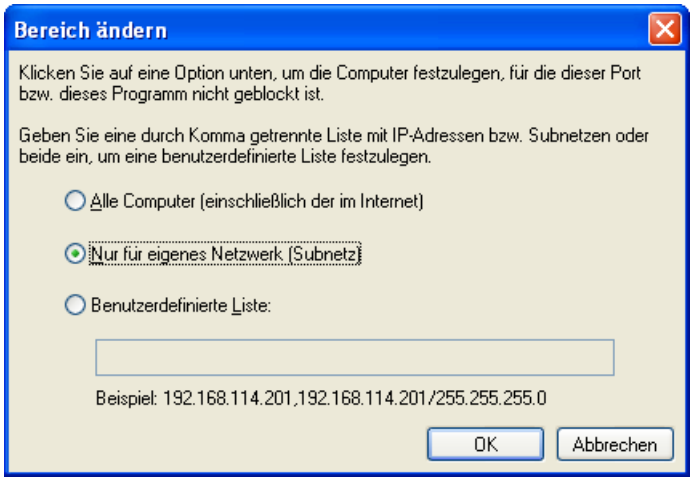
Nach einem Mausklick auf den Schalter **Programm** wählt man einen JRE-Starter (**java.exe** oder **javaw.exe**):



und nimmt ihn in die Ausnahmeliste auf. Im markierten Zustand lässt sich eine Ausnahme **bearbeiten**:

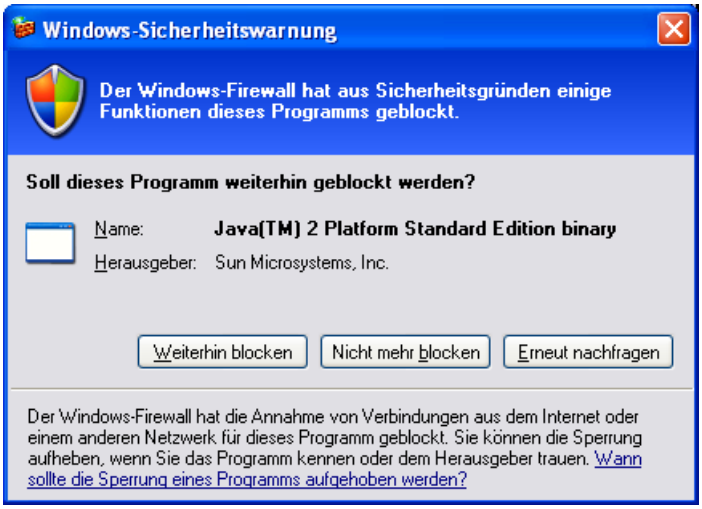


Man sollte den **Bereich** so **ändern**, dass nur vertrauenswürdige Rechner den Serverprozess (also eine beliebige, von der JRE ausgeführte Java-Anwendung!) erreichen können, z.B.:



Eventuell ist es sicherer, einen einzelnen Port freizugeben statt beliebigen Java-Anwendungen (gestartet von **java.exe** bzw. **javaw.exe**) den Dienst an beliebigen Ports zu erlauben.

Statt vorausschauend eine Ausnahme für die Windows-Firewall einzutragen, kann man auf die besorgte Nachfrage des Betriebssystems



beim Start eines Servers warten und dann mit dem Schalter **Nicht mehr blockieren** reagieren. Eine so aufgenommene Ausnahme kann anschließend gemäß obiger Beschreibung bearbeitet werden.

17.4.2.2 Singlethreading-Server

Nach diesen Vorbereitungen widmen wir uns wieder dem geplanten Zeitserver. Dabei kommt ein Objekt aus der Klasse **ServerSocket** zum Einsatz, das an den im Konstruktor angegebenen Port 13 gebunden wird.

```
ServerSocket timeServer = new ServerSocket(13);
```

Für jede Klientenverbindung wird ein eigenes Objekt aus der schon bekannten **Socket**-Klasse benötigt. Mit der Methode **accept()** beauftragen wir das **ServerSocket**-Objekt, auf eingehende Verbindungswünsche zu warten und ggf. zu anfragenden Klienten ein **Socket**-Objekt zu liefern:

```
Socket client;
   .  .  .
client = timeServer.accept();
```

In den Ausgabestrom eines solchen Objekts wird dann die (wie in Abschnitt 17.2.2) mit Hilfe der Klassen **Date** und **DateFormat** erstellte Zeitangabe geschrieben:

```
import java.io.*;
import java.net.*;
import java.util.*;
import java.text.*;

class DaytimeServer {
 public static void main(String[] args) {
  DateFormat df = DateFormat.getDateTimeInstance();
  String zeit;
  Socket client;
  try {
   ServerSocket timeServer = new ServerSocket(13);
   System.out.println("Zeitserver gestartet ("+
    df.format(new Date())+")");
   while(true) {
    client = timeServer.accept();
    PrintWriter pw = new PrintWriter(client.getOutputStream(), true);
    zeit = df.format(new Date());
    System.out.println("\n"+zeit+ " Anfrage von\n  IP-Nummer: "
     +client.getInetAddress().getHostAddress()
     +" (Port: "+client.getPort()+")");
    pw.println(zeit);
    client.close();
   }
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  }
 }
}
```

Während unser Zeitklient (siehe Abschnitt 17.4.1) nach einer Anfrage beendet ist, lauscht der Server permanent an Port 13 und bedient (nacheinander) beliebig viele Klienten:

```
Zeitserver gestartet (13.04.2012 20:59:13

13.04.2012 21:08:35 Anfrage von
  IP-Nummer: 192.168.178.29 (Port: 51605)

13.04.2012 21:11:16 Anfrage von
  IP-Nummer: 192.168.178.22 (Port: 50755)

13.04.2012 22:22:36 Anfrage von
  IP-Nummer: 192.168.178.25 (Port: 50610)

13.04.2012 22:25:50 Anfrage von
  IP-Nummer: 192.168.178.29 (Port: 55547)
```

Ist ein Klient versorgt, wird das zugehörige **Socket**-Objekt geschlossen:

```
client.close();
```

Es taugt nicht mehr für Netzwerkzwecke und wird abgeschrieben. Die **Socket**-Methode **close()** sorgt auch für das Schließen des Ein- und des Ausgabestroms. Folglich muss ein verbundener **PrintWriter** seinen Puffer rechtzeitig entleeren, was im Beispiel durch die aktivierte **Autoflush**-Option

```
PrintWriter pw = new PrintWriter(client.getOutputStream(), true);
```

und das Verwenden der Methode **println()** sichergestellt wird (vgl. Abschnitt 13.4.1.4).

17.4.2.3 Multithreading-Server

Bei einer ernsthaften Server-Programmierung kommt man an einer Multithreading-Lösung nicht vorbei, damit mehrere Klienten simultan bedient werden können. Dabei nicht für jede Anfrage zeitaufwändig ein neuer Thread gestartet werden muss, sollte ein Threadpool zum Einsatz kommen (siehe Abschnitt 16.6), z.B.:

```
ExecutorService es = Executors.newCachedThreadPool();
```

Wir erstellen nun einen Multithreading - Echo-Server am Port 9999, der alle Sendungen eines Klienten zurückspiegelt, auf die Botschaft `quit` aber mit dem Abbau der Verbindung reagiert. Im Hauptprogramm lauert ein **ServerSocket**-Objekt endlos auf Verbindungswünsche. Wie im letzten Beispiel erzeugt seine **accept()**-Methode für jeden Klientenkontakt ein neues **Socket**-Objekt. Zur Versorgung des Klienten wird außerdem ein Objekt der Klasse `EchoServerThread` generiert und in einem Pool-Thread zum Einsatz gebracht:

```
import java.net.*;
import java.util.*;
import java.util.concurrent.*;
import java.text.*;

class EchoServer {
 private static int nconn, nummer;
 private static DateFormat df = DateFormat.getDateTimeInstance();

 public static void main(String[] args) {
  ExecutorService es = Executors.newCachedThreadPool();
  try {
   ServerSocket echoServer = new ServerSocket(9999);
   System.out.println("Echoserver gestartet ("+df.format(new Date())+")");
   while(true) {
    Socket client = echoServer.accept();
    incr();
    nummer++;
    prot("Verbindung Nummer "+nummer+":\n  IP-Nummer: "
    +client.getInetAddress().getHostAddress()
    +" (Port: "+client.getPort()+")");
    es.execute(new EchoServerThread(client, nummer));
   }
  } catch (Exception e) {
   prot("Fehler: \n  "+e.toString());
  }
 }

 static synchronized void incr() {nconn++;}

 static synchronized void decr(int nummer) {
  nconn--;
  System.out.println("\n"+df.format(new Date())+
   " Verbindung Nummer "+nummer+" beendet");
 }
```

```
  static synchronized int getNumActive() {return nconn;}

  static void prot(String s) {
   System.out.println("\n"+df.format(new Date())+" "+s);
  }
}
```

In der Instanzvariablen `nconn` wird die Anzahl der aktiven Verbindungen aufbewahrt. Weil die auf `nconn` schreibend oder lesend zugreifenden `EchoServer`-Methoden in verschiednen Threads ablaufen können, werden sie durch Synchronisieren Thread-sicher gemacht. Bei der Methode `prot()` für Kontrollausgaben ist *keine* Synchronisation erforderlich, weil die **PrintStream**-Methode **println()** für Thread-Sicherheit sorgt:[105]

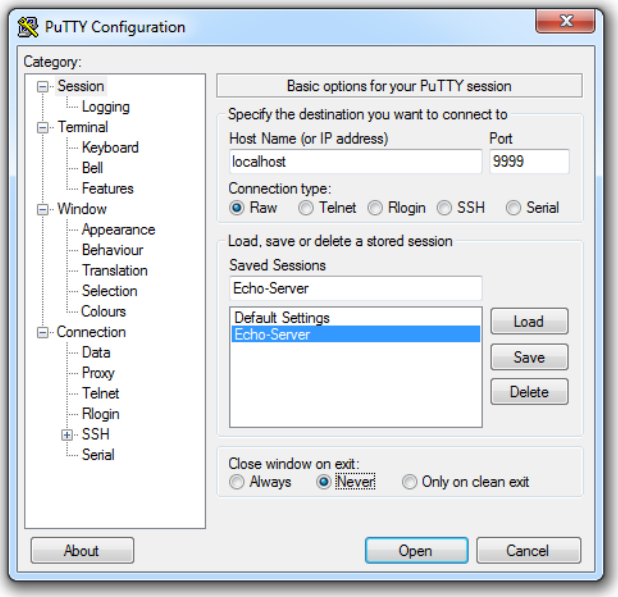
```
public void println(String x) {
 synchronized (this) {
  print(x);
  newLine();
 }
}
```

In der **run()**-Methode der Klasse `EchoServerThread` findet die Kommunikation über den Eingabe- und Ausgabestrom des **Socket**-Objekts statt. Im Konstruktor des am Ausgang angedockten **PrintWriter**s wird die **AutoFlush**-Eigenschaft auf **true** gesetzt, so dass er jede abgeschlossene Zeile automatisch aus dem Puffer abschickt.

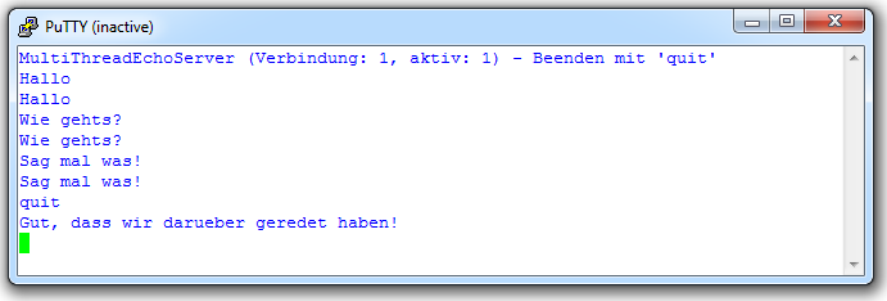
```
import java.io.*;
import java.net.*;
class EchoServerThread extends Thread {
 private Socket client;
 private int nummer;
 EchoServerThread(Socket cl, int nr) {
  client = cl;
  nummer  = nr;
 }
 public void run() {
  String zeile;
  try {
   BufferedReader br = new BufferedReader(
    new InputStreamReader(client.getInputStream()));
   PrintWriter pw = new PrintWriter(client.getOutputStream(), true);
   pw.println("MultiThreadEchoServer (Verbindung: "+nummer+
    ", aktiv: "+EchoServer.getNumActive()
    +") - Beenden mit 'quit'");
   while ((zeile = br.readLine()) != null) {
    if (zeile.trim().equals("quit")) {
    pw.println("Gut, dass wir darueber geredet haben!");
    break;
    }
    pw.println(zeile);
   }
  } catch (Exception e) {
   EchoServer.prot("Fehler: \n  "+e.toString()+" (Verbindung "+nummer+")");
  } finally {
   EchoServer.decr(nummer);
   try {client.close();} catch (Exception ignored) {}
  }
 }
}
```

[105] Sie finden diese Definition in der Datei **PrintStream.java**, die wiederum im Archiv **src.zip** mit den API-Quelltexten steckt. Das Quelltextarchiv kann bei der JDK-Installation auf die Festplatte Ihres PCs befördert werden.

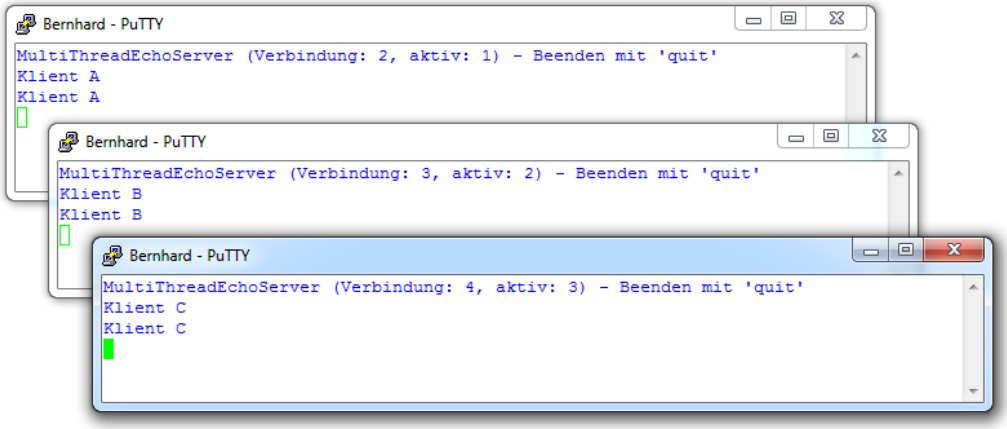
Man benötigt zum Testen des Multithreading - Echo-Servers keine spezielle Klienten-Software, sondern kann ihn unter Windows z.B. mit dem universellen (u.a. für die Protokolle SSH und Telnet geeigneten) Terminal-Klienten **PuTTY** ansprechen.[106] Lauscht der Echo-Server auf dem lokalen Rechner am Port 999, taugt z.B. die folgende PuTTY-Konfiguration zur Kontaktaufnahme:



Nach dem Öffnen der Verbindung steht mit dem Echo-Server ein geduldig wiederholender Gesprächspartner bereit:



Wie die folgende Abbildung zeigt, kann der Server tatsächlich mehrere Klienten simultan versorgen kann:



Ein PuTTY-Klient bewährt sich auch in anderen Situationen als Werkzeug für Tests und Fehleranalysen.

---

[106] Das Windows-Programm ist über die Webseite http://www.putty.org/ kostenlos zu beziehen.

17.5 Übungsaufgaben zu Kapitel 17

1) Welche von den folgenden Aussagen sind richtig bzw. falsch?

1. Einem TCP-Server wird seine Port-Nummer beim Start zugewiesen.
2. Über ein Objekt der Klasse **InetAddress** lässt sich der Host-Name zu einer IP-Adresse ermitteln.
3. Im OSI-Modell ist das HTTP-Protokoll auf der Ebene 5 einzuordnen.
4. Die **Socket**-Methode **setSoTimeout()** hat keinen Einfluss auf die maximale Wartezeit bei der Verbindungsaufnahme.

2) Erstellen Sie einen Chat-Server, der an Port 9999 lauert, mehrere Klienten simultan bedient und dabei die einkommenden Beiträge an alle Teilnehmer weiterleitet. Einige Protokollausgaben zum Geschehen können auch nicht schaden, z.B.:

```
ChatServer gestartet (13.04.2012 23:29:31)

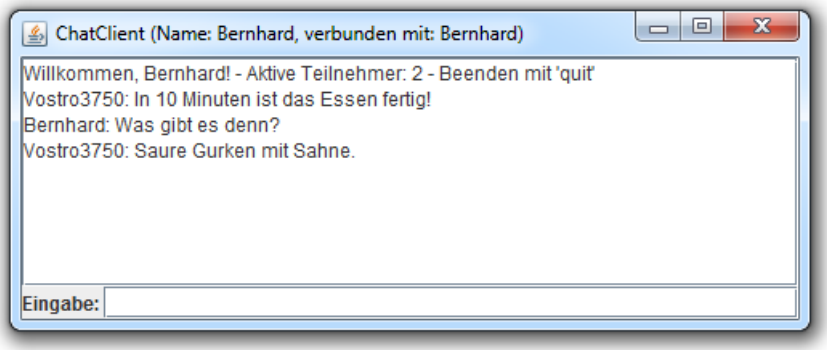
13.04.2012 23:36:07 Verbindung Nummer 1 gestartet
  Rechner: Bernhard.fritz.box IP: 192.168.178.29 Port: 59208
  Anzahl der aktiven Verbindungen: 1

13.04.2012 23:43:00 Verbindung Nummer 2 gestartet
  Rechner: Vostro3750.fritz.box IP: 192.168.178.25 Port: 52524
  Anzahl der aktiven Verbindungen: 2

13.04.2012 23:53:25 Verbindung Nummer 2 beendet
  Rechner: Vostro3750
  Anzahl der aktiven Verbindungen: 1

13.04.2012 23:58:55 Verbindung Nummer 1 beendet
  Rechner: Bernhard
  Anzahl der aktiven Verbindungen: 0
```

Erstellen Sie einen passenden Klienten, z.B.:



Hier erlaubt ein **JTextField**-Steuerelement das Verfassen eigener Beiträge, und die Gesprächsbeiträge erscheinen in einem **JTextArea**-Steuerelement.

18 Datenbankzugriff via JDBC

In diesem Kapitel soll ein erster Eindruck zur Verwendung von Datenbanken in Java-Anwendungen vermittelt werden. Für den Begriff *Datenbank* schlägt Ebner (2000, S. 21) folgende Definition vor:

> *Eine Datenbank ist eine Sammlung von nicht-redundanten Daten, die von mehreren Anwendungen benutzt werden kann.*

Redundanz würde sich z.B. in der Datensammlung eines Versandhauses schnell einstellen, wenn man für jede Bestellung einen Datensatz anlegen und dabei auch die Adresse des Bestellers einbeziehen würde. Sobald von einem Kunden mehrere Bestellungen vorlägen, wäre seine Adresse mehrfach vorhanden. Neben dem unsinnigen Erfassungsaufwand und der Platzverschwendung hat die Redundanz einen weiteren Nachteil: die Gefahr **inkonsistenter** Daten.

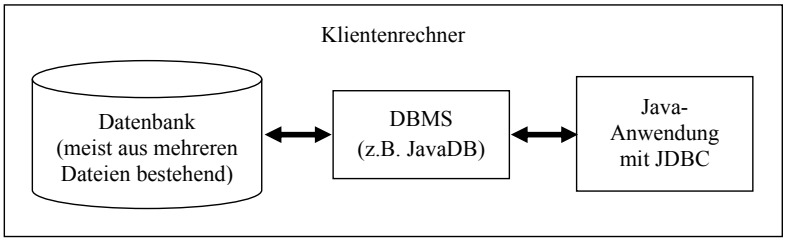
Mit dem zweiten Kriterium aus obiger Definition (*Benutzbarkeit durch mehrere Anwendungen*) ist in erster Linie gemeint, dass Anwendungsprogramme nicht direkt auf die Datenbestände zugreifen sollen, sondern nur über ein spezielles **Datenbankmanagementsystem** (**DBMS**). Diese Software ist für das konsistente, effiziente und sichere Speichern der Daten verantwortlich und ermöglicht simultane Zugriffe durch mehrere Anwendungsprogramme, sofern deren Benutzer über entsprechende Rechte verfügen. Bekannte Beispiele für diese Softwaregattung sind: DB2 von IBM, Informix, Java DB, Microsoft SQL-Server, MySQL, Oracle Database, SQLite, Sybase usw.

Im Java-API erlaubt die **JDBC**-Bibliothek (*Java Database Connectivity*) einen einheitlichen Zugriff auf alle DBMS-Produkte mit geeignetem Treiber, wobei es bei der Verfügbarkeit von JDBC-Treibern kaum Probleme gibt. Somit lassen sich vorhandene, von einem DBMS verwaltete Datenbestände problemlos nutzen.

Auch bei Datenbeständen, die voraussichtlich nur von einer einzigen Anwendung benutzt werden sollen, kann es sinnvoll (bequem und sicher) sein, Verwaltung und Abruf von Daten einem DBMS zu überlassen.

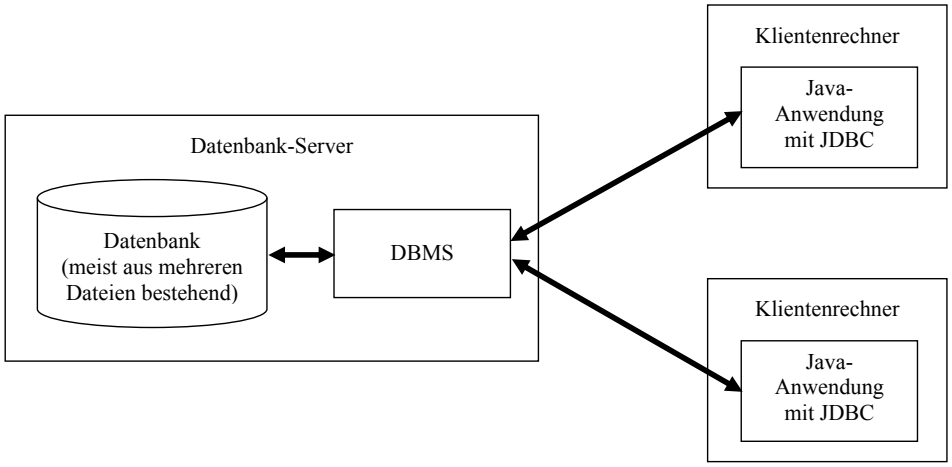
Man kann verschiedene Datenbankeinsatzszenarien unterscheiden, wobei sich aber für den Datenbankzugriff durch ein Java-Programm kaum Unterschiede ergeben:

- **Eingebettete Einzelbenutzerdatenbank**
  Anwendungsprogramm und DBMS laufen auf demselben Rechner und werden vom Benutzer als integrierte Lösung wahrgenommen.

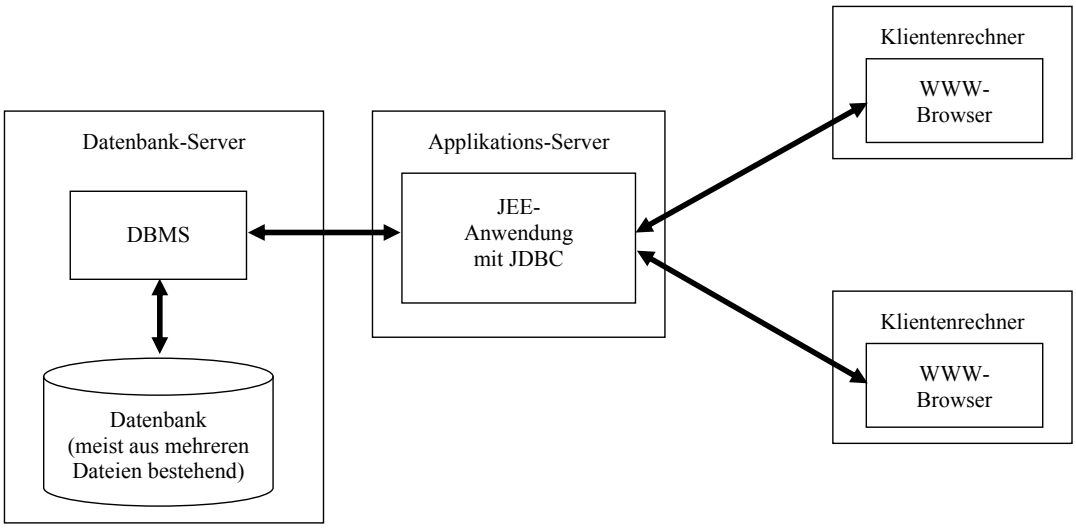


  In Java eignet sich für eingebettete Lösungen z.B. die Open Source - Datenbank *Apache Derby*, die seit der Version 6 im JDK unter dem Namen *Java DB* enthalten ist (siehe Abschnitt 18.3).

- **Zweischicht-Architektur mit Mehrbenutzerdatenbank im Client-Server - Betrieb**
  Das DBMS befindet sich mit den Datenbankdateien auf einem Server und bedient mehrere, über Netzwerkverbindungen zugreifende Anwendungsprogramme.



- **Dreischicht-Architektur mit Applikations- und Datenbankserver**
  Bei der im JEE-Umfeld bevorzugten Lösung mit Applikations- und Datenbankserver sind Geschäftslogik und Datenverwaltung getrennt.



18.1 Relationale Datenbanken

Heute arbeitet praktisch jedes DBMS mit der **relationalen Datenbankstruktur**, die sich gegenüber älteren Bauformen (z.B. hierarchische Datenbank, Netzwerk-Datenbank) weitgehend durchgesetzt hat und von der neueren objektorientierten Datenbankstruktur noch nicht ernsthaft bedrängt wird. Es sind zahlreiche relationale RDBMS-Produkte (relationale Datenbankmanagementsysteme) mit einem hohen Reifegrad verfügbar. Erfreulicherweise ist der Zugriff auf relationale Datenbanken über die Abfragesprache SQL (siehe Abschnitt 18.2) weitgehend standardisiert. Zudem werden viele RDBMS-Produkte von Entwicklungswerkzeugen (wie Eclipse, Netbeans) sehr gut unterstützt.

Allerdings ist es nicht optimal, dass ein objektorientiert denkender Java-Programmierer bei der Datenverwaltung mit traditionellen Konzepten arbeiten und dabei auch noch eine zusätzliche Programmiersprache (SQL) verwenden muss. Mittlerweile ist in Java der objektorientierte Zugriff auf relationale Datenbanken über Brückenlösungen möglich und bei professionellen Projekten weit verbreitet. Wir werden uns in Abschnitt 18.7 einen ersten Eindruck von diesem **objektrelationalen Mapping**) verschaffen und dabei die Open Source - Lösung **EclipseLink** verwenden.

18.1.1 Tabellen

Bei einer relationalen Datenbank sind die Daten in **Tabellen**[107] angeordnet, wobei die **Zeilen** auch als *Datensätze* (engl: *records*), *Tupel* oder *Fälle* und die **Spalten** auch als *Felder*, *Attribute*, *Merkmale* oder *Variablen* bezeichnet werden:

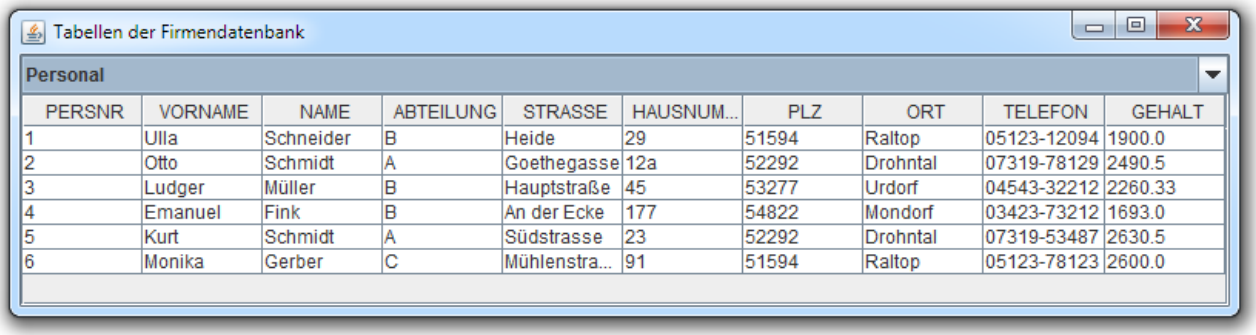
- Jede Tabelle enthält Zeilen eines bestimmten Typs (z.B. Kunden, Artikel, Lieferanten, Reklamationen). Welche Tabellen benötigt werden, hängt von Anwendungsbereich ab. Jede Zeile der Tabelle enthält die zu einem Fall verfügbaren Informationen.
- Jede Spalte (jedes Feld) enthält für alle Fälle die Werte zu einem Attribut. Alle Werte in einer Spalte besitzen denselben **Datentyp** (z.B. INT, DATE).
- Eine Tabelle besitzt in der Regel einen **Primärschlüssel** (engl.: *primary key*) mit folgenden Eigenschaften:
  - Jeder Datensatz besitzt einen eindeutigen Wert (**Eindeutigkeitsrestriktion**, engl.: *unique constraint*).
  - Jeder Datensatz *muss* einen gültigen Wert besitzen (**Null-Verbot**, engl.: *not null constraint*).

  Oft dient eine *einzelne* Spalte als Primärschlüssel; man kann aber auch *zusammengesetzte Schlüssel* verwenden, die auf *mehreren* Spalten basieren. Bei großen Datenbanken sind Primärschlüssel mit *numerischem* Datentyp aus Performanzgründen zu bevorzugen. Man kann mit einem RDBMS vereinbaren, die Werte einer Primärschlüsselspalte ausgehend von einem Startwert automatisch zu erhöhen (engl.: *auto increment*).
- Man kann auch für beliebige andere Spalten die eben für Primärschlüssel genannten Restriktionen (engl.: *constraints*) formulieren:
  - Eindeutigkeit der Werte
  - Verbot fehlender Werte
- Für einen Primärschlüssel ist ein **Index** vorhanden, welcher die Suche nach bestimmten Werten dank Sortierung beschleunigt. Zusätzlich können in einer Tabelle zu weiteren Spalten Indizes angelegt werden. Weil für Aufbau und Pflege der Indizes ein gewisser Aufwand erforderlich ist, sollte man sich auf die zur Beschleunigung von Suchanfragen erforderlichen Indizes beschränken.

Wir betrachten in diesem Kapitel mehrfach eine aus insgesamt vier Tabellen bestehende Beispieldatenbank, welche in einem Handwerkbetrieb für Ordnung sorgt und dazu u.a. eine Tabelle mit dem Personal der Firma enthält:

---

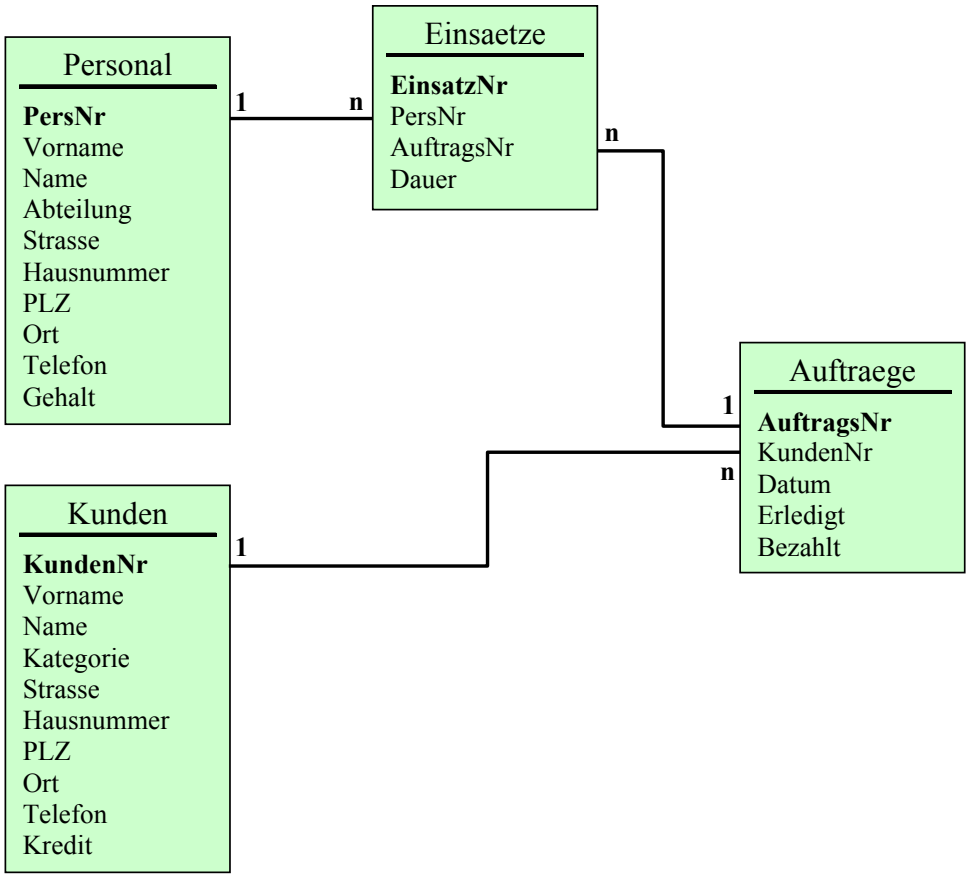
[107] In der Bezeichnung *relationale Datenbank* ist der erste Namensbestandteil im Sinn der Mathematik gemeint, wo man unter einer *Relation* eine Teilmenge des kartesischen Produkts aus mehreren Mengen versteht. Mit dieser etwas abstrakten Definition ist der im EDV-Alltag üblichere Begriff *Tabelle* durchaus konsistent: Jede von den *m* Variablen (Spalten) einer Tabelle steuert die Menge ihrer Ausprägungen bei. Ein Element des kartesischen Produkts dieser *m* Mengen ist ein *m*-Tupel mit *m* speziellen Variablenausprägungen, also eine Tabellenzeile. Eine Tabelle mit *n* Zeilen kann also in der Tat als Teilmenge des kartesischen Produkts (sprich: als Relation) aufgefasst werden. Bei einer mathematischen Relation sind (wie bei jeder Menge) alle Elemente verschieden. Bei den Tabellen eines relationalen Datenbankmanagementsystems verhindert in der Regel eine spezielle Variable mit Eindeutigkeitsforderung (der Primärschlüssel) das Auftreten von identischen Zeilen. In manchen Texten zur relationalen Datenbanktechnik wird unter einer *Relation* allerdings keine *Tabelle*, sondern eine *Beziehung* zwischen zwei Tabellen verstanden (siehe Abschnitt 18.1.2).



PERSNR	VORNAME	NAME	ABTEILUNG	STRASSE	HAUSNUM...	PLZ	ORT	TELEFON	GEHALT
1	Ulla	Schneider	B	Heide	29	51594	Raltop	05123-12094	1900.0
2	Otto	Schmidt	A	Goethegasse	12a	52292	Drohntal	07319-78129	2490.5
3	Ludger	Müller	B	Hauptstraße	45	53277	Urdorf	04543-32212	2260.33
4	Emanuel	Fink	B	An der Ecke	177	54822	Mondorf	03423-73212	1693.0
5	Kurt	Schmidt	A	Südstrasse	23	52292	Drohntal	07319-53487	2630.5
6	Monika	Gerber	C	Mühlenstra...	91	51594	Raltop	05123-78123	2600.0

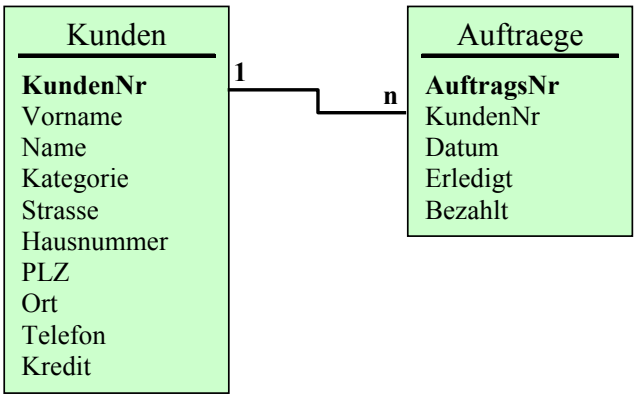
In Abschnitt 18.3.2 wird ein SQL-Programm vorgestellt, das die Datenbank definiert und füllt. Das zur Anzeige der Tabellen verwendete Java-Programm mit **JTable**-Steuerelement lernen Sie in Abschnitt 18.5.5 kennen.

In der folgenden Abbildung sind alle Tabellen der Beispieldatenbank mit den zugehörigen Feldern und den Primärschlüsseln (in fetter Schrift) zu sehen:



18.1.2 Beziehungen zwischen Tabellen

Zwischen zwei Tabellen (z.B. **Kunden** und **Auftraege**) kann über korrespondierende Felder mit bestimmten Eigenschaften (z.B. über die in beiden Tabellen vorhandenen Felder **KundenNr**) eine **Beziehung** hergestellt werden, wobei die so genannte **Master-Detail** – bzw. (1:n) – Beziehung besonders häufig benötigt wird. Im Beispiel sind einem Fall der **Kunden**-Tabelle mit einem bestimmten Wert beim Primärschlüsselfeld **KundenNr** (also einem bestimmten Kunden) alle Datensätze der **Auftraege**-Tabelle zugeordnet, die denselben Wert im Feld **KundenNr** besitzen (also alle Bestellungen dieses Kunden):



Folglich kann man z.B. beim Auflisten von Bestellungen beliebige Daten der jeweils betroffenen Kunden (z.B. Vorname, Name) einblenden, wobei das Prinzip der redundanzfreien Datenhaltung gewährleistet ist. Das durch Master-Detail - Beziehungen ermöglichte Zusammenführen (engl.: *joining*) von Daten aus verschiedenen Tabellen zu einem Abfrageergebnis wird in Abschnitt 18.2.4.3 näher erläutert.

Aus der Master-Tabelle wirkt der Primärschlüssel bei der Beziehung mit. Die zur Verknüpfung herangezogene Spalte der Details-Tabelle wird als **Fremdschlüssel** (engl.: **foreign key**) bezeichnet. Der Fremdschlüssel muss denselben Datentyp haben wie der zugehörige Primärschlüssel, aber nicht unbedingt denselben Namen.

In der Beispieldatenbank sind drei Master-Detail - Beziehungen vorhanden. Bei Betrachtung in umgekehrter Richtung wird daraus jeweils eine Detail-Master - bzw. (n:1) – Beziehung.

Aufgrund der im Datenbankentwurf vereinbarten Beziehungen sorgt ein DBMS für **referentielle Integrität**:

- In einer Details-Tabelle werden bei einem Fremdschlüssel nur solche Werte akzeptiert, die im Primärschlüssel der verknüpften Master-Tabelle vorhanden sind (**Fremdschlüssel-Restriktion**, engl.: *foreign key constraint*).
- Eine Zeile der Master-Tabelle, auf die sich Zeilen einer Details-Tabelle beziehen, kann nicht gelöscht werden.

Es ist offenbar keine triviale Aufgabe, ein gutes **Datenbankschema** zu definieren:

- Welche Tabellen werden benötigt?
- Welche Spalten soll eine Tabelle enthalten (Inhalt, Datentyp, Restriktionen)?
- Welche Beziehungen sind zwischen den Tabellen zu definieren?

In der Spezialliteratur spricht man von der **Datenbanknormalisierung**.

Bei einer Betrachtung des neu erworbenen Wissens über relationale Datenbanken mit ihren Tabellen und Beziehungen aus objektorientierter Perspektive zeichnet sich ab, dass Tabellen eine gewisse Verwandtschaft mit Container-Objekten besitzen, die eine Liste von Objekten aus einer bestimmten Klasse enthalten. Man kann sich vorstellten, in der objektorientierten Welt die Kundentabelle der Beispieldatenbank als ein Container-Objekt vom Typ `Kunden` zu repräsentieren, das eine Liste von Objekten der Klasse `Kunde` mit Instanzvariablen wie `Name`, `Kredit` usw. enthält.

18.1.3 Datensicherheit und -integrität

Funktionstüchtige Datenbanken sind oft von essentieller Bedeutung für den Bestand von Organisationen oder Unternehmen. Dementsprechend sind aufwändige Maßnahmen für die Sicherheit der Daten erforderlich. Dazu gehören die Verwaltung von Benutzerkonten und die Vergabe fein granulierter Rechte, oft organisiert in so genannten **Rollen**, z.B.:

- **Serveradministrator**
  Er ist für das gesamte DBMS zuständig und darf z.B. neue Datenbanken anlegen.
- **Datenbankadministrator**
  Er ist für eine einzelne Datenbank zuständig und darf z.B. neue Tabellen definieren.
- **Datenbankanwender**
  Er darf eine einzelne Datenbank verwenden und hat z.B. Lese- und/oder Schreibrechte für bestimmte Tabellen(spalten).

Ist bei einer kleinen Lösung das DBMS praktisch als Bestandteil einer einzelnen lokalen Anwendung zu betrachten (z.B. die Java DB im eingebetteten Modus, siehe Abschnitt 18.3), dann wird meist auf eine Verwaltung von Benutzerrechten verzichtet.

Um Inkonsistenzen durch gestörte Datenbankzugriffe zu verhindern, muss ein modernes DBMS **Transaktionen** unterstützen. So bezeichnet man zusammengehörige Datenbankmodifikationen, die nur vollständig oder überhaupt nicht ausgeführt werden dürfen. Soll z.B. durch ein firmeninternes Abrechnungssystem ein Betrag von einem Konto auf ein anderes übertragen werden, darf es nicht passieren, dass der Betrag vom Konto des Auftraggebers verschwindet, aber aufgrund einer Betriebsstörung nicht auf dem Konto des Begünstigten ankommt.

18.2 SQL

18.2.1 Überblick

Ein RDBMS interagiert mit anderen Programmen über die **Structured Query Language** (SQL). Wie der Name *SQL* nahe legt, ist die *Abfrage* von Informationen klarer Einsatzschwerpunkt, doch deckt der Sprachumfang alle Aufgaben der Datenverwaltung ab, wobei sich folgende Funktionsbereiche unterscheiden lassen:

- **DDL** (**D**ata **D**efinition **L**anguage)
  Mit den DDL-Befehlen (z.B. CREATE TABLE, CREATE INDEX, DROP TABLE) kann man das Schema einer Datenbank definieren oder verändern.
- **Abfragen per SELECT**
  Der außerordentlich wichtige SELECT- Befehl ermöglicht das Abrufen, Auswählen, Suchen und Auswerten von Datensätzen. Als Abfrageergebnis erhält man eine Menge von Datenzeilen (engl. *rowset*), die sich strukturell von den Zeilen der Datenbanktabellen unterscheiden können, z.B. wenn Daten aus mehreren Tabellen zusammenführt werden. Oft spricht man beim **SELECT**-Befehl von einer *Auswahlabfrage* im Unterschied zu den anschließend behandelten *Aktionsabfragen*.
- **DML** (**D**ata **M**anipulation **L**anguage)
  Mit den DML-Befehlen werden Datenbanktabellen verändert:
  - **INSERT**
    Hängt einen Datensatz am Ende einer Tabelle an
  - **DELETE**
    Löscht einen Datensatz
  - **UPDATE**
    Ändert die Werte von Fällen

  Man spricht hier auch von *Aktionsabfragen*.

Während in einer JDBC - Anwendung „eigenhändig“ formulierte SELECT-Kommandos nicht unüblich sind, werden zugehörige INSERT-, DELETE- und UPDATE-Kommandos oft durch Methoden von Bibliotheksklassen im Hintergrund erstellt und ausgeführt (vgl. Abschnitt 18.5.3).

Im Verlauf der SQL-Entwicklung wurden verschiedene ISO-Standards definiert (z.B. SQL-92, SQL-99, SQL-2003, SQL-2008), wobei speziell die neueren Standards nicht von allen Datenbankprogrammen voll unterstützt werden. Außerdem sind verschiedentlich inkompatible Erweiterungen entstanden, sodass die SQL-Dialekte von verschiedenen Datenbankprogramme nicht vollständig kompatibel sind.

Im Unterschied zu Java ist in SQL die Groß/Klein-Schreibung bei Schlüsselwörtern und Bezeichnern (für Tabellen, Spalten etc.) irrelevant Es hat sich aber eingebürgert, die Schlüsselwörter groß zu schreiben.

Zum Terminieren von Kommandos dient in SQL wie in Java das Semikolon. Wird ein SQL-Kommando per Java-Programm an das DBMS gesandt, darf allerdings *kein* Semikolon am Ende stehen (siehe Abschnitt 18.5.2).

Über die wichtigsten SQL-Datentypen und ihre Java-Entsprechungen informieren z.B. Hostmann & Cornell (2002, S. 285). Wir kommen in unseren Beispielen mit den folgenden Typen aus:

Typ	**Inhalt**	**Java-Entsprechung**
CHAR(*n*)	Zeichenfolge mit exakt *n* Zeichen, ggf. am rechten Rand mit Leerzeichen aufgefüllt	**String**
VARCHAR(*n*)	Zeichenfolge mit variabler Länge mit maximal *n* Zeichen	**String**
INT, **INTEGER**	Ganzzahl mit 4 Bytes Speicherplatz und Werten von -2147483648 bis 2147483647	**int**
DOUBLE	Rationale Zahl mit 8 Bytes Speicherplatz, ca. 15 signifikanten Dezimalstellen und Werten von $-1{,}7976931348623157 \cdot 10^{308}$ bis $1{,}7976931348623157 \cdot 10^{308}$	**double**
DATE	Datum	**java.sql.date**

Bei der anschließenden SQL-Beschreibung beschränken wir uns weitgehend auf die in Manuskriptbeispielen verwendeten Sprachbestandteile.

18.2.2 Datendefinition

18.2.2.1 CREATE DATABASE

Eine neue Datenbank erzeugt man bei vielen SQL-Implementierungen mit der Anweisung **CREATE DATABASE**, z.B.:

```
CREATE DATABASE IF NOT EXISTS Firma;
USE Firma;
```

Hier wird die Datenbank **Firma** erzeugt, falls noch keine Datenbank mit diesem Namen existiert.

Aufgrund des **USE**-Kommandos weiß das DBMS, dass sich spätere Befehle auf die Datenbank `Firma` beziehen, so dass den Namen von Tabellen kein Datenbankname vorangestellt werden muss.

Beim RDBMS Java DB, das seit der Version 6 im JDK enthalten ist (siehe Abschnitt 18.3), wird das **CONNECT**-Kommando samt Verbindungszeichenfolge benötigt, um eine Datenbank zu erstellen oder die Verbindung mit einer vorhandenen Datenbank herzustellen, z.B.:

```
CONNECT 'jdbc:derby:Firma;create=true';
```

Die **CREATE**-Klausel erzeugt bei bereits vorhandener Datenbank eine Warnung, die ignoriert werden kann.

18.2.2.2 CREATE TABLE

Mit **CREATE TABLE** erzeugt und definiert man eine neue Datenbanktabelle, z.B.:

```
CREATE TABLE Kunden (
  KundenNr INT GENERATED ALWAYS AS IDENTITY (START WITH 1,INCREMENT BY 1),
  Vorname VARCHAR (25) NOT NULL,
  Name VARCHAR (50) NOT NULL,
  Kategorie INT,
  Strasse VARCHAR (40) NOT NULL,
  Hausnummer VARCHAR (5) NOT NULL,
  PLZ CHAR (5) NOT NULL,
  Ort VARCHAR (40) NOT NULL,
  Telefon VARCHAR(20) NOT NULL,
  Kredit DOUBLE NOT NULL DEFAULT 0,
  PRIMARY KEY (KundenNr)
);
```

Hier wird die Tabelle `Kunden` mit diversen Spalten unterschiedlichen Datentyps angelegt. Mit dem Attribut **NOT NULL** wird für eine Spalte festgelegt, dass fehlende Werte verboten sind. Mit der **PRIMARY**-Klausel wählt man eine Spalte als Primärschlüssel aus. Im Beispiel wird bei der betroffenen Spalte `KundenNr` über die Klausel **GENERATED ALWAYS AS IDENTITY** dafür gesorgt, dass neue Zeilen automatisch fortlaufende und eindeutige Werte erhalten, wobei eine explizite Wertzuweisung (z.B. per **INSERT**) vom RDBMS abgewiesen wird. Folglich ist das Attribut **NOT NULL** hier überflüssig. Es ist allerdings erlaubt und in praktisch allen veröffentlichten Beispielen anzutreffen. Nicht auszuschließen ist, dass ein fehlerhaftes RDBMS darauf besteht.

Ein per **DEFAULT**-Klausel für eine Spalte festgelegter Wert wird z.B. dann verwendet, wenn beim Einfügen einer neuen Tabellenzeile per **INSERT**-Kommando (siehe Abschnitt 18.2.3.1) diese Spalte unversorgt bleibt.

In der `Einsaetze`-Tabelle der Beispieldatenbank kann ein Mitarbeiter ebenso wie ein Auftrag an mehreren Zeilen beteiligt sein. Folglich werden die `Einsaetze`-Spalten `PersNr` und `AuftragsNr` als Fremdschlüssel (engl. *foreign key*) mit Referenz zur jeweils zugehörigen Spalte in der `Personal`- bzw. `Auftraege`-Tabelle vereinbart:

```
CREATE TABLE Einsaetze (
 EinsatzNr INT
  GENERATED ALWAYS AS IDENTITY (START WITH 1, INCREMENT BY 1),
 PersNr INT NOT NULL,
 AuftragsNr INT NOT NULL,
 Dauer DOUBLE NOT NULL,
 PRIMARY KEY (EinsatzNr),
 FOREIGN KEY (PersNr) REFERENCES Personal (PersNr),
 FOREIGN KEY (AuftragsNr) REFERENCES Auftraege (AuftragsNr)
);
```

Aufgrund dieser Vereinbarung kann z.B. kein Mitarbeiter, der bei einem Einsatz beteiligt ist, aus der `Personal`-Tabelle gelöscht werden.

18.2.2.3 DROP

Per **DROP** lassen sich einzelne Tabellen oder komplette Datenbanken entfernen, z.B.:

- `DROP DATABASE IF EXISTS Firma;`
  Hier wird die komplette Datenbank `Firma` mit allen zugehörigen Dateien gelöscht. Mit der Klausel **IF EXISTS** wird eine Fehlermeldung bei nicht existenter Datenbank verhindert.
- ```
  USE Firma;
  DROP TABLE IF EXISTS Personal;
  ```
  Hier wird die Tabelle `Personal` der Datenbank `Firma` gelöscht. Mit der Klausel **IF EXISTS** wird eine Fehlermeldung bei nicht existenter Tabelle verhindert.
  ```

18.2.3 Datenmanipulation

18.2.3.1 INSERT

Mit dem **INSERT**-Kommando trägt man eine neue Zeile in eine Tabelle ein, wobei zwei korrespondierende Listen mit Feldnamen und typkompatiblen Werten anzugeben sind, z.B.:

```
INSERT INTO Einsaetze (PersNr, AuftragsNr, Dauer) VALUES(1, 2, 6.5);
```

Beim Einfügen neuer Tabellenzeilen erhalten Spalten ohne explizite Versorgung den per **DEFAULT**-Schlüsselwort definierten Voreinstellungswert. Soll ein Wert explizit fehlen, ist das Schlüsselwort **NULL** anzugeben, was bei Spalten mit der Restriktion **NOT NULL** allerdings verboten ist. Ist für eine Spalte das automatische Generieren des Wertes eingestellt (z.B. beim Primärschlüssel `EinsatzNr`), ist eine explizite Wertangabe überflüssig, unwirksam und eventuell Anlass für eine Fehlermeldung.

Um mit einem **INSERT**-Kommando *mehrere* Zeilen anzulegen, lässt man entsprechend viele Wertelisten durch Kommata getrennt aufeinander folgen, z.B.:

```
INSERT INTO Einsaetze (PersNr, AuftragsNr, Dauer)
  VALUES (1, 2, 6.5), (4, 2, 4), (2, 1, 7);
```

Zeichenfolgen werden in SQL durch *einfache* Hochkommata begrenzt, z.B.:

```
INSERT INTO Kunden (Vorname, Name, Kategorie, Strasse, Hausnummer, PLZ, Ort,
  Telefon, Kredit) VALUES ('Ilse', 'Schulz', NULL, 'Oberer Waldweg', '25',
  '51434', 'Schönstadt', '062112-45398', 5000.00);
```

Um ein Hochkomma zum Bestandteil einer Zeichenfolge zu machen, verdoppelt man es, z.B.:

```
'Ottos''s Lampe'
```

18.2.3.2 DELETE

Mit dem **DELETE**-Kommando löscht man Zeilen aus einer Tabelle, z.B.:

```
DELETE FROM Einsaetze WHERE PersNr = 1;
```

Hier werden alle Zeilen mit der `PersNr` 1 aus der Tabelle `Einsaetze` entfernt.

Anschließend könnte übrigens der betroffene Mitarbeiter trotz der oben beschriebenen Fremdschlüssel-Restriktion auch aus der `Personal`-Tabelle gelöscht werden:

```
DELETE FROM Personal WHERE PersNr = 1;
```

Mit der **WHERE**-Klausel werden wir uns in Abschnitt 18.2.4.2 beschäftigen.

18.2.3.3 UPDATE

Mit dem **UPDATE**-Kommando verändert man die Werte bestimmter Spalten, wobei der Effekt meist per **WHERE**-Klausel (siehe Abschnitt 18.2.4.2) auf bestimmte Zeilen eingeschränkt wird, z.B.:

```
UPDATE Personal SET Gehalt = 1800.50 WHERE PersNr = 4;
```

Hier wird das Gehalt des Mitarbeiters mit der Personalnummer 4 erhöht.

In der **SET**-Klausel dürfen auch *mehrere* Wertezuweisungen (Name-Wert - Paare) durch Kommata getrennt aufeinander folgen.

18.2.4 Abfragen per SELECT-Anweisung

Die folgende Syntaxbeschreibung zum besonders wichtigen **SELECT**-Befehl beschränkt sich auf die anschließend besprochenen Ausdrucksmittel:

```
SELECT  {* | spaltenliste}
   FROM tabellen
   [WHERE log_ausdruck]
   [ORDER BY sortierkriterium [{ASC | DESC}] [, sortierkriterium [{ASC | DESC}] ...]]
   [GROUP BY gruppierungsspalte [, gruppierungsspalte ...]] ;
```

Hier werden spezielle Beschreibungstechniken verwendet, die aus nahe liegenden Gründen bei Java-Code nicht verwendbar wären:

- Eckige Klammern begrenzen optionale Elemente.
- Zwischen geschweiften Klammern und durch senkrechte Striche getrennt stehen Optionen, von denen genau eine zu wählen ist. Bei einer optionalen Auswahlliste ist der Voreinstellungswert unterstrichen.
- Durch drei aufeinander folgende Punkte wird zum Ausdruck gebracht, dass eine Liste beliebig verlängert werden darf.

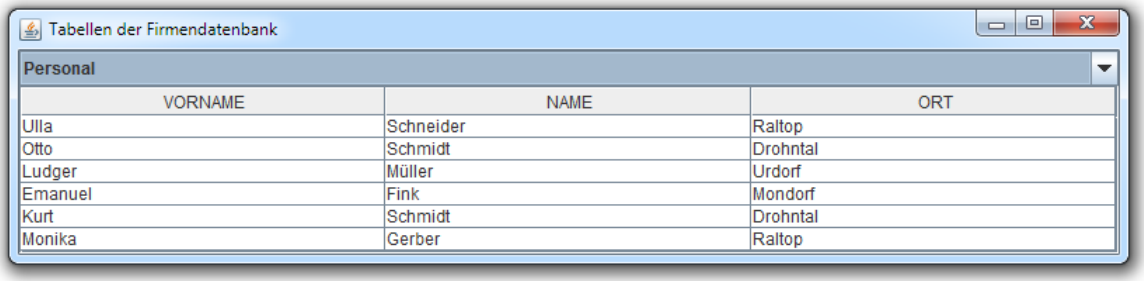
18.2.4.1 Spalten einer Tabelle abrufen

Will man im **SELECT**-Befehl *alle* Spalten einer Tabelle abrufen, ist ein Stern zu setzen (*). Mehrere einzelne Spalten sind jeweils durch ein Komma zu trennen.

In der **FROM**-Klausel wird die Tabelle genannt, aus der die abgerufenen Spalten stammen sollen. Beispiel:

```
SELECT Vorname, Name, Ort FROM Personal;
```

Ergebnis:



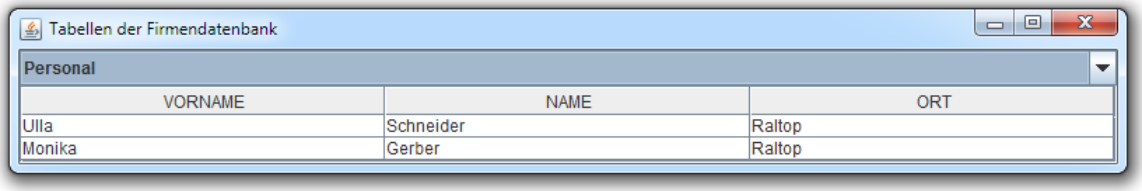
VORNAME	NAME	ORT
Ulla	Schneider	Raltop
Otto	Schmidt	Drohntal
Ludger	Müller	Urdorf
Emanuel	Fink	Mondorf
Kurt	Schmidt	Drohntal
Monika	Gerber	Raltop

18.2.4.2 Zeilen auswählen über die WHERE-Klausel

Mit der **WHERE**-Klausel der **SELECT**-Anweisung kann über einen logischen Ausdruck eine Teilmenge von Zeilen ausgewählt werden, z.B.:

```
SELECT Vorname, Name, Ort FROM Personal WHERE Ort='Raltop';
```

Ergebnis:



VORNAME	NAME	ORT
Ulla	Schneider	Raltop
Monika	Gerber	Raltop

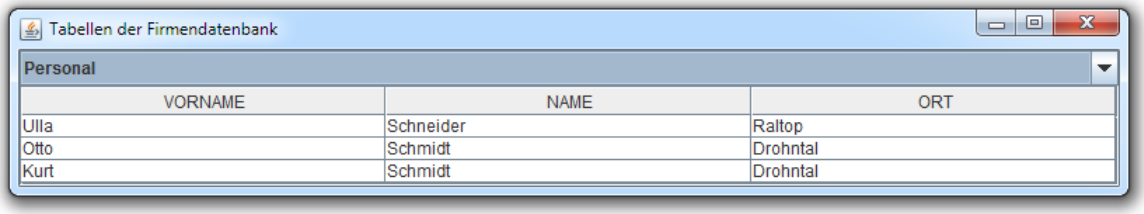
Für die Suche nach einem Zeichenfolgenmuster bietet SQL den Vergleichsoperator **LIKE**, wobei folgende Jokerzeichen zur Verfügung stehen:

% ersetzt null, ein oder mehrere beliebige Zeichen
_ ersetzt genau ein beliebiges Zeichen

Der folgende Befehl spürt alle Firmenangehörigen in der Beispieldatenbank auf, deren Nachname mit „S“ beginnt:

```
SELECT Vorname, Name, Ort FROM Personal WHERE Name LIKE 'S%';
```

Ergebnis:

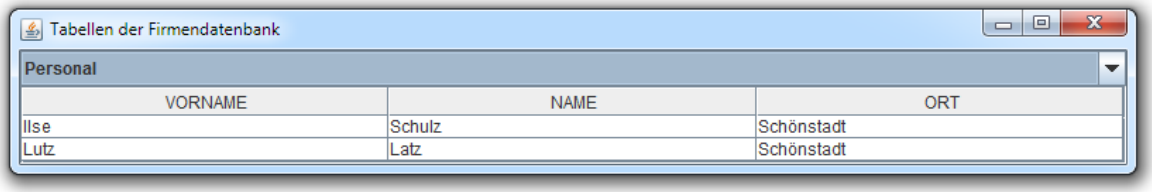


VORNAME	NAME	ORT
Ulla	Schneider	Raltop
Otto	Schmidt	Drohntal
Kurt	Schmidt	Drohntal

Leere Feldinhalte lassen sich mit dem Schlüsselwort **NULL** ansprechen, z.B.:

```
SELECT Vorname, Name, Ort FROM Kunden WHERE Kategorie IS NULL;
SELECT Vorname, Name, Ort FROM Kunden WHERE Kategorie IS NOT NULL;
```

Das Ergebnis der ersten Abfrage für die Beispieldatenbank ist:

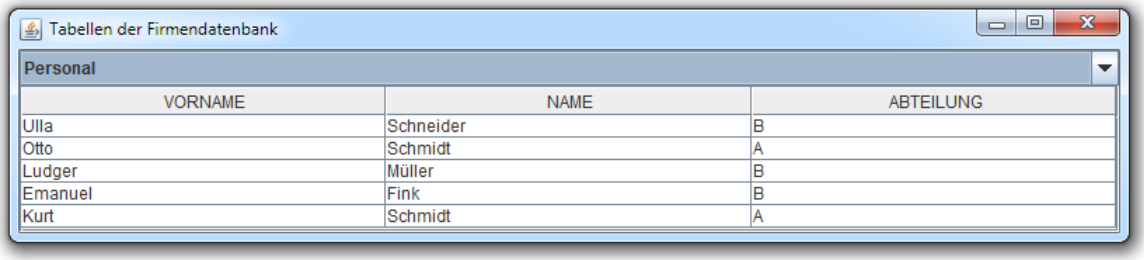


VORNAME	NAME	ORT
Ilse	Schulz	Schönstadt
Lutz	Latz	Schönstadt

Mit dem Vergleichsoperator **IN** stellt man für einen Ausdruck fest, ob seine aktuelle Ausprägung in einer Liste von Trefferwerten auftritt, z.B.:

```
SELECT Vorname, Name, Abteilung FROM Personal WHERE Abteilung IN ('A', 'B');
```

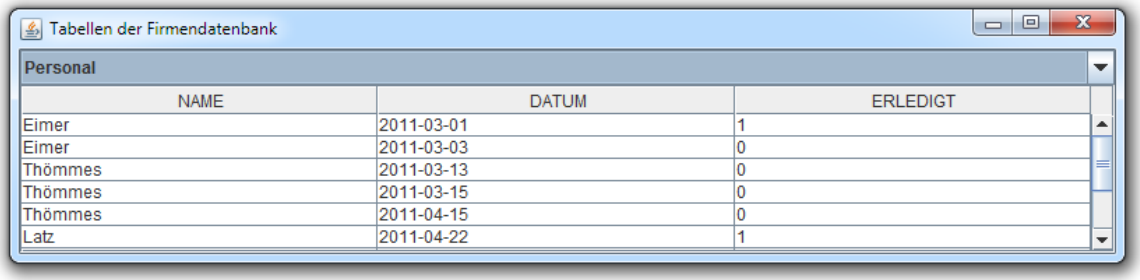
Ergebnis:



VORNAME	NAME	ABTEILUNG
Ulla	Schneider	B
Otto	Schmidt	A
Ludger	Müller	B
Emanuel	Fink	B
Kurt	Schmidt	A

18.2.4.3 Daten aus mehreren Tabellen zusammenführen

Für zwei Tabellen, die zueinander in einer Detail-Master – Beziehung stehen (vgl. Abschnitt 18.1.2), benötigt man oft eine Abfrageergebnistabelle, die alle Detail-Zeilen mit zusätzlichen Master-Daten enthält. Im folgenden Beispiel wird zu jeder Zeile aus der Detail-Tabelle `Auftraege` das Merkmal `Name` aus der Master-Tabelle `Kunden` ergänzt:



Das Ergebnis lässt sich dieses Ergebnis folgendermaßen anfordern:

```
SELECT Kunden.Name, Auftraege.Datum, Auftraege.Erledigt
  FROM Kunden, Auftraege WHERE Kunden.KundenNr = Auftraege.KundenNr;
```

Weil die **FROM**-Klausel mehrere Tabellen enthält, wird den Namen der abgerufenen Spalten der Tabellenname vorangestellt. Der bei Beteiligung mehrerer Tabellen anfallende Schreibaufwand lässt sich durch Abkürzungen begrenzen:

```
SELECT K.Name, A.Datum, A.Erledigt FROM Kunden K, Auftraege A
  WHERE K.KundenNr = A.KundenNr;
```

Ohne **WHERE**-Klausel werden die beiden Tabellen nach einem zwar systematischen, aber wohl nur selten sinnvollen Verfahren zusammengeführt: Jeder Fall der ersten Tabelle wird mit jedem Fall der zweiten Tabelle kombiniert. Obige **WHERE**-Klausel legt fest, dass aus einer Zeile der Tabelle `Kunden` und einer Zeile der Tabelle **Auftraege** nur dann eine Zeile der Ergebnistabelle entstehen soll, wenn beide Zeilen im Feld `KundenNr` denselben Wert haben.

In SQL-92 erreicht man dasselbe Ergebnis mit einer **INNER JOIN** - Klausel:

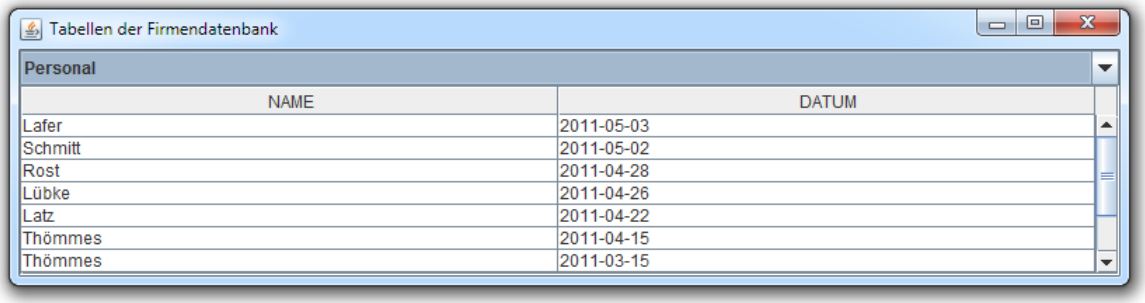
```
SELECT Kunden.Name, Auftraege.Datum, Auftraege.Erledigt
  FROM Kunden INNER JOIN Auftraege
  ON Kunden.KundenNr = Auftraege.KundenNr;
```

18.2.4.4 Abfrageergebnis sortieren

Mit der Klausel **ORDER BY** lässt sich das Abfrageergebnis (auf oder absteigend) sortieren, wobei Spalten oder numerische Ausdrücke als Sortierkriterien in Frage kommen, z.B.:

```
SELECT K.Name, A.Datum FROM Kunden K, Auftraege A
  WHERE K.KundenNr = A.KundenNr ORDER BY A.Datum DESC;
```

Ergebnis:

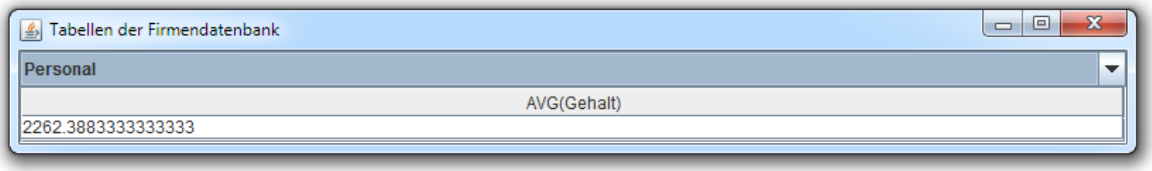


18.2.4.5 Auswertungsfunktionen

Bei den Spaltendefinitionen einer **SELECT**-Anweisung stehen auch einige Auswertungsfunktionen zur Verfügung. Im folgenden Beispiel wird das mittlere Gehalt aller Mitarbeiter(innen) festgestellt:

```
SELECT AVG(Gehalt) FROM Personal;
```

Ergebnis:



Wichtige SQL-Auswertungsfunktionen:

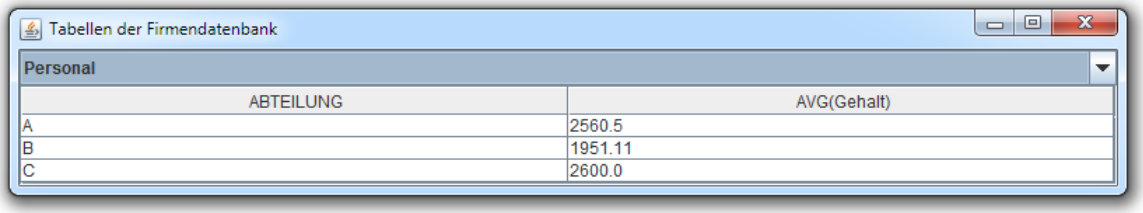
Funktion	Beschreibung
COUNT()	Zählt die Zeilen
SUM()	Summiert über eine Spalte
AVG()	Mittelt über eine Spalte
MIN()	Ermittelt das Minimum einer Spalte
MAX()	Ermittelt das Maximum einer Spalte

18.2.4.6 Daten aggregieren

Über die Klausel **GROUP BY** kann man Untergruppen bilden, für die sich dann obige Funktionen auswerten lassen. In unserem Beispiel kann man etwa über die Variable `Abteilung` aggregieren, um jeweils das mittlere Gehalt festzustellen:

```
SELECT Abteilung, AVG(Gehalt) FROM Personal GROUP BY Abteilung;
```

Ergebnis:



18.3 Java DB

Seit der Version 6 enthält das JDK unter dem Namen **Java DB** das Open Source - RDBMS **Derby** aus dem **Apache**-Projekt, das hier seine Heimatseite hat: [108]

http://db.apache.org/derby/

Das RDBMS ist komplett in Java realisiert und in jeder JVM ab Version 1.4.2 ablauffähig. Es bietet eine gute Implementation der SQL-Standards (SQL92 und SQL99 vollständig, SQL2003, SQL2006 und SQL2008 teilweise) und enthält eine native JDBC-Schnittstelle.[109] Auch Transaktionen und gespeicherte Prozeduren werden unterstützt. Auf den Webseiten

http://db.apache.org/derby/manuals/index.html#docs_10.8

und

http://docs.oracle.com/javadb/index.html

ist eine umfangreiche Dokumentation zu Derby (alias: Java DB) zu finden.

---

[108] Die große Anzahl der Vorbesitzer (Cloudscape, Informix, IBM) lässt (anders als bei Gebrauchtwagen) nicht auf eine schlechte Qualität schließen.

[109] Die Angaben zu den SQL-Standards stammen von: http://de.wikipedia.org/wiki/Apache_Derby

Wir verwenden die Java DB meist im so genannten **eingebetteten Modus** (engl.: *embedded mode*), wobei das RDBMS nur von einer einzigen Anwendung genutzt und mit dieser gemeinsam in derselben JVM ausgeführt wird. Die Java DB taugt auch für den Client-Server - Betrieb, wobei das RDBMS zahlreiche Klienten versorgt, die auf beliebigen Systemen installiert sind und in der Regel über Netzwerkverbindungen zugreifen.

Weil die Java DB in der Java Runtime Environment (JRE) *nicht* enthalten ist, müssen die zugehörigen Klassen (in der Archivdatei **derby.jar** mit der bescheidenen Größe von ca. 2,5 MB) zusammen mit einer eigenen Anwendung ausgeliefert werden. Im Vergleich zu anderen Datenbanksystemen ist die Java DB sehr Ressourcen-schonend und damit speziell für einbebettete Lösungen ideal geeignet.

Wir werden im Manuskript an Stelle der leicht sperrigen Bezeichnung *Java DB* oft den angenehmeren Namen *Derby* verwenden.

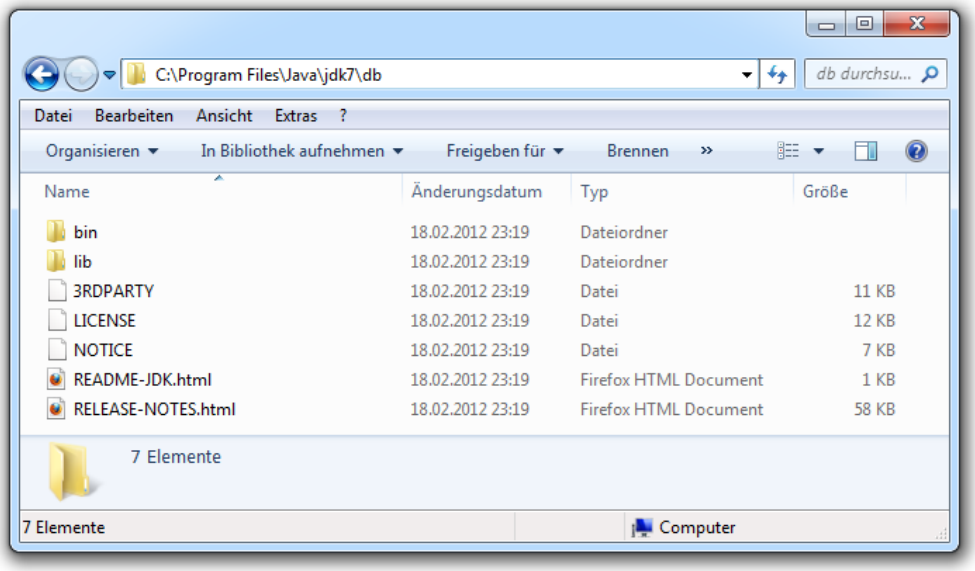
Während sich Derby speziell als eingebettete Datenbank im Rahmen lokaler Programme empfiehlt, ist bei großen Lösungen im Rahmen der Java Enterprise Edition (JEE) das in Abschnitt 18.6 vorgestellte, ebenfalls als Open Source verfügbare Datenbanksystem MySQL zu bevorzugen.[110]

18.3.1 Installation

Bei einer **JDK**-7 - Installation (vgl. Abschnitt 2.1) landet auch die Java DB (in der Version 10.8.1.2) auf der Festplatte, wobei unter Windows per Voreinstellung der Installationsordner

%ProgramFiles%\Java\jdk7\db

Verwendung findet, z.B.:

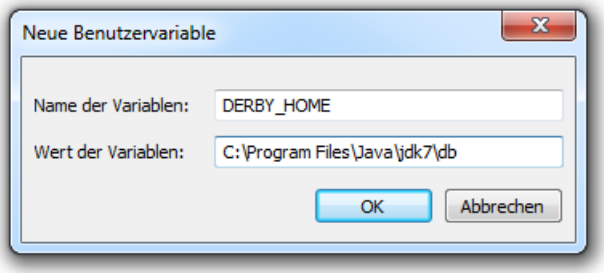


Wer einen alternativen Installationsort bevorzugt, kann die Datenbank allerdings unbesorgt dorthin verschieben.

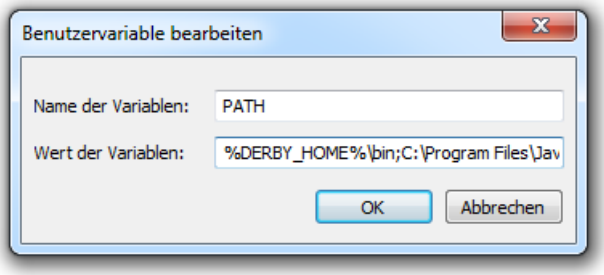
Auf der Derby-Webseite (http://db.apache.org/derby/) ist die Software auch als ZIP-Archiv verfügbar, das lediglich ausgepackt werden muss.

Um bequem mit Derby arbeiten zu können, sollte die Umgebungsvariable DERBY_HOME definiert

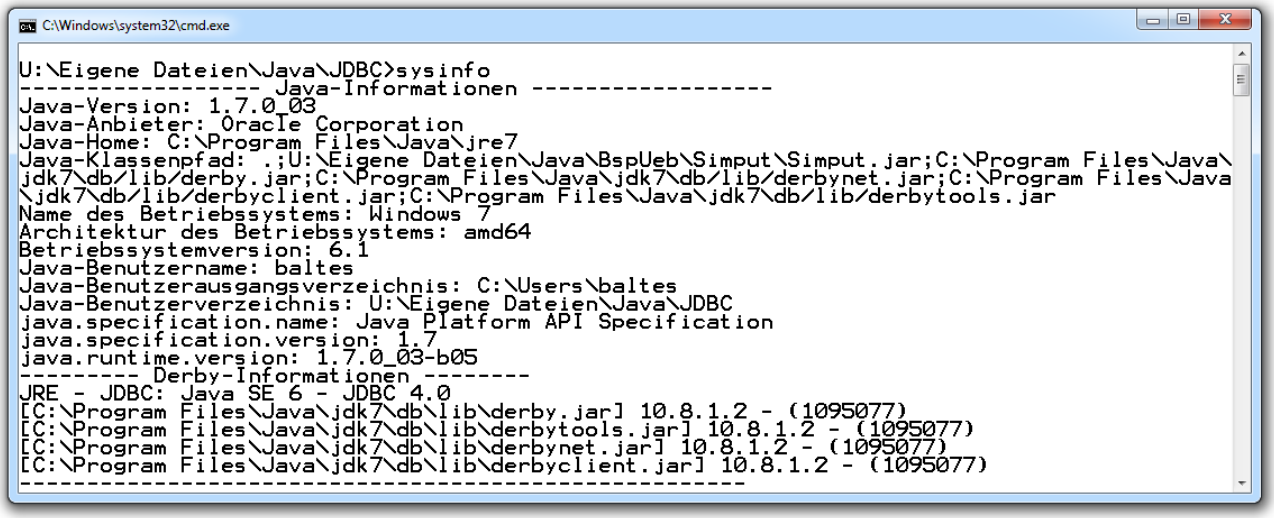
[110] Der MySQL-Hersteller MySQL AB wurde 2008 von der Firma Sun übernommen, was für zunehmende Unterstützung von MySQL im Java-Umfeld spricht. Allerdings ist die Firma Sun mittlerweile ihrerseits vom Datenbankanbieter Oracle übernommen worden, was Spekulationen über die Zukunft von MySQL erschwert.



und das **bin**-Unterverzeichnis der Derby-Installation in den Suchpfad für Programme aufgenommen werden, z.B.:

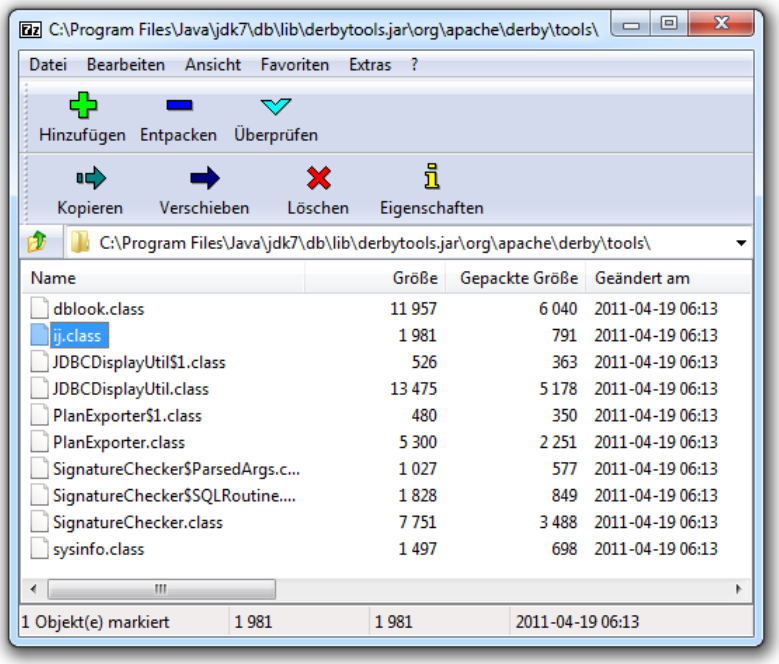


Von der erfolgreichen Installation kann man sich z.B. durch einen Aufruf des Derby-Werkzeugs **sysinfo** überzeugen:



18.3.2 Datenbanken mit dem Konsolen-Programm ij anlegen

Derby bringt das Konsolenprogramm **ij** mit, das eine direkte Interaktion mit dem DBMS erlaubt. Bei einer Analyse der Batch-Dateien **ij.bat** und **derby_common.bat** im **bin**-Unterordner der Derby-Installation und der Paketdatei **derbytools.jar** im **lib**-Unterordner stellt sich heraus, dass ein Java-Konsolenprogramm am Werk ist, wobei der Klassenname **ij.class** abweichend von unserer Benennungskonvention *kein* geschrieben ist:

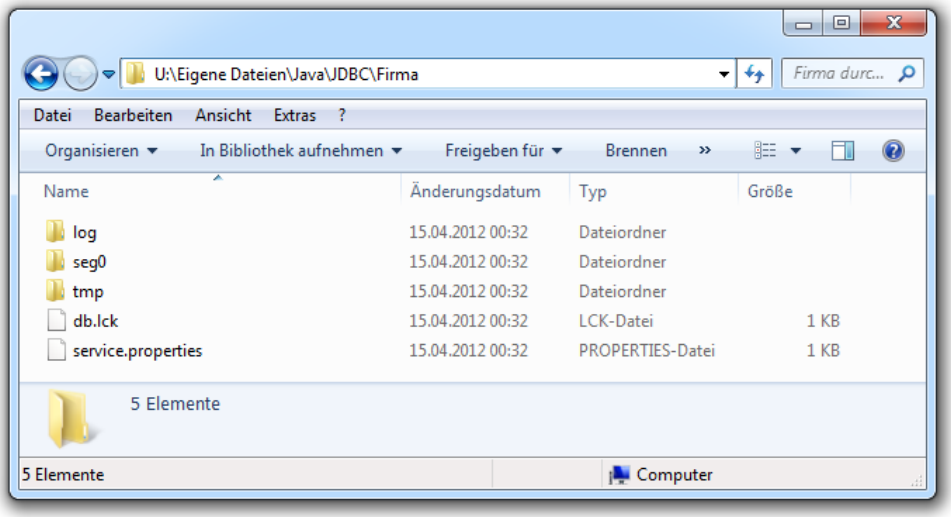


Wir verwenden das Werkzeug, um die Abschnitt 18.1 beschriebene Datenbank mit dem Derby-Kommando **connect** und einer passenden Verbindungszeichenfolge zu erstellen:

```
connect 'jdbc:derby:Firma;create=true';
```

Aufgrund der obigen Vorbereitungen lässt sich das Verwaltungswerkzeug in einem Konsolenfenster starten und dann kommandieren:

Es entsteht im aktuellen Verzeichnis ein Unterordner mit dem Namen der Datenbank (hier: **Firma**):



Generell entstehen neue Datenbanken im Derby - Systemverzeichnis, und das aktuelle Verzeichnis übernimmt diese Rolle, wenn beim Derby-Start kein Systemverzeichnis explizit festgelegt wird.

Weil im **connect**-Kommando keine Authentifizierung über Name und Passwort vereinbart wurde, kann die Datenbank uneingeschränkt verwendet werden, sofern das Betriebssystem die Dateizugriffe erlaubt.

Mit dem Kommando

```
exit;
```

wird das Werkzeug **ij** beendet. Um die Verbindung zu einer bereits vorhandenen Datenbank herzustellen, lässt man in der Verbindungszeichenfolge die **CREATE**-Klausel weg:

```
connect 'jdbc:derby:Firma';
```

Statt auch die SQL-DDL - Kommandos zur Erstellen von Tabellen und Beziehungen (vgl. Abschnitt 18.2.2) interaktiv abzusetzen, sammelt man sie besser in einer Textdatei (siehe **...\BspUeb\JDBC\FirmaDerby.sql**), um sie später als Skript (SQL-Programm) ausführen zu lassen. Das folgende Skript definiert und befüllt die Beispieldatenbank:[111]

```
connect 'jdbc:derby:Firma';

CREATE TABLE Personal (
  PersNr INT GENERATED ALWAYS AS IDENTITY (START WITH 1, INCREMENT BY 1),
  Vorname VARCHAR (25) NOT NULL,     Name VARCHAR (50) NOT NULL,        Abteilung CHAR (1) NOT NULL,
  Strasse VARCHAR (40) NOT NULL,     Hausnummer VARCHAR (5) NOT NULL,   PLZ CHAR (5) NOT NULL,
  Ort VARCHAR (40) NOT NULL,         Telefon VARCHAR(20),      Gehalt DOUBLE NOT NULL,
  PRIMARY KEY (PersNr)
);

CREATE TABLE Kunden (
  KundenNr INT GENERATED ALWAYS AS IDENTITY (START WITH 1, INCREMENT BY 1),
  Vorname VARCHAR (25) NOT NULL,     Name VARCHAR (50) NOT NULL,        Kategorie INT,
  Strasse VARCHAR (40) NOT NULL,     Hausnummer VARCHAR (5) NOT NULL,   PLZ CHAR (5) NOT NULL,
  Ort VARCHAR (40) NOT NULL,         Telefon VARCHAR(20) NOT NULL,      Kredit DOUBLE NOT NULL DEFAULT 0.0,
  PRIMARY KEY (KundenNr)
);

CREATE TABLE Auftraege (
  AuftragsNr INT GENERATED ALWAYS AS IDENTITY (START WITH 1, INCREMENT BY 1),
  KundenNr INT NOT NULL,             Datum DATE NOT NULL,
  Erledigt INT NOT NULL,             Bezahlt INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (AuftragsNr),          FOREIGN KEY (KundenNr) REFERENCES Kunden (KundenNr)
);

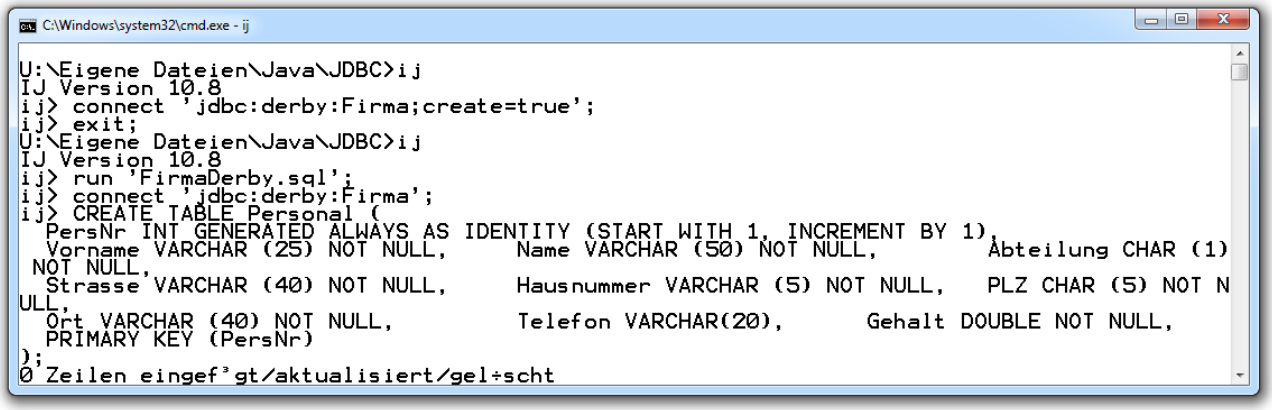
CREATE TABLE Einsaetze (
  EinsatzNr INT GENERATED ALWAYS AS IDENTITY (START WITH 1, INCREMENT BY 1),
  PersNr INT NOT NULL,               AuftragsNr INT NOT NULL,
  Dauer DOUBLE NOT NULL,             PRIMARY KEY (EinsatzNr),
  FOREIGN KEY (PersNr) REFERENCES Personal (PersNr),
  FOREIGN KEY (AuftragsNr) REFERENCES Auftraege (AuftragsNr)
);

INSERT INTO Personal (Vorname, Name, Abteilung, Strasse, Hausnummer, PLZ, Ort, Telefon, Gehalt) VALUES
  ('Ulla', 'Schneider', 'B', 'Heide', '29', '51594', 'Raltop', '05123-12094', 1900.00),
  ('Otto', 'Schmidt', 'A', 'Goethegasse', '12a','52292', 'Drohntal', '07319-78129', 2490.50),
  ('Ludger', 'Müller', 'B', 'Hauptstraße', '45','53277', 'Urdorf', '04543-32212', 2260.33),
  ('Emanuel', 'Fink', 'B', 'An der Ecke', '177','54822', 'Mondorf', '03423-73212', 1693.00),
  ('Kurt', 'Schmidt', 'A', 'Südstrasse', '23', '52292', 'Drohntal', '07319-53487', 2630.50),
  ('Monika', 'Gerber', 'C', 'Mühlenstraße', '91', '51594', 'Raltop', '05123-78123', 2600.00);
INSERT INTO Kunden (Vorname, Name, Kategorie, Strasse, Hausnummer, PLZ, Ort, Telefon, Kredit) VALUES
  ('Edgar', 'Eimer', 1, 'Andersweg', '7', '52434', 'Zweiweiler', '06342-13219', 5000.00),
  ('Thomas', 'Thömmes', 2, 'Kieferschlund', '23', '52434', 'Zweiweiler', '06342-542712', 2000.00),
  ('Ilse', 'Schulz', NULL, 'Oberer Waldweg', '25', '51434', 'Schönstadt', '062112-45398', 5000.00),
  ('Lutz', 'Latz', NULL, 'Dorfplatz', '79', '51434', 'Schönstadt', '06342-123412', 2000.00),
  ('Dorte', 'Lübke', 2, 'Andersweg', '56', '52434', 'Zweiweiler', '06342-77123', 3000.00),
  ('Theo', 'Rost', 2, 'Kieferschlund', '55', '52434', 'Zweiweiler', '06342-67998', 5000.00),
  ('Udo', 'Schmitt', 1, 'Oberer Waldweg', '82', '51434', 'Schönstadt', '062112-12546', 5000.00),
  ('Karl', 'Lafer', 2, 'Dorfplatz', '120', '51434', 'Schönstadt', '06342-33418', 2000.00);
INSERT INTO Auftraege (KundenNr, Datum, Erledigt, Bezahlt) VALUES
  (1, '2011-03-01', 1, 0), (1, '2011-03-03', 0, 0), (2, '2011-03-13', 0, 0), (2, '2011-03-15', 0, 0),
  (2, '2011-04-15', 0, 0), (4, '2011-04-22', 1, 0), (5, '2011-04-26', 1, 0), (6, '2011-04-28', 0, 0),
  (7, '2011-05-02', 0, 0), (8, '2011-05-03', 0, 0);
INSERT INTO Einsaetze (PersNr, AuftragsNr, Dauer) VALUES
  (1, 2, 6.5), (4, 2, 4), (2, 1, 7), (3, 1, 7), (4, 4, 8), (2, 2, 2.75), (1, 3, 8), (3, 1, 1.5),
  (5, 5, 3),   (5, 6, 2), (6, 7, 8), (5, 8, 4), (6, 9, 6), (6, 10,2);
```

[111] Um die Beispieldatenbank auch zu erzeugen, taugt das folgende Kommando:

```
connect 'jdbc:derby:Firma;create=true';
```

Nachdem wir das Werkzeug **ij** eben verlassen haben, starten wir es neu und lassen dann mit dem Derby-Kommando **run** das SQL-Skript ausführen, das am Anfang per **connect**-Kommando eine Verbindung zur mittlerweile existenten Datenbank aufbaut:

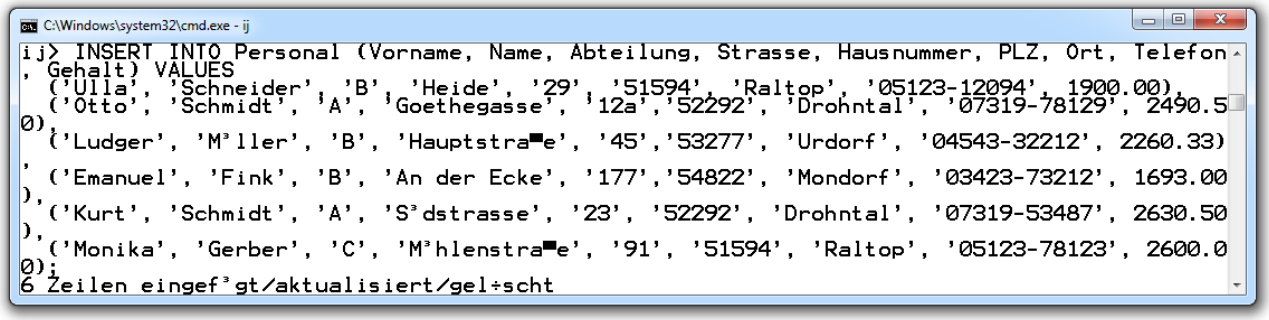


Die Tabellendefinitionen per CREATE TABLE werden von Derby mit der folgenden Bemerkung quittiert:

```
0 Zeilen eingef³gt/aktualisiert/gel÷scht
```

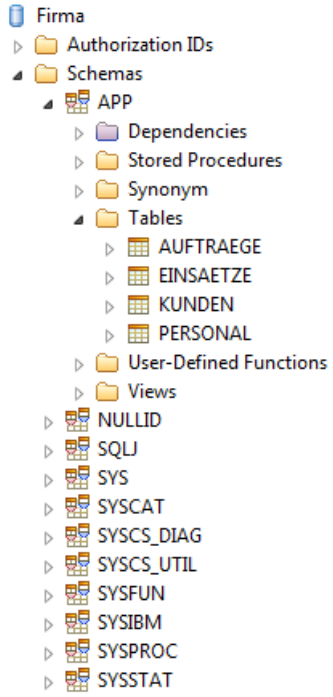
Vermutlich kommen Ihnen die hier zu beobachtenden Umlautprobleme von Java-Konsolenprogrammen unter Windows bekannt vor (vgl. Abschnitt 13.4.1.6).

Nach jedem **INSERT**-Kommando protokolliert Derby die Anzahl der eingefügten Zeilen, z.B.:



Die Tabellen einer Derby-Datenbank gehören zu einem **Schema**, wobei hier abweichend von unserer Begriffsverwendung in Abschnitt 18.1.2 unter einem Schema ein *Namensraum* verstanden wird.[112] Bei Verzicht auf eine explizite Schema-Angabe im Kommando **CREATE TABLE** wird das voreingestellte Schema **APP** verwendet, wie ein Vorausblick auf den *Data Source Explorer* des Eclipse-Plugins *Data Tools Platform* zeigt (vgl. Abschnitt 18.4.1). Dort wird die Struktur der Beispieldatenbank **Firma** so präsentiert:

[112] Derby orientiert sich korrekt an der SQL-Spezifikation, wonach ein *Schema* ein *Namensraum* innerhalb einer Datenbank ist. Demgegenüber wird im Manuskript (wie in den meisten Texten zur Datenbanktheorie und z.B. auch in der MySQL-Dokumentation) unter einem *Datenbankschema* der logische Aufbau einer Datenbank (mit Tabellen, Spalten, Restriktionen, Beziehungen. etc.) verstanden, dem die technische Realisation durch Dateien gegenübersteht.



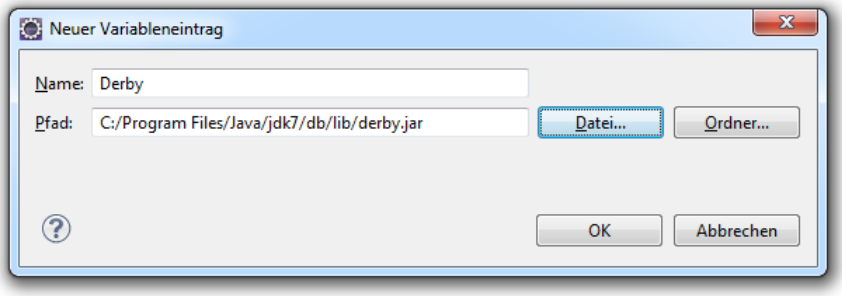
Eine Derby-Datenbank kann also zwei Tabellen mit identischem Namen enthalten, solange sich diese nicht im selben Schema befinden, weil sich die beiden vollqualifizierten Tabellennamen unterscheiden.

18.3.3 Java DB in der Klassensuchpfad aufnehmen

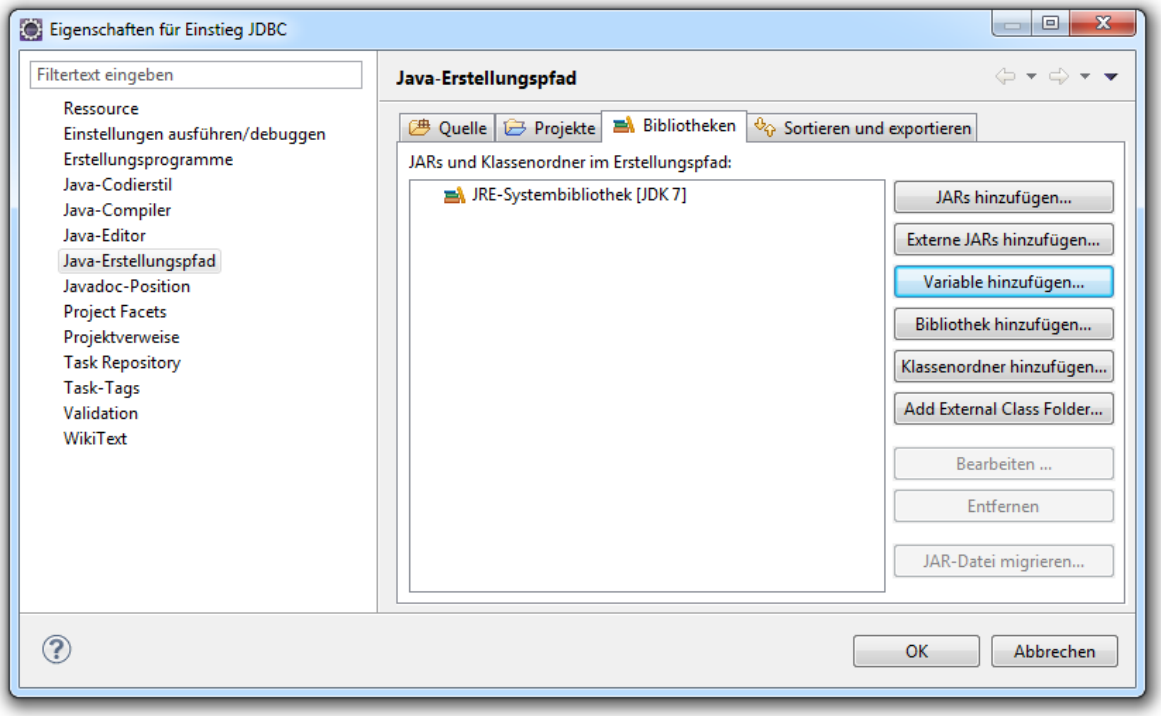
Um die Java DB in Eclipse-Projekten nutzen zu können muss lediglich die Treiberdatei **derby.jar** in den Klassensuchpfad aufgenommen werden. Wie in vergleichbaren Fällen (z.B. bei der Datei **Simput.jar**, siehe Abschnitt 3.4.2) definieren wir zunächst über

Fenster > Benutzervorgaben > Java > Erstellungspfad > Klassenpfadvariablen > Neu

eine Klassenpfadvariable, die auf das Archiv **derby.jar** zeigt, z.B.:



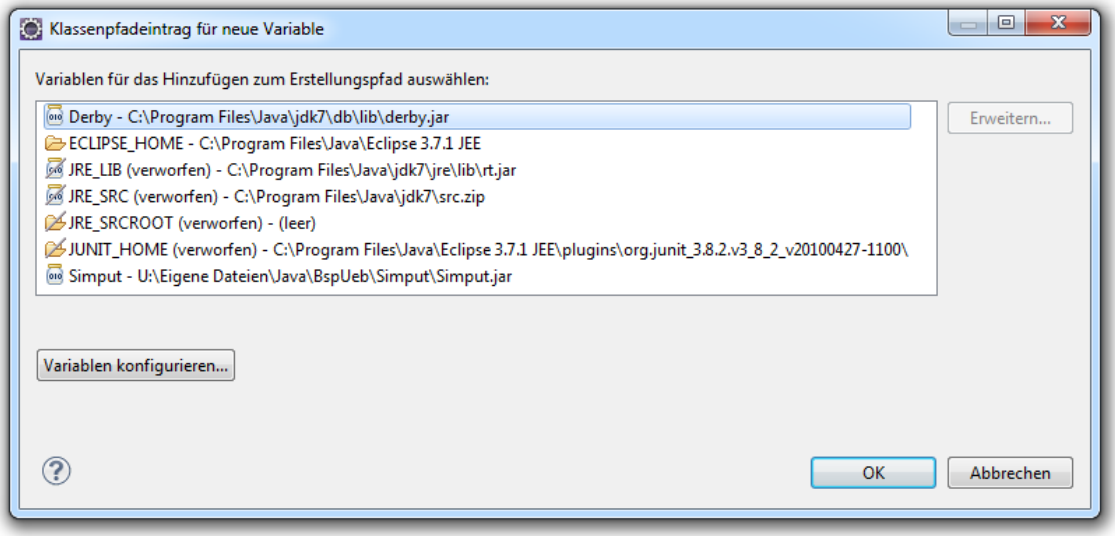
Soll ein konkretes Projekt die Klassenpfadvariable nutzen, muss diese im Eigenschaftsdialog des Projekts (erreichbar via Kontextmenü zum Projekteintrag im Paket-Explorer oder über den Menübefehl **Projekt > Eigenschaften**)



über

Java-Erstellungspfad > Bibliotheken > Variable hinzufügen

hinzugefügt werden, z.B.:



Die JDBC-Klassen für den Zugriff auf ein Derby-RDBMS im *Client-Server* - Betrieb befinden sich in der Datei **derbyclient.jar**, so dass die Klassenpfadvariable (oben *Derby* genannt) entsprechend anzupassen ist.

Soll ein außerhalb der Eclipse-Umgebung ausgeführtes Java-Programm mit Derby arbeiten, muss das betroffene Archiv in den Klassensuchpfad aufgenommen werden, z.B. per Kommandozeilenparameter:

```
java -cp ".;C:\Program Files\Java\jdk7\db\lib\derby.jar" EinstiegJdbc
```

Damit Ihre ausgelieferten Programme auf einem Kundenrechner laufen, müssen Sie die (2,5 MB kleine) Datei **derby.jar** mitliefern, weil sie nicht zur JRE gehört, also nicht vorausgesetzt werden kann.

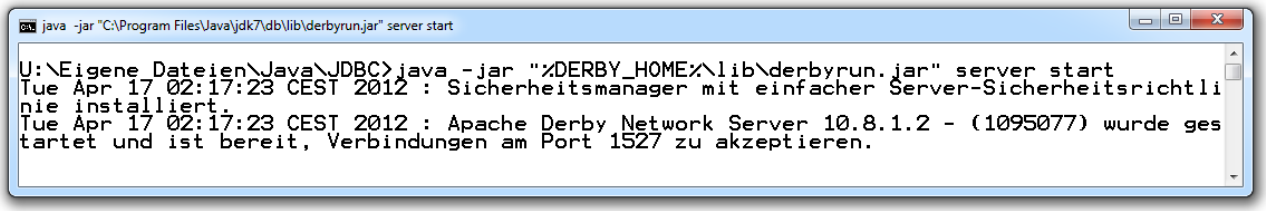
18.3.4 Java DB im Server-Modus starten und beenden

Im eingebetteten Modus läuft die Java DB in derselben JVM wie die zugreifende Java-Anwendung, wird bei der ersten Verbindungsanforderung gestartet und in der Regel zusammen mit dem Programm beendet.

Im Client-Server - Modus läuft die Java DB in einer eigenen JVM und kann mehrere Klienten simultan bedienen, die sich auf einem beliebigen Rechner befinden und via Netzwerk zugreifen. Zum Starten eines Java DB-Netzwerkservers eignet sich z.B. das folgende Kommando:

```
java -jar "%DERBY_HOME%\lib\derbyrun.jar" server start
```

Per Voreinstellung lauscht der Server an Port 1527:



Zum regulären Terminieren des Servers taugt z.B. das folgende Kommando:

```
java -jar "%DERBY_HOME%\lib\derbyrun.jar" server shutdown
```

18.4 Eclipse-Plugin DTP (Data Tools Platform)

Die zur Entwicklung von Datenbankanwendungen empfehlenswerte Eclipse-Erweiterung *Data Tools Platform* ist im Eclipse-JEE-Paket bereits enthalten.[113] Es stehen u.a. folgenden Hilfen für datenzentrierte Projekte bereit:

- **Anzeige von Struktur und Inhalt existenter Datenbanken**
  Die Kommunikation mit bekannten Datenbankverwaltungsprogrammen (z.B. DB2 von IBM, Informix, Java DB, Microsoft SQL-Server, MySQL, Oracle Database, SQLite, Sybase) wird über Treiberdefinitionen und Verbindungsprofile erleichtert. Man kann Tabellen öffnen und Zeilen verändern, ergänzen oder löschen.
- **Erstellen und Ausführung von SQL-Kommandos**
  Neben einem SQL-Editor stehen bereit:
  - SQL Query Builder
    Dieser Assistent hilft beim Erstellen von **SELECT**-, **INSERT**-, **UPDATE**- und **DELETE**-Kommandos.
  - DDL-Assistent
    Er kann z.B. die DDL-Kommandos zu einer vorhandenen Datenbankstruktur produzieren.

  Nach Ausführung einer Abfrage (**SELECT**-Kommandos) wird die Ergebnistabelle angezeigt. Durch Ausführung von DDL-Kommandos lassen sich komplette Datenbanken oder Bestandteile (z.B. Tabellen) erzeugen.
- **Anzeige, Erstellung und Ausführung von gespeicherten Prozeduren**

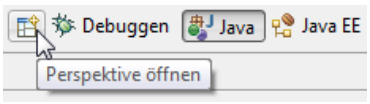
18.4.1 Eclipse-Perspektive für Datenbankentwickler

Um die gerade beschriebenen DTP-Optionen bequem nutzen zu können, empfiehlt sich ein Wechsel zur Eclipse-Perspektive **Database Development**, die den **Data Source Explorer** und weitere

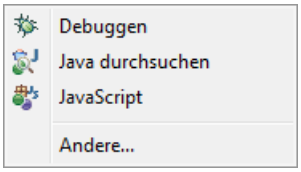
[113] Unser Eclipse-JEE-Paket 3.7.1 enthält das DTP-Plugin in der Version 1.9.1.

Sichten zur Unterstützung der Datenbankentwicklung bietet. Beim Wechsel zur Perspektive **Database Development** können Sie z.B. so vorgehen:

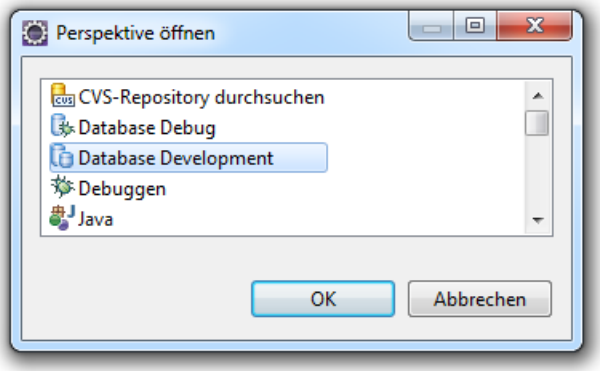
- Mausklick auf den Schalter **Open Perspective**



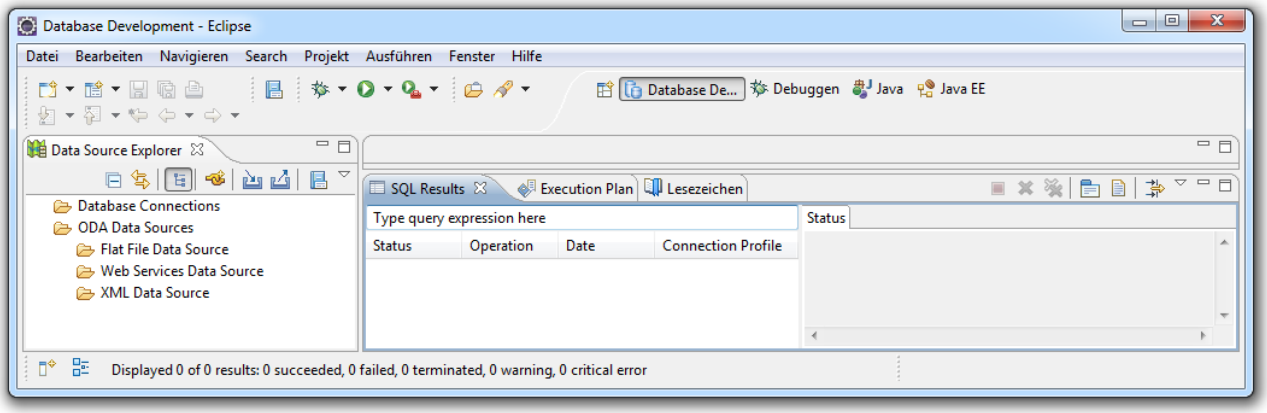
- Mausklick auf das Item **Andere** im folgenden PopUp-Menü:



- Öffnen der Perspektive **Database Development**:



Es erscheinen spezialisierte Sichten zur Datenbankbearbeitung:



Die Sicht **Data Source Explorer** lässt sich übrigens auf folgendem Weg auch in der Perspektive **Java EE** anzeigen:

Fenster > Sicht anzeigen > Data Source Explorer

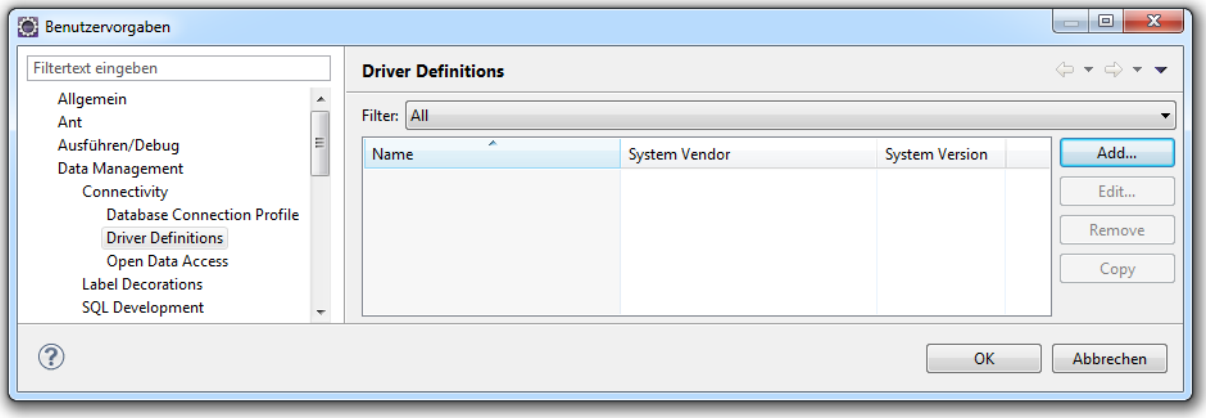
18.4.2 Konfiguration zur Verwendung von Derby im eingebetteten Modus

18.4.2.1 Treiberdefinition für Derby anlegen

Vor dem Erstellen eines Datenbankverbindungsprofils muss man zunächst eine Treiberdefinition für das beteiligte RDBMS anlegen. Dazu öffnet man im JEE-Paket von Eclipse mit dem Menübefehl

Fenster > Benutzervorgaben

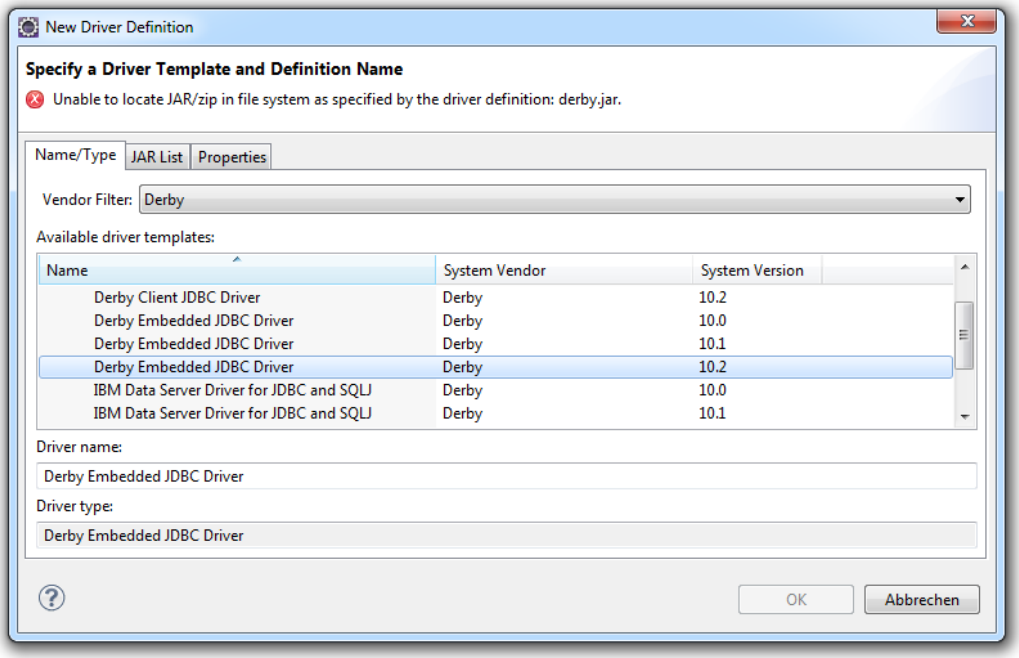
den Dialog **Benutzervorgaben**



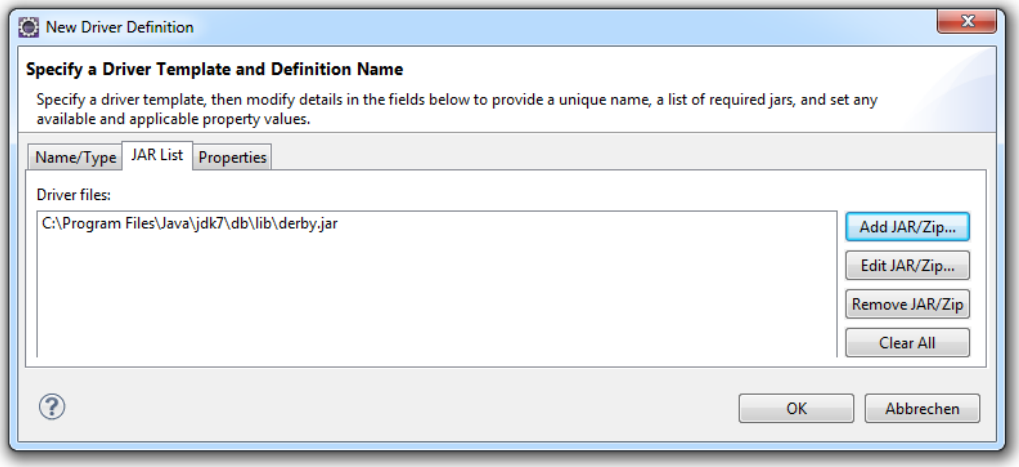
und startet hier die Treiberdefinition über

Data Management > Connectivity > Driver Definitions > Add

Im folgenden Dialog setzt man auf der Registerkarte **Name/Type** optional den **Vendor-Filter** auf **Derby**, wählt ein **driver template** mit möglichst gut passender Derby-Version (mit der tatsächlich installierten Version beginnend abwärts suchen) und ändert optional den vorgeschlagenen Treibernamen:



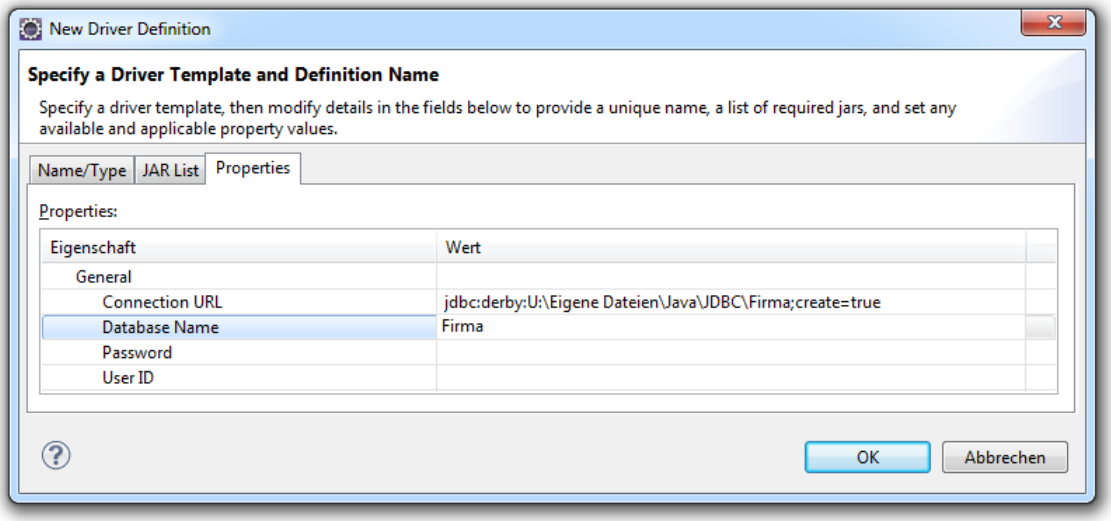
Auf der Registerkarte **JAR List** ist der Pfad zur Treiberdatei **derby.jar** anzugeben,



was z.B. so geschehen kann:

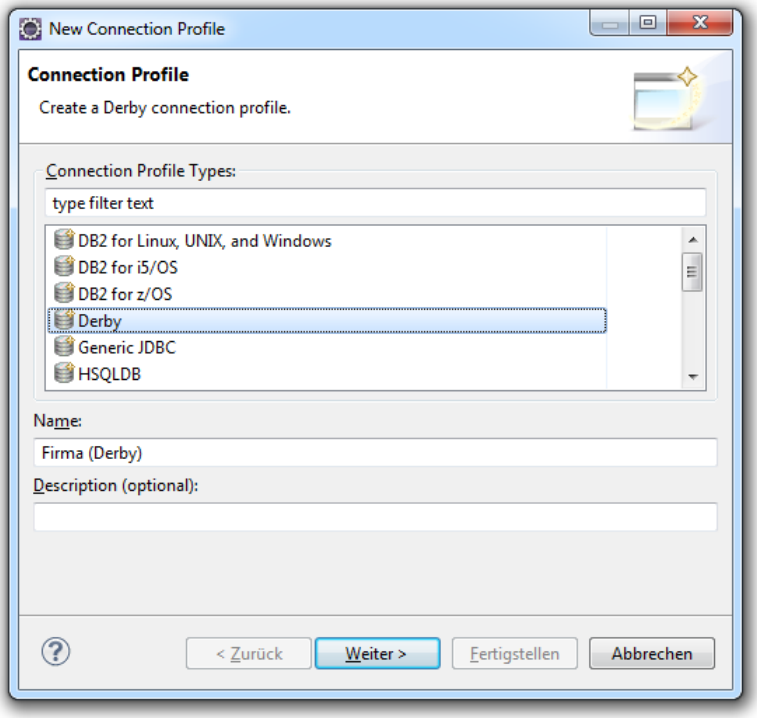
- vorhandenen Eintrag **derby.jar** markieren
- Mausklick auf den Schalter **Edit JAR/Zip**
- Datei per Auswahldialog angeben

Auf der Registerkarte **Properties** kann man Voreinstellungen für die auf einer Treiberdefinition basierenden Verbindungsprofile festlegen, z.B. die Verbindungszeichenfolge für die anzusprechende Datenbank:

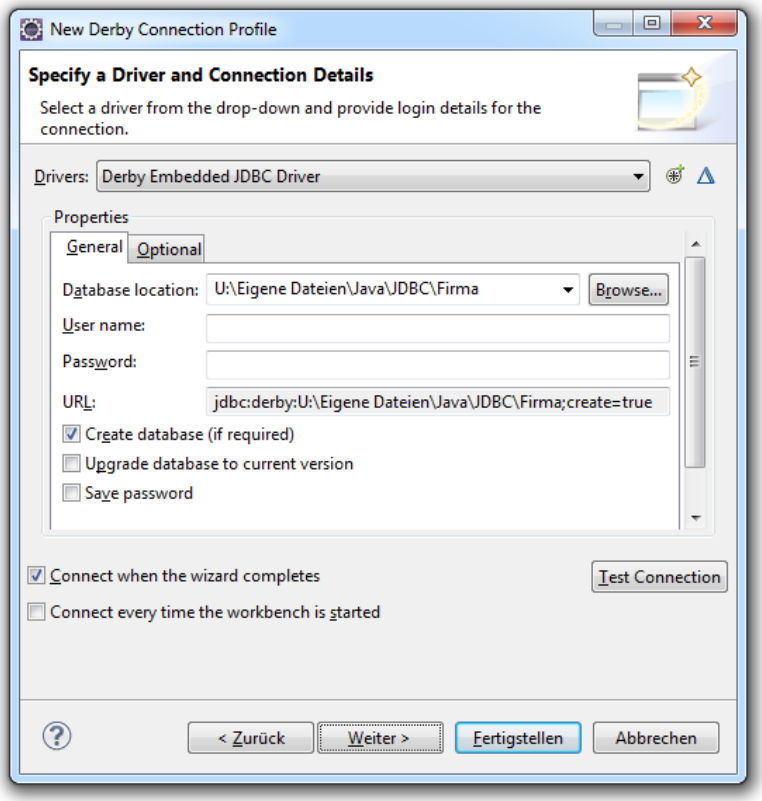


18.4.2.2 Verbindungsprofil für eine Derby-Datenbank anlegen

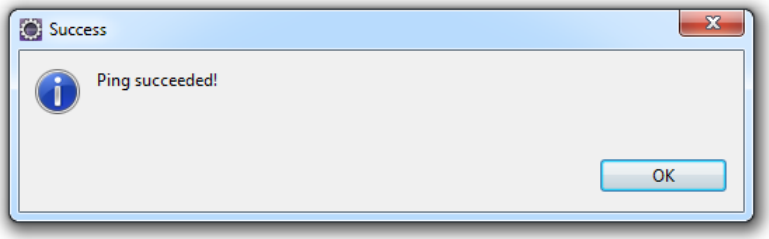
Unter Verwendung der in Abschnitt 18.4.2.1 erstellten Treiberdefinition legen wir nun ein Verbindungsprofil zu der in Abschnitt 18.3.2 erstellten Beispieldatenbank **Firma** an. Dazu öffnen wir im **Data Source Explorer** das Kontextmenü zum Element **Database Connections** und wählen das Item **New**. Es erscheint der folgende Dialog, wo ein RDBMS und ein Profilname festzulegen sind:



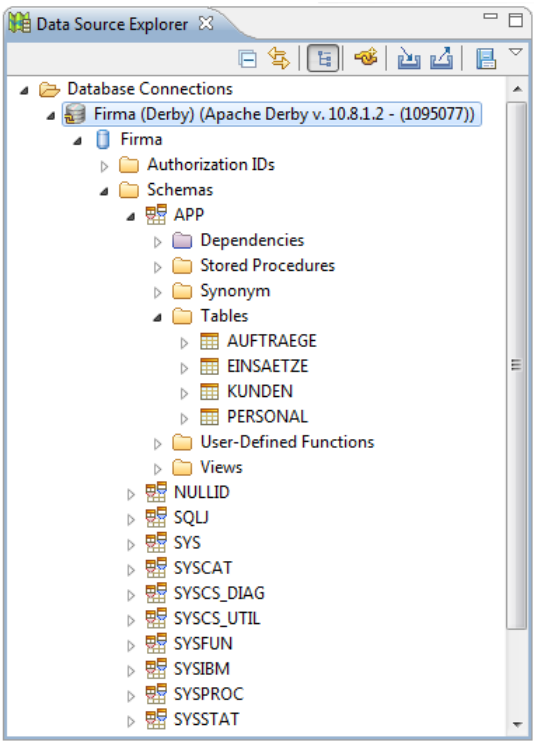
Im nächsten Assistentendialog sind ein Treiber und ein Datenbankordner zu wählen, wobei die Verbindungszeichenfolge (der **URL**) automatisch angepasst wird:



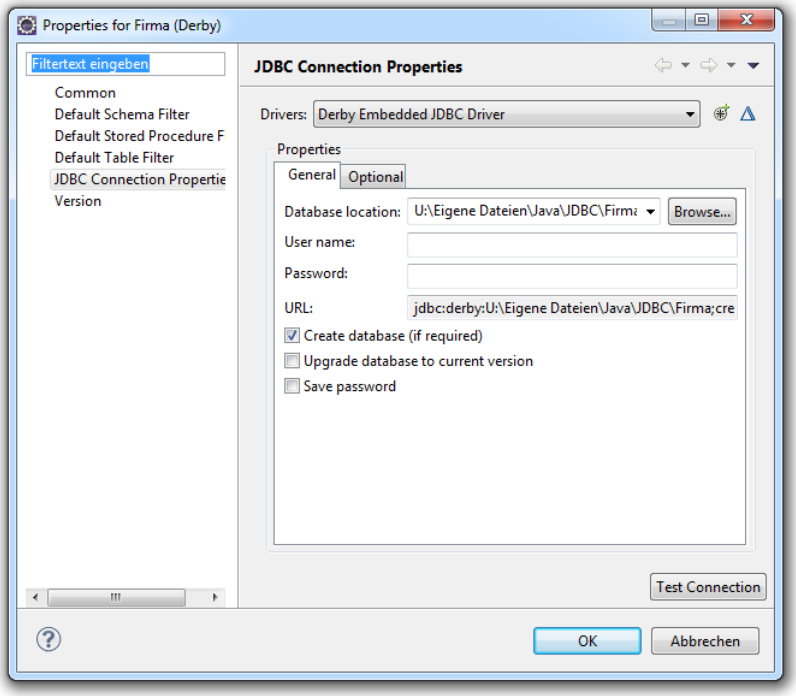
Bei Verwendung der eingebetteten Derby-Variante verzichtet man in der Regel auf eine Authentifizierung über Benutzername und Passwort. Die Markierung im Kontrollkästchen **Create Database (if required)** ist in unserem Fall (bei bereits existenter Datenbank) überflüssig, aber unschädlich. Ein Klick auf den Schalter **Test Connection** führt zu einem erfreulichen Ergebnis:



Wenn wir uns nicht (über das Kontrollkästchen **Connect when the wizard completes**) dagegen aussprechen, die Verbindung gleich zu öffnen, zeigt der Datenquellen-Explorer nach einem Klick auf **Fertigstellen** das folgende Bild:



Über die Items **Connect** bzw. **Disconnect** aus dem Kontextmenü eines Verbindungsprofils lässt sich eine Verbindung jederzeit herstellen bzw. beenden. Der nach **Connect** erscheinende Dialog kann in der Regel unverändert mit **OK** quittiert werden:

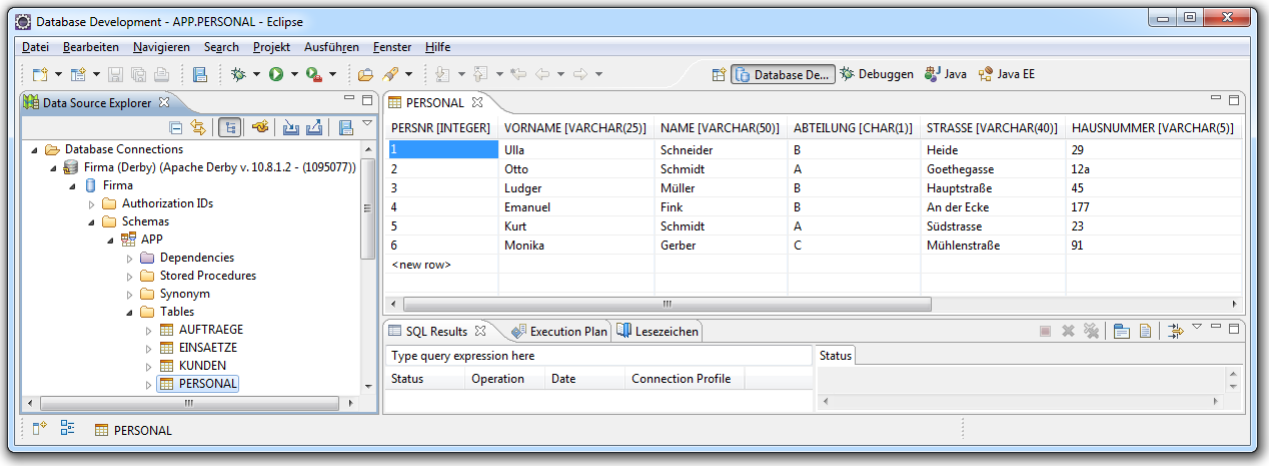


Es ist zu beachten, dass die Java DB im eingebetteten Modus nur von einer einzigen Anwendung (einer JVM) genutzt werden kann, so dass eine offene Verbindung mit dem Eclipse-Plugin DTP die Verwendung durch ein anderes Java-Programm blockiert (siehe Abschnitt 18.5).

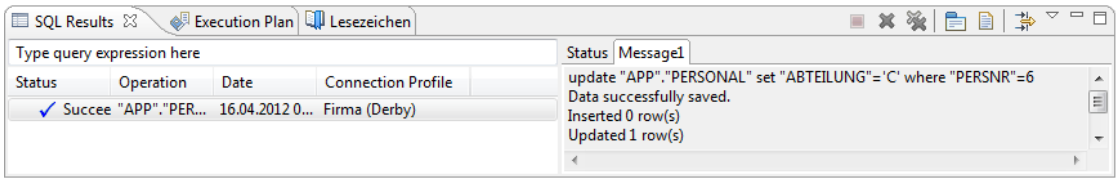
18.4.3 Einfache DTP-Einsatzmöglichkeiten

18.4.3.1 Inhalt einer Tabelle betrachten oder ändern

Gerade war zu sehen, dass sich der Datenquellen-Explorer des DTP-Plugins dazu eignet, die Struktur (das Schema) einer vorhandenen und verbundenen Datenbank anzuzeigen. Um den Inhalt einer Tabelle zu betrachten oder zu ändern, wählt man **Data > Edit** aus ihrem Kontextmenü, z.B.:



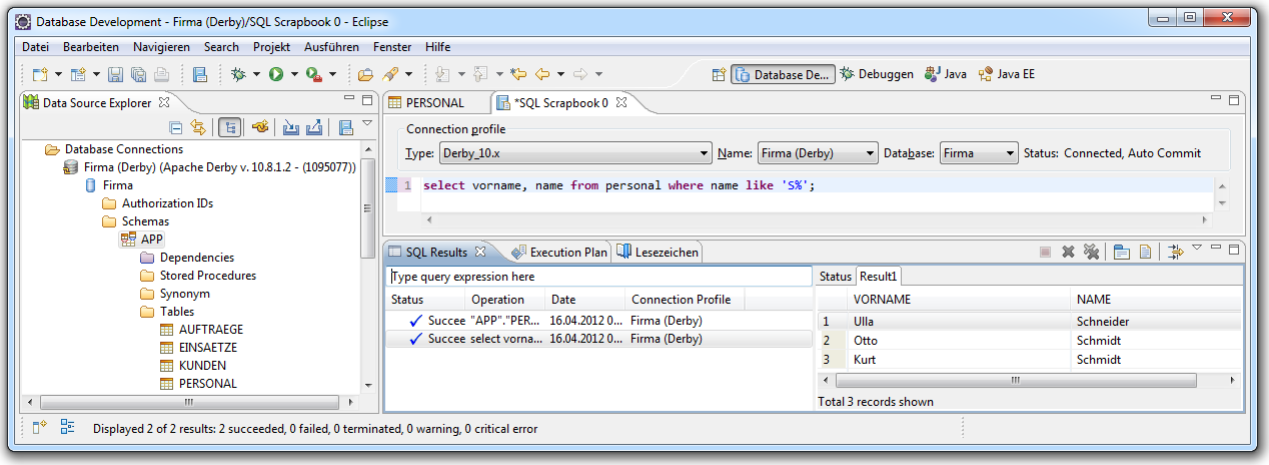
Mit dem Tabellenkontextmenü-Item **Save** beantragt man, den geänderten Zustand einer Tabelle zur Datenbank zu übertragen. Über den Erfolg derartiger Operationen informiert die Sicht **SQL Results**, z.B.:



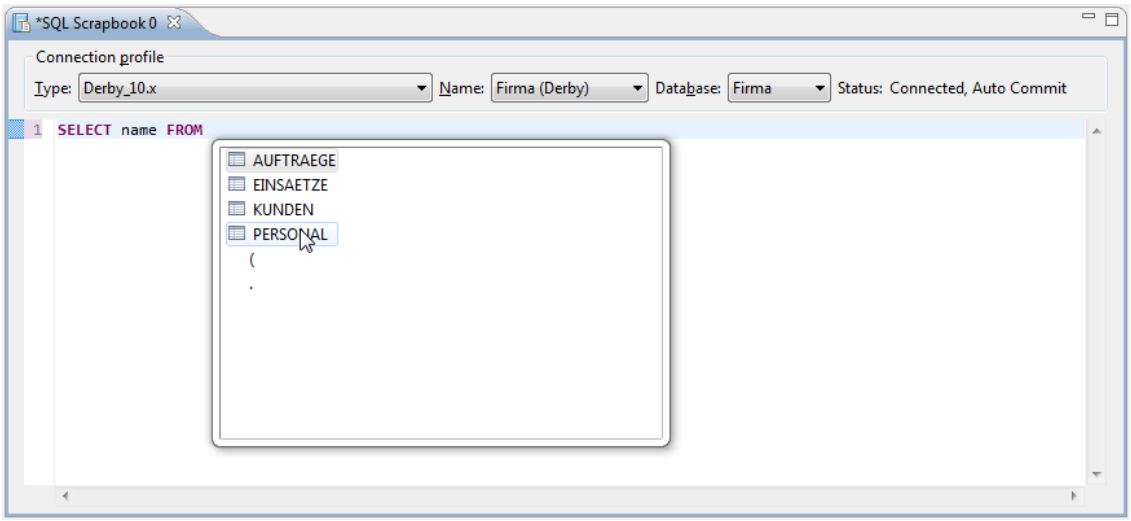
18.4.3.2 SQL-Kommandos erstellen und ausführen

18.4.3.2.1 SQL-Editor und Scrapbook

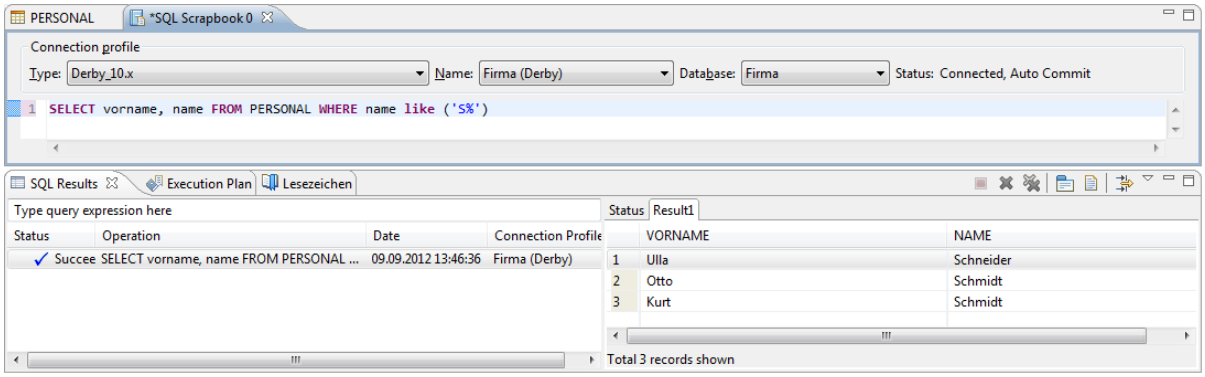
Bei aktiver Perspektive **Database Development** lässt sich über den Symbolleistenschalter  (mit der Quickinfo **Open scrapbook to edit SQL statements**) ein **SQL Scrapbook** (dt.: *Spickzettel*) öffnen, um mal eben ein SQL-Kommando an ein RDBMS zu schicken, ohne eine SQL-Datei (als Bestandteil eines Eclipse-Projekts) anlegen zu müssen, z.B.:



Der SQL-Editor unterstützt mit seinem Wissen über die verbundene Datenbank und über die SQL-Syntax beim Erstellen von Kommandos, z.B.:



Nach dem Abschicken des SQL-Kommandos über das Item **Execute All** aus dem Scrapbook-Kontextmenü erscheint in der Sicht **SQL Results** der Erfolgsstatus und ggf. die Ergebnistabelle, z.B.:



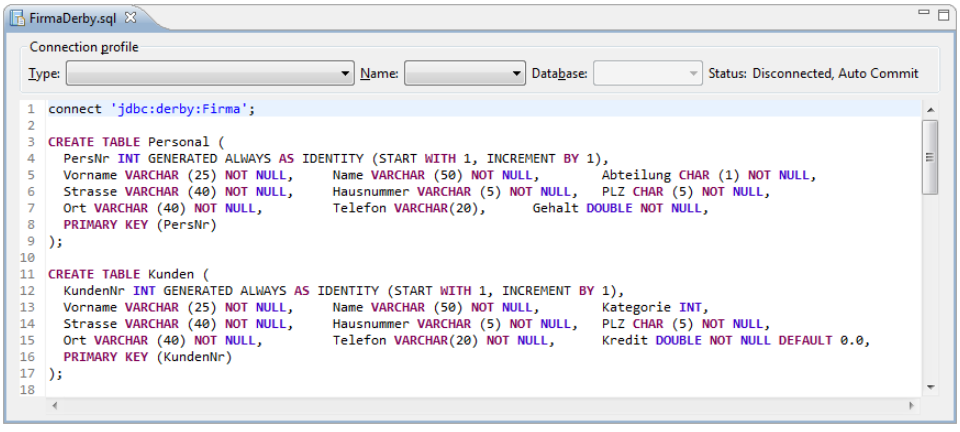
Werden SQL-Kommandos in einem Eclipse-Projekt mehrfach benötigt, legt man über den folgenden Menübefehl

Datei > Neu > SQL File

eine SQL-Datei an, die anschließend mit demselben SQL-Editor bearbeitet werden kann, den wir eben für das Scrapbook verwendet haben. Außerdem lässt sich über den Menübefehl

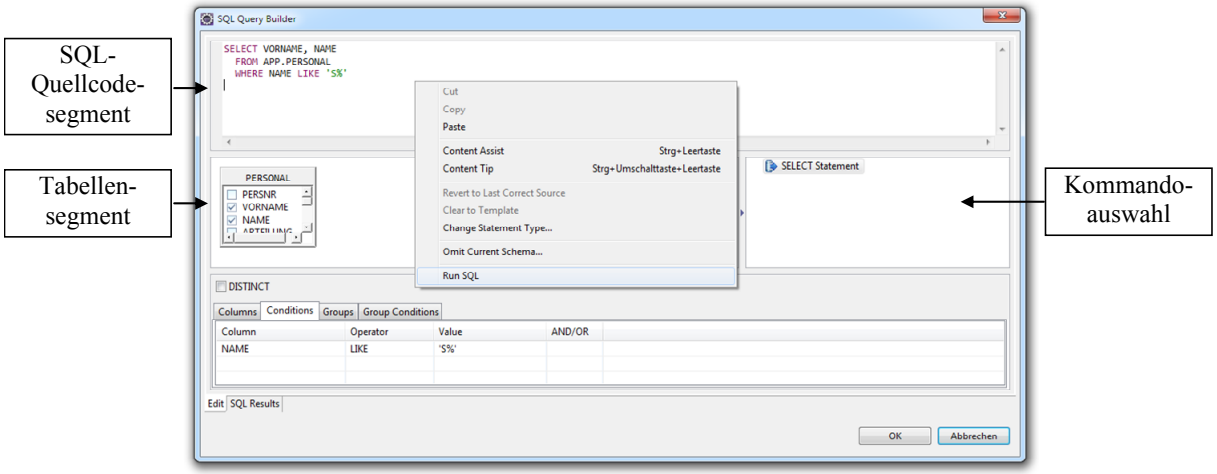
Datei > Öffnen

eine (projektunabhängig) vorhandene SQL-Datei bearbeiten, z.B. die in Abschnitt 18.3.2 vorgestellte Datei **FirmaDerby.sql** zum Erstellen der Beispieldatenbank `Firma`:



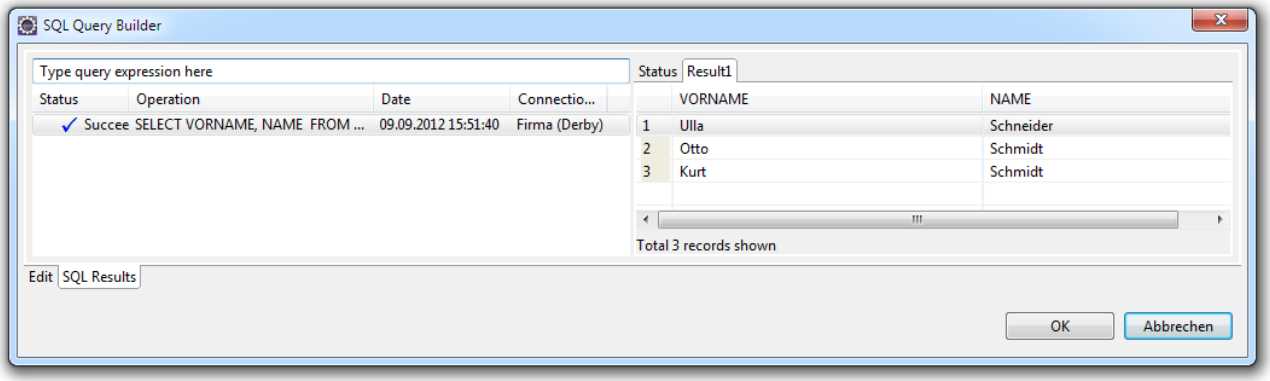
18.4.3.2.2 SQL Query Builder

Mit dem **SQL Query Builder**, der über das Kontextmenü des SQL-Editors erreichbar ist (Item **Edit in SQL Query Builder**), lässt sich ein **SELECT**- oder DML-Kommando zu einer verbundenen Datenbank weitgehend automatisiert erstellen, verändern oder ausführen. Hier ist SELECT-Kommando neu entstanden:

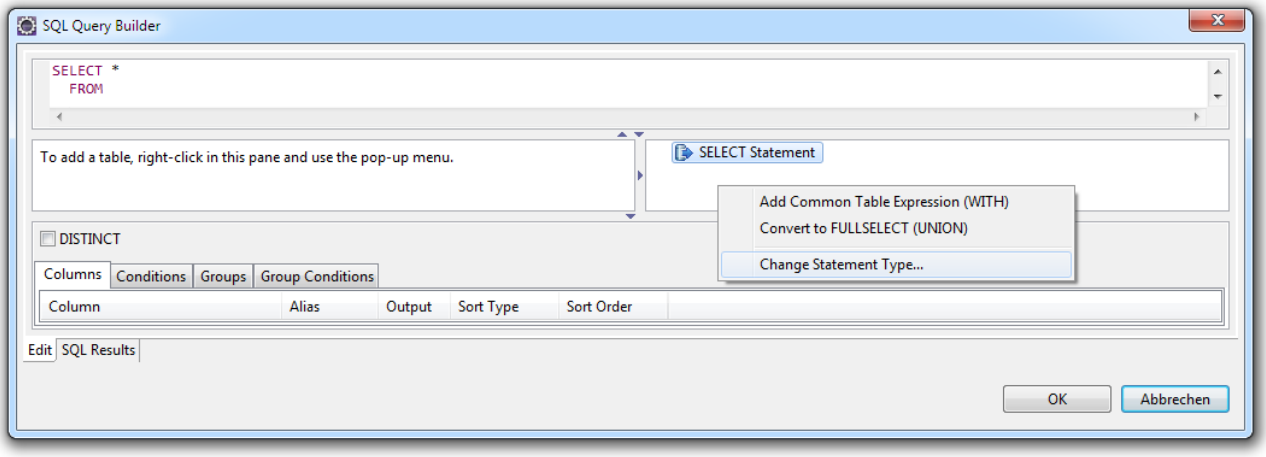


Im Tabellen-Segment kann man Tabellen (Kontextmenü-Item **Add Table**) und Beziehungen (Kontextmenü-Item **Create Join**) einfügen, die für ein **SELECT**-Kommando benötigt werden.

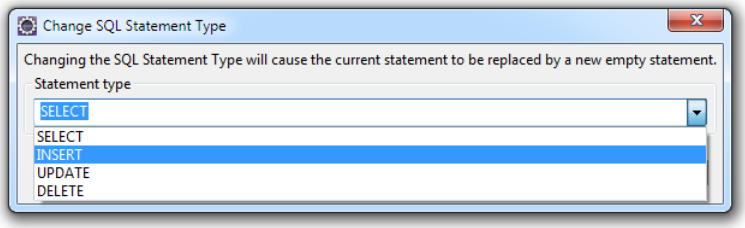
Über das Item **Run SQL** aus dem Kontextmenü zum SQL-Quellcode-Segment kann man das aufgebaute SQL-Kommando ausführen, um anschließend auf der Registerkarte **SQL-Results** das Ergebnis zu inspizieren, z.B.:



Um ein DML-Kommando zu erstellen, wählt man aus dem Kontextmenü zur Kommandoauswahl das Item **Change Statement Type**



und im anschließend erscheinenden Dialog den gewünschten Typ:



Verlässt man den Query Builder über den Schalter **OK**, landet das erstellte Kommando im SQL-Editor. Um ein im Editor bereits vorhandenes Kommando mit dem Query Builder zu bearbeiten, markiert man es komplett und wählt dann das Kontextmenü-Item **Edit in SQL Query Builder**.

18.5 Java Database Connectivity (JDBC)

Java-Programmen erlaubt die **JDBC**-Bibliothek (*Java Database Connectivity*) mit zahlreichen Klassen und Schnittstellen (in den Paketen **java.sql** und **javax.sql**) einen einheitlichen Zugriff auf relationale Datenbankverwaltungsprogramme mit SQL-Schnittstelle und JDBC-Treiber. In Java SE 7 ist die JDBC-Bibliothek in der Version 4.1 enthalten.

Die grundlegende Arbeitsweise besteht darin, SQL-Kommandos zu erstellen und an ein RDBMS zu schicken. So lassen sich von einem Java-Programm aus Datenbanken erstellen, abfragen und verändern. Das folgende Beispielprogramm nutzt das RDBMS Derby (alias Java DB, siehe Abschnitt 18.3) im *eingebetteten* Modus, um aus der Datenbank **Firma** per **SELECT**-Anweisung die Spalten `Vorname`, `Name` und `Gehalt` der Tabelle `Personal` abzurufen:

```
import java.sql.*;

class EinstiegJdbc {
 static final String URL = "jdbc:derby:../Firma";

 public static void main(String args[]) {
  try (Connection verbindung = DriverManager.getConnection(URL);
       Statement sqlKdo = verbindung.createStatement();
       ResultSet daten =
         sqlKdo.executeQuery("SELECT Vorname, Name, Gehalt FROM Personal")) {
   ResultSetMetaData metaDaten = daten.getMetaData();
   System.out.printf("%-25s %-30s %10s\n",
      metaDaten.getColumnName(1), metaDaten.getColumnName(2),
      metaDaten.getColumnName(3));

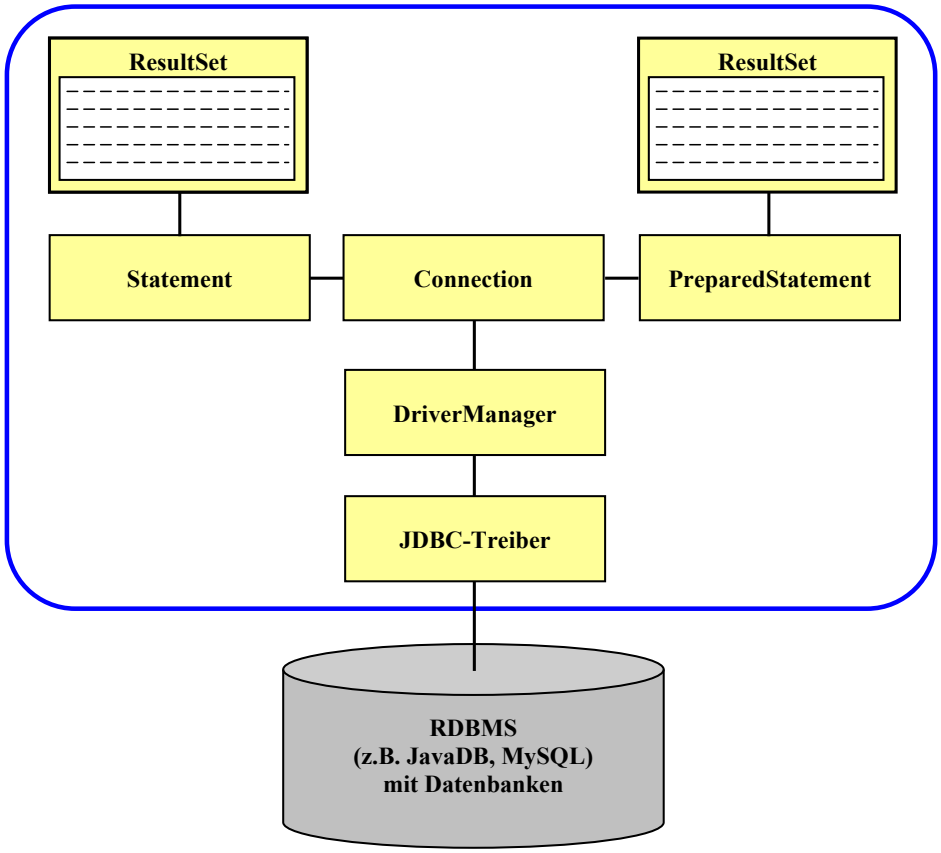
   while (daten.next())
    System.out.printf("%-25s %-30s %10.2f\n",
       daten.getString(1), daten.getString(2), daten.getDouble(3));
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  }
 }
}
```

Ausgabe:

```
VORNAME                   NAME                           GEHALT
Ulla                      Schneider                    1900,00
Otto                      Schmidt                      2490,50
Ludger                    Müller                       2260,33
Emanuel                   Fink                         1693,00
Kurt                      Schmidt                      2630,50
Monika                    Gerber                       2600,00
```

In den nächsten Abschnitten werden die im Programm verwendeten Bestandteile der JDBC-Bibliothek erläutert.

Die folgende Skizze zur JDBC-Architektur zeigt auch die beim Einstiegsbeispiel nicht beteiligte Klasse **PreparedStatement**:



18.5.1 Verbindung zur Datenbank herstellen

Weil sich die im Beispielprogramm benötigten JDBC-Klassen und -Schnittstellen im Paket **java.sql** befinden, wird dieses zu Beginn importiert:

```
import java.sql.*;
```

Damit ein DBMS per Java-Programm angesprochen werden kann, muss eine *JDBC-Treiber* genannte Softwareschicht vermittelnd tätig werden. Im Zweifel über die Verfügbarkeit eines JDBC-Treibers für ein konkretes DBMS kann man sich über die folgende Webseite Gewissheit verschaffen:

http://developers.sun.com/product/jdbc/drivers

Generell muss die primär anzusprechende Treiberklasse explizit geladen werden, damit der per **getConnection()** beauftragte **DriverManager** ermitteln kann, wer für einen per URL definierten Verbindungswunsch zuständig ist (siehe unten). Meist verwendet man zum Laden der Klasse die statische Methode **Class.forName()**, z.B.:

```
Class.forName("org.apache.derby.jdbc.EmbeddedDriver");
```

Seit Java 6 kennt der **DriverManager** allerdings bei der „hauseigenen“ Java DB die verantwortliche Klasse (im eingebetteten Modus: **EmbeddedDriver** im Paket **org.apache.derby.jdbc**), so dass bei diesem speziellen DBMS das explizite Laden überflüssig ist.

Den Aufbau der Datenbankverbindung, die im Programm durch ein Objekt vom Typ **Connection** vertreten ist, erledigt die statische Methode **getConnection()** der Klasse **DriverManager**, die dazu den Uniform Resource Locator (URL) der Datenbank benötigt, z.B.:

```
static final String URL = "jdbc:derby:../Firma";
 . . .
Connection verbindung = DriverManager.getConnection(URL);
```

Die Syntax eines JDBC-Datenbank-URLs ist teilweise abhängig vom konkreten Treiber. Im Beispiel wird die von Derby im eingebetteten Modus verwaltete Datenbank **Firma** angesprochen, wobei sich die verwendete relative Adressierung auf den Ordner mit der Java-Startklasse **EinstiegJdbc.class** des Projekts bezieht.

Natürlich ist auch eine absolute Pfadangabe zur Datenbank möglich. Wenn sich die Datenbank z.B. im Ordner

U:\Eigene Dateien\Java\JDBC\Firma

befindet, taugt im eingebetteten Derby-Modus der folgende URL zur Verbindungsaufnahme:

```
jdbc:derby:U:/Eigene Dateien/Java/JDBC/Firma
```

Soll ein Java DB - *Server* durch ein Java-Programm angesprochen werden, ist die JDBC-Treiberklasse **org.apache.derby.jdbc.ClientDriver** zu verwenden, die ebenso wie das eingebettete Gegenstück ohne explizites Laden vom **DriverManager** gefunden wird. Sie befindet sich in der Archivdatei **derbyclient.jar**, was beim Java-Klassensuchpfad zu berücksichtigen ist (siehe Abschnitt 18.3.3). Außerdem ist ein alternativer URL zu verwenden. Wenn der Derby-Server auf dem lokalen Rechner läuft und am voreingestellten Port 1527 lauscht, eignet sich folgender URL für eine Datenbank, die sich im eben genannten Ordner befindet:

```
jdbc:derby://localhost:1527/U:/Eigene Dateien/Java/JDBC/Firma
```

Im Server-Betrieb beziehen sich relative Pfadangaben zur Datenbank auf den **bin**-Unterordner der Derby-Installation.

Sind ausschließlich *lesende* Datenbankzugriffe geplant, sollte man das Verbindungsobjekt darüber informieren, um dem JDBC-Treiber und dem DBMS Optimierungsmaßnahmen zu ermöglichen:

```
verbindung.setReadOnly(true);
```

Statt die Angaben für den Datenbankzugriff (URL, Treibernamen und eventuell Kontodaten zur Legitimation gegenüber dem DBMS) im Quellcode unterzubringen, sollte man sie bei ernsthaften Anwendungen der größeren Flexibilität halber mit Hilfe der Klasse **Properties** (im Paket **java.util**) aus einer Eigenschaftsdatei lesen (siehe z.B. Hostmann & Cornell 2002, S. 279f).

18.5.2 Einfache und parametrisierte SQL-Kommandos ausführen

Zur Ausführung eines SQL-Kommandos benötigen wir ein Objekt vom Typ **Statement**, d.h. ein Objekt aus einer das Interface **Statement** im Paket **java.sql** implementierenden Klasse. Wir lassen es vom **Connection**-Objekt per **createStatement()** erstellen:

```
Statement sqlKdo = verbindung.createStatement();
```

Abhängig vom konkreten SQL-Kommando sind unterschiedliche **Statement**-Instanzmethoden zu verwenden, denen jeweils ein vom Typ **String** zu übergeben ist:

- **ResultSet executeQuery(String** *sql***)**
  Diese Methode ist zuständig für Datenbankabfragen per **SELECT**-Befehl. Als Rückgabe erhält man ein Objekt vom Typ **ResultSet** (siehe Abschnitt 18.5.3).

- **int executeUpdate(String** *sql***)**
  Diese Methode ist zuständig für Datenbankmodifikationen über die SQL-Kommandos **UPDATE**, **INSERT**, **DELETE**, **CREATE TABLE**, **DROP TABLE** etc. Als Rückgabe erhält man die Anzahl der vom Kommando tangierten Zeilen.

Im Beispielprogramm wird eine Auswahlabfrage durchgeführt:

```
ResultSet daten =
 sqlKdo.executeQuery("SELECT Vorname, Name, Gehalt FROM Personal");
```

Es ist darauf zu achten, dass am Ende des SQL-Kommandos *kein* Semikolon stehen darf.

In den folgenden Zeilen wird ein **UPDATE**-Kommando an das DBMS geschickt, das bei einer Person eine Gehaltsänderung einträgt:

```
int nc = sqlKdo.executeUpdate(
 "UPDATE Personal SET Gehalt = 1800.00 WHERE PersNr = 4");
```

In Abschnitt 18.5.3 wird sich zeigen, dass nach einer Auswahlabfrage (bei vorhandenem **ResultSet**) Datenbankmodifikationen ohne explizit formulierte SQL-DML - Syntax möglich sind.

Werden mehrere SQL-Kommandos benötigt, die sich nur bei einzelnen Parametern (z.B. Attributausprägungen) unterscheiden, sollte mit der **Connection**-Methode **prepareStatement()** ein Objekt vom Typ **PreparedStatement** erstellt werden. Man übergibt der Methode eine Zeichenfolge mit Fragezeichen an Stelle der SQL-Parameter. Nach der Parameterspezifikation durch datentypspezifische **set**-Methoden kann das SQL-Kommando wie bei einem Objekt vom Typ **Statement** per **executeQuery()** oder **executeUpdate()** ausgeführt werden, z.B.:

```
PreparedStatement prepKdo = verbindung.prepareStatement(
 "UPDATE Personal SET Gehalt = ? WHERE PersNr = ?");
prepKdo.setDouble(1, 1800.0); prepKdo.setInt(2, 4);
prepKdo.executeUpdate();
prepKdo.setDouble(1, 1930.0); prepKdo.setInt(2, 5);
prepKdo.executeUpdate();
```

Sofern der JDBC-Treiber mitspielt, sendet **prepareStatement()** das parametrisierte SQL-Kommando zur Vorübersetzung an das DBMS, so dass bei wiederholter Ausführung ein Leistungsgewinn resultiert.

18.5.3 ResultSet und ResultSetMetaData

Das von der **Statement**- bzw. **PreparedStatement**-Methode **executeQuery()** gelieferte **ResultSet**-Objekt enthält eine Ergebnistabelle und verwaltet einen Zeiger auf die aktuelle Zeile, der initial vor der ersten Zeile steht und per **next()**-Methode inkrementiert werden kann. Mit ihrem Rückgabewert vom Typ **boolean** informiert die Methode **next()** darüber, ob noch eine weitere Tabellenzeile verfügbar war, z.B.:

```
while (daten.next())
 System.out.printf("%-25s %-30s %10.2f\n",
  daten.getString(1), daten.getString(2), daten.getDouble(3));
```

Für die aktuelle Zeile kann man über datentypspezifische **ResultSet**-Methoden (z.B. **getString()**, **getDouble()**) die Werte der Spalten ermitteln, wobei die bei **1** beginnende Spaltenindizierung zu beachten ist. Alternative Überladungen akzeptieren die Spaltennamen (bei irrelevanten Groß-/Kleinschreibung), z.B.:

```
while (daten.next())
 System.out.printf("%-25s %-30s %10.2f\n",
  daten.getString("Vorname"), daten.getString("Name"), daten.getDouble("GeHalt"));
```

Dieser Zugriff ist zeitaufwändiger, aber flexibel bei Änderungen im Aufbau einer **ResultSet**-Zeile (z.B. durch eine zwischenzeitliche Erneuerung der Abfrage mit geändertem SELECT-Kommando).

Per Voreinstellung kann ein **ResultSet** nur vorwärts (also insgesamt nur einmal) durchlaufen werden. Außerdem ist es insensitiv gegenüber fremdverursachten zwischenzeitlichen Datenbankänderungen. In Bezug auf die Bewegungsmöglichkeiten des Zeilenzeigers und die Änderungssensitivität sind folgende **ResultSet**-Typen zu unterscheiden (definiert über Konstanten der Klasse **ResultSet**):

- **ResultSet.TYPE_FORWARD_ONLY**
  Der Zeilenzeiger kann nur vorwärts bewegt werden (Voreinstellung).
- **ResultSet.TYPE_SCROLL_INSENSITIVE**
  Der Zeilenzeiger kann vorwärts und rückwärts bewegt werden, jedoch reagiert das **ResultSet** dabei *nicht* auf zwischenzeitlich von anderen Benutzern vorgenommene Änderungen der Datenbank.
- **ResultSet.TYPE_SCROLL_SENSITIVE**
  Der Zeilenzeiger kann vorwärts und rückwärts bewegt werden, und das **ResultSet** berücksichtigt die zwischenzeitlich von anderen Benutzern vorgenommenen Änderungen der Datenbank.

Um den Dynamiktyp eines **ResultSet**-Objekts beeinflussen zu können, verwendet man eine alternative Überladung der Methode **createStatement()**:

public Statement createStatement(int *resultSetType*, **int** *resultSetConcurrency*)

Mit dem zweiten Parameter wird darüber entschieden, ob das entstehende **ResultSet**-Objekt auch eine *Änderung* der Datenbank erlauben soll, wobei der geforderte **int**-Wert mit Hilfe der folgenden **ResultSet**-Konstanten angegeben werden kann:

- **ResultSet.CONCUR_READ_ONLY**
  Nur lesender Zugriff (Voreinstellung)
- **ResultSet.CONCUR_UPDATABLE**
  Es sind Datenbankveränderungen möglich, sofern weitere Bedingungen erfüllt werden. Der JDBC-Treiber zum DBMS MySQL verlangt z.B.:
  - Bei der zugrunde liegenden Abfrage darf nur *eine* Tabelle beteiligt sein.
  - Die Abfrage muss den Primärschlüssel der Tabelle enthalten.

Hier entsteht ein Update-fähiges **ResultSet** mit frei positionierbarem Zeilenzeiger, das aber insensitiv für fremdverursachte Datenbankveränderungen ist:

```
Connection verbindung = DriverManager.getConnection(URL);
Statement sqlKdo = verbindung.createStatement(
   ResultSet.TYPE_SCROLL_INSENSITIVE, ResultSet.CONCUR_UPDATABLE);
ResultSet daten = sqlKdo.executeQuery("SELECT * FROM Personal ");
```

Folglich kann man z.B. eine bestimmte, die erste oder die letzte Zeile ansteuern:

```
daten.absolute(3);
daten.first();
daten.last();
```

Zum Ändern der aktuellen Zeile stehen **update**-Methoden bereit, die analog zu den **get**-Methoden verwendbar sind, z.B.:

```
daten.updateDouble(4, 3000);
daten.updateRow();
```

Mit der **ResultSet**-Methode **updateRow()** wird eine geänderte Zeile zur Datenbank übertragen.

Um eine neue Zeile via **ResultSet**-Objekt in eine Datenbanktabelle aufzunehmen, steuert man mit der Methode **moveToInsertRow()** eine spezielle **ResultSet**-Zeile für Neuaufnahmen an, ändert deren Spalten über passende **update**-Methoden und schreibt das Ergebnis per **insertRow()** in die Datenbank, z.B.:

```
daten.moveToInsertRow();
daten.updateString("Vorname", "Egon");
daten.updateString("Name", "Brgl");
daten.updateInt("Abteilung", 1);
daten.updateString("Strasse", "Oberer Waldweg");
daten.updateInt("Hausnummer", 11);
daten.updateString("PLZ", "55434");
daten.updateString("Ort", "Graubach");
daten.updateString("Telefon", "06342-33419");
daten.updateDouble("Gehalt", 1234);
daten.insertRow();
```

Bei der Java DB (alias Derby) kann man nicht davon ausgehen, dass neu eingefügte Zeilen im **ResultSet** sichtbar werden. Im *Derby Developer's Guide* heißt es dazu auf S. 72:[114]

> If the inserted row satisfies the query predicate, it may become visible in the result set.

Eine Frage an das per **Connection**-Methode **getMetaData()** ansprechbare **DatabaseMetaData**-Objekt

```
System.out.println("ownInsertsAreVisible:
"+verbindung.getMetaData().ownInsertsAreVisible(ResultSet.TYPE_SCROLL_INSENSITIVE));
```

liefert eine negative Auskunft:

```
ownInsertsAreVisible: false
```

Eventuell ist es also erforderlich, das **ResultSet**-Objekt durch eine Wiederholung der Abfrage zu aktualisieren:

```
daten = sqlKdo.executeQuery("SELECT * FROM Personal");
```

Mit der **ResultSet**-Methode **deleteRow()** lässt sich eine Zeile aus der Datenbanktabelle löschen, z.B.:

```
daten.deleteRow();
```

Zu den Methoden **updateRow()**, **insertRow()** und **deleteRow()** ist anzumerken, dass es dem Programmierer erspart bleibt, die letztlich benötigten SQL-Kommandos UPDATE, INSERT und DELETE selbst zu formulieren.

Beim **ResultSet**-Objekt ist ein **ResultSetMetaData**–Objekt mit diversen Informationen über die Spalten erhältlich:

```
ResultSetMetaData metaDaten = daten.getMetaData();
```

Mit seiner **getColumnName()**-Methode informiert dieses Objekt z.B. über die Namen der Spalten im **ResultSet** (indiziert ab 1):

```
System.out.printf("\n"+text+"\n%-10s %-25s %-25s %10s\n",
   metaDaten.getColumnName(1), metaDaten.getColumnName(2),
   metaDaten.getColumnName(3), metaDaten.getColumnName(4));
```

[114] Verfügbar unter der Adresse http://db.apache.org/derby/docs/dev/devguide/derbydev.pdf

18.5.4 Zum guten Schluss

Es ist empfehlenswert, für **Connection**-, **Statement**-, **PreparedStatement**- und **ResultSet**-Objekte möglichst früh die **close()**-Methode aufzurufen, um damit verbundene Datenbank- und JDBC-Ressourcen freizugeben. Dabei ist in der umgekehrten Belegungsreihenfolge vorzugehen. Bei einem **ResultSet**-Objekt kann man sich den direkten **close()**-Aufruf oft sparen, weil es automatisch mit dem zugrunde liegenden **Statement**-Objekt geschlossen wird.

Bis Java 6 erledigt man die Freigabe meist in der **finally** - Klausel eines **try**-Blocks, z.B.:

```
try {
 verbindung = DriverManager.getConnection(URL);
 sqlKdo = verbindung.createStatement(ResultSet.TYPE_SCROLL_INSENSITIVE,
                                     ResultSet.CONCUR_UPDATABLE);
  daten = sqlKdo.executeQuery("SELECT * FROM Personal");

   . . .

} catch (Exception e) {
 e.printStackTrace();
} finally {
 if (sqlKdo != null)
  try {sqlKdo.close();} catch (Exception ign) {}
 if (verbindung != null)
  try {verbindung.close();} catch (Exception ign) {}
}
```

Seit Java 7 läst sich das Schließen der in einem **try**-Block benötigten Ressourcen automatisieren, sofern die Klassen, welche die Ressourcen repräsentieren, das Interface **AutoCloseable** im Paket **java.lang** implementieren (**try with resources,** siehe Abschnitt 11.8.2). Für die relevanten JDBC-Klassen ist diese Bedingung erfüllt, so dass sich das obige Beispiel erheblich vereinfachen lässt:

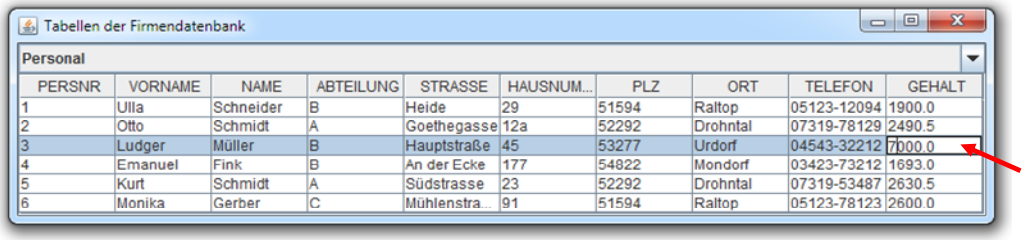
```
try (Connection verbindung = DriverManager.getConnection(URL);
   Statement sqlKdo = verbindung.createStatement(ResultSet.TYPE_SCROLL_INSENSITIVE,
                                                 ResultSet.CONCUR_UPDATABLE)) {
   daten = sqlKdo.executeQuery("SELECT * FROM Personal");

    . . .

} catch (Exception e) {
 e.printStackTrace();
}
```

18.5.5 Anzeige und Modifikation von Datenbanktabellen via JTable/TableModel

Das bereits in Abschnitt 18.2 zu bewundernde Frontend für die Beispieldatenbank

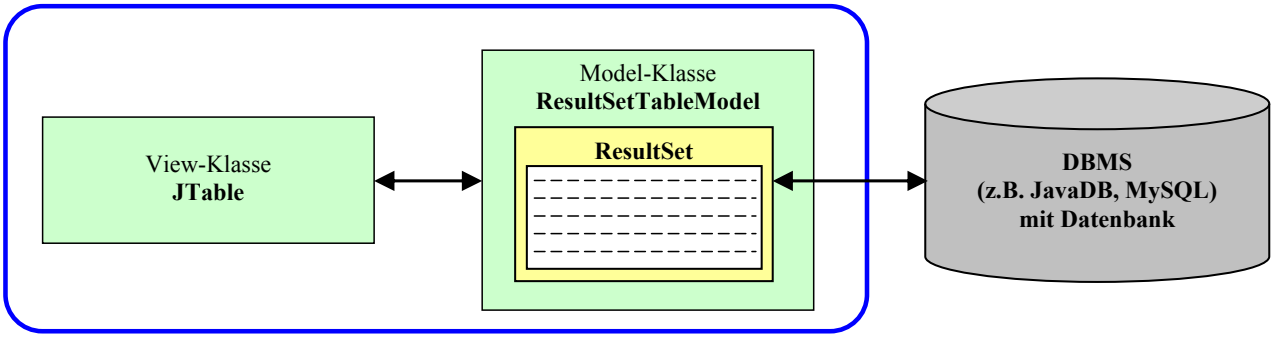


erlaubt nicht nur eine Anzeige, sondern auch eine Veränderung der Tabellen im Rahmen einer Swing-Anwendung.

Im Programm dient ein Objekt der Klasse **JTable** aus dem Paket **javax.swing** als Ansicht (engl.: *View*) für die von einem *Model*-Objekt aus der selbst definierten Klasse `ResultSetTableModel` (siehe unten) verwaltete Tabelle:

```
private ResultSetTableModel tabMod;
private JTable table;
 ...
tabMod = new ResultSetTableModel(DRIVER, URL, USERID, PASSWD, TABLES[0]);
table = new JTable(tabMod);
```

Während das **JTable**-Objekt mit seiner beachtlichen Funktionsvielfalt sofort einsatzfähig ist, benötigen wir für das Model-Objekt eine eigene Klasse, welche das Interface **TableModel** erfüllt und die Verbindung zu einer Datenbank herstellt. Weil dabei die JDBC-Klasse **ResultSet** eine wichtige Rolle spielt, erhält unsere **TableModel**-Implementierung den Namen `ResultSetTableModel`. Damit möglichst jede JDBC-Datenbank angesprochen werden kann, nimmt der Konstruktor eine JDBC-Treiberklasse, einen URL, sowie Kontodaten entgegen. In der folgenden Abbildung ist die Model-View - Struktur des aktuellen Beispielprogramms skizziert:



Im Interface **TableModel** sind etliche Methoden gefordert, die ein **JTable**-Objekt z.B. benutzt, …

- um sich die anzuzeigenden Daten zu beschaffen,
- um die vom Benutzer an Tabellenzellen vorgenommenen Änderungen an das Model-Objekt zu melden.

Um nur die für uns relevanten **TableModel**-Methoden implementieren zu müssen, leiten wir unsere Model-Klasse `ResultSetTableModel` von **AbstractTableModel** ab:

```
public class ResultSetTableModel extends AbstractTableModel {
 private Connection connection;
 private boolean connected;
 private Statement statement;
 private ResultSet resultSet;
 private ResultSetMetaData metaData;
 private int nRows;

 public ResultSetTableModel(String driver, String url, String userid,
  String passwd,String table) throws SQLException, ClassNotFoundException {
  if (driver.length() > 0)
   Class.forName(driver);
  if (userid.length()  > 0)
   connection = DriverManager.getConnection(url, userid, passwd);
  else
   connection = DriverManager.getConnection(url);
  statement = connection.createStatement(
   ResultSet.TYPE_SCROLL_INSENSITIVE, ResultSet.CONCUR_UPDATABLE);
  connected = newQuery(table);
 }

 ...
```

```
  public boolean newQuery(String table) {
   if (statement == null)
    return false;
   try {
    resultSet = statement.executeQuery("SELECT * FROM "+table);
    metaData = resultSet.getMetaData();

    resultSet.last();
    nRows = resultSet.getRow();

    fireTableStructureChanged();
    return true;
   } catch (SQLException e) {
    return false;
   }
  }

  ...

}
```

Unser Model-Objekt dient als Verbindung zwischen dem **JTable**-Objekt im Vordergrund und einer Datenbank im Hintergrund. Es verwendet ein **ResultSet**-Objekt mit frei beweglichem Zeilenzeiger, das eventuelle zwischenzeitliche Datenbankveränderungen durch andere Benutzer ignoriert, aber eine Modifikation der Datenbank erlaubt (vgl. Abschnitt 18.5.3).

Nun kommen die **TableModel**-Methoden zur Sprache, die unsere Klasse `ResultSetTableModel` implementieren muss, damit ihre Objekte als Model zu einem **JTable**-View agieren können. Mit Hilfe der folgenden **TableModel**-Methoden beschafft sich ein **JTable**-Objekt die darzustellenden Daten:

- **getRowCout()**
  Im **ResultSet** sind die Zeilen mit 1 beginnend durchnummeriert. Um die Anzahl der Zeilen im **ResultSet** zu ermitteln, springt unsere Klasse daher in der Methode `newQuery()` an das Ende der Tabelle und stellt die Nummer der letzten Zeile fest:
  ```
  resultSet.last();
  nRows = resultSet.getRow();
  ```
- **getColumnCount()**
  Die Anzahl der Spalten erfährt man bequem von einem **ResultSetMetaData**-Objekt zum **ResultSet**-Objekt:
  ```
  return metaData.getColumnCount();
  ```
- **getValueAt()**
  Wir setzen den **ResultSet**-Zeilenzeiger mit der Methode **absolute()** und ermitteln den benötigten Spaltenwert mit der Methode **getObject()**:
  ```
  resultSet.absolute(row+1);
  return resultSet.getObject(col+1);
  ```
  Weil das **JTable**-Objekt ab 0 und das **ResultSet**-Objekt ab 1 indiziert, ist eine Anpassung erforderlich.
- **getColumnName()**
  Wenn bei den Spaltennamen anstelle von Zahlen informative Bezeichnungen gewünscht sind, muss auch die **TableModel**-Methode **getColumnName()** implementiert werden, wobei man auf die gleichnamige **ResultSetMetaData**-Methode zurückgreifen kann.
  ```
  return metaData.getColumnName(col+1);
  ```

Zur Änderung der Datenbank via **JTable**/**TableModel** dienen die folgenden Methoden:

- **isCellEditable()**
  Wir erlauben der Einfachheit halber eine Änderung aller Spalten mit Ausnahme der per Autoinkrementierung erstellten Primärschlüsselspalten, wohl wissend, dass der SQL-Server bei Verletzungen der referentiellen Integrität Änderungen ablehnen wird.
- **setValueAt()**
  An diese Methode übergibt das **JTable**-Objekt einen vom Benutzer geänderten Zelleninhalt. Unser Programm ändert daraufhin die betroffene **ResultSet**-Zelle

  ```
  resultSet.absolute(row+1);
  resultSet.updateObject(col+1, obj);
  resultSet.updateRow();
  ```

  und schickt die geänderte Zeile durch einen Aufruf der **ResultSet**-Methode **updateRow()** an das DBMS (vgl. Abschnitt 18.5.3).

Die Klasse `ResultSetTableModel` realisiert zu einer beliebigen relationalen Datenbank (mit Primärschlüsseln in den ersten Tabellenspalten) ein **TableModel**–Objekt und ist damit wiederverwendbar. Den vollständigen Quellcode finden Sie im Ordner

…\BspUeb\Datenbanken\ResultSetTableModel

Um auch die Klasse `DbFrontend`, welche die Benutzeroberfläche des Beispielprogramms realisiert, für beliebige Datenbanken nutzen zu können, müssen nur die Konstanten durch Informationen aus einer **properties**-Datei ersetzt werden (siehe z.B. Hostmann & Cornell 2002, S. 279f):

```
import javax.swing.*;
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;

class DbFrontend extends JFrame {
 static final String TITEL = "Tabellen der Firmendatenbank";
 static final String DRIVER = "";
 static final String URL = "jdbc:derby:../Firma";
 static final String USERID = "";
 static final String PASSWD = "";
 static final String[] TABLES={"Personal","Kunden","Auftraege","Einsaetze"};

 private JComboBox list;
 private JTable table;
 private ResultSetTableModel tabMod;

 public DbFrontend() {
  super(TITEL);
  try {
   list = new JComboBox(TABLES);
   list.setEditable(false);
   list.addItemListener(
      new ItemListener() {
       public void itemStateChanged(ItemEvent e) {
        JComboBox cb = (JComboBox) e.getSource();
        tabMod.newQuery(cb.getSelectedItem().toString());
       }
      });

   tabMod = new ResultSetTableModel(DRIVER,URL,USERID,PASSWD,TABLES[0]);
   table = new JTable(tabMod);

   add(list, BorderLayout.NORTH);
   add(new JScrollPane(table), BorderLayout.CENTER);

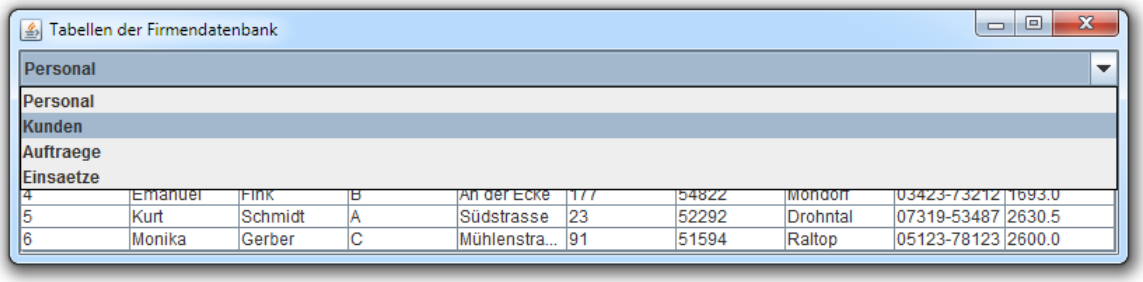
   setSize(800, 200);
```

```
      setDefaultCloseOperation(DO_NOTHING_ON_CLOSE);
      addWindowListener(new Ex());
      setVisible(true);
    } catch (Exception e) {
      JOptionPane.showMessageDialog(this, e);
      System.exit(1);
    }
  }

  public static void main(String args[]) {
    SwingUtilities.invokeLater(new Runnable() {
      public void run() {
        new DbFrontend();
      }
    });
  }

  private class Ex extends WindowAdapter {
    public void windowClosing(WindowEvent e) {
      tabMod.disconnect();
      System.exit(0);
    }
  }
}
```

Die als **ItemListener** zum **JComboBox**-Steuerelement (mit den Tabellennamen)



registrierte anonyme Klasse veranlasst in ihrer Ereignisbehandlungsmethode **itemStateChanged()** das Model-Objekt, eine neue Datenbankabfrage durchzuführen, wenn sich der Benutzer für eine andere Tabelle interessiert:

```
tabMod.newQuery(cb.getSelectedItem().toString());
```

Nachdem unser Model-Objekt in seiner Methode `newQuery()` per **SELECT**-Kommando das **ResultSet** aktualisiert hat,

```
resultSet = statement.executeQuery("SELECT * FROM "+table);
```

feuert es ein Ereignis:

```
fireTableStructureChanged();
```

Zu den registrieren Ereignisinteressenten gehört auch das **JTable**-View-Objekt, das nun die Tabelle neu aufbaut.

Die wünschenswerte dynamische Anpassung der **JFrame**-Fenstergröße an die Größe der Tabelle im **BorderLayout**-Zentrum ist mit einiger Fleißarbeit und vielen Code-Zeilen verbunden, so dass wir darauf verzichten (siehe z.B. http://www.exampledepot.com/egs/javax.swing.table/Pack.html)

18.5.6 Verbindungslose Datenbankbearbeitung über den Typ CachedRowSet

Mit dem Interface **RowSet** (im Paket **javax.sql**) existiert ein Muster, den Datenbankzugriff in eine Komponente (eine so genannte Java-Bean) zu integrieren, welche die JDBC-Klassen (z.B. **Connection**, **Statement**, **ResultSet**) kapselt und leichter verwendbar macht:

- Nachdem ihre Eigenschaften über **get**-Methoden mit den nötigen Informationen (Datenbank-URL, Benutzerdaten, **SELECT**-Kommando) versorgt wurden, verwaltet die Komponente selbständig die Datenbankverbindung.
- Ein **RowSetListener** kann sich bei einer **RowSet**-Komponente als Ereignisempfänger registrieren lassen, um z.B. über Wertänderungen informiert zu werden.
- Wie bei anderen Java-Beans ist eine Unterstützung durch Entwicklungsumgebungen möglich.

Das Interface **RowSet** erweitert das Interface **ResultSet** (siehe Abschnitt 18.5.3), so dass wir wichtige Methoden (z.B. **getString()**, **getDouble()**, **updateRow()**, **inserRow()**) schon kennen.

Von **RowSet** sind etliche Spezialisierungen abgeleitet worden, von denen wir das Interface **CachedRowSet** in diesem Abschnitt näher betrachten wollen. Es beschreibt das Verhalten einer JDBC-Komponente, welche ein Abfrageergebnis lokal speichert, Modifikationen erlaubt und später zur Datenbank überträgt. Weil eine Datenbankverbindung nur in den Übertragungsphasen besteht, …

- werden Ressourcen geschont,
- eignet sich die Technik auch für Systeme ohne permanente Netzverbindung.

Sun Microsystems bzw. Oracle erwartet **RowSet**-Implementationen durch die Datenbankanbieter, hat aber selbst Referenzimplementationen beigesteuert, z.B. die Klasse **CachedRowSetImpl** als Implementation der Schnittstelle **CachedRowSet**. Wie die folgende Variante des JDBC-Einstiegsbeispiels aus Abschnitt 18.5 demonstriert, vereinfacht die Klasse **CachedRowSetImpl** den JDBC-Einsatz erheblich:

```
class RowSetDerby {
 public static void main(String args[]) {
  javax.sql.rowset.CachedRowSet crs;
  javax.sql.RowSetMetaData metaDaten;
  try {
   crs = new com.sun.rowset.CachedRowSetImpl();
   crs.setUrl("jdbc:derby://localhost:1527/U:/Eigene Dateien/Java/JDBC/Firma");
   crs.setCommand("SELECT Vorname, Name, Gehalt FROM Personal");
   crs.execute();
   metaDaten = (javax.sql.RowSetMetaData) crs.getMetaData();

   System.out.printf("%-25s %-30s   %10s\n",
      metaDaten.getColumnName(1), metaDaten.getColumnName(2),
      metaDaten.getColumnName(3));
   while (crs.next())
    System.out.printf("%-25s %-30s   %10.2f\n",
       crs.getString(1), crs.getString(2), crs.getDouble(3));

   crs.absolute(3);
   crs.updateDouble(3, 4000);
   crs.updateRow();
   crs.acceptChanges();

  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  }
 }
}
```

Durch die Methoden **setUrl()** und **setCommand()** über den URL und die Abfrage informiert, kann das **CachedRowSetImpl**-Objekt per **execute()**-Methode beauftragt werden, das Abfrageergebnis zu beschaffen und die Datenbankverbindung anschließend wieder zu beenden. Ein **CachedRowSetImpl**-Objekt besitzt stets einen frei beweglichen Zeiger und die Update-Fähigkeit. Dem verbindungslosen Prinzip folgende haben Update-Methoden (wie **updateRow()**) zunächst nur lokale Effekte. Ein Aufruf der Methode **acceptChanges()** bewirkt, dass …

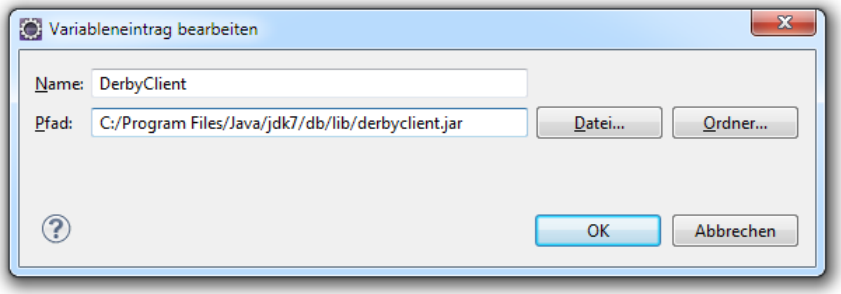
- die Verbindung zur Datenbank aufgebaut wird,
- alle Änderungen zu Datenbank übertragen werden,
- die Verbindung dann wieder geschlossen wird.

Im Beispiel wird die Java DB im Client-Server - Modus betrieben, um auch den Vorteil des verbindungslosen Arbeitens realistisch vorführen zu können. Die Klasse **RowSetMetaData** unterscheidet sich nur unwesentlich von ihrem Gegenstück **ResultSetMetaData**.

Den vollständigen Quellcode des im aktuellen Abschnitt beschriebenen Projekts finden Sie im Ordner

…\BspUeb\Datenbanken\RowSet\Derby

Das Projekt benötigt in Eclipse die Klassenpfadvariable `DerbyClient` (vgl. Abschnitt 18.3.3)



18.6 MySQL

Im Abschnitt 18.7 über den objektorientierter Datenbankzugriff mit dem Java Persistence API soll das populäre Open Source - DBMS MySQL (unter der GPL-Lizenz) verwendet werden, das beim Client-Server - Einsatz gegenüber Derby (Java DB) zu bevorzugen ist und insbesondere als ideale Ergänzung für einen Web- bzw. Anwendungsserver mit JEE-Technik gelten kann. In diesem Abschnitt werden daher Installation und Administration von MySQL auf elementarem Niveau beschrieben.

Wir verwenden den **MySQL Community Server 5.5**, der über die folgende Webseite für MacOS X, diverse UNIX/Linux - Varianten und Windows verfügbar ist:

http://dev.mysql.com/downloads/mysql/

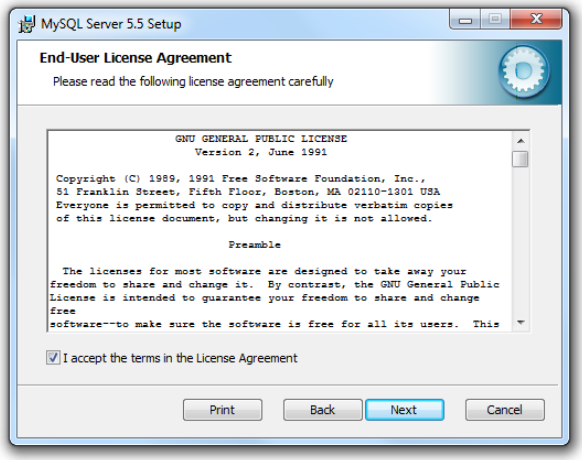
Für Windows sind eine 32- und ein 64-Bit - Variante erhältlich, jeweils als MSI-Installer und als ZIP-Archiv. Anschließend wird die Verwendung des 64-Bit - Installers beschrieben.[115]

[115] Wir verzichten auf das für Windows unter der Bezeichnung *MySQL Installer* ebenfalls angebotene Komplettpaket, das u.a. den Datenbankserver, eine grafische Bedienoberfläche (Workbench), einen JDBC-Treiber und die Dokumentation enthält, weil die Installation mit einiger Wahrscheinlichkeit mit der folgenden Fehlermeldung scheitert: *Unable to configure service*.

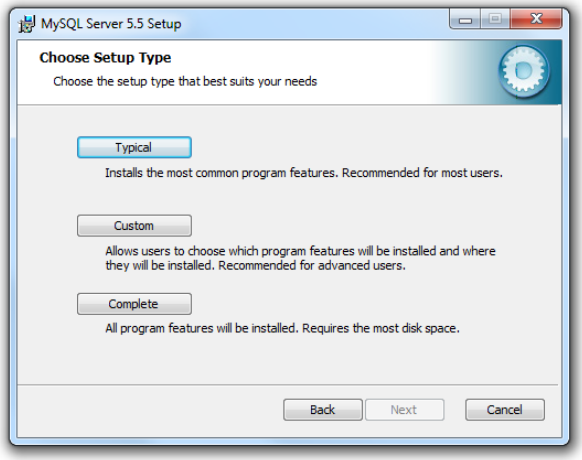
18.6.1 Installieren

Für unsere Zwecke kann der MySQL-Server auf dem Java-Entwicklungsrechner oder auf einem anderen, via Netzwerk erreichbaren Rechner installiert werden. Unter Windows startet man die Installation der 64-Bit-Variante des MySQL-Servers 5.5.27 per Doppelklick auf die Datei **mysql-5.5.27-winx64.msi**:

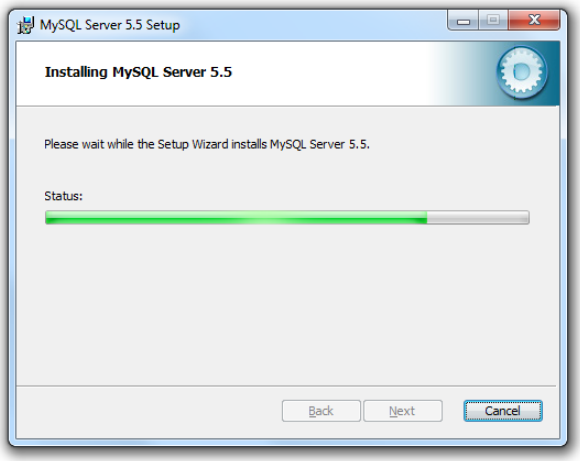
Wird nach dem Abnicken der Lizenzvereinbarung



der empfohlene **Setup-Typ**



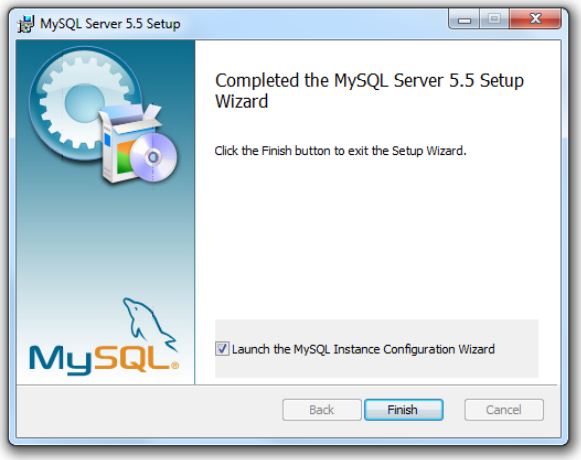
gewählt, befördert die Installation



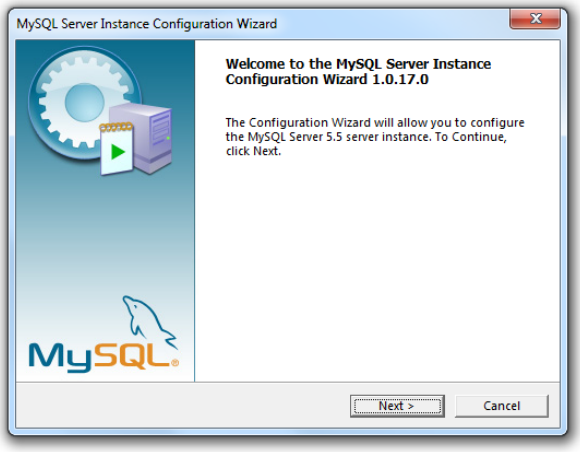
ca. 120 MB in den Ordner

%ProgramFiles%\MySQL\MySQL Server 5.5

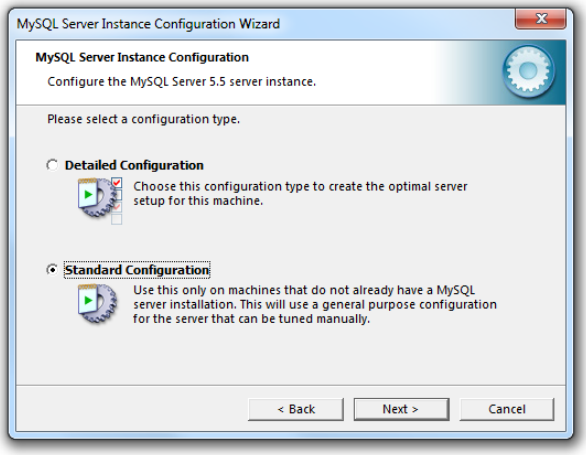
Nach einiger Werbung für kostenpflichtige Lizenzmodelle endet die Installation



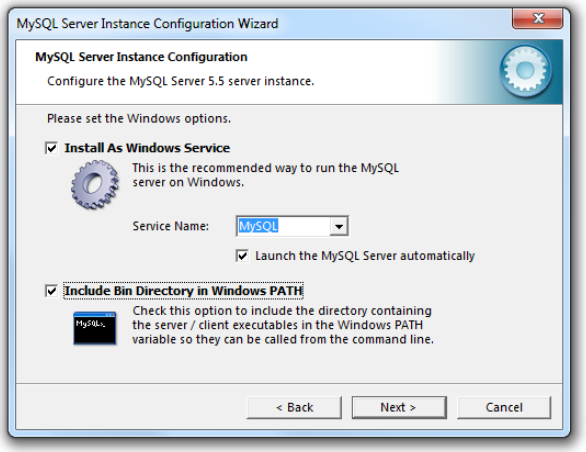
mit dem Angebot, einen Assistenten zur Konfiguration der MySQL-Serverinstanz zu starten:



Wir beschränken uns auf die **Standardkonfiguration**



und akzeptieren die vorgeschlagene Installation als Windows-Dienst:

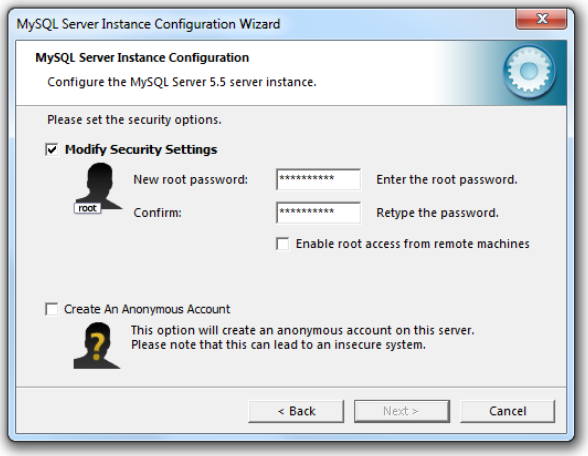


Lässt man den Ordner

%ProgramFiles%\MySQL\MySQL Server 5.5\bin

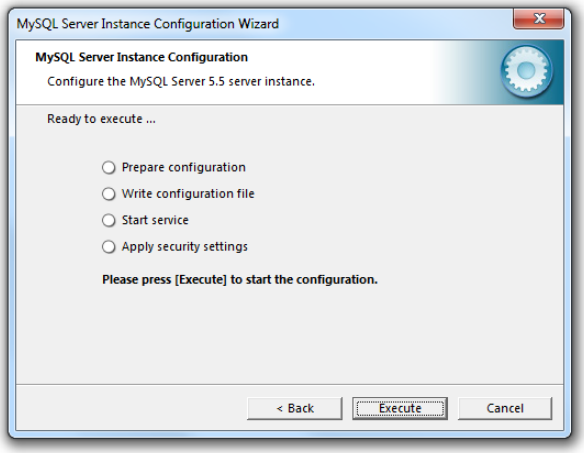
in den Suchpfad für ausführbare Programme aufnehmen, vereinfacht sich der Aufruf der Hilfsprogramme zum Verwalten des MySQL-Servers.

Im nächsten Dialog erhält der allmächtige MySQL-Superuser **root** sein Passwort:

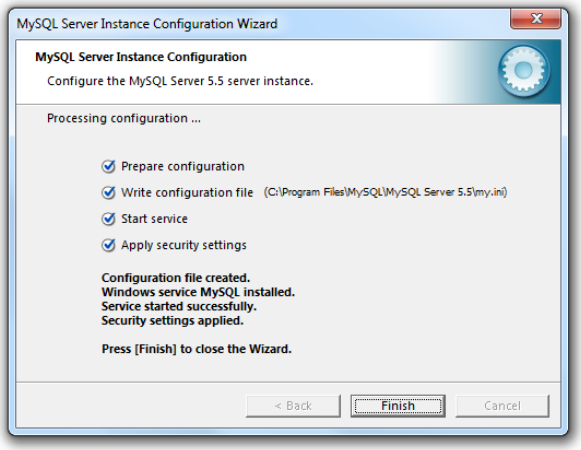


Es ist nicht erforderlich, dass der Superuser von einem anderen Rechner aus auf den MySQL-Server zugreift. Außerdem verzichten wir auf ein anonymes Konto ohne Passwort, das es jedem Benutzer des MySQL-Rechners ermöglichen würde, sich mit dem MySQL-Server zu verbinden.

Mit dem Schalter **Execute** im folgenden Dialog



startet die Verarbeitung der Konfiguration. Nach dem erfolgreichen Abschluss



ist die Konfigurationsdatei

%ProgramFiles%\MySQL\MySQL Server 5.5\my.ini

vorhanden. Hier wird z.B. festgelegt,

- an welchem TCP/IP - Port der MySQL-Server lauschen soll (Voreinstellung: 3306),
- wo die Ordner zu den Datenbanken angelegt werden sollen
  Voreinstellung unter Windows 7: **C:/ProgramData/MySQL/MySQL Server 5.5/Data/**

Der nun am Ende angelangte Konfigurationsassistent kann später über das Programm

%ProgramFiles%\MySQL\MySQL Server 5.5\bin\MySQLInstanceConfig.exe

bzw. über das Startmenü-Item

Start > Alle Programme > MySQL >
MySQL Server 5.1 > MySQL Server Instance Config Wizard

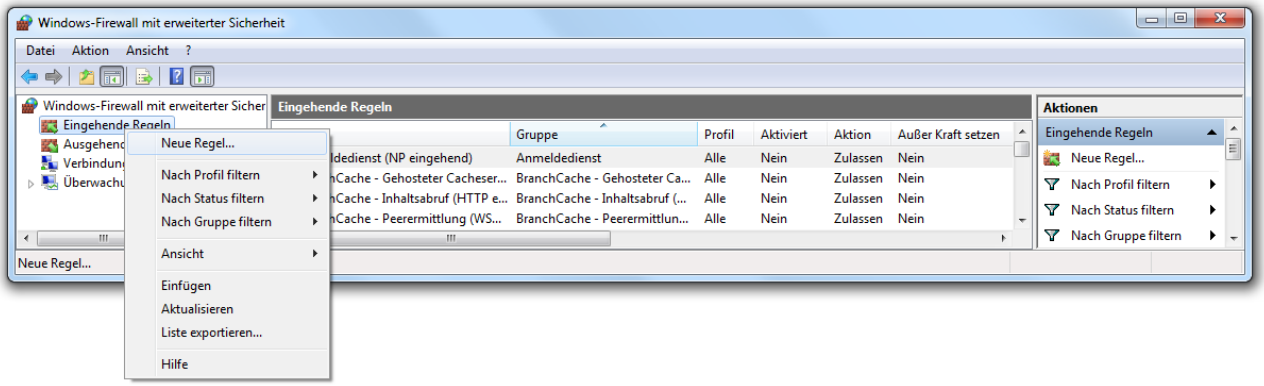
erneut gestartet werden.

18.6.2 Firewall-Ausnahme für MySQL

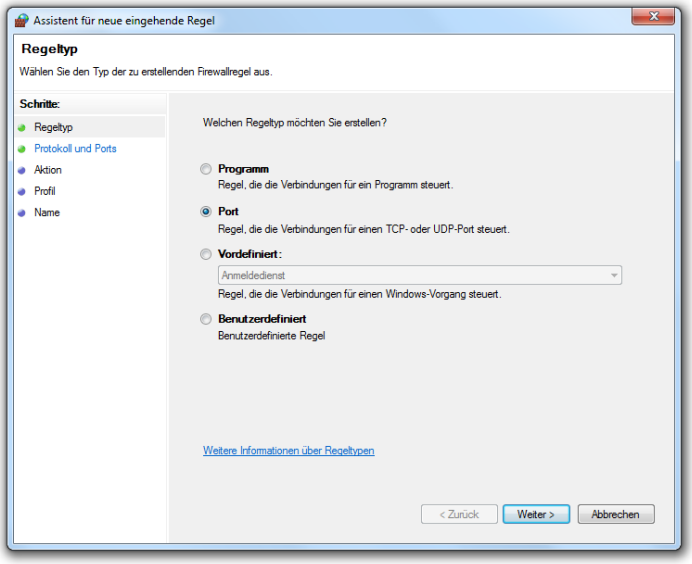
Soll ein MySQL-Server auch von fremden Rechnern aus ansprechbar sein, muss für den verwendeten Port eine Firewall-Ausnahme definiert werden. Um das zuständige Konfigurationsprogramm unter Windows 7 zu starten, kann man so vorgehen:

- Startmenü öffnen
- Im Suchfeld *Firewall* eintippen
- Das Suchergebnis *Windows-Firewall mit erweiterter Sicherheit* per Doppelklick wählen

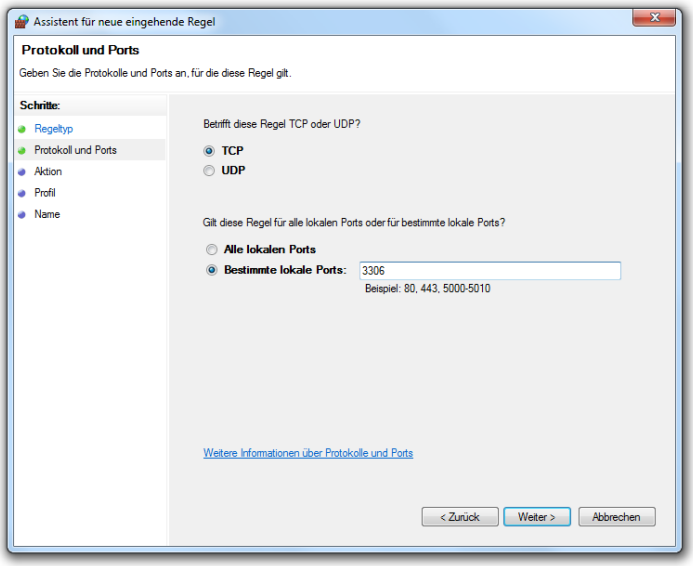
Nun startet man die Definition einer **eingehenden Regel**:



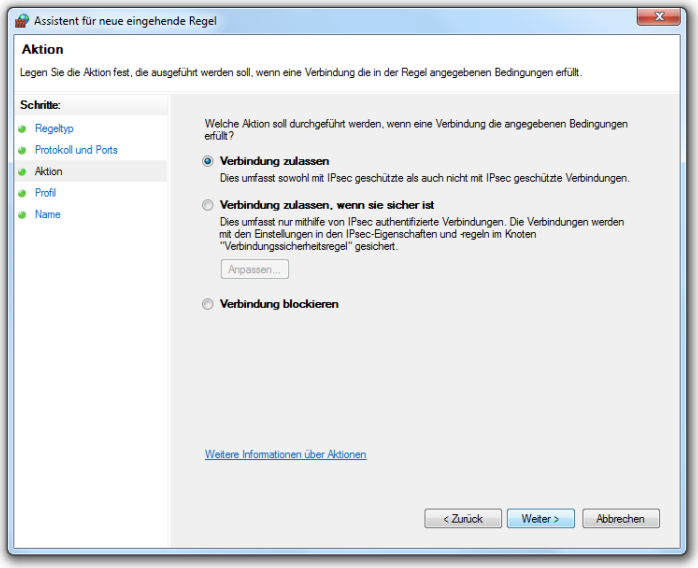
Im ersten Dialog des erscheinenden Assistenten ist **Port** als **Regeltyp** zu wählen:



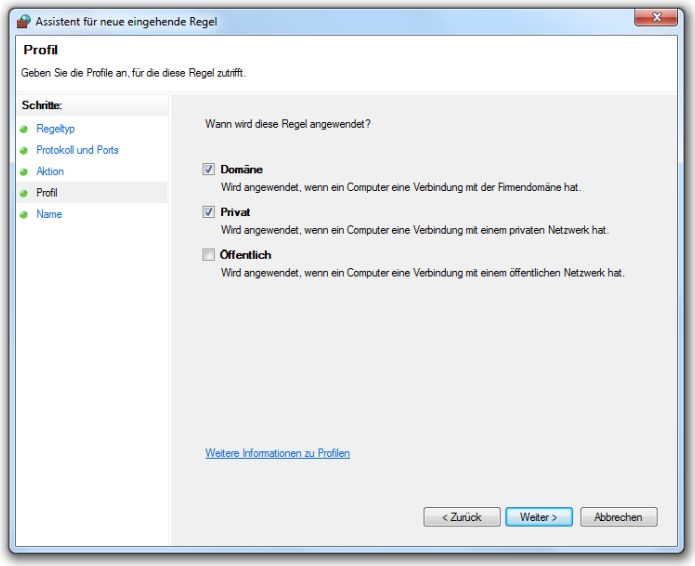
Im zweiten Dialog trägt man den **TCP**-Port ein, den der MySQL-Server benutzt (per Voreinstellung 3306):



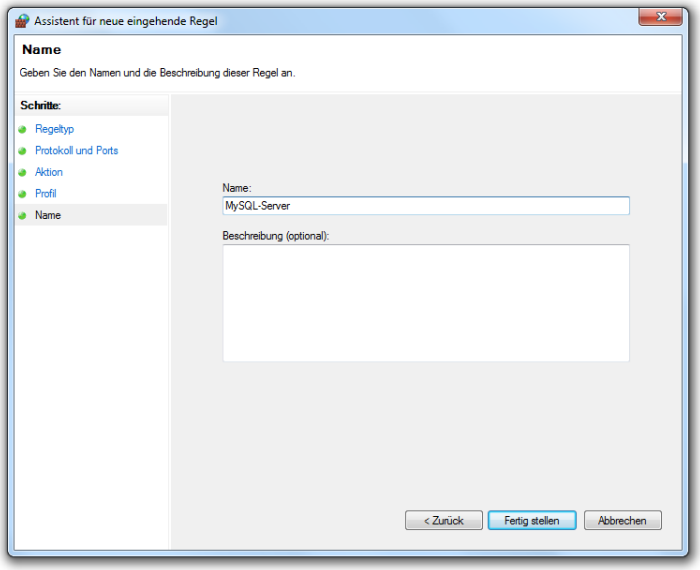
Anschließend legt man fest, ob *jede* Verbindung zugelassen, oder eine *gesicherte* Verbindung verlangt werden soll:



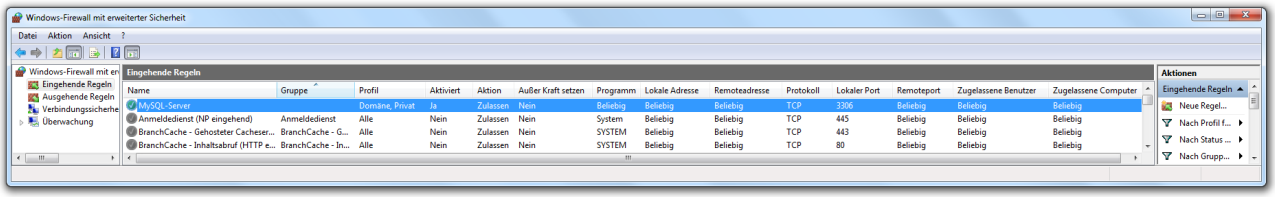
Im nächsten Dialog geht es darum, in welcher Netzwerkumgebung (**Domäne**, **Privat**, **Öffentlich**) die neue Regel gelten soll:



Abschließend ist noch ein Name für die neue Regel festzulegen:



Das Ergebnis:



Wer für administrative Arbeiten ein Konsolenfenster gegenüber Assistentendialogen bevorzugt, kann obige Regel auch mit dem folgenden **netsh**-Kommando vereinbaren:

```
>netsh advfirewall firewall add rule name="MySQL Server"
  action=allow protocol=TCP dir=in localport=3306 profile=private,domain
```

18.6.3 MySQL-Administration per Monitor

Bei der Verwaltung eines MySQL-Servers lassen sich viele Aufgaben mit dem Konsolen-Programm **mysql.exe** erledigen, das oft als *MySQL-Monitor* bezeichnet wird und im Funktionsumfang mit dem **Java DB**-Werkzeug **ij** vergleichbar ist (siehe Abschnitt 18.3.2). Es unterstützt den Stapelbetrieb und kann somit Routinearbeiten rationell erledigen.

Auf der Webseite

http://dev.mysql.com/downloads/

wird mit der **MySQL Workbench** ein multifunktionales grafisches Werkzeug angeboten, das seit der Version 5.2 auch die Datenbankadministration unterstützt und einige (aber nicht alle) der anschließend beschriebenen Arbeiten erleichtern kann. Wir verzichten auf die MySQL Workbench, weil wir in erster Linie an der Datenbank-Programmierung mit Java interessiert sind.

18.6.3.1 Benutzer anlegen und berechtigen

Wir legen den MySQL-Benutzer `dummy` an mit der Berechtigung, auf einem beliebigen Rechner für beliebige Datenbanken die SQL-Kommandos **CREATE**, **SELECT**, **INSERT**, **DELETE**, **UPDATE** und **DROP** auszuführen. Starten Sie dazu bei aktivem MySQL-Server in einem Konsolenfenster das Monitor-Hilfsprogramm **mysql** als Benutzer **root**, z.B.:

```
>mysql -p -u root
```

Nach der interaktiven Passwortabfrage, die durch den Parameter **-p** angefordert wurde, antwortet der Monitor mit:

```
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 1
Server version: 5.5.27 MySQL Community Server (GPL)
```

Schicken Sie anschließend ein **GRANT**-Kommando nach folgendem Muster ab:

```
mysql> GRANT SELECT,INSERT,UPDATE,DELETE,CREATE,DROP
    -> ON *.* TO 'dummy' IDENTIFIED BY 'rH7%g$_cZw7%Q';
```

Der Monitor antwortet mit:

```
Query OK, 0 rows affected (0.06 sec)
```

Soll das Anmelderecht des neuen Kontos auf bestimmte Rechner beschränkt werden, lässt man in der **TO**-Klausel dem Kontonamen eine Rechnerangabe folgen, wobei Jokerzeichen erlaubt sind. Im folgenden Beispiel wird eine Anmeldung des Benutzers `dummy` akzeptiert, sofern er an einem beliebigen Rechner in der Domäne **uni-trier.de** arbeitet:

```
    -> TO 'dummy'@'%.uni-trier.de'
```

Mit dem **GRANT**-Befehl lassen sich auch die Rechte eines vorhandenen Benutzers ändern. Sollen die aktuellen Rechte eines Benutzers aufgelistet werden, taugt das Kommando **SHOW GRANTS**, z.B.:

```
mysql> SHOW GRANTS FOR 'dummy';
```

Man kann das Programm **mysql** auch im Stapelbetrieb verwenden und z.B. mit Hilfe der folgender Textdatei **dummy.sql**

```
GRANT SELECT,INSERT,UPDATE,DELETE,CREATE,DROP
 ON *.*
 TO 'dummy'
 IDENTIFIED BY 'rH7%g$_cZw7%Q';
```

den neuen Benutzer `dummy` mit diesem Befehl eintragen:

```
>mysql -p -u root < dummy.sql
```

Zum Beenden des MySQL-Monitors taugen die Kommandos **quit** oder **exit**, z.B.:

```
mysql> exit;
```

MySQL antwortet:

```
Bye
```

18.6.3.2 Benutzer löschen

Starten Sie dazu bei aktivem MySQL-Server in einem Konsolenfenster den MySQL-Monitor als Benutzer **root**:

```
>mysql -p -u root
```

Schicken Sie anschließend ein **DROP USER** - Kommando nach folgendem Muster ab:

```
mysql> DROP USER 'dummy';
```

18.6.3.3 Passwort für einen Benutzer ändern

Starten Sie dazu bei aktivem MySQL-Server in einem Konsolenfenster den MySQL-Monitor als Benutzer **root**:

```
>mysql -p -u root
```

Eine erste Möglichkeit zur Änderung eines Passworts bietet das MySQL-Kommando **SET PASSWORD**. Im folgenden Beispiel erhält der Superuser **root** ein neues Passwort:

```
mysql> SET PASSWORD FOR 'root'@'localhost' = PASSWORD('z%VTg#d_8K');
```

MySQL antwortet z.B. mit:

```
Query OK, 0 rows affected (0.01 sec)
```

Das neue Passwort ist sofort gültig.

Alternativ lässt sich die Passwortänderung auch mit dem SQL-Kommando **UPDATE** realisieren:

```
mysql> UPDATE mysql.user SET Password=PASSWORD('z%VTg#d_8K') WHERE User='root';
```

MySQL antwortet z.B. mit:

```
Query OK, 1 row affected (0.02 sec)
Rows matched: 1  Changed: 1  Warnings: 0
```

Gerade haben Sie erfahren, dass zur Verwaltung der MySQL-Benutzer die vordefinierte Datenbank **mysql** mit der Tabelle **user** dient. Damit der Server ein per **UPDATE** geändertes Passwort ohne Neustart sofort aktiviert, ist das Kommando **FLUSH PRIVILEGES** erforderlich:

```
mysql> FLUSH PRIVILEGES;
```

MySQL antwortet:

```
Query OK, 0 rows affected (0.02 sec)
```

18.6.3.4 Datenbank im Stapelbetrieb anlegen

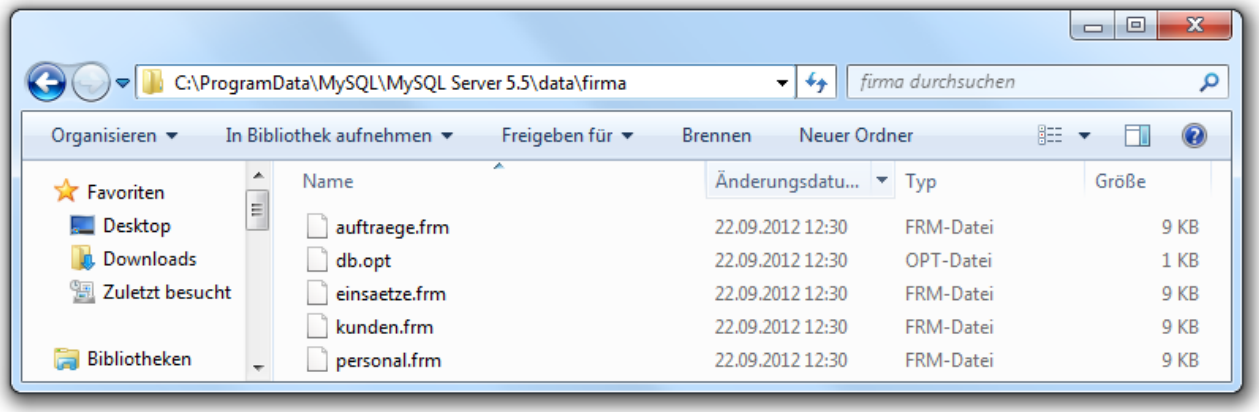
Analog zum Abschnitt 18.3.2 soll die in Abschnitt 18.1 beschriebenen Datenbank auch für den MySQL-Server per Skript angelegt und gefüllt werden (siehe **...\BspUeb\Datenbanken\FirmaMySQL.sql**). Dabei sind einige Abweichungen gegenüber dem analogen Derby-Skript zu beachten:

- Kommando **CREATE DATABASE**
  MySQL unterstützt das Kommando **CREATE DATABASE**, z.B.:
  ```
  CREATE DATABASE IF NOT EXISTS Firma;
  USE Firma;
  ```
  Es wird die Datenbank `Firma` erzeugt. Mit der Klausel **IF NOT EXISTS** verhindert man eine Fehlermeldung, falls bereits eine Datenbank mit diesem Namen existiert.
  Aufgrund des **USE**-Kommandos weiß MySQL, dass sich spätere Befehle auf die Datenbank `Firma` beziehen, so dass den Namen von Tabellen kein Datenbankname vorangestellt werden muss.
- Kommando **DROP DATABASE**
  Mit dem Kommando **DROP DATABASE** lässt sich eine Datenbank entfernen, was speziell bei einer Übungsdatenbank eine bequeme Möglichkeit bietet, nach diversen Experimenten den Ausgangszustand wiederherzustellen, z.B.:
  ```
  DROP DATABASE IF EXISTS Firma;
  CREATE DATABASE Firma;
  ```
  Mit der Klausel **IF NOT EXISTS** verhindert man eine Fehlermeldung, falls keine Datenbank mit diesem Namen existiert.
- Kommando **DROP TABLE**
  Mit dem Kommando **DROP TABLE** lässt sich eine Datenbanktabelle entfernen, z.B.:
  ```
  DROP TABLE IF EXISTS Personal;
  ```
- Schlüsselwort **AUTO_INCREMENT**
  Im Kommando **CREATE TABLE** kann mit dem Schlüsselwort **AUTO_INCREMENT** vereinbart werden, die Werte einer Spalte ausgehend vom Startwert 1 automatisch zu erhöhen, z.B.:
  ```
  CREATE TABLE Personal (
     PersNr INT AUTO_INCREMENT,
     Vorname VARCHAR (25) NOT NULL,Name VARCHAR (50) NOT NULL,
     Abteilung CHAR (1) NOT NULL,Strasse VARCHAR (40) NOT NULL,
     Hausnummer VARCHAR (5) NOT NULL,PLZ CHAR (5) NOT NULL,
     Ort VARCHAR (40) NOT NULL, Telefon VARCHAR(20) NOT NULL,
     Gehalt DOUBLE NOT NULL, PRIMARY KEY (PersNr)
  ) ENGINE=INNODB;
  ```
- Tabellentyp **INNODB**
  In der Regel sollte man für MySQL-Tabellen die **INNODB** - Speicher-Engine verwenden, die Transaktionssicherheit, hohe Performanz und eine unbegrenzte Speicherkapazität bietet.

Wir lassen das Skript bei aktivem MySQL-Server vom Monitor-Hilfsprogramm **mysql** im Stapelbetrieb ausführen:

```
>mysql -p -u root < FirmaMysQL.sql
```

Nach der erfolgreichen Ausführung des Skripts findet sich an der erwarteten Stelle ein Ordner mit der neuen Datenbank, z.B.



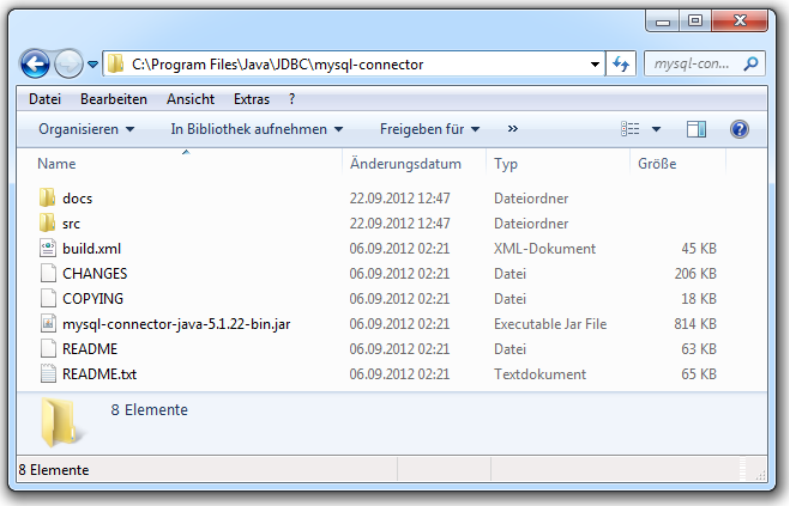
18.6.4 JDBC-Treiber installieren

Den aktuellen JDBC-Treiber zu MySQL findet man unter

http://dev.mysql.com/downloads/connector/j/

Weil der **MySQL Connector/J** komplett in Java entwickelt ist (JDBC-Treiber-Typ 4), resultiert eine direkte und schnelle Verbindung zwischen einem Java-Programm und einem MySQL-Server.

Zum Installieren des JDBC-Treibers ist lediglich die Archivdatei **mysql-connector-java-5.1.22.zip** auszupacken, z.B.:

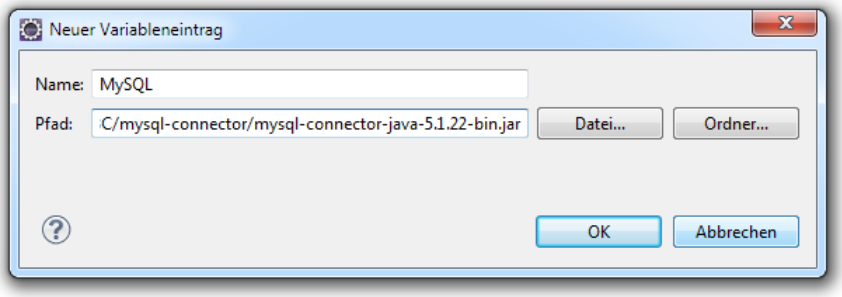


Wesentlich ist, dass die JAR-Datei **mysql-connector-java-5.1.22-bin.jar** mit den Klassen des Treibers vom Java-Compiler und von der Java-Runtime gefunden wird. Man kann das Archiv in die CLASSPATH-Definition aufnehmen, in den Unterordner **…\lib\ext** der JRE-Installation kopieren oder beim Programmstart via **classpath**-Option bekannt machen.

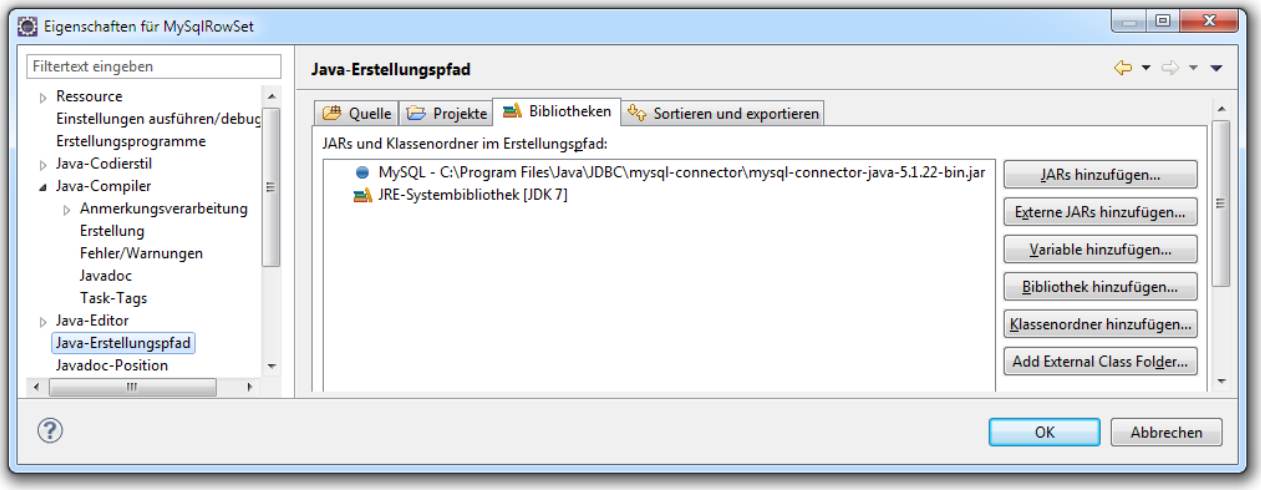
Um den JDBC-Treiber bequem in der JEE-Version von Eclipse verwenden zu können, definieren wir zunächst über

Fenster > Benutzervorgaben > Java > Erstellungspfad > Klassenpfadvariablen > Neu

eine Klassenpfadvariable, die auf das Archiv **mysql-connector-java-5.1.22-bin.jar** zeigt, z.B.:



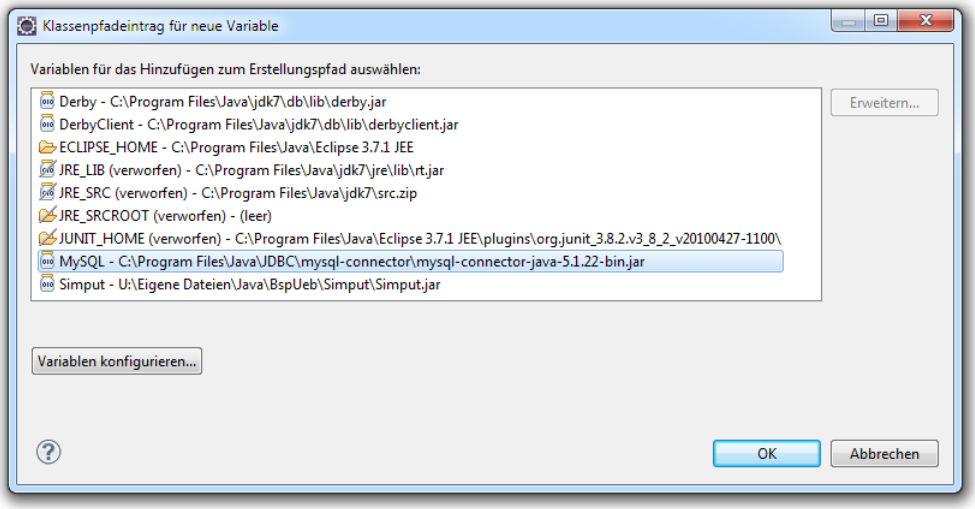
Soll ein konkretes Projekt die Klassenpfadvariable nutzen, muss diese im Eigenschaftsdialog des Projekts (z.B. erreichbar via Kontextmenü zum Projekteintrag im **Paket-Explorer**)



über

Java-Erstellungspfad > Bibliotheken > Variable hinzufügen

hinzugefügt werden, z.B.:



18.6.5 MySQL-Datenbank per JDBC verwenden

Das folgende Programm stellt unter Verwendung des MySQL-Benutzerkontos `dummy` (vgl. Abschnitt 18.6.3.1) eine Verbindung zur Datenbank `Firma` her, die von einem MySQL-Server auf dem Rechner mit der IP-Nummer 192.168.178.34 (erreichbar im lokalen Subnetz) mit dem Standardport 3306 verwaltet wird, und verschafft sich per **SELECT**-Anweisung aus der Tabelle `Per-`

sonal die Daten der Spalten Vorname, Name und Gehalt. Dabei kommt die in Abschnitt 18.5.6 beschriebene Klasse **CachedRowSetImpl** zum Einsatz:

```
import javax.sql.rowset.CachedRowSet;
import javax.sql.RowSetMetaData;
import com.sun.rowset.CachedRowSetImpl;

class RowSetMySql {
 static final String DRIVER = "com.mysql.jdbc.Driver";
 static final String URL =
  "jdbc:mysql://192.168.178.34:3306/firma?relaxAutoCommit=true";
 static final String USERID = "dummy";
 static final String PASSWD = "rH7%g$_cZw7%Q";

 public static void main(String args[]) {
  CachedRowSet crs;
  RowSetMetaData metaDaten;
  try {
   Class.forName(DRIVER); // JDBC-Treiber laden

   crs = new CachedRowSetImpl();
   crs.setUrl(URL);
   crs.setCommand("SELECT PersNr, Vorname, Name, Gehalt FROM Personal");
   crs.setUsername(USERID);
   crs.setPassword(PASSWD);
   crs.execute();
   metaDaten = (RowSetMetaData) crs.getMetaData();

   System.out.printf("%-10s %-25s %-25s %10s\n",
    metaDaten.getColumnName(1), metaDaten.getColumnName(2),
    metaDaten.getColumnName(3),metaDaten.getColumnName(4));
   while (crs.next())
    System.out.printf("%-10s %-25s %-25s %10.2f\n",
     crs.getInt(1), crs.getString(2), crs.getString(3), crs.getDouble(4));

   crs.absolute(1);
   crs.updateDouble(4, 2000.0);
   crs.updateRow();
   crs.acceptChanges();
  } catch (Exception e) {
   e.printStackTrace();
  }
 }
}
```

Ausgabe:

```
PersNr     Vorname                   Name                          Gehalt
1          Ulla                      2400.0                      1900,00
2          Otto                      Schmidt                     2490,50
3          Ludger                    Müller                      2260,33
4          Emanuel                   Fink                        1693,00
5          Kurt                      Schmidt                     2630,50
6          Monika                    Gerber                      2600,00
```

Im MySQL-URL muss die Eigenschaft **relaxAutoCommit** auf den Wert true gesetzt werden:

```
jdbc:mysql://192.168.178.34:3306/firma?relaxAutoCommit=true
```

Anderenfalls kommt es beim Datenbank-Update via **CachedRowSetImpl**

```
daten.absolute(1);
daten.updateDouble(4, 2000.0);
daten.updateRow();
daten.acceptChanges();
```

mit dem MySQL - JDBC-Treiber zu einem Ausnahmefehler, obwohl der MySQL-Server die gewünschten Änderungen vornimmt:[116]

```
java.sql.SQLException: Can't call commit when autocommit=true
```

18.6.6 Verwendung der DTP-Werkzeuge in Eclipse

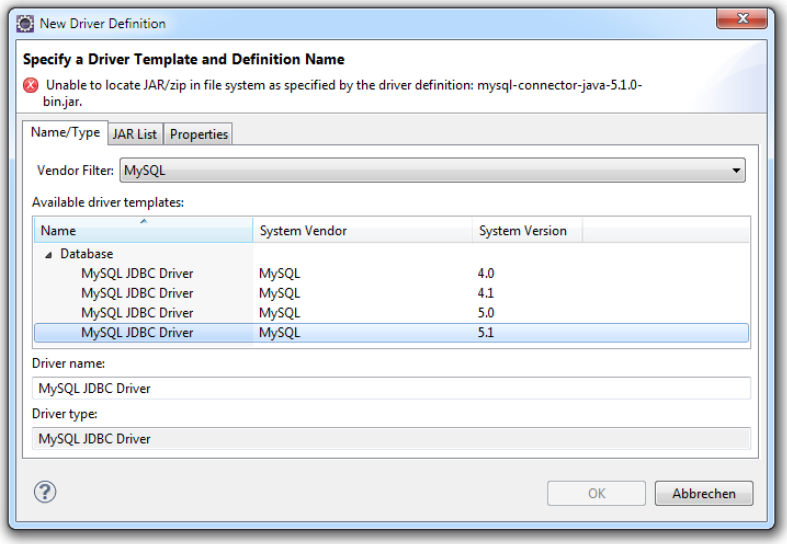
Die in Abschnitt 18.4 vorgestellten Werkzeuge des Eclipse-Plugins DTP (Data Tools Plattform) kooperieren natürlich auch mit MySQL.

18.6.6.1 Treiberdefinition

Zunächst ist die Treiberdefinition über

Fenster > Benutzervorgaben > Data Management > Connectivity > Driver Definitions > Add

einzuleiten. Im folgenden Dialog setzt man auf der Registerkarte **Name/Type** optional den **Vendor-Filter** auf **MySQL**, wählt ein **driver template** mit möglichst gut passender MySQL-Version (mit der tatsächlich installierten Version beginnend abwärts suchen) und ändert optional den vorgeschlagenen Treibernamen:

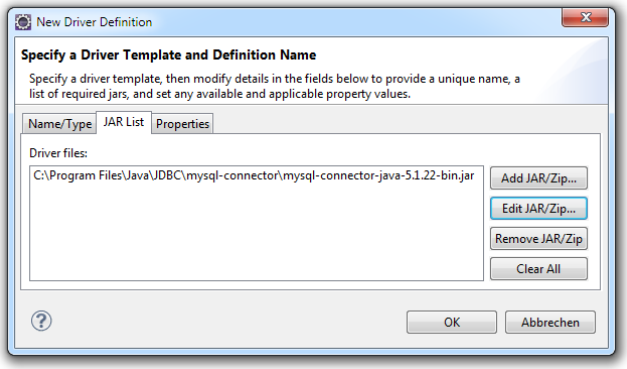


Auf der Registerkarte **JAR List** ist der Pfad zur Treiberdatei anzugeben:

---

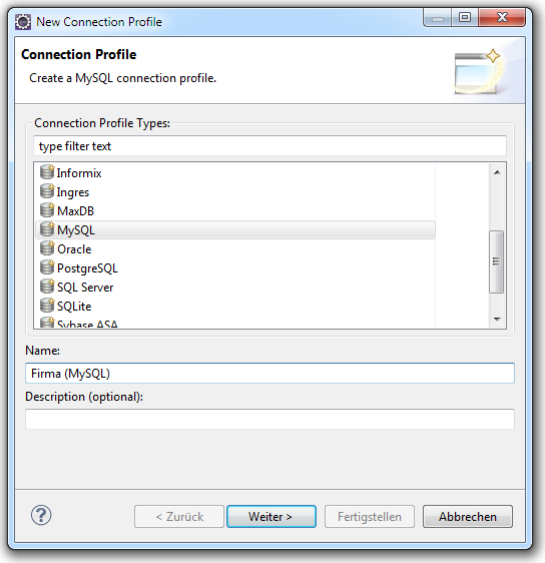
[116] Auf der Webseite http://docs.oracle.com/cd/E19226-01/820-7695/gbhbr/index.html gibt die Firma Oracle folgende Erklärung:

> MySQL always starts a new connection when `autoCommit==true` is set. This ensures that each SQL statement forms a single transaction on its own. If you try to rollback or commit an SQL statement, you get an error message.
>
> ```
> java.sql.SQLException: Can't call rollback when autocommit=true
> ```
>
> To resolve this issue, add `relaxAutoCommit=true` to the JDBC URL.

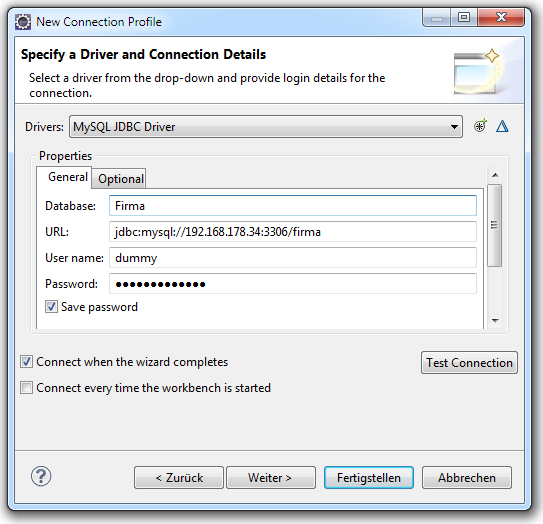


18.6.6.2 Verbindungsprofil

Unter Verwendung der in Abschnitt 18.6.6.1 erstellten Treiberdefinition legen wir nun ein Verbindungsprofil zu der in Abschnitt 18.6.3.4 erstellten Beispieldatenbank `Firma` an. Dazu wechseln wir nötigenfalls zur Perspektive **Database Development**, öffnen im **Data Source Explorer** das Kontextmenü zum Element **Database Connections** und wählen das Item **New**. Es erscheint der folgende Dialog, wo ein RDBMS und ein Profilname festzulegen sind:

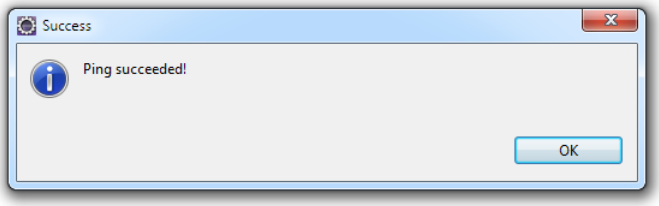


Im nächsten Assistentendialog sind ein Treiber, eine Datenbank, ein URL sowie die Kontodaten anzugeben:

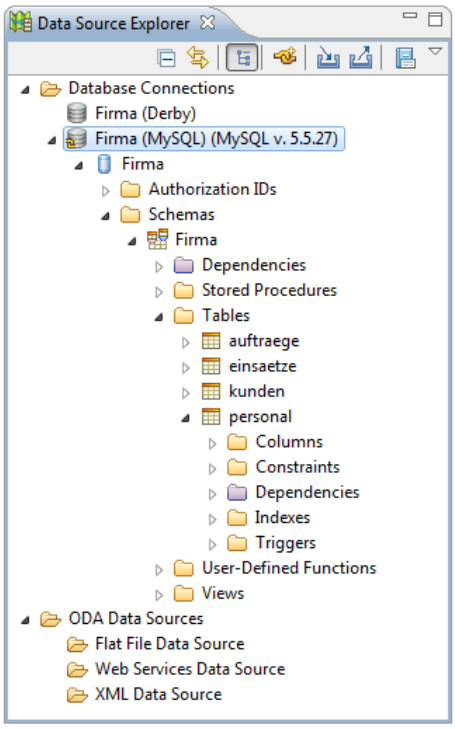


Weil unsere MySQL-Installation nicht auf dem Java-Entwicklungsrechner läuft, und sich der MySQL-Superuser **root** vereinbarungsgemäß (siehe Abschnitt 18.6.1) nur vom MySQL-Rechner aus mit dem DBMS verbinden darf, wird für das Verbindungsprofil der in Abschnitt 18.6.3.1 angelegte Benutzer `dummy` verwendet, der sich von jedem Rechner aus mit dem MySQL-Server verbinden darf.

Nach einem Klick auf den Schalter **Test Connection** sollte dieses Ergebnis erscheinen:



Wenn wir uns nicht (über das Kontrollkästchen **Connect when the wizard completes**) dagegen aussprechen, die Verbindung gleich zu öffnen, zeigt der Datenquellen-Explorer nach einem Klick auf **Fertigstellen** das folgende Bild:



Nun kann man die Struktur einer Tabelle inspizieren und auch Tabellen editieren (vgl. Abschnitt 18.4.3). Über die Items **Connect** bzw. **Disconnect** aus dem Kontextmenü eines Verbindungsprofils lässt sich eine Verbindung jederzeit herstellen bzw. beenden.

18.7 Objektorientierter Datenbankzugriff mit dem Java Persistence API

Die direkte Verwendung der JDBC-Bibliothek kann bei komplexeren Projekten durch die SQL-basierte Kommunikation mit dem DBMS mühsam werden. Außerdem ist eine durchgehend objektorientierte Softwareentwicklung gegenüber der Java/SQL - Kombination zu bevorzugen. In professioneller Software kommt meist eine ORM-Lösung (*Object-Relational Mapping*, auch *Persistenz-Framework* genannt) zum Einsatz, die Java-Klassen auf Datenbanktabellen abbildet.

Den größten Verbreitungsgrad hat die Open Source - Software **Hibernate** (http://www.hibernate.org/) erreicht, die von der Firma RedHat gesponsert wird. Mittlerweile hat die Firma Sun/Oracle in enger Zusammenarbeit mit dem Hibernate-Projekt und anderen Initiativen das **Java Persistence API** (JPA) definiert, das für eine Integration der verschiedenen ORM-

Ansätze sorgen soll (siehe Sun Microsystems 2009). Das JPA ist keine Bibliothek, sondern eine Spezifikation, so dass zur konkreten Umsetzung ein **Persistenz-Provider** benötigt wird (z.B. EclipseLink, Hibernate, Kodo, OpenJPA, TopLink).

18.7.1 Java Persistence API

Das Java Persistence API erlaubt im JSE- und im JEE-Umfeld die Abbildung von Java-Klassen auf Tabellen einer relationalen Datenbank. Dabei ist es ist dem Entwickler freigestellt, ob er die Abbildungen über Annotationen (vgl. Abschnitt 7.4) im Quellcode oder mit Hilfe der Datei **orm.xml** definieren möchte.

Zur Konfiguration der Persistenzlösung wird die Datei **persistence.xml** verwendet, wo u.a. die Zugriffsdaten für das RDBMS einzutragen sind, z.B.:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<persistence version="2.0" xmlns="http://java.sun.com/xml/ns/persistence"
 xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
 xsi:schemaLocation="http://java.sun.com/xml/ ... /persistence_2_0.xsd">
 <persistence-unit name="JPAPersonen">
  <provider>org.eclipse.persistence.jpa.PersistenceProvider</provider>
  <class>Personal</class>
  <properties>
   <property name="javax.persistence.jdbc.driver" value="com.mysql.jdbc.Driver" />
   <property name="javax.persistence.jdbc.url" value="jdbc:mysql://192.168.178.34/Firma" />
   <property name="javax.persistence.jdbc.user" value="dummy" />
   <property name="javax.persistence.jdbc.password" value="rH7%g$_cZw7%Q" />
  </properties>
 </persistence-unit>
</persistence>
```

18.7.1.1 Persistente Klassen (Entitätsklassen)

Eine persistente Klasse wird auf eine Datenbanktabelle abgebildet, wobei jedem Objekt der Klasse eine Zeile der Tabelle entspricht. Oft bezeichnet man sie als *Entität* (engl. *entity*), wobei eigentlich begrifflich zwischen *Entitätstypen* (bzw. *-klassen*) und konkreten Instanzen einer Entität unterschieden werden muss.

Werden die Abbildungs-Metadaten über Annotationen geliefert, ist der Klassendefinition die Annotation **Entity** (Paket **javax.persistence**) voranzustellen. Wenn sich die Namen von Klasse und Datenbanktabelle unterscheiden, ist zusätzlich die Annotation **Table** zu verwenden, z.B.:

```
@Entity
@Table(name = "kunden")
public class Kunde implements Serializable {
 . . .
}
```

Zu den Spalten der Datenbanktabelle besitzt die zugehörige persistente Klasse Instanzvariablen und in der Regel (Datenkapselung!) auch **get**- bzw. **set**-Methoden.

Neben der Kennzeichnung als Entität sind von einer persistente Klasse noch folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Es muss ein **Primärschlüssel** deklariert werden, was z.B. über die Annotation **Id** geschehen kann (siehe unten).
- Es sind nur Top-Level - Klassen zugelassen.
- Es wird ein parameterloser Konstruktor mit Zugriffsstufe **public** oder **protected** benötigt.

Wichtige Annotationen für ein einzelnes Feld:

- **Id**
  Mit dieser Annotation wird der Primärschlüssel festgelegt (siehe Sun Microsystems 2009, Abschnitt 11.1.18), z.B.:
  ```
  @Id
  private int KundenNr;
  ```
- **GeneratedValue**
  Diese Annotation regelt das Verfahren zum automatischen Generieren von Primärschlüsselwerten (siehe Sun Microsystems 2009, Abschnitt 11.1.17), z.B.:
  ```
  @Id
  @GeneratedValue(strategy = GenerationType.IDENTITY)
  private int KundenNr;
  ```
- **Column**
  Mit dieser Annotation (siehe Sun Microsystems 2009, Abschnitt 11.1.9) lässt sich für ein persistentes Feld beeinflussen:
  - Name der zugehörigen Tabellenspalte
  - Spalten-Restriktionen
    Dies ist relevant für das Generieren des Datenbankschemas aus den JPA-Metadaten.
- **Transient**
  So dekorierte Felder werden *nicht* auf die Datenbanktabelle abgebildet.

Mit den auf Datenbankspalten bezogenen JPA-Annotationen kann man entweder die zugehörigen Instanzvariablen oder die **get**-Methoden dekorieren, darf aber die beiden Techniken nicht kombinieren (Vogel 2012).

18.7.1.2 Persistenzeinheit und Entitätsmanager

Eine Persistenzeinheit (engl. *persistence unit*) und wird in der JPA-Konfigurationsdatei **persistence.xml** definiert und kann mit einer Datenquelle assoziiert werden. Sie beinhaltet u.a. die persistenten Klassen (Entitäten) und die Eigenschaften der Datenbankverbindung. Zur Verwendung einer Persistenzeinheit benötigt man einen Entitätsmanager (engl.: *entity manager*), der u.a. folgenden Kompetenzen besitzt:

- Objekte in einer Tabellenzeile ablegen (persistieren)
- Objekte aus einer Tabellenzeile generieren (aus dem persistenten Zustand restaurieren)
- Transaktionen verwalten

Bei der Java Standard Edition (JSE) kommt man folgendermaßen (unter Beteiligung von Klassen und Schnittstellen aus dem Paket **javax.persistence**) zu einem Objekt vom Typ **EntityManger**:

- Man fordert zu einer Persistenzeinheit bei der Klasse **Persistence** über die statische Methode **createEntityManagerFactory()** ein Objekt vom Typ **EntityManagerFactory** an. Ein solches Objekt ist aufwändig, so dass ein häufiges Erstellen und Verwerfen zu vermeiden ist. Wer die verbreitete Persistenzlösung Hibernate kennt, darf an eine **SessionFactory** denken.
- Bei der **EntityManagerFactory** fordert man über die Instanzmethode **createEntityManager()** ein Objekt vom Typ **EntityManager** an. Es hat ähnliche Aufgaben wie eine **Session** in Hibernate.

Bei der Java Enterprise Edition (JEE) ist die **EntityManager**-Erstellung etwas anders organisiert.

18.7.2 Verwendung von EclipseLink

Wir arbeiten mit der JPA - Referenzimplementation, dem (vom Produkt *TopLink* der Firma Oracle abstammenden) Open Source - Persistenz-Provider **EclipseLink**.

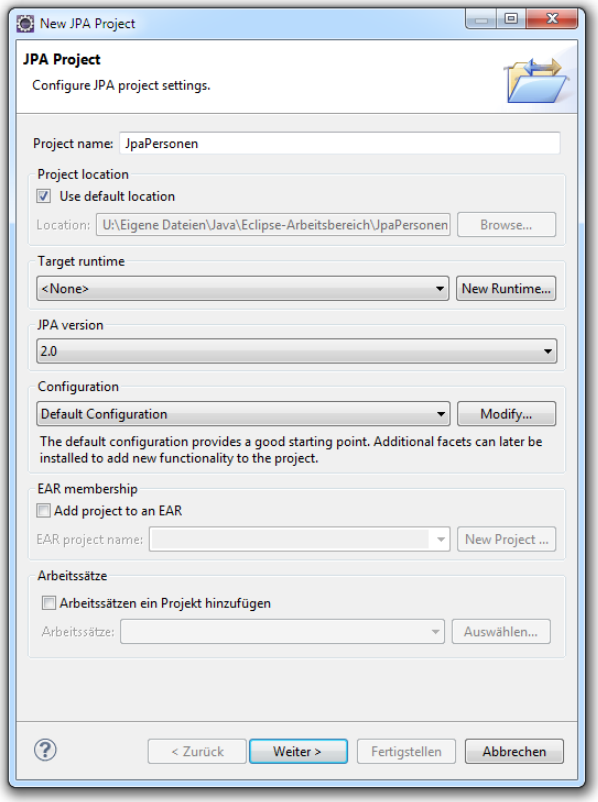
Weiterhin verwenden wir das RDBMS MySQL (siehe Abschnitt 18.6) und die bereits gut bekannte Datenbank `Firma` (siehe Abschnitt 18.1.1). Seit Abschnitt 18.6.6 existieren in unserer Eclipse-Konfiguration eine Treiberdefinition zu MySQL und ein Verbindungsprofil zur Datenbank `Firma`. Bei den ersten JPA-Gehversuchen beschränken wir uns auf die Tabelle `Personal` und fügen dort, ohne SQL-Syntax zu benötigen, neue Zeilen ein, die im Beispielprogramm als Objekte auftreten.

18.7.2.1 Projekt anlegen

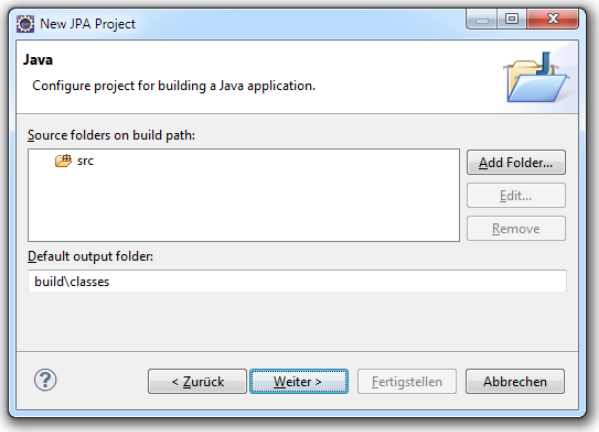
Legen Sie in Eclipse (bei aktiver Perspektive **Java EE**) ein neues JPA-Projekt an über

Datei > Neu > JPA Project

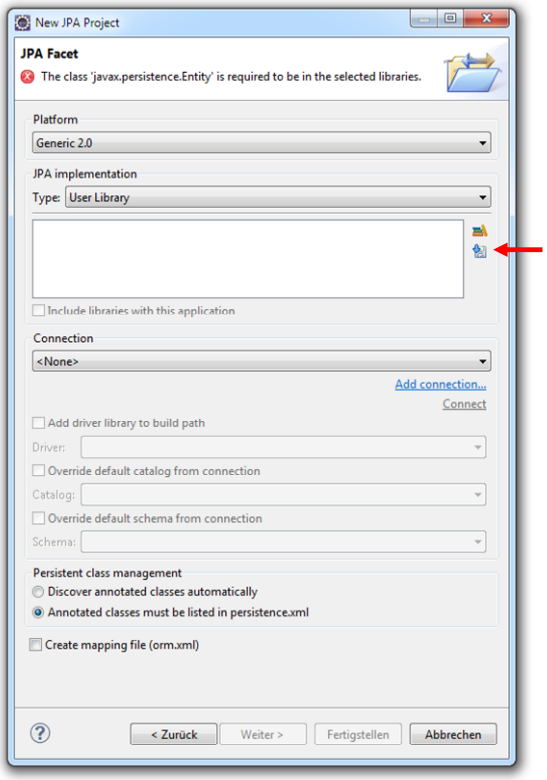
Im ersten Assistentendialog muss nur der Projektname vergeben werden:



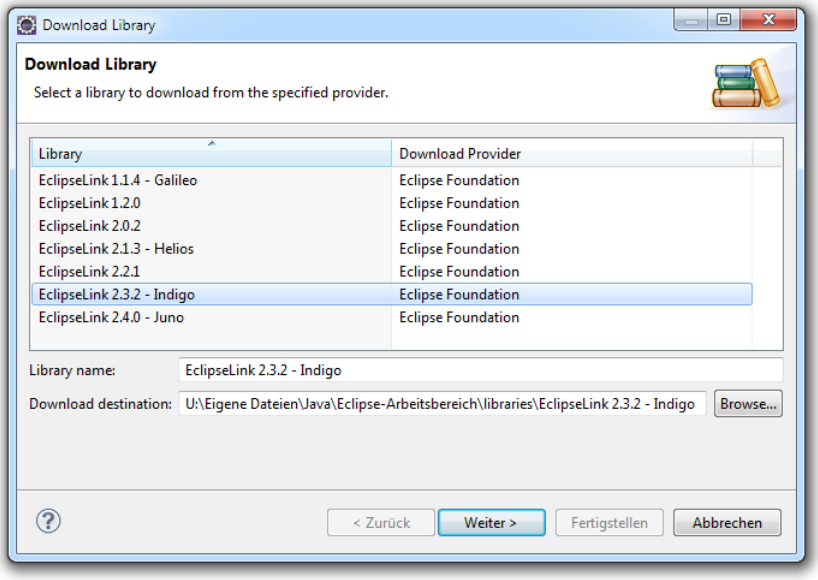
Im zweiten Assistentendialog kann die Voreinstellung übernommen werden:



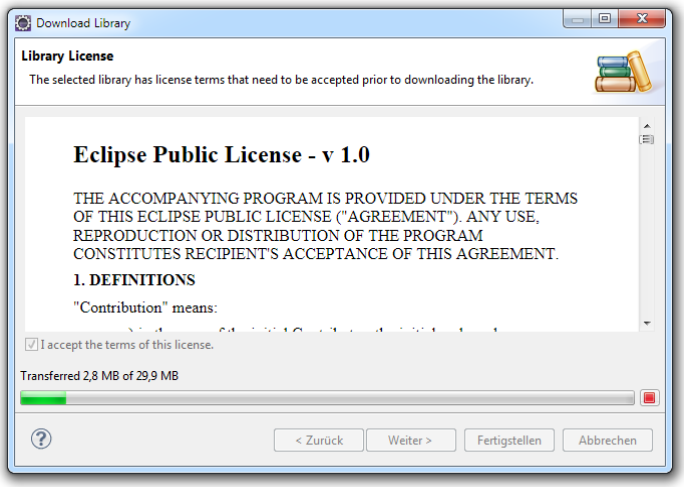
Mit Hilfe des dritten Assistentendialogs besorgen wir uns per Internet-Download die Archivdatei **eclipselink.jar** mit den Typen des JPA-Providers EclipseLink zur Verwendung als **User Library**. Nach einem Mausklick auf das Diskettensymbol



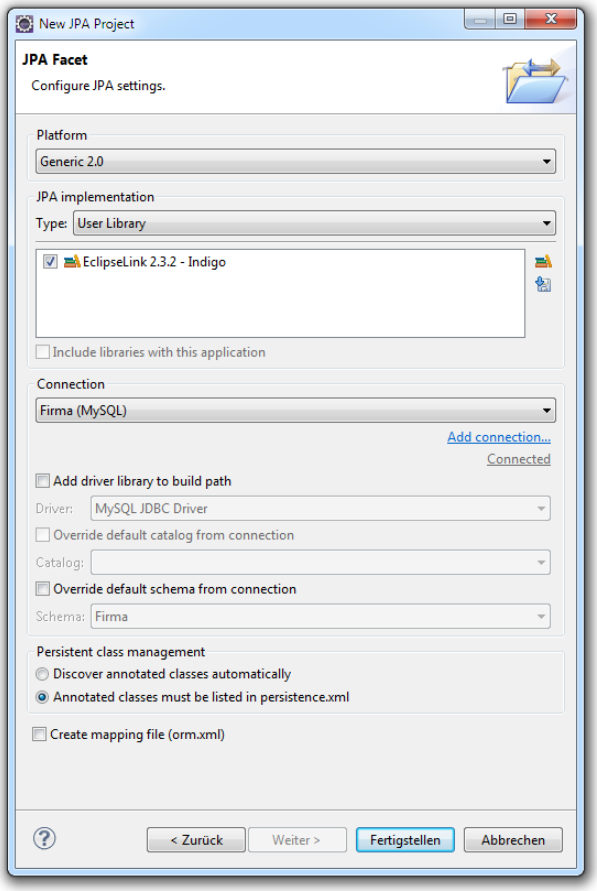
und kurzer Wartezeit können wir die zu unserer Eclipse-Version passende EclipseLink-Version 2.3.2 wählen:



Nach dem Herunterladen

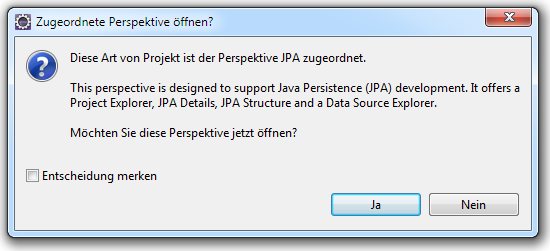


steht die Benutzerbibliothek im JPA-Assistenten zur Verfügung:



Hier wählen wir noch die Verbindung zur MySQL-Datenbank `Firma` und klicken dann auf **Fertigstellen**.

Folgen Sie dem Vorschlag, zur Eclipse-Perspektive **JPA** zu wechseln:

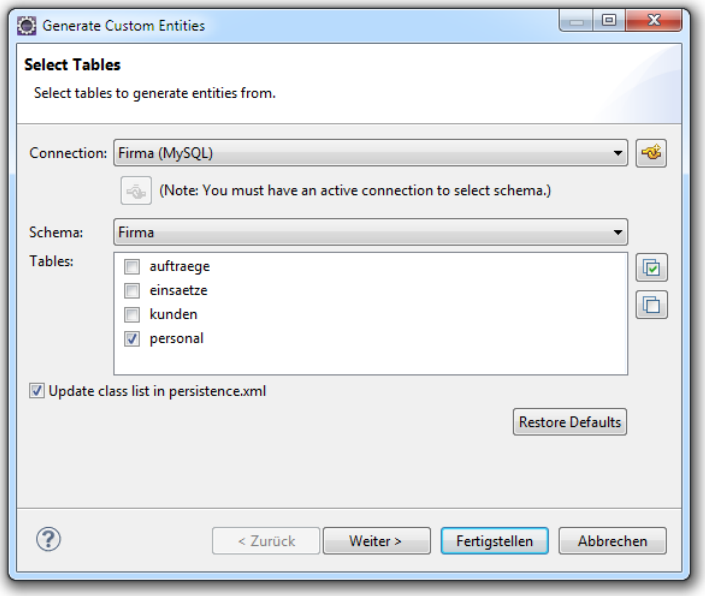


18.7.2.2 Persistente Klasse erstellen lassen

Wählen Sie aus dem Kontextmenü zum eben angelegten JPA-Projekt

Neu > JPA Entities from Tables

Wenn die Verbindung zur Datenbank `Firma` klappt, kann man die Tabellen markieren, zu denen jeweils eine Entitätsklasse erstellt werden soll:



Wir erhalten ohne eigene Schreibarbeit zu der schon in Abschnitt 18.1.1 vorgestellten Tabelle `Personal` eine fertige Entitätsklassendefinition mit privaten Instanzvariablen, einem parameterfreien Konstruktor und öffentlichen Zugriffsmethoden:

```
import java.io.Serializable;
import javax.persistence.*;


@Entity
public class Personal implements Serializable {
 private static final long serialVersionUID = 1L;

 @Id
 private int persNr;

 private String abteilung;

 private double gehalt;

 . . .

 private String vorname;

    public Personal() {
    }

 public int getPersNr() {
  return this.persNr;
 }

 public void setPersNr(int persNr) {
  this.persNr = persNr;
 }
```

```
    public String getAbteilung() {
     return this.abteilung;
    }

    public void setAbteilung(String abteilung) {
     this.abteilung = abteilung;
    }

    . . .

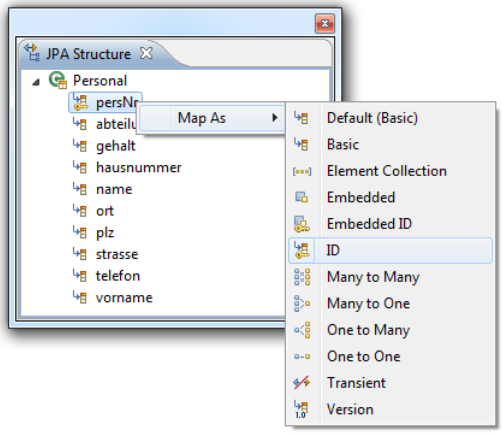
    public String getVorname() {
     return this.vorname;
    }

    public void setVorname(String vorname) {
     this.vorname = vorname;
    }

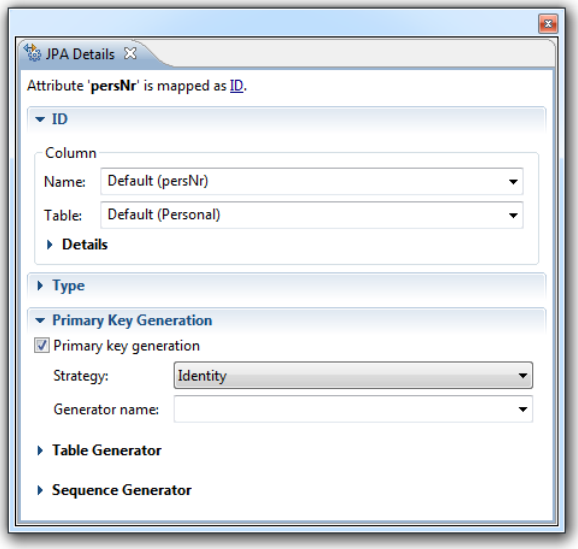
  }
```

Außerdem sind Annotationen für die Klasse und das Primärschlüssel-Feld vorhanden.

Als nützliche Werkzeuge stehen in der Eclipse-Perspektive JPA die Sichten **JPA Structure**



und **JPA Details**



zur Verfügung.

Weil das Feld `PersNr` als Primärschlüssel der Tabelle fungiert (siehe **Id**-Annotation im Quellcode), kann (bzw. muss) man in der Sicht **JPA Details** das automatische Generieren seiner Werte verein-

baren. Bei meinen Experimenten hat sich bei MySQL bewährt, **Identity** als **Strategie** zu wählen. Als Ergebnis dieser Wahl erhält das Feld `persNr` die zusätzliche Annotation **GeneratedValue**:

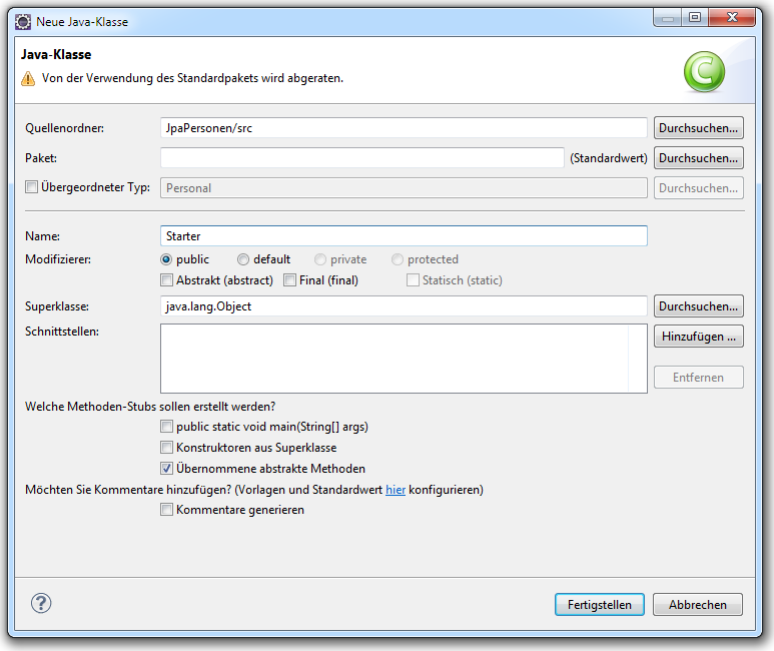
```
@Id
@GeneratedValue(strategy = IDENTITY)
private int persNr;
```

18.7.2.3 Startklasse

Wir erstellen nun im Projekt über

Datei > Neu> Klasse

eine startfähige Java-Klasse:



Die **main**-Methode der folgenden Klasse

```
import javax.persistence.*;
class Starter {
 public static void main(String[] args) {
  EntityManagerFactory emf =
   Persistence.createEntityManagerFactory("JPAPersonen");
  EntityManager em = emf.createEntityManager();

  em.getTransaction().begin();
  Personal p1 = new Personal();
  p1.setVorname("Theo"); p1.setName("Schmitt"); p1.setAbteilung("A");
  p1.setStrasse("Feldstraße"); p1.setHausnummer("17B"); p1.setPlz("01234");
  p1.setOrt("Doberg"); p1.setTelefon("088 123"); p1.setGehalt(500.0);
  em.persist(p1);
  em.getTransaction().commit();

  Personal p2 = em.find(Personal.class, p1.getPersNr());
  System.out.println("\nDie Person mit der Kennung "+
   p1.getPersNr()+" heisst "+p2.getName());

  em.close();
  emf.close();
 }
}
```

erstellt über die statische **Persistence**-Methode **createEntityManagerFactory()** ein Objekt vom Typ **EntityManagerFactory**, wobei im **String**-Parameter der Methode die Persistenzeinheit zu benennen ist. Derselbe Name ist im Element **persistence-unit** der JPA-Konfigurationsdatei **persistence.xml** anzugeben (siehe unten). Das **EntityManagerFactory**-Objekt ist für die Verbindung zur Datenbank zuständig, die bereits beim Erstellen des Objekts aufgebaut wird.

Von der **EntityManagerFactory** wird ein **EntityManager** erstellt, der per **persist()**-Methode den Auftrag erhält, ein Objekt zu persistieren (in einer Tabellenzeile abzulegen):

```
em.persist(p1);
```

Dies geschieht im Rahmen einer Transaktion:

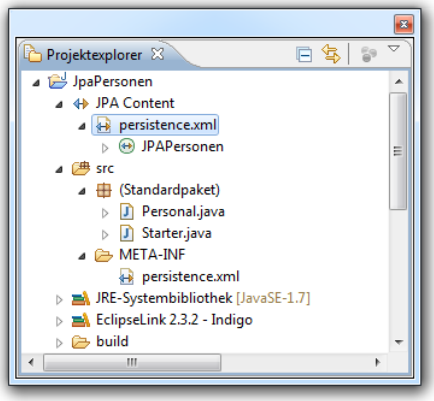
```
em.getTransaction().begin();
  . . .
em.getTransaction().commit();
```

Später wird der **EntityManager** durch Aufruf seiner **find()**-Methode gebeten, ein Objekt mit einer bestimmten Kennung aus der Datenbank zu laden:

```
Person p2 = em.find(Person.class, p1.getId());
```

18.7.2.4 Abschlussarbeiten

In der vom JPA-Einrichtungsassistenten bereits angelegten Konfigurationsdatei **persistence.xml**



fehlen noch essentielle Bestandteile:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<persistence version="2.0" xmlns="http://java.sun.com/xml/ns/persistence"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://java.sun.com/xml/... /persistence_2_0.xsd">
  <persistence-unit name="JPAPersonen">
  </persistence-unit>
</persistence>
```

Wir ergänzen das **provider**-Element, das EclipseLink als JPA-Provider benennt, das **class**-Element zur Persistenzklasse `Personal` und das **properties**-Element mit Angaben zur Datenbank:

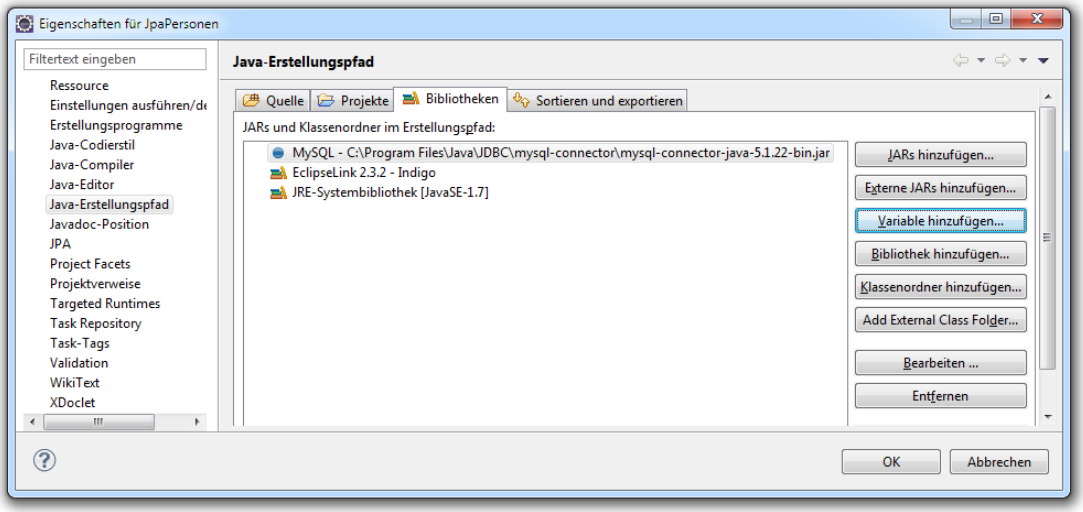
```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<persistence version="2.0" xmlns="http://java.sun.com/xml/ns/persistence"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://java.sun.com/xml/ ... /persistence_2_0.xsd">
  <persistence-unit name="JPAPersonen">
    <provider>org.eclipse.persistence.jpa.PersistenceProvider</provider>
    <class>Personal</class>
```

```
    <properties>
      <property name="javax.persistence.jdbc.driver" value="com.mysql.jdbc.Driver" />
      <property name="javax.persistence.jdbc.url" value="jdbc:mysql://192.168.178.34/Firma" />
      <property name="javax.persistence.jdbc.user" value="dummy" />
      <property name="javax.persistence.jdbc.password" value="rH7%g$_cZw7%Q" />
    </properties>
  </persistence-unit>
</persistence>
```

Wir wollen das Datenbankmanagementsystem MySQL verwenden (siehe Abschnitt 18.6) und nehmen daher über

Projekt > Eigenschaften > Java Erstellungspfad

die Archivdatei mit dem zugehörigen JDBC-Treiber in den Klassenpfad des Projekts auf (vgl. Abschnitt 18.6.4):



Ein Programmlauf fügt jeweils eine neue Zeile in die Tabelle `Personal` ein und protokolliert die automatisch vergebene Kennung, z.B.:

```
Die Person mit der Kennung 7 heisst Schmitt
```

Wie bei der direkten Verwendung von JDBC-Klassen sollten die mit Datenbank-Ressourcen verbundenen Objekte nach getaner Arbeit explizit geschlossen werden, wobei in der umgekehrten Belegungsreihenfolge vorzugehen ist (vgl. Abschnitt 18.5.4). Für das Schließen der Verbindung zur Datenbank ist das **EntityManagerFactory**-Objekt zuständig.

Anhang

A. Operatorentabelle

In der folgenden Tabelle sind alle im Manuskript behandelten Operatoren in absteigender Priorität (von oben nach unten) aufgelistet. Gruppen von Operatoren mit gleicher Priorität sind durch fette horizontale Linien begrenzt.

Operator	Bedeutung
[]	Array-Index
()	Methodenaufruf
.	Komponentenzugriff
!	Negation
++, --	Prä- oder Postinkrement bzw. -dekrement
-	Vorzeichenumkehr
(*Typ*)	Typumwandlung
new	Objekterzeugung
*, /	Punktrechnung
%	Modulo
+, -	Strichrechnung
+	Stringverkettung
<<, >>	Links- bzw. Rechts-Shift
>, <, >=, <=	Vergleichsoperatoren
instanceof	Typprüfung
==, !=	Gleichheit, Ungleichheit
&	Bitweises UND
&	Logisches UND (mit unbedingter Auswertung)
^	Exklusives logisches ODER
|	Bitweises ODER

Operator	Bedeutung
|	Logisches ODER (mit unbedingter Auswertung)
&&	Logisches UND (mit bedingter Auswertung)
||	Logisches ODER (mit bedingter Auswertung)
? :	Konditionaloperator
=	Wertzuweisung
+=, -=, *=, /=, %=	Wertzuweisung mit Aktualisierung

Mit Ausnahme der Zuweisungsoperatoren sind alle binären Operatoren *links*-assoziativ. Die Zuweisungsoperatoren und der Konditionaloperator sind *rechts*-assoziativ.

B. Lösungsvorschläge zu den Übungsaufgaben

Kapitel 1 (Einleitung)

Aufgabe 1

Das Prinzip der Datenkapselung reduziert die Fehlerquote und damit den Aufwand zur Fehlersuche und -bereinigung. Die perfektionierte Modularisierung durch die Koppelung von Eigenschaften und zugehörigen Handlungskompetenzen in einer Klassendefinition erleichtert die …

- Kooperation von mehreren Programmierern bei großen Projekten,
- die Wiederverwendung von Software.

Aufgabe 2

1. **Falsch**
   Eine Klasse kann Bauplan *und* Akteur sein.
2. **Richtig**
3. **Falsch**
   Jedes Java-Programm muss *eine* Startklasse enthalten, und nur eine Startklasse benötigt eine Methode namens **main()**.
4. **Falsch**
   Der vom Java-Compiler erstellte Bytecode muss vom Java-Interpreter in den Maschinencode der aktuellen CPU übersetzt werden.
5. **Richtig**

Kapitel 2 (Werkzeuge zum Entwickeln von Java-Programmen)

Aufgabe 2

Das Programm enthält folgende Fehler:

- Die schließende Klammer zum Rumpf der Klassendefinition fehlt.
- Die Zeichenfolge im **println()**-Aufruf muss mit dem "-Zeichen abgeschlossen werden.
- Der Methodenname „mein“ ist falsch geschrieben.
- Die Methode **main()** muss als **public** definiert werden.

Aufgabe 3

1. **Richtig**
2. **Falsch**
3. **Richtig**
4. **Falsch**
5. **Falsch**
   Während der Datentyp **String[]** des **main()**-Parameters in der Tat zwingend vorgeschrieben ist, kann man den Namen frei wählen.

Kapitel 3 (Elementare Sprachelemente)

Abschnitt 3.1 (Einstieg)

Aufgabe 1

Dieser Aufruf klappt:	`public static void main(String[] irrelevant) { … }` Der *Name* des **main()**-Parameters ist beliebig.
Dieser Aufruf scheitert:	`public void main(String[] argz) { … }` Der Modifikator **static** fehlt.
Dieser Aufruf scheitert:	`public static void main() { … }` Falsche Parameterliste
Dieser Aufruf klappt:	`static public void main(String[] argz) { … }` Die Modifikatoren **static** und **public** müssen vor dem Rückgabetyp stehen, wobei ihre Reihenfolge irrelevant ist.
Dieser Aufruf scheitert:	`public static void Main(String[] argz) { … }` Falscher Anfangsbuchstabe im Methodennamen

Aufgabe 2

Unzulässig sind:

- `4you`
  Bezeichner müssen mit einem Buchstaben beginnen.
- `else`
  Schlüsselwörter wie **else** sind als Bezeichner verboten.

Aufgabe 3

Das Paket **java.lang** der Standardbibliothek wird automatisch in jede Quellcodedatei importiert (vgl. Abschnitt 3.1.7).

Abschnitt 3.2 (Ausgabe bei Konsolenanwendungen)

Aufgabe 1

Das folgende Programm erzeugt die erwünschte Ausgabe:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  System.out.printf("%1$-10.1f%1$-10.2f%1$-10.3f", Math.PI);
  System.out.println();
  System.out.printf("%1$-10.4f%1$-10.5f%1$-10.6f", Math.PI);
 }
}
```

Aufgabe 2

Der im **println()**-Parameter unmittelbar auf die Zeichenkette folgende Plus-Operator wird zuerst ausgeführt. Weil sein linkes Argument eine Zeichenfolge ist, wird auch sein rechtes Argument als Zeichenfolge behandelt, um eine sinnvolle Operation zu ermöglichen, nämlich die Verkettung von zwei Zeichenfolgen.

```
"3.3 + 2 = " + 3.3
```

wird also behandelt wie

```
"3.3 + 2 = " + "3.3"
```

und man erhält:

```
"3.3 + 2 = 3.3"
```

Anschließend arbeitet der zweite Plus-Operator analog, so dass die Zeichenfolgen „3.3“ und „2“ nacheinander an die Zeichenfolge „3.3 + 2 = “ angehängt werden.

Durch Klammerung muss dafür gesorgt werden, dass der *rechte* Plus-Operator *zuerst* ausgeführt wird:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("3.3 + 2 = " + (3.3 + 2));` `  }` `}`	`3.3 + 2 = 5.3`

Er trifft folglich auf zwei *numerische* Argumente und addiert diese:

```
3.3 + 2
```

ergibt

```
5.3
```

Anschließend bewirkt der linke Plus-Operator eine Zeichenfolgenverkettung:

```
"3.3 + 2 = " + 5.3
```

ergibt

```
"3.3 + 2 = 5.3"
```

Abschnitt 3.3 (Variablen und Datentypen)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
2. **Richtig**
3. **Falsch**
   Referenzvariablen haben einen bestimmten *Inhalt* (eine Objektadresse). Sie werden als lokale Variablen von Methoden (auf dem Stack), als Instanzvariablen von Objekten (auf dem Heap) und als Klassenvariablen (in der Method Area) benötigt.
4. **Falsch**
   Dieser Satz ist kompletter Unfug.

Aufgabe 2

char gehört zu den integralen (ganzzahligen) Datentypen. Zeichen werden über ihre Nummer im Unicode-Zeichensatz gespeichert, das Zeichen *c* offenbar durch die Nummer 99 (im Dezimalsystem).

In der folgenden Anweisung wird der **char**-Variablen `z` die Unicode-Escapesequenz für das Zeichen *c* zugewiesen:

```
char z = '\u0063';
```

Der dezimalen Zahl 99 entspricht die hexadezimale Zahl 0x63 (= 6 · 16 + 3).

Aufgabe 3

Durch das Suffix `l` im Literal `7l` wird der Datentyp **long** verlangt, und ein **long**-Wert kann wegen des größeren Wertebereichs nicht implizit in einen **int**-Wert gewandelt werden.

Aufgabe 4

Die Variable `i` ist nur im innersten Block gültig.

Aufgabe 5

```
class Prog {
   public static void main(String[] args) {
      System.out.println("Dies ist ein Java-Zeichenkettenliteral:\n   \"Hallo\"");
   }
}
```

Aufgabe 6

```
class Prog {
   public static void main(String[] args) {
      float PI = 3.141593f;
      double radius = 2.0;
      System.out.println("Der Flaecheninhalt betraegt: "+PI*radius*radius);
   }
}
```

Abschnitt 3.4 (Eingabe bei Konsolenanwendungen)

Aufgabe 1

In folgendem Programm werden die `Simput`-Methoden `gchar()` und `gdouble()` verwendet:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  System.out.print("Setzen Sie bitte ein Zeichen: ");
  char c = Simput.gchar();
  System.out.println("c = "+ c);
  System.out.print("\nNun bitte eine gebrochene Zahl (mit Dezimalkomma!): ");
  double d = Simput.gdouble();
  System.out.printf("d = %f", d);
 }
}
```

Abschnitt 3.5 (Operatoren und Ausdrücke)

Aufgabe 1

Ausdruck	Typ	Wert	Anmerkungen
`6/4*2.0`	**double**	`2.0`	Abarbeitung mit Zwischenergebnissen: **`6/4`**`*2.0` **`1*2.0`**
`(int)6/4.0*3`	**double**	`4.5`	Der Typumwandlungsoperator hat die höchste Priorität und bezieht sich daher (ohne Wirkung) auf die 6. Abarbeitung mit Zwischenergebnissen: **`(int)6`**`/4.0*3` **`6/4.0`**`*3` **`1.5*3`**
`(int)(6/4.0*3)`	**int**	`4`	Abarbeitung mit Zwischenergebnissen: `(int)(`**`6/4.0`**`*3)` `(int)(`**`1.5*3`**`)` **`(int)4.5`**
`3*5+8/3%4*5`	**int**	`25`	Abarbeitung mit Zwischenergebnissen: **`3*5`**`+8/3%4*5` `15+`**`8/3`**`%4*5` `15+`**`2%4`**`*5` `15+`**`2*5`** **`15+10`**

Aufgabe 2

Nach der Tabelle mit den Ergebnistypen der Ganzzahlarithmetik in Abschnitt 3.5.1 resultiert der Datentyp **int**.

Aufgabe 3

`erg1` erhält den Wert 2, denn:

- `(i++ == j ? 7 : 8)` hat den Wert 8, weil 2 ≠ 3 ist.
- 8 **%** 3 ergibt 2.

`erg2` erhält den Wert 0, denn:

- Der Präinkrementoperator trifft auf die bereits vom Postinkrementoperator in der vorangehenden Zeile auf den Wert 3 erhöhte Variable `i` und setzt sie auf den Wert 4.
- Dies ist auch der Wert des Ausdrucks `++i`, so dass die Bedingung im Konditionaloperator erneut den Wert **false** hat.
- `(++i == j ? 7 : 8)` hat also den Wert 8, und 8 **%** 2 ergibt 0.

Aufgabe 4

Die Vergleichsoperatoren (>, ==) haben eine höhere Priorität als die logischen Operatoren und der Zuweisungsoperator, so dass z.B. in der folgenden Anweisung

```
la1 = 2 > 3 && 2 == 2 ^ 1 == 1;
```

auf runde Klammern verzichtet werden konnte. Besser lesbar ist aber wohl die äquivalente Variante:

```
la1 = (2 > 3) && (2 == 2) ^ (1 == 1);
```

`la1` erhält den Wert **false**, denn der Operator ^ wird aufgrund seiner höheren Priorität vor dem Operator **&&** ausgewertet.

`la2` erhält den Wert **true**, weil die runden Klammern dafür sorgen, dass der Operator ^ zuletzt ausgewertet wird.

`la3` erhält den Wert **false**

Aufgabe 5

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\Exp

Aufgabe 6

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\DM2Euro

Aufgabe 7

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\UnGerade

Abschnitt 3.6 (Über- und Unterlauf bei numerischen Variablen)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
2. **Richtig**
3. **Falsch**
4. **Falsch**
   Bei Objekten aus den Klassen **BigDecimal** und **BigInteger** ist im Vergleich zu primitiven Datentypen mit einem erheblich höheren Speicher- und Zeitaufwand zu rechnen.

Abschnitt 3.7 (Anweisungen)

Aufgabe 1

Weil die **else**-Klausel der *zweiten* **if**-Anweisung zugeordnet wird, ergibt sich folgender Gewinnplan:

`losNr`	Gewinn
durch 13 teilbar	Nichts
nicht durch 13, aber durch 7 teilbar	1 €
weder durch 13, noch durch 7 teilbar	100 €

Aufgabe 2

Im logischen Ausdruck der **if**-Anweisung findet an Stelle eines Vergleichs eine *Zuweisung* statt.

Aufgabe 3

In der **switch**-Anweisung wird es versäumt, per **break** den „Durchfall“ zu verhindern.

Aufgabe 4

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\PrimitivOB

Aufgabe 5

Das Semikolon am Ende der Zeile

```
while (i < 100);
```

wird vom Compiler als die zur **while**-Schleife gehörige (leere) Anweisung interpretiert, so dass mangels `i`-Inkrementierung eine *Endlosschleife* vorliegt. Die restlichen Zeilen werden als selbständiger Anweisungsblock gedeutet, aber nie ausgeführt.

Aufgabe 6

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\DM2EuroS

Aufgabe 7

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\FloP

Bei $i = 52$ erhält man letztmals das mathematisch korrekte Vergleichsergebnis. Dies ist gerade die Anzahl der Bits in der **double**-Mantisse.

Die Zahl 1,0 hat nach der Norm IEE 754 die folgende normalisierte **double**-Darstellung (vgl. Abschnitt 3.3.7.1)

$$(-1)^0 \cdot 2^{(1023-1023)} \cdot (1+0{,}0)$$

mit den Bits:

Vorz.	Exponent	Mantisse
0	01111111111	0000000000000000000000000000000000000000000000000000

Das Bitmuster zum Vergleichswert:

$$1{,}0 + 2^{-i} = (-1)^0 \cdot 2^{(1023-1023)} \cdot (1 + 2^{-i}),\ i = 1, \ldots, 52$$

hat eine zusätzliche Eins beim *i*-ten Mantissen-Bit. Bei $i = 52$ ist diese Eins am rechten Rand angekommen und letztmals vorhanden:

Vorz.	Exponent	Mantisse
0	01111111111	0000000000000000000000000000000000000000000000000001

Während bei binärer Gleitkommatechnik mit **double**-Präzision die Zahl

$$1{,}0 + 2^{-53} \approx 1{,}0 + 1{,}1102230246251565 \cdot 10^{-16} \approx 1{,}00000000000000001110223024625157$$

nicht mehr von der Zahl 1,0 zu unterscheiden ist, kann die Zahl

$$2^{-53} \approx 1{,}1102230246251565 \cdot 10^{-16}$$

mit dem Bitmuster

Vorz.	Exponent	Mantisse
0	01111001010	0000000000000000000000000000000000000000000000000000

„mühelos“ von der 0,0 mit dem Bitmuster

Vorz.	Exponent	Mantisse
0	00000000000	0000000000000000000000000000000000000000000000000000

unterschieden werden.

Erst ab 2^{-1023} ($\approx 1{,}1125369292536007 \cdot 10^{-308}$) wird erstmals die denormalisierte Darstellung benötigt (mit dem festen Exponentialfaktor 2^{-1022})

Vorz.	Exponent	Mantisse
0	00000000000	1000000000000000000000000000000000000000000000000000

und bei $2^{-1074} = 2^{-1022} \cdot 2^{-52}$ ($\approx 4{,}9406564584124654 \cdot 10^{-324}$)

Vorz.	Exponent	Mantisse
0	00000000000	0000000000000000000000000000000000000000000000000001

ist letztmals eine Unterscheidung von der Zahl 0,0 möglich.

Aufgabe 8

Lösungsvorschläge mit den beiden Algorithmus-Varianten befinden sich in den Ordnern:

...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\GGT.Diff
...\BspUeb\Elementare Sprachelemente\GGT.Mod

Aufgabe 9

Zur Lösung dieser Aufgabe sollte an Stelle einer Schleife die folgende Formel verwendet werden:

$$\sum_{i=1}^{n} i = \frac{n(n+1)}{2}$$

Beim Kodieren der Formel sind Probleme durch die begrenzte Kapazität bzw. Genauigkeit der primitiven Datentypen zu vermeiden:

- Wenn Sie mit einer Variablen vom Typ **long** arbeiten, kommt es zu einem Ganzzahlüberlauf (vgl. Abschnitt 3.6.1).
- Wenn Sie eine Variable vom Typ **double** verwenden, kommt es zu einem Präzisionsverlust (vgl. Abschnitt 3.5.7).

Mit der in Abschnitt 3.6.1 vorgestellten Klasse **BigInteger** kann man beide Probleme vermeiden, wie das folgende Programm zeigt:

```
import java.math.*;
public class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  BigInteger bigi = new BigInteger("1000000000001"), sum;
  System.out.printf("Summationsgrenze =     " + bigi);

  long start = System.currentTimeMillis();
  sum = bigi.multiply(bigi.add(new BigInteger("1")));
  sum = sum.divide(new BigInteger("2"));
  System.out.printf("\nSumme via BigInteger = %d (Zeit = %d)",
     sum, System.currentTimeMillis()-start);

  double d = bigi.doubleValue();
  start = System.currentTimeMillis();
  System.out.printf("\nSumme via double =     %24.0f (Zeit = %d)",
     d*(d+1)/2, System.currentTimeMillis()-start);

  long lo = bigi.longValue();
  start = System.currentTimeMillis();
  System.out.printf("\nSumme via long =       %24d (Zeit = %d)",
     lo*(lo+1)/2, System.currentTimeMillis()-start);
 }
}
```

Es liefert folgende Ausgaben:

```
Summationsgrenze =     1000000000001
Summe via BigInteger = 500000000001500000000001 (Zeit = 0)
Summe via double =     500000000001500000000000 (Zeit = 0)
Summe via long =            1001883602603448321 (Zeit = 0)
```

Abschnitt 4 (*Klassen und Objekte*)

Aufgabe 1

1. **Richtig**
2. **Falsch**
   Mit der Datenkapselung wird verhindert, dass die *Methoden fremder Klassen* auf Instanzvariablen zugreifen. Es geht *nicht* darum, Objekte einer Klasse voreinander zu schützen. Die von einem Objekt ausgeführten Methoden haben stets vollen Zugriff auf die Instanzvariablen eines anderen Objekts derselben Klasse, sofern eine entsprechende Referenz vorhanden ist. Der Klassendesigner ist für das sinnvolle Verhalten der Methoden verantwortlich.
3. **Falsch**
   Ohne Schutzstufendeklaration haben alle Klassen *im selben Paket* vollen Zugriff.
4. **Falsch**
   Lokale Variablen werden grundsätzlich *nicht* initialisiert, auch die lokalen Referenzvariablen nicht.

Aufgabe 2

Eine Instanzvariable mit Vollzugriff für die Methoden der eigenen Klasse und Schreibschutz gegenüber Methoden fremder Klassen erhält man folgendermaßen:

- Deklaration als **private** (Datenkapselung)
- Definition einer **public**-Methode zum Auslesen des Werts
- *Verzicht* auf eine **public**-Methode zum Verändern des Werts

Aufgabe 3

1. **Falsch**
   Es kann durchaus sinnvoll sein, private Methoden für den ausschließlich klasseninternen Gebrauch zu definieren.
2. **Falsch**
   Der Rückgabetyp spielt bei der Signatur keine Rolle.
3. **Falsch**
   Typkompatibilität genügt, d.h. die Aktualparametertypen müssen sich erweiternd (vgl. Abschnitt 3.5.7) in die Formalparametertypen konvertieren lassen.
4. **Richtig**

Aufgabe 4

Bei einer Methode mit Rückgabewert muss jeder mögliche Ausführungspfad mit einer **return**-Anweisung enden, die einen Rückgabewert mit kompatiblem Typ liefert. Die vorgeschlagene Methode verstößt beim Aufruf mit einem von Null verschiedenen Aktualparameterwert gegen diese Regel.

Aufgabe 5

Zum Informationstransport hat eine Methode folgende Möglichkeiten:

- Rückgabewert
  Weil auch Klassen als Rückgabetypen zugelassen sind, können auf diesem Weg auch komplexe Informationspakete transportiert werden.
- Parameter mit Referenztyp
  Ein referenziertes Objekt besteht mit den bei seinen Instanzvariablen vorgenommenen Änderungen nach dem nach dem Ende der Methode weiter.
- Änderung von Instanz- und Klassenvariablen

Eine Änderung der Umgebung kann so erfolgen:

- Objekt erstellen und Referenz übergeben
  Die Referenz auf ein methodenintern erstelltes Objekt kann per Rückgabewert oder Referenzparameter übergeben werden.
- Änderung eines per Referenzparameter ansprechbaren Objekts
  Ein referenziertes Objekt besteht mitsamt den dort vorgenommenen Änderungen nach dem nach dem Ende der Methode weiter.
- Änderung von Instanz- und Klassenvariablen

Weil die Methoden klassenintern diverse Wirkungen entfalten können, ist eine Große Sorgfalt bei Konzeption, Kodierung und Testung erforderlich. Außerdem sind komplexe Klassen mit vielen und komplexen Methoden möglichst zu vermeiden.

Aufgabe 6

Die beiden Methoden können *nicht* in einer Klasse koexistieren, weil ihre Signaturen identisch sind:

- gleiche Länge
- an beiden Position identische Parametertypen

Dass an jeder Position die beiden typgleichen Formalparameter verschiedene Namen haben, ist irrelevant.

Aufgabe 7

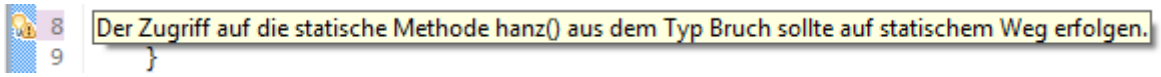
1. **Falsch**
   Der Standardkonstruktor hat dieselbe Schutzstufe wie die Klasse.
2. **Richtig**
3. **Falsch**
   Eine Methode kann eine Referenz auf ein von ihr erzeugtes Objekt an die Außenwelt übergeben (z.B. per Rückgabewert). Ein Objekt wird erst dann überflüssig und ein potentielles Garbage Collector - Opfer, wenn im gesamten Programm keine Referenz mehr auf das Objekt vorhanden ist.
4. **Leider falsch**
   Bedauerlicherweise gelingt in Methoden berechtigter Klassen der Aufruf auch über eine Objektreferenz vom Typ der angesprochenen Klasse. Die sinnvolle Anweisung

   ```
   System.out.println(Bruch.hanz() + " Brueche erzeugt");
   ```

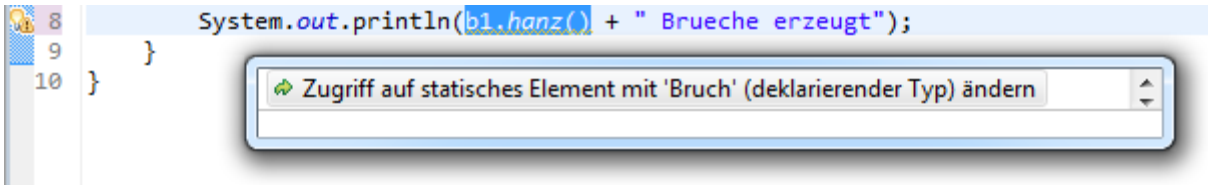
   aus der Startklasse `Bruchrechnung` kann also durch die folgende irritierende Variante ersetzt werden (mit der lokalen `Bruch`-Referenzvariablen `b1`):

   ```
   System.out.println(b1.hanz() + " Brueche erzeugt");
   ```

   Die Denk- und Arbeitsweise der objektorientierten Programmierung aufzuweichen, schafft letztlich Unsicherheit und erhöhte Fehlerrisiken. Eclipse erkennt den schlechten Programmierstil und ermahnt:

   Nach einem linken Mausklick auf die Warnleuchte wird sogar ein sinnvoller Verbesserungsvorschlage zur direkten Übernahme gemacht:

Aufgabe 8

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Klassen und Objekte\TimeDuration

Aufgabe 9

Begriff	Pos.
Definition einer Instanzmethode mit Referenzrückgabe	7
Deklaration einer lokalen Variablen	4
Definition einer Instanzmethode mit Referenzparameter	6
Deklaration einer Instanzvariablen	1
Methodenaufruf	5

Begriff	Pos.
Konstruktordefinition	3
Deklaration einer Klassenvariablen	2
Objekterzeugung	9
Definition einer Klassenmethode	8

Aufgabe 10

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Klassen und Objekte\FakulRek

Das Programm eignet sich übrigens recht gut dazu, durch Wahl eines hinreichend großen Arguments einen Stapelüberlauf (**StackOverflowError**) zu provozieren.

Aufgabe 11

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Klassen und Objekte\R2Vec

Aufgabe 12

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\WB\PrimDiagWB

Abschnitt 5 (*Elementare Klassen*)

Abschnitt 5.1 (Arrays)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
2. **Richtig**
3. **Richtig**
4. **Richtig**
5. **Falsch**
   Für diesen Zweck ist die finalisierte Instanz*variable* **length** zu verwenden.

Aufgabe 2

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Arrays\Lotto

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Arrays\Eratosthenes

Aufgabe 4

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Arrays\Marry

Abschnitt 5.2 (Klassen für Zeichenketten)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
   Weder ist ein **String**-Objekt ein Array, noch erfüllt die Klasse **String** das Interface **Iterable<T>** (vgl. Abschnitt 3.7.3.2).
2. **Richtig**
3. **Falsch**
   Verwenden Sie stattdessen die **String**-Methode **charAt()**.
4. **Richtig**
   Für variable Zeichenketten eignen sich die Klassen **StringBuilder** und **StringBuffer**.

Aufgabe 2

Der interne **String**-Pool wird erweitert durch die Anweisungen mit den Kommentarnummern (1) und (5).

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Zeichenketten\PerZuf

Aufgabe 4

Die Klasse **StringBuilder** hat die von **java.lang.Object** geerbte **equals()**-Methode *nicht* überschrieben, so dass *Referenzen* verglichen werden. In der Klasse **String** ist **equals()** jedoch so überschrieben worden, dass die referenzierten *Zeichenfolgen* verglichen werden.

Aufgabe 5

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Zeichenketten\StringUtil

Abschnitt 5.3 (Verpackungsklassen für primitive Datentypen)

Aufgabe 1

Lösungsvorschlag:

Quellcode	Ausgabe
`class Prog {` `  public static void main(String[] args) {` `  System.out.println("Min. byte-Zahl:\n " + Byte.MIN_VALUE);` `  }` `}`	`Min. byte-Zahl:` ` -128`

Beim Datentyp **byte** ist zu beachten, dass er in Java wie alle anderen Ganzzahltypen vorzeichenbehaftet ist, während z.B. die Programmiersprache C# einen vorzeichenfreien 8-Bit-Ganzzahltyp namens **byte** mit Werten von 0 bis 255 besitzt.

Aufgabe 2

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Wrapper\MaxFakul

Durch Vergleiche mit dem **Double**-Grenzwert **Double.POSITIVE_INFINITY** ermittelt man, dass die Fakultät von 170 ($\approx 7{,}26 \cdot 10^{306}$) gerade noch in einer **double**-Variablen unterkommt, während die Fakultät von 171 ($\approx 1{,}24 \cdot 10^{309}$) den maximalen **double**-Wert ($1{,}7976931348623157 \cdot 10^{308}$) übertrifft.

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Wrapper\Mint

Aufgabe 4

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Zeichenketten\StringUtil

Abschnitt 5.4 (Aufzählungstypen)

Aufgabe 1

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Elementare Klassen\Enumerationen\Wochentag

Kapitel 6 (*Generische Typen und* Methoden)

Aufgabe 1

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Pakete\Generische Typen und Methoden\GenMax

Abschnitt 7 (*Interfaces*)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
2. **Richtig**
3. **Falsch**
   Das in Abschnitt 7.1 vorgeführt API-Interface **Serializable** enthält keine Methoden.
4. **Richtig**
5. **Falsch**
   Interface-Methoden sind grundsätzlich verpflichtend. In der Dokumentation zum API-Interface **java.util.Collection<E>** ist bei etlichen Methoden der Zusatz *optional operation* zu finden. Hier darf man keinesfalls *optional implementation* lesen (siehe Abschnitt 7.1).
6. **Richtig**

Aufgabe 2

Ein Methodendefinitionskopf kann trotz mehrfacher Verpflichtungen innerhalb einer Klasse nur *einmal* implementiert werden, so dass Unklarheiten beim Aufruf ausgeschlossen sind.

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Interfaces\Bruch implements Comparable

Aufgabe 4

Eine das Interface **Comparator<T>** implementierende Klasse muss die beiden folgenden Instanzmethoden besitzen:

- **public int compare(T o1, T o2)**
  Diese Methode vergleicht zwei Objekte vom Typ **T**, wobei die Rückgabe analog zur **Comparable<T>** - Methode **compareTo()** folgende Bedeutung haben muss:

negativ	das erste Objekt ist kleiner
0	die beiden Objekte sind gleich
positiv	das erste Objekt ist größer

- **public boolean equals(Object o)**
  Mit dieser Methode meldet ein Comparator, ob er funktional äquivalent zum Parameter-Comparator ist. Eine taugliche Methode ist schon in der Urahnklasse **Object** vorhanden. Eventuell ist es aber sinnvoll, dass auch *verschiedene* **Comparator<T>** - Objekte als funktional äquivalent beurteilt werden können.

Aufgabe 5

Beim Aufruf der folgenden Methode

```
static <T extends Basis & SayOne & SayTo> void moin(T x) {
 for (int i = 0; i < x.ib; i++) {
  x.sayOne();
  x.sayTo();
 }
}
```

muss der Typ des Aktualparameters die Klasse `Basis` in seiner Ahnenreihe haben. Außerdem muss er die Schnittstellen `SayOne` und `SayTo` erfüllen. Den vollständigen Quellcode finden Sie im Ordner

...\BspUeb\Interfaces\MultiBound

Kapitel 8 (*Java Collection Framework*)

Aufgabe 1

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Pakete\Kollektionen\DataMat

Aufgabe 2

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Pakete\Kollektionen\Mengenlehre

Kapitel 9 (*Pakete*)

Aufgabe 1

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Pakete\DemoPack

Aufgabe 2

Die beteiligten Klassen befinden sich im selben Verzeichnis und sind keinem Paket explizit zugeordnet, so dass sie zum (anonymen) Standardpaket gehören. Klassen eines Paketes haben per Voreinstellung wechselseitig volle Rechte.

Aufgabe 3

Sie finden Lösungsvorschläge mit der Hauptfensterklasse `PrimDiagWB` in den Verzeichnissen:

...\BspUeb\Pakete\PrimDiagWB\jar bzw. **...\BspUeb\Pakete\PrimDiagWB\Eclipse**

Zum Erstellen des Archivs mit dem JDK-Werkzeug **jar.exe** eignet sich das Kommando:

```
>jar cef0 PrimDiagWB PrimDiag.jar *.class
```

Mit Hilfe der fertigen Archivdatei lässt sich die Klasse `PrimDiagWB` folgendermaßen starten:

```
>javaw -jar PrimDiag.jar
```

Ist auf einem Rechner die aktuelle JRE der Firma Oracle installiert, sollte auch der Start per Doppelklick klappen.

Abschnitt 10 (*Vererbung und Polymorphie*)

Aufgabe 1

In der Klasse `Spezial` ist der Standardkonstruktor im Gebrauch, welcher den parameterfreien Basisklassenkonstruktor aufruft. Ein solcher fehlt aber in der Klasse `General`.

Aufgabe 2

In der Klasse `Figur` haben `xpos` und `ypos` den voreingestellten Zugriffsschutz (**package**). Weil `Kreis` und `Figur` nicht zum selben Paket gehören, hat die `Kreis`-Klasse keinen direkten Zugriff. Soll dieser Zugriff möglich sein, müssen `xpos` und `ypos` in der `Figur`–Definition die Schutzstufe **protected** (oder **public**) erhalten.

Aufgabe 3

1. **Richtig**
2. **Falsch**
3. **Falsch**
4. **Falsch**
5. **Richtig**

Aufgabe 4

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Vererbung und Polymorphie\Abstand

Aufgabe 5

Die erste Antwort ist richtig. Eine abgeleitete Klasse enthält keinen Bytecode für geerbte Methoden, was man z.B. mit dem JDK-Werkzeug **javap.exe** überprüfen kann. Um den Bytecode einer Klasse in lesbarer Form anzeigen zu lassen, gibt man beim Aufruf die Option **-c** und den Klassennamen ohne die Namenserweiterung **.class** an, z.B.:

```
>javap -c Kreis
```

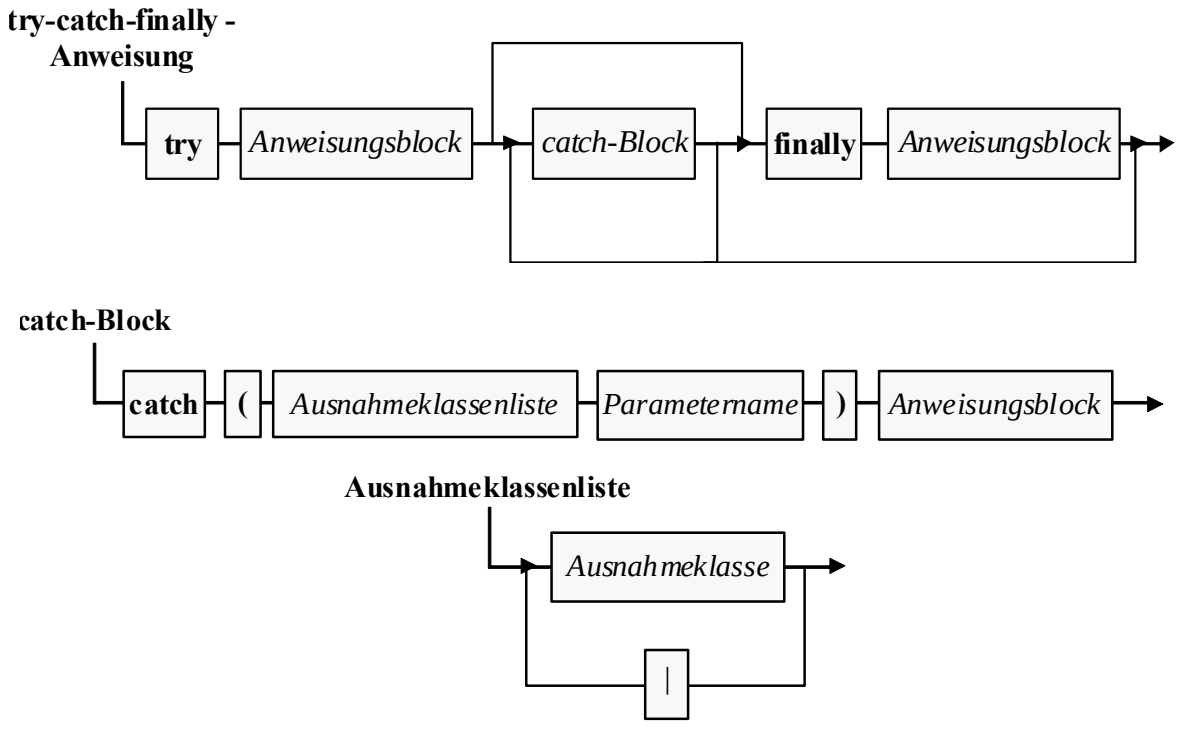
Abschnitt 11 (Ausnahmebehandlung)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
   Bei der Ausnahmeklasse **RuntimeException** ist die *Vorbereitung* (z.B. per **try-catch-finally** - Anweisung) freiwillig. Bleibt jedoch eine geworfene Ausnahme dieser Klasse unbehandelt, wird das Programm (wie bei jeder Ausnahmeklasse) von der JVM beendet.
2. **Richtig**
3. **Falsch**
   Ist ein **finally**-Block vorhanden, wird dieser auch nach einem störungsfreien **try**-Block ausgeführt, bevor es hinter der **try-catch-finally** - Anweisung weiter geht.
4. **Falsch**
   In einem **catch**- oder **finally**-Block ist selbstverständlich auch eine **try-catch-finally**-Anweisung erlaubt.
5. **Richtig**
   Man kann auch bei Verzicht auf einen **catch**-Block per **finally**-Block dafür sorgen, dass im Ausnahmefall vor dem Verlassen der Methode noch bestimmte Anweisungen ausgeführt werden.

Aufgabe 2

Lösungsvorschlag:



Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Ausnahmebehandlung\DoWhileBad

Aufgabe 4

Lösungsvorschlag:

```
class Prog {
 public static void main(String[] args) {
  Object o = null;
  System.out.println(o.toString());
 }
}
```

Aufgabe 5

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Ausnahmebehandlung\DuaLog\IllegalArgumentException

Abschnitt 12 (*GUI-Programmierung mit Swing*)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
   Siehe Abschnitt 12.6.2 (Ereignisarten und Ereignisklassen)
2. **Richtig**
3. **Richtig**
4. **Falsch**

Aufgabe 2

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\EventID

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\KeyModifiers

Aufgabe 4

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\AnonClass

Aufgabe 5

Einige Unterschiede zwischen Ausnahme- und Ereignisbehandlung in Java:

- Eine GUI-Anwendung kann als Ansammlung von Ereignisbehandlungsmethoden betrachtet werden. Ereignisse sind also unverzichtbare Bestandteile des normalen Ablaufs und bringen durch den Aufruf der zugehörigen Behandlungsmethoden das Geschehen voran. Eine Ausnahme stellt hingegen eine Störung des regulären Ablaufs dar und führt zum Abbruch einer Methodenausführung.

- Eine Ausnahme *muss* behandelt werden, um die Beendigung des Programms (genauer: des Threads) zu verhindern. Ein Ereignis hat nur dann Konsequenzen, wenn zuvor ein Interessent registriert wurde.
- Ein Event Handler ist für eine spezielle Event Id zuständig, z.B. für Mausklicks:
  ```
  public void mouseClicked(MouseEvent e) { . . . }
  ```
  Ein exception handler kann für eine beliebig breite Klasse von Ausnahmen zuständig sein,
  ```
  catch (Exception e) { . . . }
  ```

Aufgabe 6

Swing-Container-Klasse	**Voreingestellter Layout-Manager**
javax.swing.JFrame (Genau genommen geht es um die Inhaltsschicht eines **JFrame**-Objekts.)	**java.awt.BorderLayout**
javax.swing.JPanel	**java.awt.FlowLayout**
javax.swing.Box	**javax.swing.BoxLayout**

Aufgabe 7

Adapterklassen erleichtern das Implementieren von Ereignisempfängerklassen, indem sie die zugehörigen Interface-Methoden leer implementieren, so dass man in einer eigenen Adapterklassen-Ableitung nur die tatsächlich benötigten (zu bestimmten event ids gehörigen) Ereignisbehandlungsmethoden implementieren (überschreiben) muss. Das Interface **ActionListener** schreibt mit **actionPerformed()** nur eine einzige Methode vor, die ein (sinnvoller) Ereignisempfänger auf jeden Fall implementieren muss, so dass eine Adapterklasse nutzlos wäre.

Aufgabe 8

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\MPC Professional

Aufgabe 9

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\E2 (mit Hintergrundfarbe)

Aufgabe 10

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\EuroKonverter

Aufgabe 11

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\Zwischenablage

Abschnitt 13 (Ein-/Ausgabe über Datenströme)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
   Es stimmt, dass die aus Java 1.0 stammende Klasse **PrintStream** durch die Klasse **PrintWriter** ersetzt worden ist. Der per **System.in** ansprechbare Standardausgabestrom sowie der

per **System.err** ansprechbare Standardfehlerausgabestrom werden allerdings nach wie vor durch Objekte der Klasse **PrintStream** realisiert.

2. **Richtig**
3. **Richtig**
4. **Falsch**

Aufgabe 2

Bei der **read()** – Rückgabe stehen Werte von 0 bis 255 am Ende eines erfolgreichen Leseversuchs. Das erreichte Dateiende signalisiert **read()** durch den Rückgabewert -1. Durch die Wahl des Typs **int** kann der Rückgabewert Nutzdaten oder eine Fehlerinformation transportieren (vgl. Abschnitt 11.3). Weil es *kein* außergewöhnliches Ereignis darstellt, beim Lesen einer Datei irgendwann auf deren Ende zu stoßen, informiert die Methode **read()** in diesem Fall über den Kombi-Rückgabewert. Bei unerwarteten Problemen wirft **read()** hingegen eine **IOException**.

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Swing\Editor\E5 (mit Sichern)

Aufgabe 4

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\EA\BufferedOutputStream\Konsole

Aufgabe 5

Im **PrintWriter**-Konstruktor ist die **autoFlush**-Option eingeschaltet, was bei einer Dateiausgabe in der Regel keinen Nutzen bringt. So hat jeder **println()**-Aufruf einen zeitaufwändigen Dateizugriff zur Folge, und die vom **PrintWriter** automatisch vorgenommene Pufferung wird außer Kraft gesetzt. Für das Programm ist folgender Konstruktoraufruf besser geeignet:

```
PrintWriter pw = null;
 .  .  .
pw = new PrintWriter(fos);
```

Aufgabe 6

Beim Ausführen der Methode **readShort()** fordert das **DataInputStream**–Objekt den angekoppelten **InputStream** auf, zwei Bytes zu beschaffen. Schickt der Benutzer unter Windows z.B. eine eingetippte „0“ per **Enter**-Taste ab, dann gelangen folgende Bytes in den **InputStream**:

- 00110000 (0x30, 8-Bit-Code der *Ziffer* „0“)
- 00001101 (0x0D, 8-Bit-Code für Wagenrücklauf)
- 00001010 (0x0A, 8-Bit-Code für Zeilenvorschub)

Anschließend entnimmt **readShort()** dem **InputStream** die beiden ersten Bytes und interpretiert sie als 16-Bit-Ganzzahl, was im Beispiel den dezimalen Wert 12301 ergibt:

$$0011000000001101_2 = 12301_{10}$$

Schickt der Benutzer eine leere Eingabe mit **Enter** ab, resultiert der **short**-Wert:

$$0000110100001010_2 = 3338_{10}$$

Während der Filterstrom korrekt arbeitet, ist die Eingabe passender Bytes via Tastatur (Standardeingabestrom **System.in**) äußerst umständlich bis unmöglich.

Um numerische Daten von der Konsole zu lesen, sollte man die in Abschnitt 13.5 beschriebene Klasse **Scanner** verwenden.

Die Transformationsklasse **DataInputStream** ist dafür konstruiert, aus einem binären Eingabestrom Werte primitiver Typen zu lesen. Oft sind diese Werte zuvor von einem Objekt der Klasse **DataOutputStream** geschrieben worden.

Aufgabe 7

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\EA\ASCII-Text

Aufgabe 8

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\EA\DataMatrix

Abschnitt 14 (Applets)

Aufgabe 1

1. **Richtig**
2. **Richtig**
3. **Richtig**
4. **Falsch**

Aufgabe 2

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Applets\PrimApplet

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Applets\EuroKonverter

Abschnitt 15 (Multimedia)

Aufgabe 1

1. **Richtig**
2. **Falsch**
   Bei schnell ablaufenden Veränderungen ist die direkte Ausgabe sinnvoll, wobei das per **paint()** bzw. **paintComponent()** ausgegebene Modell in der Regel ebenfalls aktuell gehalten werden muss.
3. **Falsch**
   Das Java 2D - API unterscheidet logische und geräteabhängige Koordinaten mit einer übersetzenden Transformation, verwendet aber per Voreinstellung die identische (unwirksame) Transformation.
4. **Falsch**
   Font-Objekt können generell überhaupt nicht geändert werden.

Aufgabe 2

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Multimedia\Grafik\Würfel

Aufgabe 3

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Multimedia\Sound\Hintergrundmusik

Abschnitt 16 (Multithreading)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
2. **Richtig**
   Werden im EDT länger laufende Methoden ausgeführt, reagiert die Bedienoberfläche zäh.
3. **Richtig**
4. **Falsch**
   Daher sollte sich ein Thread niemals in einem synchronisierten Bereich zur Ruhe begeben.

Aufgabe 2

Der `Schnarcher`-Thread wird fast immer schlafend angetroffen. In diesem Fall wird eine **InterruptedException** geworfen und das Interrupt-Signal wieder gelöscht. Damit die **run()**-Methode plangemäß reagieren kann, muss bei der Ausnahmebehandlung **interrupt()** erneut aufgerufen werden:

```
public class Schnarcher extends Thread {
 public void run() {
  while (true) {
   if(isInterrupted())
    return;
   try {
    sleep(100);
   } catch(InterruptedException ie) {
    interrupt();
   }
   System.out.print("*");
  }
 }
}
```

Aufgabe 3

Weil jeder Thread seinen eigenen Stapelspeicher für Methodenaufrufe besitzt, sind bei lokalen Variablen konkurrierende Zugriffe durch mehrere Threads unmöglich.

Abschnitt 17 (Netzwerkprogrammierung)

Aufgabe 1

1. **Falsch**
   Server benötigen eine feste Port-Nummer, die den Klienten schon vor der Verbindungsaufnahme bekannt sein muss.
2. **Richtig**
3. **Falsch**
   Das HTTP-Protokoll gehört zur Schicht 7 (Anwendung).
4. **Richtig**
   Es ist aber ein **Socket**-Konstruktor mit Timeout-Parameter für die Verbindungsaufnahme vorhanden.

Aufgabe 2

Sie finden einen Lösungsvorschlag im Verzeichnis:

...\BspUeb\Netzwerk\TCP-Programmierung\Chat

C. Updates für die Java-Laufzeitumgebungen

Wer unter Windows die 32-Bit - Version der JRE 7 installiert, profitiert von automatischen Updates. Für den automatischen Start des zuständigen Programm **jusched.exe** sorgt ein Registry-Key, z.B. unter Windows 7-64:

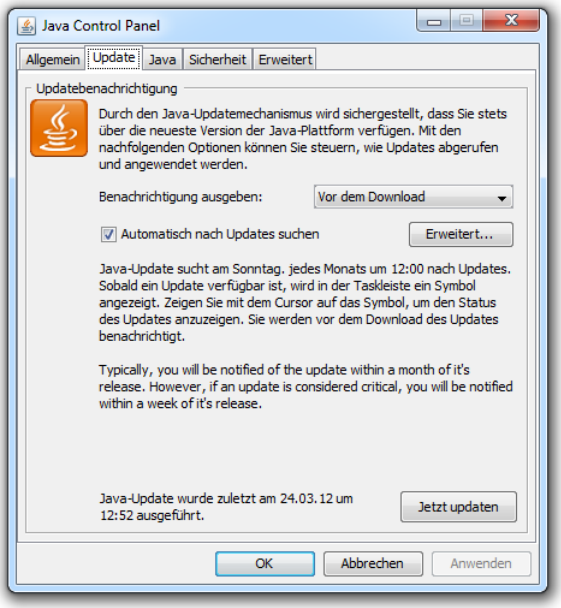
HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Wow6432Node\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run

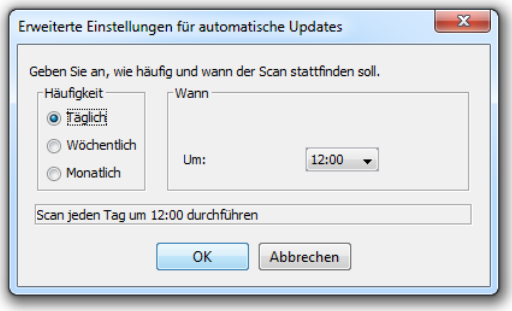
Hier findet sich der Wert **SunJavaUpdateSched**.

Außerdem kann über

Start > Systemsteuerung > Programme > Java (32 Bit)

ein Konfigurationsprogramm gestartet werden, das auf der Registerkarte **Update** über den aktuellen Update-Plan informiert nach einem Klick auf den Schalter **Erweitert** eine Anpassung erlaubt:





Allerdings sind für eine erfolgreiche Einstellungsänderung Administratorrechte erforderlich. Um unter Windows 7 mit UAC (***U**ser **A**ccount **C**ontrol*) das Konfigurationsprogramm mit Administratorrechten zu starten, öffnet man im Windows-Explorer den Ordner

C:\Program Files (x86)\Java\jre7\bin (bei einem 64-Bit - System)

bzw.

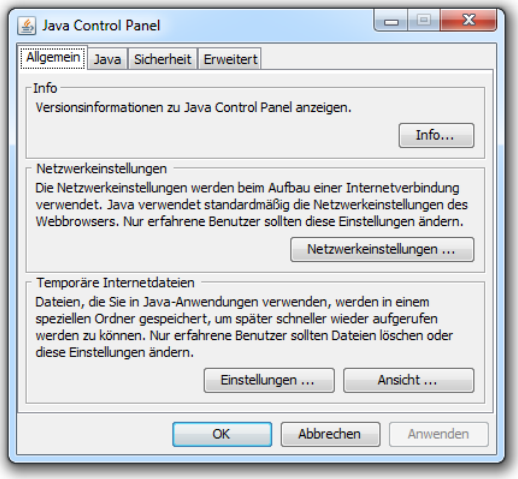
C:\Program Files\Java\jre7\bin (bei einem 32-Bit - System)

und wählt aus dem Kontextmenü zur Datei **javacpl.exe** das Item **Als Administrator ausführen**.

Für die 64-Bit - Version der JRE 7 existiert *kein* automatisches Update-Verfahren, und das über

Start > Systemsteuerung > Programme > Java

zu startende Konfigurationsprogramm besitzt dementsprechend keine Registerkarte **Update**:



Um Updates für die 64-Bit - JRE muss man sich selbst kümmern. Neben der Download-Seite

http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html

bietet die Firma Oracle einen Blog mit aktuellen Versionsinformationen:

https://blogs.oracle.com/javase/category/Oracle/FCS+Release

Installiert man auf einem Windows-System mit 64-Bit - Architektur nach der 32-Bit - JRE zusätzlich das 64-Bit - Gegenstück, ist über

Start > Systemsteuerung > Programme

nur noch das 64-Bit - Konfigurationsprogramm erreichbar. Über die Datei

C:\Program Files (x86)\Java\jre7\bin\javacpl.exe

lässt sich das 32-Bit - Konfigurationsprogramm aber weiterhin verwenden, und das Update-Programm **jusched.exe** zur 32-Bit-JRE bleibt aktiv. Dasselbe Endergebnis stellt sich auch ein, wenn man zunächst die 64-Bit - JRE und danach die 32-Bit - JRE installiert.

Literatur

Ball, J., Carson,D. B., Evans, I., Haase, K & Jendrock, E. (2006). *The Java EE 5 Tutorial*. Santa Clara, CA: Sun Microsystems.

Baltes-Götz, B. (2011). *Einführung in das Programmieren mit C# 4.0*. Online-Dokument: http://www.uni-trier.de/index.php?id=22777

Balzert, H. (1999). *Lehrbuch der Objektmodellierung: Analyse und Entwurf*. Heidelberg: Spektrum.

Bloch, J. (2008). *Effective Java* (2nd. ed.). Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.

Bracha, G. (2004). *Generics in the Java Programming Language*. Online-Dokument: http://java.sun.com/j2se/1.5/pdf/generics-tutorial.pdf

Deitel, H. M. & Deitel, P. J. (1999). *Java: how to program* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Deitel, H. M. & Deitel, P. J. (2005). *Java: how to program* (6th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Echtle, K. & Goedicke, M. (2000). *Lehrbuch der Programmierung mit Java*. Heidelberg: dpunkt.

Ebner, M. (2000). *Delphi 5 Datenbankprogrammierung*. München: Addison-Wesley.

Eckel, B. (2002). *Thinking in Java* (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall. Online-Dokument: http://www.mindview.net/Books/TIJ/

Eidenberger, H. & Divotkey, R. (2004). *Medienverarbeitung in Java*. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Erlenkötter, H. (2001). *Java. Programmieren von Anfang an*. Reinbek: Rowohlt.

Flanagan, D. (2005). *Java in a Nutshell* (5th ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly.

Fowler, A. (2003). *Painting in AWT and Swing*. Online-Dokument: http://java.sun.com/products/jfc/tsc/articles/painting/index.html

Goetz, B. (2007). *Java Theory and Practice. Stick a Fork in it, Part 1*. Online-Dokument: http://public.dhe.ibm.com/software/dw/java/j-jtp11137-pdf.pdf (abgefragt: 08.04.2012)

Goll, J., Weiß, C. & Rothländer, P. (2000). *Java als erste Programmiersprache*. Stuttgart: Teubner.

Gosling, J., Joy, B., Steele, G., Bracha, G. & Buckley, A. (2011). *The Java Language Specification. Java SE 7 Edition*. Online-Dokument: http://download.oracle.com/javase/7/specs/jls/JLS-JavaSE7.pdf

Grossmann, D. (2012). Beginner's Introduction to Java's ForkJoin Framework. Online-Dokument: http://www.cs.washington.edu/homes/djg/teachingMaterials/grossmanSPAC_forkJoinFramework.html (abgefragt: 08.04.2012)

Hennebrüder, S. (2007). *Hibernate. Das Praxisbuch für Entwickler*. Bonn: Galileo.

Horstmann, C. S. & Cornell, G. (2002). *Core Java. Volume II – Advanved Features*. Palo Alto, CA: Sun Microsystems Press.

Kröckertskothen, T. (2001). *Java 2. Grundlagen und Einführung*. Hannover: RRZN.

Krüger, G. & Hansen, H. (2011). *Handbuch der Java-Programmierung* (Version 7.0.). Online-Dokument: http://www.javabuch.de/download.html

Künneth, T. (2009). *Einstieg in Eclipse 3.5*. Bonn: Galileo.

Lau, O. (2009). Faites vos jeux! Zufallszahlen erzeugen, erkennen und anwenden. *c't Magazin für Computertechnik*. 2009, Heft 2, 172-178.

Lahres, B. & Rayman, G. (2009). *Praxisbuch Objektorientierung* (2. Aufl.). *Professionelle Entwurfsverfahren*. Bonn: Galileo

Langer, A. & Kreft, K. (2004). *Java Generics - Type Erasure*. Online-Dokument: http://www.angelikalanger.com/Articles/JavaMagazin/Generics/GenericsPart2.html

Liskov, B. H. & Wing, J. M. (1999). *Behavioral Subtyping Using Invariants and Constraints*. Online-Dokument: http://reports-archive.adm.cs.cmu.edu/anon/1999/CMU-CS-99-156.ps

Martin, R.C. (2002). *SRP: The Single Responsibility Principle*. Online-Dokument: http://www.objectmentor.com/resources/articles/srp.pdf

Middendorf, S. & Singer, R. (1999). *Java. Programmierhandbuch und Referenz für die Java-2-Plattform*. Heidelberg: dpunkt.

Minhorst, A. & Schäfer, U. (2006). Fadenspiel. Objektrelationales Mapping in Java und .NET. *c't Magazin für Computertechnik*. 2006, Heft 9, 236-243.

Mitran, M., Sham, I. & Stepanian, L. (2008). *Decimal floating-point in Java 6*. Online-Dokument: http://www-03.ibm.com/servers/enable/site/education/wp/181ee/181ee.pdf

Mössenböck, H. (2003). *Softwareentwicklung mit C#. Eine kompakter Lehrgang*. Heidelberg: dpunkt.

Mössenböck, H. (2005). *Sprechen Sie Java? Einführung in das systematische Programmieren*. Heidelberg (3. Aufl.). Heidelberg, dpunkt.Verlag.

Müller, N. (2004). *Rechner-Arithmetik*. Online-Dokument: http://www.informatik.uni-trier.de/~mueller/Lehre/2005-arith/arith-2003-folien.pdf

Muller, H. & Walrath, K. (2000). *Threads and Swing*. Online-Dokument: http://java.sun.com/products/jfc/tsc/articles/threads/threads1.html

Münz, S. (2007). *SELFHTML 8.1.2*. Online-Dokument: http://aktuell.de.selfhtml.org/extras/download.shtml

MySQL AB (2008). *MySQL 5.0 Reference Manual*. Online-Dokument http://dev.mysql.com/doc/

Naftalin, M. & Wadler, P. (2007). *Java Generics and Collections*. Sebastopol, CA: O'Reilly.

Oracle (2012). *The Java Tutorials*. Online-Dokument: http://download.oracle.com/javase/tutorial/.

Rittmeyer, W. (2005). *JSP-Tutorial*. Online-Dokument: http://www.jsptutorial.org/content

RRZN (1999). *Grundlagen der Programmierung mit Beispielen in C++ und Java*. Hannover.

RRZN (2004). *MySQL Administration*. Hannover.

RRZN (2005). *Eclipse 3*. Hannover.

Spurgeon, C. E. (2000). *Ethernet. The Definitive Guide*. Sebastopol, CA: O'Reilly.

Strey, A. (2003). Computer-Arithmetik. Online-Dokument: http://www.informatik.uni-ulm.de/ni/Lehre/WS02/CA/CompArith.html

Sun Microsystems (2009). JSR 317. Java(TM) Persistence API, Version 2.0. Online-Dokument: http://jcp.org/en/jsr/detail?id=317

Ullenboom, C. (2012a). *Java ist auch eine Insel* (10. Aufl.). Bonn: Galileo. OpenBook: http://openbook.galileocomputing.de/javainsel/

Ullenboom, C. (2012b). *Java 7 - Mehr als eine Insel*. Bonn: Galileo. OpenBook: http://openbook.galileocomputing.de/java7/index.html

Vogel, L. (2012). *JPA 2.0 with EclipseLink - Tutorial*. Online-Dokument: http://www.vogella.com/articles/JavaPersistenceAPI/article.html (abgerufen am 23.09.2012).

Index