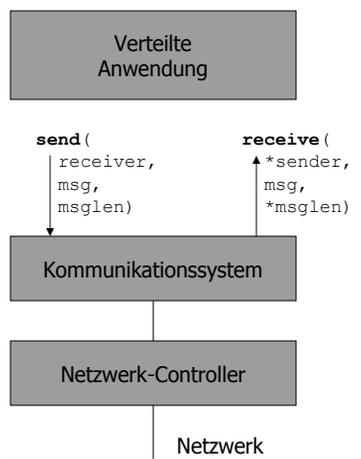


# Verteilte Systeme

## 2. Protokolle

### Netzwerke und höhere Protokolle



Semantik von `send` und `receive` wird vom Netzwerk bestimmt

- Nachrichtenverluste, -duplikate, -vertauschungen
- Adressierung
- Gruppen- und Broadcastadressen
- Maximale Paketgröße (MTU = Maximum Transfer Unit)

Fragestellungen

- Portierbarkeit
- Austausch von Adressen
- Heterogenität
- Flußkontrolle, Stauungen
- Kommunikationskosten (Ermittlung und Abrechnung)
- Sicherheit
- ...

## Ziele

### Nicht vorhandene Funktionalität realisieren

- Nachrichtenverluste kompensieren
- Duplikate eliminieren
- Vertauschungen aufheben
- Multicast- und Broadcast-Kommunikation bereitstellen

### Homogenes Leistungsangebot in einem Internet

- Unterschiedliche maximale Paketgrößen angleichen
- Einheitliche Adressierung
- Mail, Namensdienste, HTTP, MIME, ...

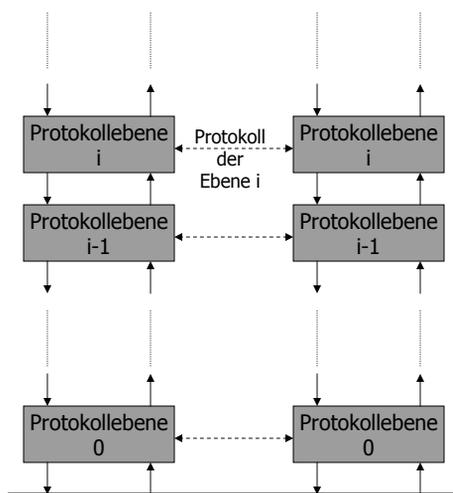
### Höhere Abstraktionen

- Symbolische Adressierung
- Remote-Procedure-Call (RPC), Client-Server-Systeme
- Verteilter gemeinsamer Speicher (DSM = Distributed Shared Memory)

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.3

## Protokollebenen



Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.4

### Schrittweise Erweiterung und Verbesserung der Funktionalität

- Ebene  $k$  fängt Nachrichtenverluste ab
- Ebenen  $m > k$  gehen von sicherer Übertragung aus

### Protokollstack

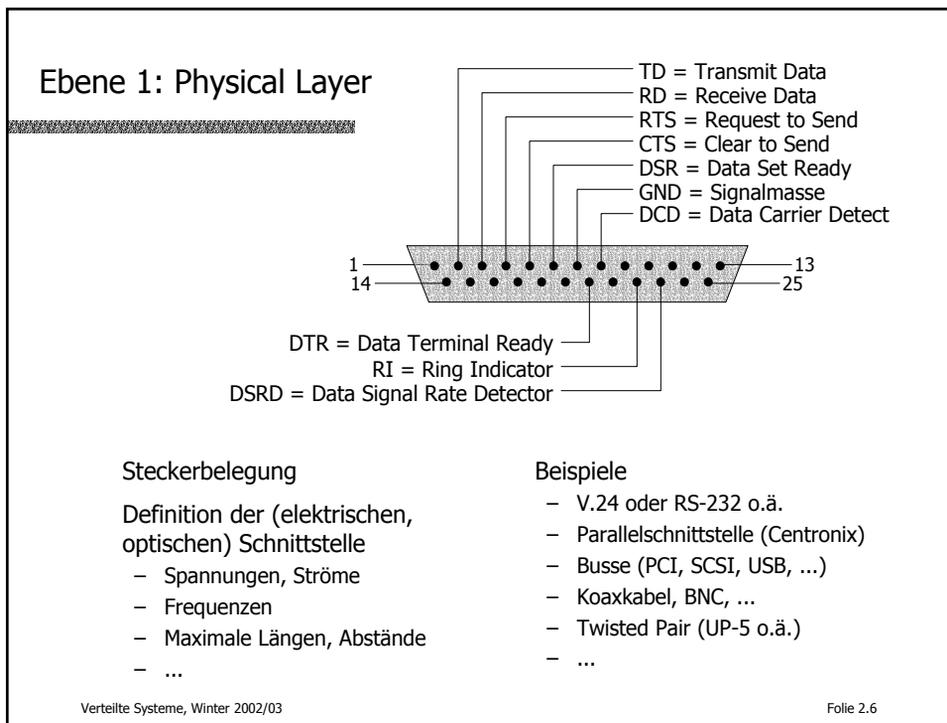
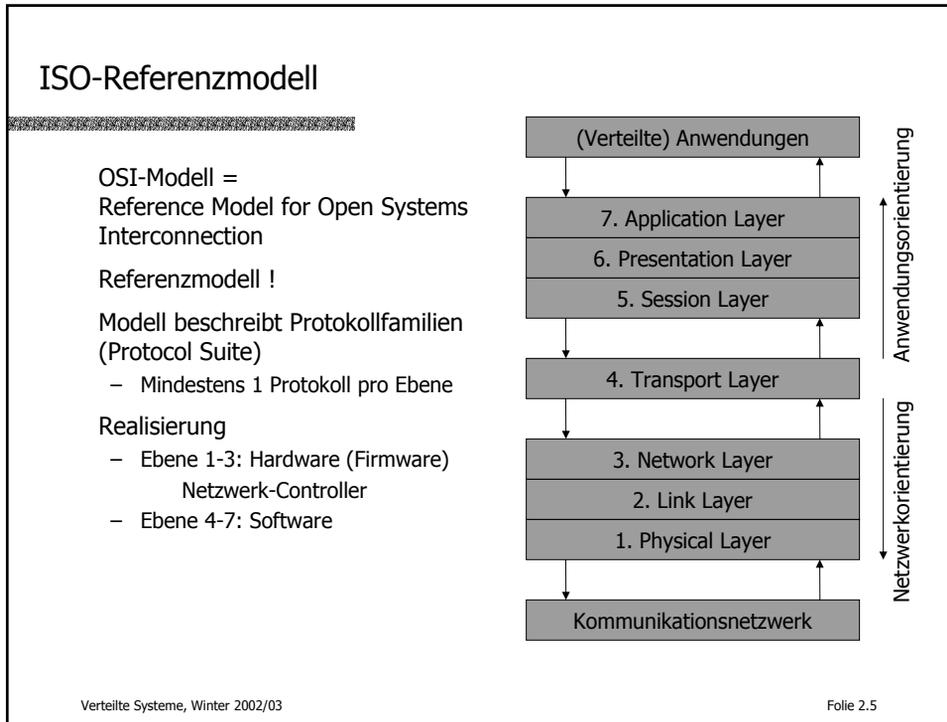
#### Logisches Protokoll auf jeder Ebene

#### Wo sind die Ebenen?

- Laufzeitbibliothek
- Betriebssystem
- Spezielle Server (paralleler Protokollstack)

#### Nachteile

- Effizienzprobleme
- Anordnung der Ebenen
- Jede Ebene braucht Header



### Ebene 2: Link Layer

---

Realisierung eines fehlerfreien Übertragungskanals (Link) zwischen jeweils 2 Knoten

- Synchronisation
- Fehlererkennung (CRC)
- Nachrichtwiederholungen
- Transparente Datenübertragung

Bidirektionale Verbindung

- Halb-Duplex
- Voll-Duplex

Beispiele

- CSMA/CD
- HDLC

Verteilte Systeme, Winter 2002/03 Folie 2.7

### Ebene 3: Network Layer

---

zwischen Netzen

innerhalb eines Netzes

7. Application Layer

6. Presentation Layer

5. Session Layer

4. Transport Layer

3. Network Layer

2. Link Layer

1. Physical Layer

Rechner-zu-Rechner-Protokoll

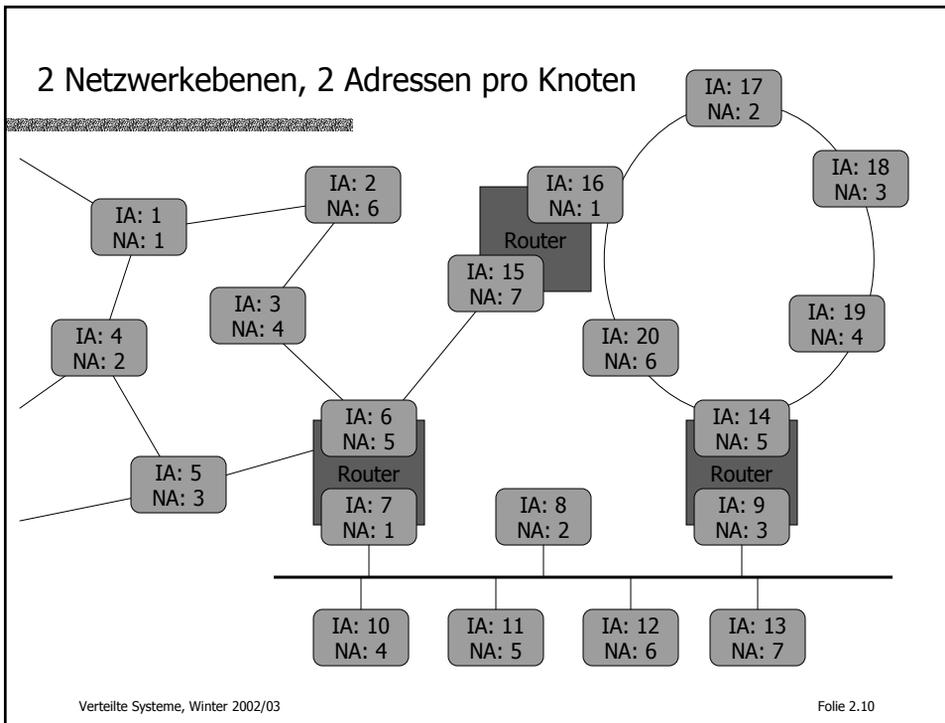
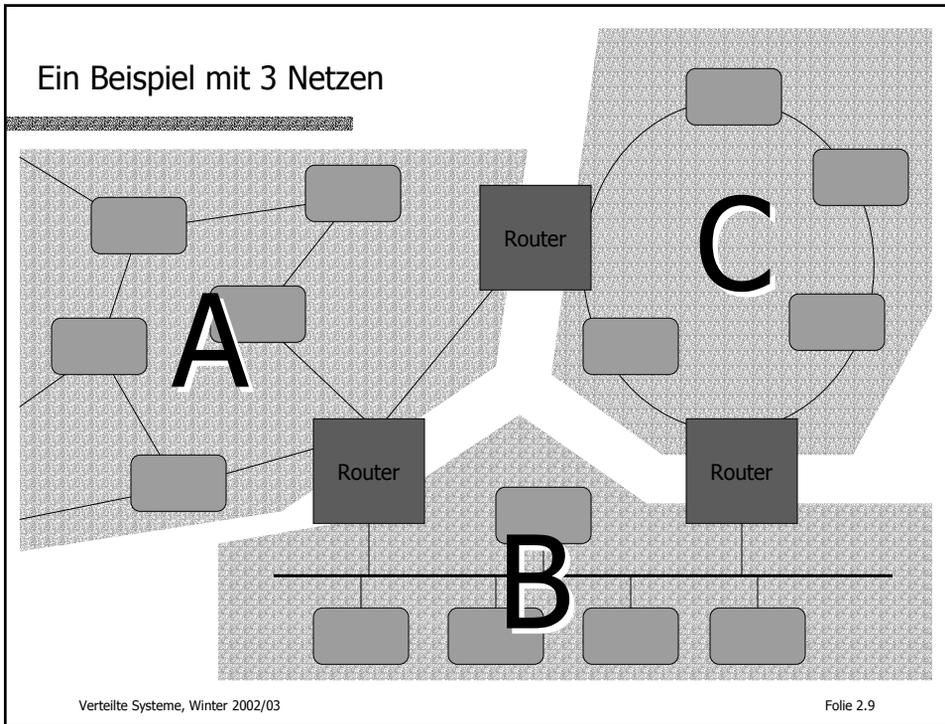
Netzwerkebene häufig geteilt

- Aufgaben innerhalb eines Netzes:
  - Routing bei dedizierten Leitungen
  - Netzwerkadressen
- Aufgaben bei der Vernetzung zweier Netze (Internet):
  - Übergeordnetes Adressierungsschema (Internet-Adresse)
  - Routing
  - Fragmentierung bei unterschiedlicher MTU

Management-Funktionen

- Behandlung von Ausfällen
- Ermittlung von Adressen
- Austausch von Routing-information

Verteilte Systeme, Winter 2002/03 Folie 2.8



## Routing

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

**Wahl des richtigen Weges zu einem Empfänger**

- Mehrere Alternativen vorhanden
- Speicherung der Alternativen
- Speicherung der aktuell "besten" Route zum Ziel

**Auswahlkriterien**

- Verfügbarkeit
- Bandbreite
- Kosten

**Routing-Tabelle**

- Zielknoten, Zielnetz
- Kosten (Kostentabelle)
- Lifeness-Informationen

**Abgleich der Routing-Information**

- Dreiecksungleichung

Folie 2.11

## Routing innerhalb eines Netzes

**Beispiel Hypercube**

Geeignete Wahl der Knotenadressen

Routing = Vergleich der binären Adressen

- Zwischen aktuellem Knoten (Router) und Zielknoten
- Richtung wählen, die Anzahl der ungleichen Bitpositionen reduziert

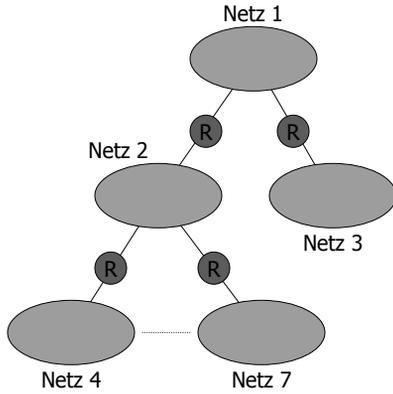
Anzahl der ungleichen Positionen entspricht Anzahl der alternativen Wege

Routing bei Ausfall einzelner Kanten?

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.12

## Routing zwischen Netzen



Beispiel: Hierarchischer Ansatz

Aufbau einer Adresse  $A=(N,K)$

- Netzanteil
- Knotenanteil

Empfänger im selben Netz

- Direkte Kommunikation

Empfänger in anderem Netz

- Weg unbekannt: Nachricht an einen ausgezeichneten Router (Default Router) weiterleiten
- Weg bekannt: Weitergabe an den entsprechenden Router  
Macht meist auch der Default Router

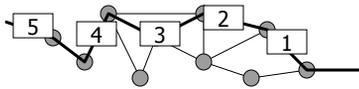
Redundanter "Secondary"

- Enger Abgleich mit dem "Primary"

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.13

## Virtual Circuit Switching vs. Paket Switching



Virtuelle Verbindung

Vorteile

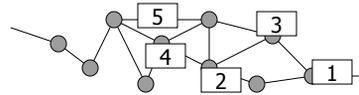
- Keine Nachrichtenverluste
- FIFO-Ordnung
- Flußkontrolle
- Geringer Pufferungsaufwand
- QoS durchsetzbar

Nachteile

- Verbindungsaufbau notwendig
- Overhead

Beispiele

- ATM, (Telefon)



Unabhängige Pakete

Vorteile

- Geringer Overhead

Nachteile

- Nachrichtenverluste
- Keine Ordnung
- Keine Flußkontrolle
- Erhöhter Pufferungsaufwand
- QoS schwierig

Beispiele

- Ethernet, (Briefpost)

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.14

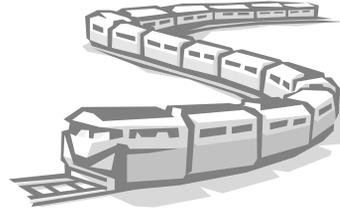
## Ebene 4: Transport Layer

### Ende-zu-Ende-Protokoll

- Angabe des Empfängersrechners
- Konkreter Empfänger
  - Prozeß
  - Port
  - ...

### Meist zwei Protokolle:

- Verbindungslos (Datagramm)
- Verbindung (Reliable Stream)
- Vor- und Nachteile bekannt



### Aufgaben

- Quittungsbetrieb = Reaktion auf Nachrichtenverluste
- Sequenznummern = Reaktion auf Nachrichtenvertauschungen
- Eliminierung von Duplikaten
- Flußkontrolle
- Ausnutzung der Speicherkapazität des Mediums
- ...

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.15

## Quittungsbetrieb

### Gründe

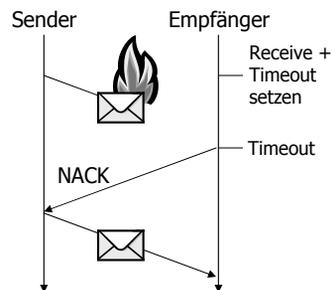
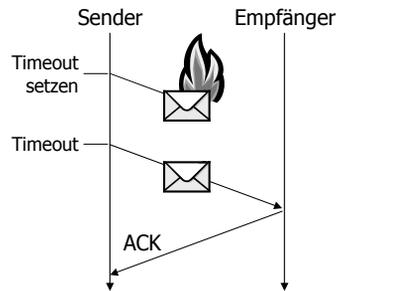
- Reaktion auf Nachrichtenverluste
- Erkennen von Netzpartitionen
- Erkennen von Ausfällen
  - Empfänger
  - Kommunikationssystem
- Flußkontrolle
  - langsame Empfänger

### Grundlage Timeout

- Positive Quittung (Implizite Wiederholung)
- Negative Quittung (Explizite Anforderung)

Nachteil: Schlechte Auslastung des Mediums bei hoher Latenz

### Byzantinische Generäle

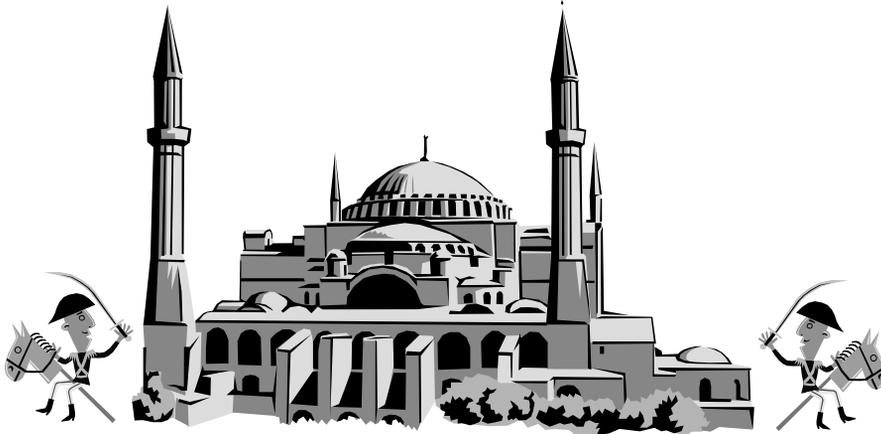


Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.16

## Die byzantinischen Generäle

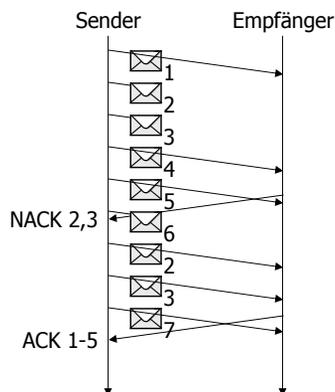
Es war einmal .....



Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.17

## Kontinuierliches Senden



Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.18

Nachrichten nummerieren

Sender verwaltet Liste der noch nicht quittierten Nachrichten

- Empfänger kann durch Senden von NACK fehlende Nachrichten nachträglich anfordern

Empfänger verwaltet Liste der empfangenen Nachrichten

- Sender kann durch Empfang von ACK erfolgreich übermittelte Nachrichten aus der Liste entfernen

Selektive Wiederholung

Go-Back-N

Probleme

- Komplexe Protokolle
- Hoher Pufferbedarf
- Schlechtes Hochlastverhalten
- Sender paßt sich dem Tempo des Empfängers nicht an

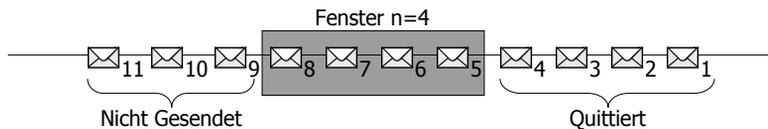
## Flußkontrolle: Sliding-Window-Protokolle

### Ziele

- Tempo von Sender und Empfänger anpassen
- Speicherkapazität des Mediums optimal nutzen

### Sender verwaltet Fenster von maximal n unquitierten Nachrichten

- Sender kann Empfänger um maximal n Nachrichten vorauslaufen
- Innerhalb des Fensters Quittungsbetrieb analog kontinuierlichem Senden
- Bei n ausstehenden Quittungen Blockade des Senders
- Wahl von n hängt u.a. von der Speicherkapazität ab



Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.19

## Abbildung auf Netzwerkebene

	Netzwerk Paket Switching	Netzwerk Circuit Switching
Transport Datagramm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragmentierung</li> <li>• Volles Protokoll pro Datagramm</li> <li>• Direkte Abbildung bei passender MTU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau einer Verbindung vor dem Versenden eines Datagramms</li> <li>• Caching von Verbindungen</li> </ul>
Transport Reliable Stream	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volles Protokoll inkl. Quittungsbetrieb, Sequenznummer und Flußkontrolle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkte Abbildung</li> </ul>

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.20

## Ebene 5: Session Layer

(Die Aufgaben dieser Ebene sind am wenigsten klar umrissen)

Verwaltung von Kommunikationssitzungen

- Sicherungspunkte für Verbindungen
- Recovery

Beispiele

- Unterbrochene FTP-Sitzung von gestern jetzt fortführen
- Bankautomat stellt Verbindung zur Zentrale wieder her

Häufig sind die Protokolle dieser Ebene nicht einfach isolierbar



Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.21

## Ebene 6: Presentation Layer

Umwandlung von Datenformaten

- Offene Systeme
- Heterogenität

Gängige Technik

- Bereitstellung eines Netzwerkstandards  $S_{\text{Netz}}$
- Sender wandelt Daten von  $S_{\text{Send}}$  in  $S_{\text{Netz}}$  um
- Empfänger wandelt Daten von  $S_{\text{Netz}}$  nach  $S_{\text{Receive}}$  um

Beispiele

- XDR (SUN-RPC)
- ASN.1

Verschlüsselung

- z.B. 128 Bit-Verschlüsselung über Java-Applets beim Internet-Banking

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.22

## Ebene 7: Application Layer

Spezifische Anwendungsprotokolle

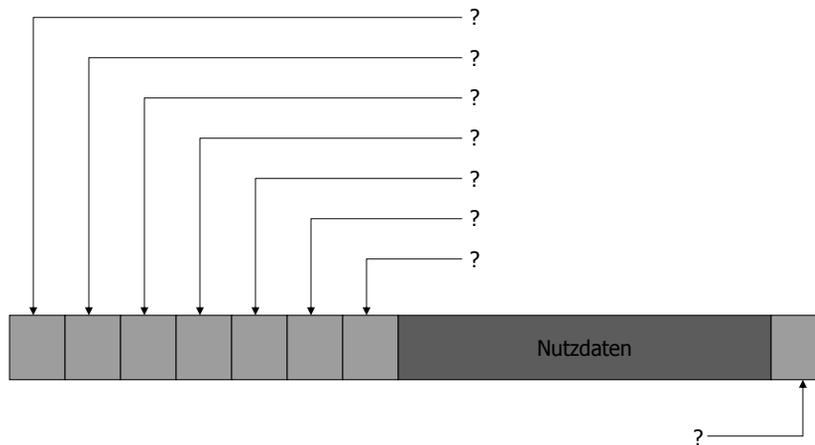
Beispiele

- FTP - File Transfer Protocol
- Telnet
- rlogin - Remote Login
- NFS - Network File System
- NIS - Network Information System
- SMTP - Simple Mail Transfer Protocol
- X.400, POP.3, ... - Ebenfalls Mail-Protokolle
- HTTP - Hypertext Transfer Protocol
- ...

Verteilte Systeme, Winter 2002/03

Folie 2.23

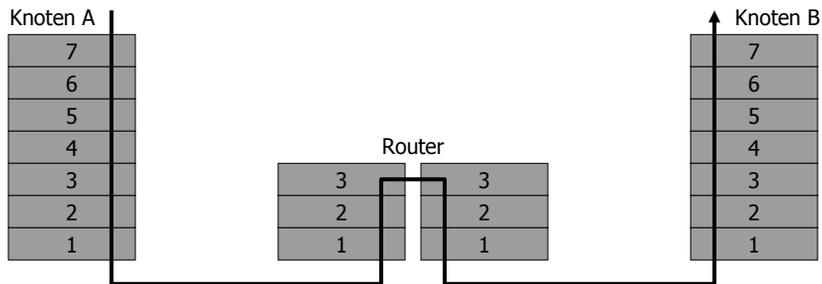
## Aufbau einer Ebene 7-Nachricht



Verteilte Systeme, Winter 2002/03

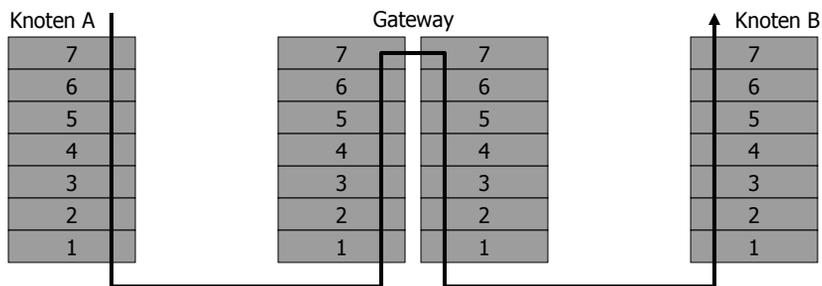
Folie 2.24

## Router



Muß ein Router vollständig durchlässig sein?  
 Was kann spezifisch unterbunden werden?

## Gateway



Was kann ein Gateway spezifisch unterbunden?