

HANDBUCH DER PSYCHOLOGIE

hrsg. von J. Bengel, H.-W. Bierhoff, V. Brandstätter, M. Eid, D. Frey, P. A. Frensch, J. Funke, S. Gauggel, M. Hasselhorn, M. Herrmann, H. Holling, M. Jerusalem, J. H. Otto, F. Petermann, T. Rammsayer, H. Reinecker, B. Schmitz, W. Schneider, H. Schuler, Kh. Sonntag, M. Steller, R. Volbert und H. Weber.

Band 7

Handbuch der Entwicklungspsychologie
hrsg. von Marcus Hasselhorn und Wolfgang Schneider

weitere Bände:

Handbuch der Allgemeinen Psychologie: Kognition
hrsg. von Joachim Funke und Peter A. Frensch

Handbuch der Allgemeinen Psychologie: Motivation und Emotion
hrsg. von Veronika Brandstätter und Jürgen H. Otto

Handbuch der Sozialpsychologie und Kommunikationspsychologie
hrsg. von Hans-Werner Bierhoff und Dieter Frey

Handbuch der Persönlichkeitspsychologie und Differentiellen Psychologie
hrsg. von Hannelore Weber und Thomas Rammsayer

Handbuch der Neuro- und Biopsychologie
hrsg. von Siegfried Gauggel und Manfred Herrmann

Handbuch der Psychologischen Methoden und Evaluation
hrsg. von Heinz Holling und Bernhard Schmitz

Handbuch der Psychologischen Diagnostik
hrsg. von Franz Petermann und Michael Eid

Handbuch der Klinischen Psychologie und Psychotherapie
hrsg. von Franz Petermann und Hans Reinecker

Handbuch der Arbeits- und Organisationspsychologie
hrsg. von Heinz Schuler und Karlheinz Sonntag

Handbuch der Pädagogischen Psychologie
hrsg. von Wolfgang Schneider und Marcus Hasselhorn

Handbuch der Gesundheitspsychologie und Medizinischen Psychologie
hrsg. von Jürgen Bengel und Matthias Jerusalem

Handbuch der Rechtspsychologie
hrsg. von Renate Volbert und Max Steller

HANDBUCH DER PSYCHOLOGIE

Handbuch der Entwicklungs- psychologie

herausgegeben von

Marcus Hasselhorn und Wolfgang Schneider

HOGREFE



GÖTTINGEN · BERN · WIEN · PARIS · OXFORD · PRAG
TORONTO · CAMBRIDGE, MA · AMSTERDAM · KOPENHAGEN

Informationsverarbeitungsansätze der Entwicklungspsychologie

Information Processing Approaches in Developmental Psychology

Michael Schneider & Elsbeth Stern

Der hilf- und sprachlose Säugling entwickelt sich in einem Jahrzehnt zu einem Lebewesen, das kulturelle Errungenschaften wie die Schriftsprache, mathematische Symbolsysteme übernimmt und Handlungskompetenzen erwirbt, die auf einem Verständnis von der Welt basieren. Nach welchen Gesetzmäßigkeiten entsteht die große geistige Flexibilität und Lernfähigkeit von Menschen? Informationsverarbeitungsansätze führen diese Kompetenzzuwächse vorrangig auf die Entwicklung des dahinterliegenden Denkens zurück. Es gibt eine große Zahl solcher Informationsverarbeitungsansätze, die in diesem Text nicht einzeln besprochen werden können.

Grundannahme der Informationsverarbeitungsansätze

Informationsverarbeitungsansätze der Entwicklungspsychologie erklären alterskorrelierte Veränderungen im beobachtbaren Verhalten von Menschen durch die Annahme von Veränderungen der diesem Verhalten zugrunde liegenden kognitiven Strukturen und Prozesse.

All diese Ansätze bilden trotz wichtiger gemeinsamer Grundannahmen keine einheitliche Theorie, ja können sich in einzelnen Punkten sogar widersprechen. Teilweise fokussieren sie auf unterschiedliche Inhaltsdomänen oder psychische Funktionen, nutzen unterschiedliche theoretische Konstrukte und werden durch unterschiedliche Methodologien empirisch weiterentwickelt.

Im nächsten Abschnitt werden zunächst beispielhaft einige Themen vorgestellt, die in Informationsverarbeitungsansätzen der Entwicklungspsychologie wichtige Rollen spielen. Sie sollen einen ersten Eindruck der Breite und Dynamik des Forschungsfelds geben. Im darauf folgenden Abschnitt werden die allen Informationsansätzen gemeinsamen theoretischen Grundannahmen besprochen. Im letzten Abschnitt werden am Beispiel der Entwicklung mathematischer Strategien typische Verläufe kognitiver Kompetenzentwicklungen verdeutlicht.

1 Die kognitive Entwicklung im Kindesalter: Besser denken oder anders wissen?

1.1 Die Rolle des Wissenserwerbs

Auf dem Feld der kognitiven Entwicklung hat Jean Piaget theoretische Pionierarbeit geleistet, die noch heute Maßstäbe setzt. Sein entscheidender Beitrag bestand darin, menschliche Informationsverarbeitung als einen Prozess der Bedeutungskonstruktion zu sehen und nicht einfach als die Übernahme von Reiz-Reaktions-Verbindungen. Von Piaget wurden Mechanismen wie Assimilation und Akkommodation angenommen, um die Einbettung eingehender Information in bestehendes Wissen ebenso wie die Ausdifferenzierung kognitiver Strukturen zu beschreiben. Diese recht allgemeine Skizzierung menschlicher Informationsverarbeitung gibt eine noch immer gültige theoretische Richtung vor, die jedoch eine Konkretisierung erforderte, die in den letzten zwanzig Jahren in den Kognitionswissenschaften vorangetrieben wurde.

Entscheidend für die weitere Theoriebildung über die menschliche Informationsverarbeitung war die Erkenntnis, wonach dem Wissen eine zentrale Bedeutung für das Können zukommt. Dies zeigte sich nicht nur aus der allgemein-psychologischen und der differenziellen, sondern gerade auch aus der Entwicklungsperspektive. Dass jüngere Kinder die meisten geistigen Anforderungen schlechter bewältigen als ältere Kinder und Erwachsene, ist zu einem nicht geringen Teil auf Defizite im Wissen zurückzuführen, weil beide Gruppen aus Zeitgründen unterschiedlich viele Lerngelegenheiten hatten.

Noch Piaget führte Kompetenzunterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen vor allem auf Unterschiede in der Art der Informationsverarbeitung zurück. Jedoch belegen zahlreiche neuere Arbeiten, dass Kinder gegenüber Erwachsenen nicht zwangsläufig in ihren grundlegenden geistigen Funktionen eingeschränkt sind. Untersuchungen im Bereich des Schachspielens zeigen beispielsweise, dass Kinder Gedächtnisleistungen erbringen können, die denen von Erwachsenen entsprechen oder sogar überlegen sind, sofern die Kinder eine größere Schachexpertise besitzen als die Erwachsenen (Schneider, Gruber, Gold & Opwis, 1993). Heute geht man daher eher davon aus, dass Entwicklungsunterschiede nicht vorrangig durch unterschiedliche Arten der Wissensverarbeitung, sondern vor allem durch Wissens- und Erfahrungsunterschiede hervorgerufen werden.

Solche Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen zeigen sich beispielsweise im Begriffswissen sehr deutlich. Zwar übernehmen Kinder im Zuge der Sprachentwicklung recht schnell Wörter von erwachsenen Sprachvorbildern, aber an manchen Fehlleistungen der Kinder wird deutlich, dass sie etwas ganz anderes

darunter verstehen. So setzen sie das Konzept des Gewichts mit dem subjektiven Gefühl, dass etwas „schwer ist“, gleich und können daher behaupten, dass eine Feder nichts wäge. Die Forschung zeigt, dass Kinder vorwiegend an *charakteristische Merkmale* denken, wenn sie bestimmte Begriffe hören: So ist ein Onkel ein alter Mann. Erst später entwickelt sich – als Ergebnis von Alltagserfahrung und systematischer Bildung – ein sogenanntes *definitorisches Verständnis* der Begriffe: Ein Onkel ist der Bruder oder Schwager eines Elternteils. Dieses Beispiel zeigt, dass Erwachsene Kindern oft im Verhalten überlegen sind, einfach weil sie im Laufe ihrer Entwicklung mehr Lerngelegenheiten ausgesetzt waren und so schon mehr Wissen erwerben konnten.

1.2 Die Rolle mentaler Verarbeitungsmechanismen

Allerdings lassen sich die Altersunterschiede in der geistigen Leistungsfähigkeit nicht ausschließlich auf Wissensdefizite von Kindern zurückführen. So ist, auch bei Kontrolle der Expertise auf einem Gebiet, die Gedächtnisspanne für unverbundenes Material – sei es für Zahlen oder für Wörter – im Vorschulalter deutlich niedriger als im Grundschulalter. Sie erreicht erst mit der Pubertät ihr Optimum.

Frappierend ist auch die geringe geistige Flexibilität in den ersten Lebensjahren, die sich im Alltag in Form von Rigidität zeigt. Die von Piaget entwickelten Aufgaben für Vorschulkinder zeigen dies deutlich: So gelingt es Kindern bei dem Drei-Berge-Versuch offensichtlich nicht, das Pappmaché-Gebirgsmodell im Geiste zu drehen, um sich zu vergegenwärtigen, dass es aus der Perspektive einer ihnen gegenüber sitzenden Person anders aussieht als aus der eigenen Perspektive. Neuere Studien zeigen jedoch auch, dass durch die Einbettung der Aufgaben in weniger komplexe Kontexte die Lösungsrate deutlich steigt. Nimmt man beispielsweise statt der drei Berge einen Kasten, dessen Seiten unterschiedlich gefärbt sind, wissen bereits sehr kleine Kinder, dass die gegenüber sitzende Person eine andere Farbe sieht als man selbst. Kinder können also in weniger komplexen Situationen Denkopoperationen zeigen, zu denen sie in komplexeren Situationen noch nicht in der Lage sind.

Weitere altersbedingte geistige Einschränkungen werden in Situationen erkennbar, in denen sich die Aufgabenstellung ändert, zum Beispiel im sogenannten *Task-switching*-Paradigma. In der Arbeitsgruppe um Zelazo (Frye, Zelazo & Palfai, 1995) wurde dies an zwei- bis dreijährigen Kindern gezeigt. Dazu benötigt man vier Karten, auf denen zwei unterschiedliche Gegenstände in unterschiedlichen Farben dargestellt sind: Karte 1 bildet ein blaues und Karte 2 ein rotes Schwein ab, Karte 3 bildet eine blaue und Karte 4 eine rote Blume ab. Bereits zweijährige Kinder können der Aufforderung folgen, die Karten mit den Schweinen, den Blumen, den roten Dingen oder den blauen Dingen zu geben. Hingegen haben noch vierjährige Kinder Schwierigkeiten damit, die Dimension zu wech-

seln: Sollen sie zunächst die Karten mit den blauen Dingen und dann die Karte mit den Schweinen geben, versagen sie. Obwohl die Kinder bereits über das begriffliche Wissen verfügen, das zur Bewältigung einer solchen Anforderung benötigt wird, können sie die Aufgabe nicht bewältigen, weil der Zugriff auf das Wissen noch nicht optimal funktioniert. Erklärt wird dies häufig durch altersbedingte Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses.

Das Arbeitsgedächtnis stellt dabei weniger einen örtlich fixen Speicher im Gehirn dar, sondern vielmehr eine geistige Funktion, die nicht nur Speicherung und Abruf, sondern auch Transformation und Integration von Wissen steuert. Dennoch ist diese Funktion an bestimmte Hirnregionen gebunden, wozu vor allen Dingen das Frontalhirn gehört (Shallice, 1988). Ergebnisse zur Hirnentwicklung im Kindesalter zeigen, dass das Frontalhirn verglichen mit anderen kortikalen Regionen den stärksten Veränderungen unterliegt und am wenigsten ausgereift ist. Bei allen Kindern zu beobachtende Defizite in der Handlungskontrolle, die sich beispielsweise in geringer Frustrationstoleranz, der Unfähigkeit zur längerfristigen Planung sowie in defizitären Kontrollprozessen bei komplexen Anforderungen zeigen, lassen sich mit dem noch nicht voll ausgereiften Frontalhirn erklären.

1.3 Die Rolle von Metakognitionen

In Zusammenhang mit der neurophysiologischen Entwicklung, aber nicht allein mit dieser erklärbar, steht der Erwerb metakognitiver Kompetenzen. Diese umfassen explizites Wissen über das Funktionieren des menschlichen Geistes, wie zum Beispiel dem Gedächtnis, ebenso wie implizites Handlungswissen, das sich beispielsweise in verbesserten kognitiven Kontrollprozessen ausdrückt. Metakognitionen basieren also einerseits selbst auf erworbenem Wissen, während sie andererseits auch die Verarbeitung und Speicherung von neuem Wissen optimieren.

Eine wichtige Voraussetzung dafür ist die Fähigkeit zur Perspektivübernahme, die sich zwischen dem dritten und dem vierten Lebensjahr entwickelt, wenn Kinder die sogenannten *False belief*-Aufgaben lösen können. Sie haben dann verstanden, dass nicht alle Menschen das gleiche Wissen haben und dass Wissenserwerb situationsabhängig ist. Es konnte gezeigt werden, dass Kinder parallel zu dieser Entwicklung auch ein Konzept von schulischem Lernen und der Rolle des Lehrers entwickeln. Aus kulturvergleichenden Untersuchungen ist bekannt, dass die Entwicklung metakognitiver Kompetenzen entscheidend durch den Schulbesuch geprägt wird. In illiteraten Gesellschaften scheitern auch erwachsene Menschen an einfachsten Gedächtnisaufgaben, weil ihnen die entsprechenden Strategien fehlen. Entwicklungspsychologische Studien an Grundschulkindern zeigen, dass sich Lern- und Denkstrategien – auch wenn sie nicht gezielt gelehrt werden – in den ersten Schuljahren herausbilden (Schneider & Pressley, 1997). Es ist also

das Zusammenwirken der zerebralen Entwicklung und der schulbedingten Lernerfahrung, die zu implizitem und explizitem metakognitivem Wissen führen, welches Kinder in die Lage versetzt, anspruchsvolle Lerngelegenheiten zu nutzen.

Kognitive Komponenten der Entwicklung

Ursächlich für die Entwicklung beobachtbaren Verhaltens sind Veränderungen im inhaltlichen Wissen, in den metakognitiven Kompetenzen und in den Informationsverarbeitungskapazitäten. Diese drei Komponenten funktionieren dabei nicht unabhängig voneinander, sondern interagieren beständig.

Die hier diskutierten Einflussfaktoren auf die kognitive Entwicklung machen deutlich, wie vielfältig die Phänomene sind, die die Informationsverarbeitungsansätze zu erklären versuchen. Die Forschung steht vor der Herausforderung, diese Komplexität durch integrative theoretische Modelle möglichst effizient zu erklären. Im folgenden werden die gemeinsamen Grundannahmen dargestellt, die diesen Modellen zugrundeliegen.

2 Informationsverarbeitungsansätze

2.1 Grundannahmen der Ansätze

Als Reaktion auf die Ende der 60er Jahre immer deutlicher erkannten Grenzen des Behaviorismus bei der Erklärung komplexer kognitiver Fähigkeiten, wie beispielsweise der Sprachfähigkeit, entstanden zu dieser Zeit die ersten Informationsverarbeitungsansätze in der Psychologie. In ihnen werden wahrgenommene Umweltreize als *Input* und die Reaktionen des Organismus darauf als *Output* konzeptualisiert.

Im Behaviorismus wurden innerpsychische Verknüpfungen von Reiz und Reaktionen als nicht beobachtbar und daher nicht erforschbar aufgefasst (*Black-box-Modell* der Psyche). Informationsverarbeitungsansätze beruhen im Gegensatz dazu auf der Annahme, dass die innerpsychischen Verarbeitungsschritte durch Analyse systematischer Beziehungen zwischen Input und Output erschlossen werden können. Es wird davon ausgegangen, dass diese Prozesse festen Regeln folgen und daher durch Algorithmen, also durch eindeutige Rechenvorschriften, beschrieben werden können. Eine weitere Annahme ist, dass komplexes, flexibles Verhalten aus dem Zusammenspiel mehrerer Rechenregeln hervorgehen kann, die selber nicht komplex und flexibel zu sein brauchen und daher möglicherweise einfacher beschrieben werden können als das komplexe Verhalten selbst. Die Findung dieser Ideen wurde wesentlich geleitet durch die Computermetapher der Psyche.

Das Computermodell beschreibt die menschliche Psyche in Analogie zu Computern. Wichtige Gemeinsamkeiten beider sind in der oberen Hälfte von Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Computer und Psyche

	Computer	Psyche
Gemeinsamkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Eingabegeräte (Tastatur, Modem usw.) – Ausgabegeräte (Monitor, Drucker usw.) – Umsetzung von Input in Output – Arbeitsspeicher – Festplatte – Hardware – Software 	<ul style="list-style-type: none"> – Wahrnehmungsorgane (Augen, Ohren usw.) – Motorik (Mund, Arme usw.) – Umsetzung von Reizen in Reaktionen – Arbeitsgedächtnis – Langzeitgedächtnis – Hirnstruktur – Psychische Prozesse
Unterschiede	<ul style="list-style-type: none"> – kein zeitabhängiger Datenverlust – serielle Datenverarbeitung – nicht-redundante Kodierung von Daten – relativ schnelle Datenverarbeitung – relativ niedrig vernetzte Komponenten – Schäden müssen immer repariert werden – keine Emotionen – relativ gut in Rechnen und Logik – schlechte Orientierung in komplexer Umwelt – statisch und reaktiv in der Umwelt 	<ul style="list-style-type: none"> – mit der Zeit zunehmendes Vergessen – auch parallele Datenverarbeitung – redundante Kodierung von Daten – relativ langsame Datenverarbeitung – relativ hoch vernetzte Komponenten – Schäden können oft kompensiert werden – Modulation des Denkens durch Emotionen – relativ schlecht in Rechnen und Logik – gute Orientierung in komplexer Umwelt – dynamisch und aktiv in der Umwelt

Beispielsweise erhält die Psyche neue Informationen von den Wahrnehmungsorganen, wie Augen und Ohren, verarbeitet sie im Arbeitsgedächtnis und gibt resultierende Informationen an die Motorik, zum Beispiel Mund und Hand, ab. Analog dazu erhält der Computer seinen Input von Eingabegeräten, wie Tastatur und Modem, verarbeitet ihn im Arbeitsspeicher und gibt den Output an Ausgabegeräte wie Monitor und Drucker ab.

Ein bekanntes Beispiel für eine psychologische Theorie, die auf dem Computermodell beruht, ist die in Abbildung 1 schematisch dargestellte Gedächtnistheorie von Atkinson und Shiffrin (1968).

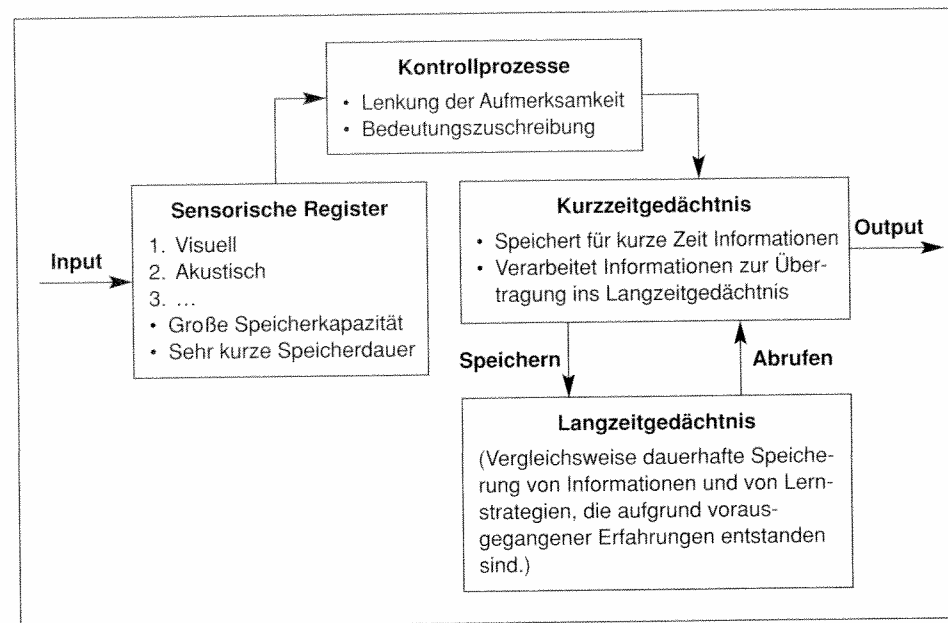


Abbildung 1: Gedächtnismodell nach Atkinson und Shiffrin (1968)

Das Modell unterscheidet zwischen drei Gedächtniskomponenten. Die sensorischen Register speichern eingehende Informationen von den Wahrnehmungsorganen in großen Mengen für eine sehr kurze Zeit. Informationen, die von Aufmerksamkeits- und Interpretationsprozessen als bedeutsam beurteilt werden, werden in das Kurzzeitgedächtnis übertragen, das nur eine begrenzte Menge von Informationen für eine kurze Zeit festhalten kann. Aus dem Kurzzeitgedächtnis können Informationen in das stabilere Langzeitgedächtnis gespeichert und von dort wieder abgerufen werden. Nicht nur die Grundannahmen des Modells, sondern auch seine Darstellungsweise als Flussdiagramm in Abbildung 1 ist typisch für Informationsverarbeitungsansätze.

Im Zuge der weiteren Anwendung des Computermodells in der Psychologie zeigte sich einerseits der große forschungsheuristische Nutzen des Modells, andererseits traten aber auch immer mehr grundlegende Unterschiede zwischen Psyche und Computer zu Tage. Diese sind in der unteren Hälfte von Tabelle 1 aufgeführt. Beispielsweise arbeiten von-Neumann-Rechner Algorithmen seriell, also Schritt für Schritt, sehr schnell ab, während das Gehirn aufgrund seiner hochvernetzten Struktur zwar verschiedene Arbeitsschritte gleichzeitig ausführen kann, dies jedoch im Schnitt langsamer als ein Computer. Ein wichtiger Unterschied ist auch, dass Computer passiv auf Input von isolierten Dateneingabegeräten warten müssen, während Menschen durch ihren Körper aktiv in der Welt danach suchen können.

Die Aufdeckung solcher Unterschiede hat dazu geführt, dass das Computermodell der Psyche im Ganzen heute als weitgehend überholt oder zumindest als stark ergänzungsbedürftig angesehen werden kann. Einige Grundannahmen sind jedoch nach wie vor von Wichtigkeit. Dazu gehört die Produktivität der Unterscheidung von Hardware und Software, sowie die Suche nach den Mechanismen mittels derer die Psyche Input in Output umwandelt.

2.2 Neuere Entwicklungen

Wenn diese Umwandlung in der Psyche nicht so stattfindet wie in der herkömmlichen Computerarchitektur, wie könnte sie dann aussehen? – Im Laufe der Zeit wurde hierauf eine große Zahl von Teilantworten gegeben. In vielen Punkten ergänzen sie einander, in anderen widersprechen sie sich jedoch.

Theorien über die Informationsspeicherung und -verarbeitung in neuronalen Netzen sind lose an biologische Befunde über die Funktionsweise des Gehirns angelehnt. Im Gehirn werden Informationen durch die Nervenzellen, die Neuronen, verarbeitet, indem jedes Neuron Aktivierung durch seine Dendriten empfängt und dann in Abhängigkeit von seiner Gesamtaktivierung über sein Axon an andere Neuronen weiterleitet. Bisher haben sich solche neuronalen Netzwerke als sehr nützlich zur Modellierung von komplexen Mustererkennungsprozessen erwiesen. Begriffe oder Aussagen werden in neuronalen Netzen subsymbolisch, das heißt als komplexes Aktivierungsmuster vieler Neuronen, repräsentiert. Bei kognitiven Prozessen, die die Verarbeitung mehrerer Konzepte oder Aussagen erfordern, kann dies zu sehr komplexen, schwer kontrollierbaren und interpretierbaren Aktivierungsmustern der Netze führen. Höhere kognitive Leistungen konnten daher bis jetzt nicht vollständig durch neuronale Netze erklärt werden.

Einen in diesem Sinne optimaleren Ansatz stellen alternative konnektionistische Netzwerkmodelle dar, in denen Begriffe oder Aussagen jeweils durch einzelne Einheiten (Knoten) repräsentiert werden, die über unterschiedlich starke Kanten miteinander verbunden sind. Je stärker die Kanten sind, um so stärker breitet sich die Aktivierung aus. Durch Lernen und Erfahrung werden Knoten zeitgleich oder zeitnah aktiviert oder gehemmt, sodass komplexe Wissensmuster entstehen können, die höheren kognitiven Prozessen zugrunde liegen. Es kann dann empirisch untersucht werden, inwieweit die Resultate der Computersimulation solcher Netze dem Verhalten von Menschen ähneln. Priming- und Assoziationseffekte beim Menschen können der Validierung von Informationsverarbeitungsansätzen dienen.

Moderne Netzwerkarchitekturen, wie zum Beispiel die ACT-Theorie von Anderson (1983) oder die Konstruktions-Integrations-Theorie von Kintsch (1988), basieren auf diesen Grundlagen. Im ACT-Modell wird vor allen Dingen der Übergang von sogenanntem deklarativem, also sprachlich verfügbarem Wissen in prozedu-

rales Wissen, also automatisiertes Handlungswissen modelliert. Bei Kintsch steht das Verstehen komplexer Situationen im Mittelpunkt. Modelliert wird die Integration von Detailinformation in einen größeren Zusammenhang, der bei Kintsch als *Situationsmodell* bezeichnet wird. Eingehende Information löst zunächst eine Ausbreitung der Information (*spread of activation*) aus. Liegt bereits gut organisiertes Wissen vor, werden nicht zielführende Elemente schnell wieder deaktiviert. Am Beispiel des Lösen einfacher mathematischer Textaufgaben konnte gezeigt werden, dass sich dieses Modell für den Erwerb formaler Kompetenzen im Kindesalter eignet (Stern, 1998).

Wie sich leicht erkennen lässt, wurden die beschriebenen kognitiven Modelle nicht vorrangig entwickelt, um Entwicklungsprozesse zu erklären. Sie beziehen sich lediglich auf die Psyche von Erwachsenen. Dadurch stellen sie jedoch zumindest gute Ausgangspunkte dar, um zu fragen, welche Komponenten der Modelle sich im Zuge der Entwicklung ändern (Jones, Ritter & Wood, 2000).

Im Computermodell der Psyche könnte man beispielsweise versuchen, Entwicklung durch eine Anreicherung der Wissensbasis im Langzeitgedächtnis und durch eine Zunahme der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses zu erklären. In Theorien neuronaler Netzwerke würde man Entwicklung vor allem auf Veränderung der Stärken der Verbindungen zwischen den Neuronen zurückführen. In semantischen Netzwerktheorien würde man vor allem die Struktur des Netzes und die Inhalte seiner Knoten für Entwicklungsschritte verantwortlich machen, aber auch die Prozesse, mittels derer neue Informationen in das Netz integriert und alte Informationen aus ihm abgerufen werden.

Das Ziel, Entwicklungsprozesse auf einer so exakten Ebene beschreiben zu können, hat es notwendig gemacht, auch neue empirische Methoden zu entwickeln, die entsprechend detaillierte Ergebnisse liefern. Dies verdeutlicht der folgende Abschnitt.

3 Wie verändert sich die Informationsverarbeitung?

Schon vor der Geburt besitzen Menschen eine funktionsfähige kognitive Architektur, die Informationen aufnehmen und verarbeiten kann. So wurde nachgewiesen, dass Kinder einfache auditive Reize, die sie vor ihrer Geburt regelmäßig hören, nach der Geburt wiedererkennen können.

Doch nicht alles Wissen muss durch die Architektur erworben werden. Zahlreiche Studien mit Säuglingen und Kleinkindern belegen, dass es angeborenes Wissen gibt, das Kindern von Anfang an hilft, Wahrnehmungsinhalte zu strukturieren und die Aufmerksamkeit auf neue und potenziell bedeutsame Ereignisse zu richten

(Goswami, 2002). Dieses kann beispielsweise mit dem *Violation of expectation*-Paradigma gezeigt werden: Führt man Säuglingen physikalisch mögliche Ereignisse und Vortäuschungen physikalisch unmöglicher Ereignisse vor, beispielsweise Kugeln, die durch Lücken in Barrieren oder durch (scheinbar) lückenlose, solide Barrieren hindurchrollen, so schauen sie sich letzteres Ereignis signifikant länger an als die physikalisch möglichen. Offensichtlich besitzen Säuglinge gewisse Erwartungen über das Verhalten ihrer Umwelt. Wenn diese Erwartungen verletzt werden, erregt das ihre Aufmerksamkeit.

Die bei der Geburt vorhandene kognitive Architektur und das darin gespeicherte Wissen entwickeln sich ein Leben lang weiter. Daran sind unzählige, teilweise auch miteinander interagierende Mechanismen beteiligt, die hier nicht annähernd vollständig dargestellt werden können. Statt dessen soll beispielhaft ein wichtiger Ansatz zur Erklärung der Entwicklung mathematischer Problemlösestrategien im Detail besprochen werden: die *Overlapping waves*-Theorie von Robert S. Siegler (1996).

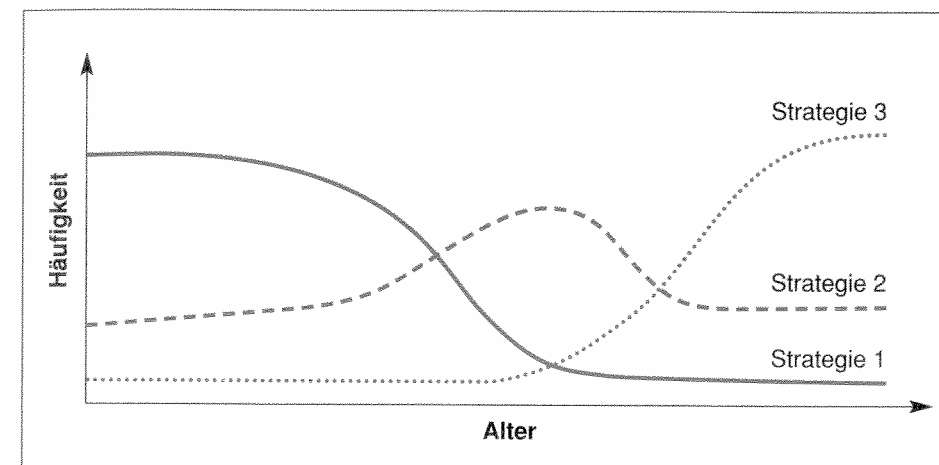


Abbildung 2: Typisches Muster der Strategieentwicklung nach Siegler

Siegler begann seine Forschung Ende der Siebziger Jahre, als davon ausgegangen wurde, dass die Entwicklung mathematischer Problemlösestrategien durch eine Treppen-Metapher beschrieben werden kann: Auf einer Entwicklungsstufe benutzt ein Kind eine Strategie so lange, bis es irgendwann ihre Defizite erkennt. Daraufhin eignet es sich irgendwann eine leistungsstärkere Strategie an, was einen plötzlichen Kompetenzzuwachs bewirkt. Über mehrere solcher Stufen erreicht das Kind schließlich das Leistungsniveau von Erwachsenen. Siegler nutzte die mikrogenetische Methode zur Untersuchung dieser Prozesse: Er ließ Kinder sehr oft direkt hintereinander Probleme des gleichen Typs lösen. Durch Feedback entwickelte sich dabei die Problemlösefähigkeit der Kinder langsam weiter.

Entgegen der damals gängigen Annahmen fand Siegler, dass Kinder neue, effektivere Strategien nicht plötzlich erwerben und danach ausschließlich anwenden. Stattdessen zeigte sich, dass Kinder zu einem Zeitpunkt ihrer Entwicklung stets über mehrere Strategien verfügen, die sie alternativ zueinander verwenden können. Kinder erwerben neue Strategien vor allem dann, wenn sie die alten sicher und erfolgreich ausführen können, und nicht so sehr, wenn die alten Strategien versagen. Außerdem werden erfolgreiche, neue Strategien nicht mit einem Mal exklusiv, sondern mit graduell zunehmender Häufigkeit genutzt. Das frühere Bild der Kompetenzentwicklung der Kinder als einer Treppe von Kompetenzstufen musste somit durch das Bild einander überlagernder Wellen ersetzt werden (vgl. Abb. 2): Die Häufigkeit von ineffektiven Strategien nimmt graduell ab, während die Häufigkeit effektiverer langsam zunimmt. Übergangsstrategien werden vorübergehend häufiger genutzt, bevor sie wieder in Vergessenheit geraten. Die Überschneidung der Wellen zeigt, dass Kinder zu jedem Zeitpunkt über alternative Strategien verfügen, zwischen denen sie wählen können. Siegler entwickelte Computersimulationen, mit denen er einige solche Entwicklungsverläufe erklären und vorhersagen kann.

Typische Entwicklungsverläufe: Wellen statt Stufen

Kompetenzentwicklung findet nur selten sprunghaft statt. Häufig ist sie ein gradueller Prozess, bei dem vorübergehende Rückfälle in alte Denk- und Verhaltensmuster normal sind. Sie wird durch das Bild einander überlagernder Wellen oft besser veranschaulicht als durch treppenförmige Kompetenzstufenmodelle.

Im Forschungsfeld der Entwicklung mathematischer Strategien zeigt sich damit ein Trend, der auch für die Informationsverarbeitungsansätze der Entwicklung im Allgemeinen gilt: Es wird immer weniger versucht, Verhalten durch Abarbeitung einfacher, starrer Rechenregeln zu erklären, die von allen Menschen auf einer Entwicklungsstufe in gleicher Weise genutzt werden. Statt dessen wird vermehrt die inter- und intraindividuelle Variabilität von Entwicklungsprozessen beachtet, anhand derer sich die Flexibilität, Adaptivität und Komplexität menschlichen Denkens zeigen.

Weiterführende Literatur

- Goswami, U. (Ed.). (2002). *Blackwell handbook of cognitive child development*. Malden, MA: Blackwell.
- Siegler, R. S., DeLoache, J. & Eisenberg, N. (2006). *How children develop* (2nd ed.). New York: Worth.

Literatur

- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 2, pp. 89–195). New York: Academic Press.
- Frye, D., Zelazo, P. D. & Palfai, T. (1995). Theory of mind and rule-based reasoning. *Cognitive Development*, 10, 483–527.
- Goswami, U. (Ed.). (2002). *Blackwell Handbook of Cognitive Childhood Development*. Malden, MA: Blackwell.
- Jones, G., Ritter, F. E. & Wood, D. J. (2000). Using cognitive architecture to examine what develops. *Psychological Science*, 11, 93–100.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163–182.
- Schneider, W., Gruber, H., Gold, A. & Opwis, K. (1993). Chess expertise and memory for chess positions in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 328–349.
- Schneider, W. & Pressley, M. (1997). *Memory development between 2 and 20* (2nd ed.). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. New York: Cambridge University Press.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.
- Stern, E. (1998). *Die Entwicklung des mathematischen Verständnisses im Kindesalter*. Lengerich: Pabst.