

Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software- Ergonomie

Dutke, Stephan

First published in:

Arbeit und Technik: Praxisorientierte Beiträge aus Psychologie und Informatik, Bd. 4, Hrsg.:
Prof. Dr. Michael Frese und Prof. Dr. Horst Oberquelle, Göttingen 1994

Münstersches Informations- und Archivsystem multimedialer Inhalte (MIAMI)

URN: urn:nbn:de:hbz:6-08419509667

ARBEIT UND TECHNIK: PRAXISORIENTIERTE
BEITRÄGE AUS PSYCHOLOGIE UND INFORMATIK

Herausgegeben von Prof. Dr. Michael Frese und Prof. Dr. Horst Oberquelle

BAND IV

Mentale Modelle:
Konstrukte des Wissens und Verstehens

Kognitionspsychologische Grundlagen
für die Software-Ergonomie

von
Dr. Stephan Dutke



Verlag für Angewandte Psychologie
Göttingen · Stuttgart

Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens

Kognitionspsychologische Grundlagen
für die Software-Ergonomie

von

Dr. Stephan Dutke



Verlag für Angewandte Psychologie
Göttingen · Stuttgart

Weitere Veröffentlichungen aus der Reihe

Arbeit und Technik

Band 1
Kooperative Arbeit
und Computerunterstützung
herausgegeben von
Prof. Dr. Horst Oberquelle



Band 2
Expertenkönnen
Erkennen und Vermitteln
von
Prof. Dr. Winfried Hacker

Band 3
Anpaßbare Informationssysteme
von
Dr. Detlef Haaks

3H 24475

© by Verlag für Angewandte Psychologie, Göttingen 1994
Verlagsgruppe Hogrefe



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Druck und Bindearbeiten: Dieterichsche Universitätsbuchdruckerei
W. Fr. Kaestner GmbH & Co. KG, D-37124 Göttingen-Rosdorf
Printed in Germany
Auf säurefreiem Papier gedruckt

ISBN 3-87844-111-8

Vorwort der Herausgeber

Ohne mentale Modelle können Menschen nicht handeln. Von besonderer Bedeutung sind sie in der Mensch-Computer Interaktion (und in der Tat bei jeder Verwendung eines Gegenstands). Aus diesem Grund ist die Auseinandersetzung mit dem Konzept des mentalen Modells eine zentrale Frage der Kognitionswissenschaften (cognitive science), der Trainingsforschung und der Forschung zur Mensch-Computer Interaktion.

Der Begriff mentales Modell wird häufig unscharf verwendet und die praktischen Implikationen werden nicht klar genug gesehen. Das Buch von Stephan Dutke schafft hier Klarheit. Bezüge zwischen der Bildung von mentalen Modellen und Analogien und Metaphern werden dargestellt. Zusammenhänge zu Gedächtnisstrukturen, zu Urteilen, Denkvorgängen, Verstehen und Wissensrepräsentation werden abgehandelt. Stephan Dutke argumentiert präzise und macht die psychologische Theorie für jeden verständlich.

Besonders bedeutsam ist allerdings, daß Dutke nicht bei der Darstellung der Theorie stehenbleibt, sondern die praktischen Konsequenzen für die Software-Ergonomie umfassend darstellt und plausibel macht. Dies geschieht für die Bereiche Gestaltung von Mensch-Rechner Schnittstellen, besonders auch die graphische Gestaltung, und Benutzertraining.

Damit paßt dieses Buch ideal in die Buchreihe "Arbeit und Technik: Praxisorientierte Beiträge aus Psychologie und Informatik". Denn in dieser Reihe geht es um die praxisorientierte Aufarbeitung des Wissens, das in dem Grenzbereich von Psychologie und Informatik gesammelt wurde, für Betriebspraktiker in den Bereichen Software-Entwicklung und Training und für Informatik- und Psychologiestudenten.

Das Buch von Stephan Dutke ist eine notwendige Lektüre für alle, die sich ernsthaft für den Trainingsbereich oder für die Entwicklung von Mensch-Rechner Schnittstellen interessieren.

Die Herausgeber der Reihe "Arbeit und Technik - Praxisorientierte Beiträge aus Psychologie und Informatik"

Michael Frese

Horst Oberquelle

Vorwort des Verfassers

Die Architektur technischer, informationsverarbeitender Systeme wird immer komplexer, ihre Funktionalität immer mächtiger. Angesichts dieser Entwicklung ist das Problem, wie Benutzer solche Systeme verstehen und zu nutzen lernen, allgegenwärtig. Der Begriff "mentales Modell" soll genauer bestimmen, was entsteht, wenn ein Mensch Wissen erwirbt oder Verständnis gewinnt. Der Begriff hat viele Vorläufer, vor allem in der Psychologie des Denkens und Problemlösens (z. B. Duncker, 1935; Tolman, 1948; Bruner, 1957; Miller, Galanter & Pribram, 1960; auch Craik, 1943). Ausdrücklich genannt wird der Begriff "mental model" bereits 1957 in Peter McKellars Buch "Imagination and Thinking" (1957). Größere Verbreitung findet das Konstrukt jedoch erst zu Beginn der 80er Jahre. Im Jahr 1983 erscheinen nämlich zwei Werke, die beide den Titel "Mental Models" tragen: Die Monographie von Philip Johnson-Laird sowie ein Sammelband von Dedre Gentner und Albert Stevens. Bei genauer Betrachtung haben beide Werke nicht so viel gemeinsam, wie ihre gleichlautenden Titel versprechen: In Johnson-Lairds Buch nehmen anspruchsvolle und grundsätzliche Aussagen in den Bereichen des Denkens, des Sprachverstehens und der Wissensrepräsentation großen Raum ein. Die Beiträge in Gentners und Stevens Sammlung befassen sich, überwiegend orientiert an Künstlicher Intelligenz, mit der Rolle bereichsspezifischen Wissens im Denken, speziell beim Lösen praktischer, physikalischer Probleme. Rumelhart und Norman (1988) betonen in ihrem Übersichtsartikel über Wissensrepräsentationen die Bedeutung beider Entwicklungslinien:

... we believe that it is an important beginning for two reasons: (1) as an practical aid in the design of applied systems that must reason about complex physical systems; and (2) in providing a considerable richer framework than now exists for the study of mental imagery and mental transformations. (S. 557)

Dies ist eine optimistische Beurteilung der Relevanz des Mentalen-Modell-Konzepts. Sie stützt sich sowohl auf den Aspekt der Anwendung im Design künstlicher, informationsverarbeitender Systeme als auch auf die Bereicherung von Theorien menschlicher Informationsverarbeitung. Tatsächlich verlief die weitere Entwicklung beider Ansätze jedoch unterschiedlich: Während auf der einen Seite eine rasche Rezeption des Begriffs in angewandten Disziplinen (unter ihnen die Software-Ergonomie) zu verzeichnen war, geriet die theoretische Ausarbeitung des Konzepts - von Ausnahmen abgesehen - ins Stocken. Die Verfolgung und Integration des theoretischen *und* des angewandten Ansatzes ist der Grundgedanke dieses Bandes.

Im ersten Teil (Kapitel 1 bis 3) sollen die theoretischen Aussagen Mentaler-Modell-Theorien zur Erklärung menschlichen, intelligenten Verhaltens dargestellt werden. Die Darstellung geht insofern über die reine Berichterstattung hinaus, als der Versuch gemacht wird, Verbindungen zu empirisch untersuchten Grundlagen der Allgemeinen Psychologie herzustellen, die häufig nur implizit in Zusammenhang mit mentalen Modellen gebracht werden. Für den Leser soll dies den Vorteil haben, daß theoretische Postulate durch die Schilderung konkreter Versuchsanordnungen anschaulicher werden und schon manche direkte Übertragung auf Situationen der Arbeitswelt nahelegen. Hauptsächlich wird sich der erste Teil jedoch mit den theoretischen Grundlagen befassen.

Der zweite Teil (Kapitel 4 bis 8) ist dagegen der Frage gewidmet, wie diese theoretischen Grundlagen angewendet werden können. Die Darstellung konzentriert sich auf software-ergonomische Fragen - eine Wahl, die nicht zwingend ist. Doch zum einen hat dieses Anwendungsgebiet in den letzten Jahren an praktischer Bedeutung gewonnen, zum anderen trug es erheblich zur Verbreitung Mentaler-Modell-Theorien bei. Deshalb sollen im zweiten Teil praktische Folgerungen für die Interaktion zwischen Mensch und Computer in den Mittelpunkt gestellt werden: Wie verstehen Benutzer, die keine Computerexperten sind, ihre Anwendungsprogramme? Wie entwickeln sie mentale Modelle des Programms, ihrer Arbeitsgegenstände und der erforderlichen Bedienungsabläufe? Insbesondere wird untersucht, welche Gestaltungsmaßnahmen das Verstehen von Anwendungssoftware fördern können.

Der zweite Teil enthält viele praktische Anregungen. Trotzdem soll die vorliegende Arbeit nicht in die große Anzahl von Katalogen eingereiht werden, die Gestaltungsempfehlungen, -kriterien und -grundsätze auflisten. Viele dieser Sammlungen haben den Charakter von Nachschlagewerken, die Lösungsvorschläge für erkannte Gestaltungsprobleme anbieten. In der vorliegenden Arbeit sollen dagegen Zusammenhänge vermittelt werden: Wie wirken Gestaltungsmerkmale der Software auf die Entwicklung mentaler Modelle bei den Benutzern? Welche gemeinsame psychologische Basis haben verschiedene Designansätze, die oft partikularistisch, auf Einzelprobleme ausgerichtet zu sein scheinen? Nicht "Richtlinien" will dieses Buch bieten, sondern Anregungen und Orientierungshilfen zu einer kreativen Systementwicklung und -bewertung.

Einen Text über mentale Modelle als "Konstrukte des Wissens und Verstehens" zu schreiben, bedeutet für den Autor eine besondere Herausforderung. Muß er doch damit rechnen, daß sein Text an den Kriterien gemessen wird, die er zu vermitteln beabsichtigt: Wie leicht wird es dem Leser gelingen, ein mentales Modell von der Bedeutung des vorliegenden Textes zu entwickeln? Werden womöglich Anregungen gegeben, wie beispielsweise das Verstehen eines Anwendungsprogramms erleichtert werden kann, die selbst schwer verständlich sind? Sollte es überwiegend gelungen sein, diesen Anforderungen zu entsprechen, so ist dies auch auf die konstruktive Kritik und Hilfe anderer zurückzuführen. Ich danke Prof. Dr. Wolfgang Schönplug und den Herausgebern dieser Reihe, Prof. Dr. Michael Frese und Prof. Dr. Horst Oberquelle, sehr für die sorgfältige Durchsicht früherer Manuskriptversionen und die zahlreichen, wichtigen Anregungen, die sich hieraus ergaben. Frau Sigrid Greiff gebührt Dank für die Erstellung der Abbildungen und die Zusammenstellung und Überprüfung des Literaturverzeichnisses.

Berlin, im August 1993

Stephan Dutke

Inhalt

Teil 1: Theoretische Konzeptionen mentaler Modelle

1	Einleitung: Zwei Beispiele für mentale Modelle	1
2	Ein allgemeiner Modellbegriff	
2.1	Grundlegende Merkmale von Modellen	4
2.2	Zum Zweckbezug: Funktionen von Modellen	5
2.3	Zum Individuenbezug: Ein Perspektivenproblem	6
3	Eigenschaften und Funktionen mentaler Modelle	
3.1	Zum theoretischen Umfeld: Kognitionspsychologie	10
3.2	Unvollständigkeit, Instabilität und Änderungsresistenz	13
3.3	Analogien als Grundlage mentaler Modelle	
3.3.1	Analogie und Ähnlichkeit	15
3.3.2	Analogie, Metapher und konzeptuelles Modell	19
3.3.3	Lernen durch Metaphern	19
3.3.4	Erkennbarkeit und Nützlichkeit einer Metapher	20
3.3.5	Motivationale und emotionale Wirkungen von Metaphern	21
3.4	Schema-Abhängigkeit mentaler Modelle	
3.4.1	Abstraktion von Analogiebeziehungen auf der Grundlage von Gedächtnisschemata	22
3.4.2	Schema als kognitionspsychologisches Konstrukt	23
3.4.3	Schemata und mentale Modelle	27
3.5	Mentale Modelle und die Inhaltsgebundenheit schlußfolgernden Denkens	
3.5.1	Struktur vs. Inhalt	28
3.5.2	Inhaltsgebundenes logisches Schließen mit Hilfe mentaler Modelle	29
3.5.3	Urteilen unter Unsicherheit mit probabilistischen mentalen Modellen	33
3.6	"Experimentieren vor dem geistigen Auge": Zur Simulationsfähigkeit mentaler Modelle	
3.6.1	Aufbau mentaler Modelle als kognitive Simulation der Außenwelt	37
3.6.2	Beispiele kognitiver Simulationen	39
3.6.3	Kognitive Simulation, Verstehen und Einsicht	44
3.6.4	Kritik am Konzept der kognitiven Simulation	47

3.7	Bildhaftigkeit mentaler Modelle	
3.7.1	Anschauung und die Simulation der Außenwelt in mentalen Modellen	49
3.7.2	Wahrnehmung und bildliche Vorstellung	50
3.7.3	Bildliche Vorstellung und Verstehen	51
3.7.4	Vorstellungsbilder und mentale Modelle	53
3.8	Mentale Modelle als Grundlage der Handlungssteuerung	
3.8.1	Innere Modelle in der Prozeßkontrollforschung	54
3.8.2	Handeln und operative Abbildsysteme	55
3.8.3	Operative Abbilder und mentale Modelle: Verschiedene Sichtweisen des gleichen Problems?	58
3.9	Wissensrepräsentation und mentale Modelle	
3.9.1	Zu einigen Grundlagen der Wissensrepräsentation	60
3.9.2	Einige Formen der Wissensrepräsentation	62
3.9.3	Wissensrepräsentation in mentalen Modellen	
3.9.3.1	Mentale Modelle als Einheiten der Wissensrepräsentation?	69
3.9.3.2	Propositionale Repräsentation vs. mentale Modelle	69
3.9.3.3	Zur Funktionalität der Repräsentationsform	74
3.10	Zusammenfassung: Merkmale und Funktionen mentaler Modelle	76

<p>Teil 2: Software-ergonomische Anwendungen von Theorien mentaler Modelle</p>

4	Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion: Von der Theorie zur Anwendung	79
5	Aufbau mentaler Modelle durch Metaphern und konzeptuelle Modelle	
5.1	Der theoretische Ausgangspunkt	82
5.2	Metaphern und konzeptuelle Modelle in der Mensch-Computer-Interaktion	82
5.2.1	Schreibmaschinen und computerisierte Textverarbeitung	84
5.2.2	"Rohrpost" und Datenfluß	85
5.2.3	Zahlenregister und Taschenrechner	87
5.2.4	Kontrollwarte im "Starship Enterprise"	90
5.2.5	Schreibtische und Menüs	92
5.2.6	Metaphern als Ausdruck grundlegender Sichtweisen auf die Mensch-Computer-Interaktion	94
5.2.7	Metaphern oder konzeptuelle Modelle?	95
5.2.8	Metaphern, konzeptuelle Modelle und aktives Lernen	97
5.2.9	Typen von konzeptuellen Modellen	97

5.3	Zur Orientierung: Grenzen der Anwendung von Metaphern und konzeptuellen Modellen	99
5.3.1	Erkennbarkeit	99
5.3.2	Kongruenz	100
5.3.3	Beeinflußbarkeit von Stimmungen und Einstellungen	101
5.3.4	Nützlichkeit im Lernverlauf	102
5.3.5	Konsistenz bei zusammengesetzten Metaphern	103
5.3.6	Begrenzung der Systementwicklung	104
5.3.7	Mensch-Technik-Verhältnis in der Metapher	105
5.3.8	Metaphern suchen oder konzeptuelle Modelle konstruieren ?	105
5.3.9	Zweck des konzeptuellen Modells	106
5.3.10	Aktives Lernen	107

6 Visuell-räumliche Informationsgestaltung

6.1	Der theoretische Ausgangspunkt	
6.1.1	Gedächtnisunterstützung: Ein traditionelles Argument für Visualisierungen	108
6.1.2	Anschaulichkeit und Dynamik mentaler Modelle	109
6.1.3	Visuell-räumliche Metaphern und konzeptuelle Modelle in Softwaresystemen	110
6.2	Raum-Metaphern und die Orientierung im System	
6.2.1	Wissen über natürliche und symbolische Räume	113
6.2.2	Wissen über Orientierungspunkte: "Orte" im System	114
6.2.3	Wissen über Routen: "Wegweiser" durch das System	116
6.2.4	Überblickswissen: "Pläne" und "Karten"	118
6.2.5	Analyse einfacher mentaler Modelle einer direktmanipulierbaren Bedienungsfläche: Ein experimentalpsychologisches Beispiel	120
6.3	Raum-Metaphern und das Verstehen von Systemzusammenhängen	
6.3.1	Räumliche Beziehungen zur Darstellung funktionaler Systemzusammenhänge	125
6.3.2	Softwaretechnische Beschreibungsmittel	128
6.3.3	Visuell-räumliche Externalisierung mentaler Modelle	129
6.4	Zur Darstellung von "Räumen" und Relationen	
6.4.1	"Traditionelle" graphische Darstellungsmittel	131
6.4.2	Raum, Bewegung und Kausalität	133
6.4.2.1	Zeitliche Gliederung von Prozeßdarstellungen	135
6.4.2.2	Statische Abbildung von Prozessen	136
6.4.2.3	Animation von Objekten	137

6.5	Zur Orientierung: Visualisierungen und die Veranschaulichung von Systemzusammenhängen	
6.5.1	Verstehen fördern	140
6.5.2	Visualisierung systeminterner Zusammenhänge	141
6.5.3	Geringer Dekodierungsaufwand	142
6.5.4	Der Raum als Metapher	142
6.5.5	Orientierung geben	143
6.5.6	Visuell-räumliche Widerspiegelung individueller mentaler Modelle	144
6.5.7	Kognitive Simulation, Prozedardarstellungen und Bewegungen	145

7 Systemexploration zum Aufbau mentaler Modelle

7.1	Der theoretische Ausgangspunkt	
7.1.1	Explorierendes Lernen in der Mensch-Computer-Interaktion	146
7.1.2	Mentale Modelle und explorierendes Handeln	147
7.2	Zur Wirksamkeit explorierenden Lernens in der Mensch-Computer-Interaktion	
7.2.1	Einige Trainingsstudien	149
7.2.2	Eine Ursache erhöhten Lernerfolgs beim explorierenden Lernen: Verbesserte Nutzung von Analogien?	152
7.2.3	Bedienungsfehler beim Explorieren	153
7.2.4	Vorwissen und Zielgerichtetheit	155
7.3	Zur Förderung explorierenden Lernens: Gestaltung von Systemen und Lernumgebungen	
7.3.1	Kognitive Bedingungen	157
7.3.1.1	Das "Stützräder-Prinzip": Vermeidung des Orientierungsverlusts	158
7.3.1.2	"Ausflüge" und der "Konjunktiv-Modus": Gefahrloses Ausprobieren	160
7.3.1.3	Undo und Systemmeldungen: Rückkehrmöglichkeiten	161
7.3.1.4	Handbücher, Hilfe- und Tutorikomponenten: Unterstützung beim Explorieren?	163
7.3.2	Motivationale Bedingungen	167
7.3.2.1	Computerspiele und Exploration	168
7.3.2.2	Szenarien und das Angebot von Explorationszielen	170
7.3.2.3	Menge und semantischer Gehalt von Bedienungsinformationen	171
7.3.2.4	Handbücher, unvollständige Informationen und Zufälligkeit	172
7.4	Zur Orientierung: Voraussetzungen für aktives Lernen schaffen	
7.4.1	Nutzen	173
7.4.2	Vorwissen	173
7.4.3	Selbststeuerung	174
7.4.4	Zielgenerierung	175
7.4.5	Anpassung der Lernumgebung	175
7.4.6	Reflexion der Exploration	176
7.4.7	Wiederherstellung und Stornierung	177
7.4.8	Kontrolle der Exploration	178
7.4.9	Dichte von Bedienungsinformationen	178
7.4.10	Angstmindernde Lernsituation	179

8	Rückblick	180
	Literaturverzeichnis	185
	Personenregister	203
	Sachregister	208

Teil 1

Theoretische Konzeptionen mentaler Modelle

1 Einleitung: Zwei Beispiele für mentale Modelle

In vielen Teildisziplinen der Psychologie und ihren Anwendungsfeldern dienen mentale Modelle als Konstrukte zur Erklärung von Verhalten. Insbesondere in der Arbeitspsychologie und in interdisziplinären Spezialisierungen wie der Software-Ergonomie werden sie zur Erklärung menschlicher Lern- und Arbeitsleistungen herangezogen. Oft werden Maßnahmen der Arbeits-, Organisations- und Werkzeuggestaltung damit begründet, sie müßten den mentalen Modellen von Benutzern und Mitarbeitern angepaßt werden. Andere Maßnahmen, z. B. in der Aus- und Fortbildung sollen Einfluß auf die mentale Modellbildung nehmen und sie im Sinne erhöhter Leistung, größerer Arbeitssicherheit oder belastungsfreier Aufgabenbewältigung verändern.

In dieser Einleitung soll ein erstes Verständnis dafür geschaffen werden, was mentale Modelle sind. Hierzu werden zwei Beispiele angeführt, die sicherlich den Alltagserfahrungen vieler Leser entsprechen. Ausgangspunkt ist die Frage: Wie erklären Sie sich die Funktion eines Schalters, mit dem man eine elektrische Lampe ein- und ausschalten kann?

Gentner und Gentner (1983) haben herausgefunden, daß viele Menschen sich den Stromkreis als einen Wasserkreislauf vorstellen, in dem Kabelverbindungen Röhren gleichen, in denen Wasser in einer bestimmten Richtung fließt. Ein elektrisch zu betreibender Verbraucher entspräche dann einer Art Wassermühle, die deshalb in Aktion versetzt wird, weil das Wasser (der Strom) in Bewegung ist. Die Stromspannung würde

dem Wasserdruck entsprechen, der einer (Strom-)Quelle (z. B. einer Batterie) entspringt, die als Wasservorratsbehälter gedacht werden kann. Einen Schalter schließlich könnte man sich als eine Art Ventil vorstellen, welches den Wasserfluß unterbricht, wenn es geschlossen wird. So wäre vorstellbar, warum ein Stromverbraucher seinen Dienst nicht mehr verrichtet, wenn man mit Hilfe eines Schalters den Stromkreis unterbricht: Der Strom-"fluß" kommt zum Erliegen, der Verbraucher wird nicht mehr "angetrieben".

Eine Alternative zum "Wassermode" ist die Vorstellung, elektrischer Strom bestünde aus einer Masse von "Männchen" oder anderer sich bewegender Objekte, die sich durch Gänge (die Kabel) drängen. Die Spannung entspräche hier dem Druck oder dem Antrieb, dem sich die Massen ausgesetzt fühlen. Geschlossene oder offene Türen hätten die Funktion von Schaltern, Verengungen in den Gängen wirkten wie Widerstände.

Natürlich gibt weder die Vorstellung eines Ventils noch die einer Tür die physikalisch korrekte Erklärung der Schalterfunktion wieder. Es wird keine schlüssige Definition oder Erklärung von "Elektrizität" gegeben, aus der man die Funktion eines Schalters ableiten könnte. Trotzdem sind beide Vorstellungen geeignet, bei der Lösung von praktischen Problemen zu helfen. So würden sie im Falle des Versagens der Lampe eine Heuristik der Fehlersuche nahelegen: Leuchtet die Lampe trotz ausgewechselter Glühbirne nicht, wäre zu überprüfen, ob der Schalter den Stromkreis schließt. Die physikalischen Prozesse des Ladungsaustausches mögen dem Reparateur nach wie vor undurchschaubar bleiben. Seine Vorstellung vom Wasserkreislauf oder von den Männchenmassen dient als ein leichter verständliches Modell für die komplexen Vorgänge der Elektrizität. Als "mental" wird dieses Modell deshalb bezeichnet, weil es kein gegenständliches, sondern ein gedankliches Modell ist.

Die genannten Beispiele lassen schon jetzt zwei Verallgemeinerungen zu, die für die weitere Darstellung bedeutsam sein werden:

- Mentale Modelle sind Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt. Damit sind sie aber gleichzeitig auch Grundlage zur Planung und Steuerung von Handlungen. Individuelle mentale Modelle können ihre eigenen Schwerpunkte aufweisen: manche sind stärker verstehensorientiert, andere eher handlungsorientiert.

- Die zweite Verallgemeinerung betrifft die Frage, wer der Urheber dieser unterschiedlichen mentalen Modelle ist. Man ist versucht, davon ausgehen, daß die obigen Beispiele eigens zum Zweck des Lehrens entworfen wurden. In einem Lehrbuch könnten beispielsweise entsprechende Vergleiche gezogen werden, so daß die Entwicklung eines bestimmten mentalen Modells beim Leser begünstigt wird. Die Beispiele sollten aber auch veranschaulichen, wie Menschen aus eigenem Antrieb, unabhängig von äußeren Vorgaben, Alltagswissen in Form gedanklicher Modelle organisieren, um sich das Verstehen oder Behalten bestimmter Sachverhalte zu erleichtern. Es sind sowohl die Eigenschaften dieser mentalen Modelle, die im folgenden erörtert werden sollen als auch die Art der äußeren Vorgaben, die die Entwicklung eines mentalen Modells in Gang setzen und lenken.

Detaildarstellung 1

Zwei mentale Modelle des Stromkreises und ihre Folgen: Ein Experiment

Gentner und Gentner (1983) untersuchten, wie unterschiedliche mentale Modelle von Elektrizität auf die Schlußfolgerungsleistungen von Versuchspersonen wirken. 36 Studenten, die keine spezielle Erfahrung in Physik hatten, sollten bei vier unterschiedlichen Schaltkreisen beurteilen, wie sich die Stromstärke gegenüber einer Vergleichsschaltung ändert. Gleichzeitig wurde erfragt, welche Vorstellungen sie von Elektrizität haben. Es wurde zwischen Personen unterschieden, die eher ein "Wasserkreislauf-Modell" benutzten und solchen, die sich Strom eher als "Männchenmassen" vorstellten (siehe im Text Kapitel 1).

Der als Standard vorgegebene Schaltkreis bestand aus einer Stromquelle und einem Widerstand. Die vier zu vergleichenden Schaltkreise waren wie folgt aufgebaut:

- zwei seriell geschaltete Batterien und ein Widerstand,
- zwei parallel geschaltete Batterien und ein Widerstand,
- zwei serielle Widerstände und eine Batterie,
- zwei parallele Widerstände und eine Batterie.

Das Problem besteht in der Differenzierung paralleler und serieller Kombinationen: Während die serielle Kombination aus beiden mentalen Modellen direkt zu erschließen ist (mehr Batterien führen zu höherer Stromstärke, mehr Widerstände zu geringerer), ist die parallele Kombination differenziert zu beurteilen: Zwei parallele Batterien führen zu gleicher Stromstärke wie eine, parallele Widerstände führen zu höherer Stromstärke als ein Widerstand.

Die Hypothese der Autoren besagt, daß die Auswirkung paralleler Batterien leichter aus dem "Wasserkreislauf-Modell" abgeleitet werden kann, während die Wirkung paralleler Widerstände eher aus dem "Männchenmassen-Modell" vorhergesagt werden kann: Stellt man sich zwei verbundene Wasserbehälter übereinander vor (seriell), verdoppelt sich der Druck gegenüber der Verwendung nur eines Behälters, womit die Durchflußrate steigt. Zwei nebeneinander befindliche Behälter (parallel) erhöhen den Druck nicht, weil dieser von der Fallhöhe und nicht von der Wassermenge abhängt. Dies kann auf die Wirkung zweier parallel geschalteter Stromquellen übertragen werden. Die Kombination von Widerständen kann dagegen besonders anschaulich im Rahmen des "Massen-Modells" nachvollzogen werden: Stellt man sich Widerstände als verengte Türen vor, durch die die Männchen sich drängen müssen, ist unmittelbar klar, daß durch zwei nebeneinanderliegende Türen mehr Männchen pro Zeiteinheit gelangen, als durch eine gleich große oder durch zwei hintereinander liegende Türen. Dies entspricht der Wirkung paralleler bzw. serieller Widerstände.

Den Hypothesen entsprechend löst die Gruppe, die das "Wasserkreislauf-Modell" benutzt, die Batterieaufgaben besser als die Widerstandsaufgaben. Genau umgekehrt machte die "Massen-Modell"- Gruppe weniger Fehler bei den Widerstandsaufgaben.

2 Ein allgemeiner Modellbegriff

2.1 Grundlegende Merkmale von Modellen

Bisher war nur die Rede von *mentalen* Modellen, nicht von Modellen allgemein. Diese Sichtweise soll nun zunächst erweitert werden. In fast allen wissenschaftlichen Disziplinen dienen Modelle als Mittel des Erkenntnisgewinns. Für die Wissenschaftstheorie ist dies Grund genug, nach den allgemeinen Eigenschaften von Modellen zu fragen. Aus zwei Gründen erscheint es hilfreich, sich kurz mit dieser generellen Betrachtungsweise zu befassen, bevor sich die Diskussion wieder auf *mentale* Modelle konzentriert. Zum einen können mentale Modelle nämlich als eine spezifische Klasse von Modellen aufgefaßt werden, die sich dadurch auszeichnet, gedanklicher und nicht gegenständlicher Art zu sein. Merkmale des Oberbegriffs "Modell" können also auf mentale Modelle übertragen werden. Zweitens können Modelle allgemeiner Art zu denjenigen äußeren Vorgaben gehören, die die Entwicklung mentaler Modelle anstoßen und lenken.

Stachowiak (1973) beschreibt in seiner "Allgemeinen Modelltheorie" drei Merkmale von Modellen (S. 128 ff.), ohne sich hierbei auf mentale Modelle zu beschränken.

Das Abbildungsmerkmal:

Modelle sind Abbildungen von Originalen, welche selbst wiederum Modell von etwas sein können. "Abbildung" ist gleichbedeutend mit der Zuordnung von Originalattributen zu Modellattributen. Als Beispiel mag der Schaltplan eines elektrischen Geräts dienen: Er bildet bestimmte Attribute des Originals (z. B. Verbindungen zwischen Bauteilen) in Attributen des Modells (gezeichnete Linien zwischen Symbolen) ab.

Das Verkürzungsmerkmal:

Im Modell werden nicht alle Attribute des Originals abgebildet, sondern jeweils nur eine Untermenge, die der Modellkonstrukteur bzw. Modellbenutzer für relevant hält. So bildet z. B. der Schaltplan keine Attribute des Gerätegehäuses ab. Diese sind, gemessen am Zweck der Modellierung, irrelevant und werden als "präterierte" (übergangene) Attribute bezeichnet (Stachowiak, 1973, S. 155 f.). Demgegenüber enthalten Modelle jedoch häufig Merkmale, die keine Entsprechung im Original haben. Sie werden als "abundant" (Stachowiak, 1973, S. 156) oder als "informationelle Zutaten" (Seel, 1986, S. 393) bezeichnet. So sind in einem Schaltplan vielleicht einzelne Bauteile mit sprachlichen Bezeichnungen versehen (z. B. "Widerstand"), die im Original nicht zu finden sind. Die zumindest partielle Inkongruenz zwischen Original- und Modellattributen bedeutet, daß es unterschiedliche Modelle des gleichen Originals geben kann, die sich hinsichtlich der abgebildeten Attribute unterscheiden.

Das pragmatische Merkmal:

Dieses ergibt sich aus dem Verkürzungsmerkmal: Wenn mehrere Modelle des gleichen Originals existieren können, sind Modelle und Originale nicht per se eindeutig zuzuordnen. Die Zuordnung erfordert drei pragmatische Relativierungen: Modelle ersetzen Originale (1) für bestimmte, das Modell benutzende Individuen, (2) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und (3) zu bestimmten Zwecken. Der Schaltplan kann das Gerät z. B. für Ingenieure ersetzen, die die in Schaltplänen verwendete Symbolik verstehen,

nicht jedoch etwa für Schüler unterer Klassenstufen (Individuenbezug). Dies kann sich jedoch im Zeitverlauf, etwa mit zunehmender Schulbildung im Fach Physik ändern (Zeitbezug). Aber auch dann erfüllt der Schaltplan seine Ersetzungsfunktion nur im Hinblick auf bestimmte Zwecke: Um die Bedienung des Geräts zu erlernen, ist ein Schaltplan beispielsweise weitgehend ungeeignet (Zweckbezug).

Zwei dieser pragmatischen Relativierungen (Zweck- und Individuenbezug) sind von besonderer praktischer Bedeutung. Sie werden deshalb in den beiden folgenden Abschnitten eingehender diskutiert.

2.2 Zum Zweckbezug: Funktionen von Modellen

Ein Modell kann unterschiedlichen Zwecken dienen: Auf allgemeinsten Ebene können sie als erkenntnisgewinnend und kommunikativ bezeichnet werden. Simuliert man z. B. unterschiedliche Herstellungsprozesse eines bestimmten Produkts in einem Rechnermodell, kann dieses helfen, langfristige Kosten-Nutzenverhältnisse unterschiedlicher Produktionsmethoden zu vergleichen. Die mit der Planung eines solchen Prozesses befaßte Person gewinnt so Erkenntnisse, die das tatsächliche Erproben einer Produktionsmethode u. U. erspart oder ökonomischer gestaltet. Gleichzeitig dient das Rechnermodell jedoch auch kommunikativen Zwecken: Durch die Vorführung der Prozesssimulation kann anderen Personen (z. B. Fachkollegen) Wissen über die Eigenschaften des Prozesses vermittelt werden. Mit anderen Worten: Das (Rechner-)Modell ist dazu gestaltet worden, mentale Modelle zu erzeugen.

Die Wissensgewinnung oder -vermittlung besteht in beiden Fällen in der Übertragung von Attributen des Modells auf das Original (im Gegensatz zum Vorgang der Modellkonstruktion, bei der Attribute des Originals im Modell abgebildet werden). Der Transfer kann umso fehlerfreier gelingen, je stärker Modell und Original einander angeglichen sind. Stachowiak (1973, S. 140 ff.) unterscheidet zwei Typen von Modell-Original-Angleichungen: die strukturell-formale und material-inhaltliche Angleichung.

Die strukturelle Angleichung bezieht sich auf Attribute, die Relationen zwischen Elementen oder Individuen beschreiben. Sind die Relationen (bei austauschbaren Elementen) im Modell und im Original ähnlich, können sie auf das Original transferiert werden und sorgen so für einen Erkenntnisgewinn über das Original. Im Falle einer maximalen strukturellen Angleichung spricht Stachowiak (1973) von der Isomorphie von Modell und Original.

Im Falle materialer Angleichung werden strukturelle Ähnlichkeiten oder Differenzen vernachlässigt: Die Betrachtung konzentriert sich auf die Vergleichbarkeit und Ähnlichkeit abzubildender und abgebildeter Elemente oder Individuen. Eine maximale material-inhaltliche Angleichung liegt vor, wenn die materiale Beschaffenheit aller abgebildeten Originalattribute im Modell vollständig erhalten bleibt. Stachowiak spricht in diesem Fall von einem isohylen Modell. Als "analog" wird ein Modell demgegenüber bezeichnet, wenn alle materialen Attribute eines Originals einer Umkodierung unterworfen sind. Eine Analogie ist demnach eine Modell-Originalbeziehung, die eine parti-

elle Identität von Relationen aufweist, ohne daß die Elemente im Basisbereich (Original) und im Zielbereich (Modell) identisch sind (vgl. auch Gentner & Gentner, 1983). Hieraus kann man schließen: Eine Analogie ist ein Spezialfall einer Modell-Originalbeziehung. Sie ist gekennzeichnet durch eine hohe strukturelle und eine niedrige materiale Angleichung zwischen Basisbereich und Zielbereich.

Ein Modell, das im Sinne Stachowiaks (1973) sowohl isomorph als auch isohyl zum Original ist, wird als Kopierung des Originals bezeichnet. Es bildet zwar nicht alle Attribute ab, aber die abgebildeten sind sowohl strukturell als auch inhaltlich im Modell erhalten. Jenseits dieser Extremangleichungen gibt es jede Abstufung - ein Tatbestand, den Oberquelle (1984) zum Anlaß nimmt, unterschiedliche Detailliertheitsebenen ("levels of detail", S. 28) von Modellen anzunehmen. Das bedeutet ebenso wie bei Stachowiak (1973): Der gleiche Gegenstand kann je nach Zweck in unterschiedlichen Modellen abgebildet sein, die Oberquelle dann als Partialmodelle ("partial models", S. 28) bezeichnet.

Aus den Sichtweisen Stachowiaks (1973) und Oberquelles (1984) ergibt sich ein antiproportionales Verhältnis zwischen zwei unterschiedlichen Nutzenaspekten von Modellen: Je detaillierter das Modell, umso genauer ist die Abbildung. Gleichzeitig fällt jedoch die vereinfachende Wirkung des Verkürzungsmerkmals in Hinsicht auf den erkenntnisgewinnenden bzw. kommunikativen Zweck immer geringer aus. Im Extremfall einer Kopierung ist die Abbildungstreue aufgrund hoher Detailliertheit groß, aber das Modell büßt seinen Vorteil der didaktischen Vereinfachung ein (vgl. Holyoak, 1984a, S. 211 f.).

2.3 Zum Individuenbezug: Ein Perspektivenproblem

Im Stachowiakschen Ansatz wurde berücksichtigt, daß ein gegebenes Modell nicht für alle Individuen von gleichem Nutzen ist. Eine weitere pragmatische Relativierung wird erforderlich, wenn man nicht nur den Rezipienten, sondern auch den Urheber eines Modells als aktives Individuum in die Betrachtung einbezieht. Oberquelle (1984) z. B. definiert "Modell" in der bereits eingeführten Weise:

"A model is a communicable description

- of a certain aspect (view)
- of a section of reality (the system)
- at some level (of abstraction or detail) ...
- which is to serve the purpose of its users" (S. 27, Hervorhebung im Original).

Er fügt jedoch hinzu: "...as perceived by a human being (model builder)" (S. 27). Hiermit wird Bezug genommen auf die subjektive Wahrnehmung des zu modellierenden Originals durch den Modellkonstrukteur und dessen individuelle Kompetenz, das Wahrgenommene und Verstandene in einem Modell abzubilden. Interindividuell unterschiedliche Perspektiven führen also zu unterschiedlichen Modellen des gleichen Erkenntnisgegenstands. Dies kann zu kommunikativen Verwirrungen führen (vgl. Detaildarstellung 2).

Aus psychologischer Sicht hat sich diesem Problem besonders Norman (1983b) gewidmet. Er erörtert das Perspektivenproblem am Beispiel der Software-Entwicklung, sein Ausgangspunkt ist die menschliche Interaktion mit Computern. Der Benutzer benötigt hierzu eine Vorstellung von der Funktionsweise und den Funktionsmöglichkeiten des Computers, um seine Arbeitsaufgaben in die Funktionalität und die Sprache des Systems übersetzen zu können (siehe z. B. Moran, 1984, zu diesem Übersetzungsprozeß). Das System, das der Bediener erlernen und benutzen soll, nennt Norman (1983b, S. 7) das "target system". Der Benutzer erwirbt im Laufe seines Lernprozesses ein mentales, d. h. ein inneres, gedankliches Modell vom System. Nun gibt es in der Regel noch mehrere andere Modelle des Systems, nämlich explizite und meistens gegenständliche Modelle. Beispiele wären eine graphische Darstellung der Funktionskomponenten, eine schriftliche Dokumentation der Programme oder ein Prototyp. Es könnte sich auch um ein nicht gegenständliches Modell handeln, das eigens dazu entworfen wurde, die Funktionsweise des Systems zu vermitteln, z. B. eine metaphorische Beschreibung für Lehr- oder Marketingzwecke. Gemeinsam ist dieser Klasse von Modellen, daß sie explizit und mit einer bestimmten Absicht konstruiert sind. Im Gegensatz zu mentalen (inneren) Modellen werden sie auch als externe, oder nach Norman (1983b) als "konzeptuelle" Modelle bezeichnet. Die Metapher zur Erklärung neuer Sachverhalte auf der Grundlage vertrauten Wissens ist ein Spezialfall eines konzeptuellen Modells. Das mentale Modell vom System wird nach Norman (1983b) dagegen nicht explizit konstruiert, sondern entsteht graduell in der tätigen Auseinandersetzung mit dem System. Der Entwickler, Lehrer oder Wissenschaftler konstruiert nun allerdings auch ein Modell darüber, welches mentale Modell der Benutzer über das System entwickelt oder aber, welches er entwickeln sollte. Dies ist in der Normanschen Terminologie ein konzeptuelles Modell über ein mentales Modell eines Benutzers (vgl. auch Streitz, 1985).

Diese Sichtweise verdeutlicht mehrere potentielle Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellen: Erstens muß das mentale Modell des Benutzers eines technischen Systems nicht zwangsläufig mit der Systemrepräsentation von Konstrukteuren oder Ausbildern kompatibel sein. Zweitens brauchen deren Vorstellungen von den mentalen Modellen der Benutzer nicht allein deswegen zutreffend zu sein, weil sie, die Konstrukteure und Ausbilder, Experten des Systems sind. Sie sind nämlich nicht unbedingt auch Experten der mentalen Modelle, nach denen Benutzer denken und handeln. Nach Frese und Brodbeck (1989) ist dies u. a. eine Folge organisatorischer Rahmenbedingungen des Designprozesses: Aufgrund geringer Möglichkeiten zur Partizipation der zukünftigen Benutzer am Entwicklungsprozeß (Peschke & Wittstock, 1987; Jansen, Schwitalla & Wicke, 1989) ist die Kommunikation zwischen Konstrukteur und Benutzer nur indirekt - nämlich nur durch das fertige Produkt, so wie es sich dem Benutzer darstellt, möglich. Zum anderen kennen Konstrukteure häufig die Arbeitsaufgaben der zukünftigen Benutzer nur unzureichend - Aufgabenanalysetechniken sind zumindest im Softwaredesignprozeß nicht sehr verbreitet (Dunckel, 1989).

Aus dieser Diskussion kann geschlossen werden, daß Personen, die in irgendeiner Weise die Interaktion zwischen Menschen und technischen Systemen gestalten, davon profitieren können, sich mit grundlegenden Eigenschaften mentaler Modelle von Benutzern vertraut zu machen. Konstrukteure technischer Systeme, Organisatoren oder Ausbilder können sich diese Kenntnisse zunutze machen, um mentale Modelle von Benut-

Detaildarstellung 2

Unterschiedlichkeit konzeptueller und mentaler Modelle bei Konstrukteuren und Benutzern

Beispiel 1: Prozeßsteuerung

Ein Beispiel diskrepanter Modelle im Bereich der Prozeßsteuerung in der chemischen Industrie berichtet Duncan (1987): Die Aufgabe des Operateurs besteht darin, bestimmte Parameter bei mehreren unterschiedlichen Prozessen zu kontrollieren und gegebenenfalls durch geeignete Eingriffe zu korrigieren. Ein Prozeß, eine Oxydation, entwickle Wärme. Er bedarf deshalb einer Kühlung, welche durch den Operateur geregelt werden kann. Ein zweiter Prozeß, eine Destillation, bedarf der Erwärmung, die ebenfalls vom Operateur geregelt werden kann. Beide Prozesse seien bezüglich der herzustellenden Produkte völlig unabhängig, möglicherweise sind sie sogar in unterschiedlichen Anlagen oder Werkteilen lokalisiert. Es gibt für beide Prozesse getrennte Anzeigen. Die rein physikalische Beziehung zwischen beiden Prozessen (Wärmeabgabe und -bedarf) legt dem Konstrukteur jedoch aus ökonomischen und ökologischen Gründen die tatsächliche Verknüpfung beider Prozesse nahe: Die in der Oxydation überschüssig entstehende Wärme kann in die Destillation zusätzlich eingespeist werden. Für den Operateur gibt es somit zwei Möglichkeiten, in die Destillation einzugreifen, denn Wärme kann sowohl extra erzeugt als auch aus der Oxydation zugeführt werden: Er kann die Oxydationskühlung verringern oder die Extrawärmezufuhr für die Destillation erhöhen. Entscheidungen darüber setzen voraus, daß ihm erstens diese Verknüpfung grundsätzlich bekannt ist, zweitens, daß er sie aktuell (also auch bei überraschenden Störfällen) erinnert und drittens, daß der aktuelle Zustand des Oxydationsprozesses bekannt ist. Die Diagnose von Fehlern ist ebenfalls erschwert: Eine Fehlregulation in der Oxydation ist u. U. nicht als erstes in ihrem verringerten Kühlungsbedarf zu erkennen, sondern in einem gesteigerten Bedarf an extra zu erzeugender Wärme beim Destillieren.

Während der Wärmeaustausch in diesem Beispiel zentraler Gegenstand des konzeptuellen Modells des Konstrukteurs ist, muß die zusätzliche Verknüpfung beider Prozesse im mentalen Modell des Operateurs nicht zuverlässig enthalten sein.

Beispiel 2: Menügestaltung in einem Textverarbeitungssystem

Bei vielen Anwenderprogrammen brauchen keine Kommandos mehr eingegeben zu werden, sondern der Benutzer wählt sie aus "Menüs" aus. Eine besondere Form solcher Menüs sind "Pull-down-Menüs". Diese tragen eine permanent auf dem Bildschirm sichtbare Überschrift. Zeigt man mit der Maus darauf (oder drückt man eine bestimmte Tastenkombination) öffnet sich dieses Menü und macht eine Anzahl von Kommandos sichtbar, die zu der betreffenden Überschrift gehören. Der Benutzer weiß zu Anfang nicht genau, in welchem Menü sich welche Kommandos befinden, da diese ja nicht permanent sichtbar sind.

Der Designer ordnet nun die Kommandos nach einem ihm sinnvoll erscheinenden System, so daß das Wiederauffinden erleichtert wird. In einem bestimmten, gewerblich erhältlichen Textverarbeitungssystem gibt es z. B. 42 Kommandos, aufgeteilt in sechs Pull-down-Menüs. Eines davon heißt "Datei" und umfaßt Kommandos mit denen man Dateien (hier Texte) verwalten kann. Neben "Datei laden" und "Speichern" finden sich hier jedoch auch "Drucken" und "Seitenumbruch".

In einem Experiment des Autors wurde untersucht, ob Personen, die zwar Textverarbeitungserfahrung hatten, das spezifische Textverarbeitungsprogramm jedoch nicht kannten, die Kommandos dieses Programms so klassifizieren würden, wie die Designer des Systems. Dazu wurden den Versuchspersonen Kärtchen vorgelegt, auf denen jeweils ein Kommandoname und eine kurze Erläuterung der Funktion stand. Sie erhielten die sechs Menü-Überschriften als Vorlage und dann alle 42 Karten in Zufallsreihenfolge. Die Aufgabe bestand darin, jede Karte der Überschrift zuzuordnen, unter der das Kommando als am wahrscheinlichsten vermutet wurde. Die Zuordnung der Kommandos "Drucken" und "Seitenumbruch" sind prototypisch für das Gesamtergebnis: Nur eine von zwölf Versuchspersonen glaubte, daß beide Kommandos sich im gleichen Menü befinden würden. In einer zweiten Aufgabe sollten die Versuchspersonen (ohne Rücksicht auf das Originalsystem) die Kommandos so ordnen, wie sie es für "am praktischsten" hielten. Wiederum fand es nur eine Person sinnvoll, diese beiden Kommandos in ein Menü zu legen. Dagegen konstruierten elf der zwölf Personen ein Menü, in dem sich "Drucken" und "Drucker wechseln" gemeinsam befanden.

Offensichtlich ließen sich die Designer bei ihrer Klassifikation von programmtechnischen Gemeinsamkeiten leiten: Da "Drucken" immer auch einen Seitenumbruch durchführt, die Prozedur "Seitenumbruch" also gleichsam ein Unterprogramm von "Drucken" ist, sind sie einander sehr ähnlich - und gehören somit in das gleiche Menü. Das mentale Modell der Benutzer enthielt wohl andere Kriterien: Das Umbrechen eines Textes (ohne ihn zu drucken) gehört wohl zu den Arbeitsschritten, mit denen Texte gestaltet werden. Gedruckt wird er erst, wenn zumindest ein Teil der Gestaltungsaufgaben erledigt ist. Sie klassifizieren "Seitenumbruch" zusammen mit Kommandos zur Veränderung von Absatzformen oder Schriftarten, weil sie ähnliche Aufgabentypen repräsentieren. Das mentale Modell des Benutzers scheint in diesem Beispiel also eher unter der Perspektive der Aufgabenerfüllung entstanden zu sein und nicht unter der technischen Perspektive des konzeptuellen Modells der Konstrukteure (vgl. Herry, 1987; Lucas, 1987, S. 322).

zern entweder gezielt zu beeinflussen oder bei der Gestaltung von Werkzeugen und Arbeitssituationen zu berücksichtigen (z. B. Card, Moran & Newell, 1983; Norman, 1983a, 1986; Frese, 1987b; Hammond, Gardiner, Christie & Marshall, 1987; Hacker, 1987a,b).

3 Eigenschaften und Funktionen mentaler Modelle

3.1 Zum theoretischen Umfeld: Kognitionspsychologie

Bevor die Eigenschaften mentaler Modelle weiter erörtert werden, soll der theoretische Status dieses Begriffs untersucht und sein Standort im Umfeld psychologischer Theorien vorläufig gekennzeichnet werden. Dieses Umfeld ist weitgehend durch die Erkenntnisse und Methoden der Kognitionspsychologie charakterisiert: Mit der sogenannten "kognitiven Wende" wurde seit Beginn der sechziger Jahre in der Psychologie einer der wichtigsten Paradigmenwechsel vollzogen (vgl. Scane, 1987). Die in den dreißiger und vierziger Jahren insbesondere in den Vereinigten Staaten vorherrschende Sichtweise des Behaviorismus hatte den Schwerpunkt psychologischer Forschung auf das offene, beobachtbare Verhalten gelegt. Die Befassung mit inneren, nicht beobachtbaren Vorgängen wurde zumindest von strengen Vertretern des Behaviorismus als unwissenschaftlich abgelehnt. Richtete sich in diesem Zusammenhang das Interesse vor allem auf die Prinzipien der Verbindung von Umweltreizen und organismischen, äußeren Reaktionen, wurde nun das Paradigma der Informationsverarbeitung (vgl. Anderson, 1985) favorisiert. Die Psychologie hatte auch unter dem Eindruck der Entwicklung anderer wissenschaftlicher Disziplinen wie z. B. der Linguistik, der Informations-, Kommunikations- und Computerwissenschaften kognitive Prozesse des Menschen als Forschungsgegenstand wiederentdeckt (vgl. Scane, 1987). Die Entwicklung des Computers hat hierbei eine besondere Rolle gespielt (Wimmer & Perner, 1979, S. 13 ff.). Dabei stand nicht etwa die Frage im Mittelpunkt, ob der Mensch ähnlich wie ein Computer funktioniert:

Das Aufkommen der ersten Computer demonstrierte ... in eindrucksvoller Weise die Realität kognitiver Phänomene und ihre Nützlichkeit in der Verhaltensklärung. Das beobachtbare 'Verhalten' (der Output) des physischen Systems 'Komputer' steht in einer für jeden Methodologen einsehbarer Weise in kausaler Abhängigkeit von den internen, nicht direkt beobachtbaren Operationen des Systems, und diese Operationen werden von einem Programm gesteuert, an dessen Realität nicht gezweifelt werden kann. ... Die Offenkundigkeit des Verhältnisses zwischen Verhalten und internen Operationen ... legt es nahe, auch das menschliche Verhalten als intern gesteuert zu akzeptieren und diese internen Vorgänge zu untersuchen. (S. 15)

Der Mensch wird in der Kognitionspsychologie als ein System aufgefaßt, das aktiv Informationen aus der Umwelt aufnimmt, speichert, manipuliert und z. T. zielgerichtet weiterverwendet. "Kognition" (vom lateinischen "cognoscere" = "erkennen" abgeleitet) wird häufig in einer Doppelbedeutung (vgl. Thorndyke, 1981) sowohl für die Beschreibung der internen, informationsverarbeitenden Prozesse als auch für deren Produkte ("Wissen") verwendet. Das informationsverarbeitende Individuum wird als aktiv und selbstreflexiv aufgefaßt: Die Verarbeitung von Umweltreizen ist nicht nur von der Qualität des äußeren Reizes abhängig, sondern auch von der Aktivität des Individuums. Dies äußert sich insbesondere darin, daß kognitive Verarbeitungsprozesse auch in Abwesenheit äußerer Reize möglich sind (vgl. Neisser, 1967): Die Informationsverarbeitung kann zumindest teilweise vom Individuum bewußt reflektiert und beeinflußt werden.

Das Informationsverarbeitungs-Paradigma ist keinesfalls einheitlich, sondern hat eine Vielzahl unterschiedlicher Facetten hervorgebracht (vgl. Scane, 1987, S. 79 ff.). Trotzdem können gemeinsame theoretische Prinzipien postuliert werden, die Abgrenzungen gegenüber anderen psychologischen Grundkonzeptionen erlauben (vgl. Schönplug & Schönplug, 1983). Die folgende Charakterisierung ist an einer Darstellung Weidenmanns (1988, S. 20 ff.) orientiert, der vier Kernannahmen über die Art menschlicher Informationsverarbeitung diskutiert: die Transformations-, die Elaborations-, die Konstruktions- und die Systemannahme.

Die *Transformationsannahme* besagt, daß Umweltreize mit der Wahrnehmung einer Umwandlung in einen mentalen Code unterzogen werden (z. B. Wickelgren, 1979). Nur in diesem Code sind sie der Weiterverarbeitung zugänglich. Obwohl unstrittig ist, daß es eine im weitesten Sinne intelligente Informationsverarbeitung ohne eine interne Repräsentation von Informationen (also "Wissen") nicht möglich ist, herrscht über die Art dieses Codes noch weitgehende Uneinigkeit (z. B. Winograd, 1975; Tergan, 1986).

Der Prozeß der Transformation von Informationen aus der Umwelt geht einher mit ihrer *Elaboration*. Dies ist die Folge einer Interaktion von Wahrgenommenem mit bereits vorhandenem Wissen. Wahrgenommenes wird nicht additiv dem bereits Repräsentierten angefügt, sondern durch Vorhandenes interpretiert und mit ihm vernetzt (vgl. Anderson, 1985). Die Elaborationsannahme schließt die Möglichkeit ein, daß Informationen, die aktuell in der Umwelt nicht gegeben und somit nicht wahrnehmbar sind, aus dem Wissensbestand ergänzt werden können (z. B. Rumelhart, 1980). Dies stellt nach Weidenmann (1988) den Übergang zur Konstruktionsannahme dar.

Die *Konstruktionsannahme* besagt, daß die innere Repräsentation von Umweltgegebenheiten kein Abbild im passiv-photographischen Sinne ist (Neisser, 1967, Seel, 1986), sondern eine Konstruktion bzw. Rekonstruktion, deren Aufbauprozesse in der informationsverarbeitenden Aktivität und damit z. T. auch in der Intentionalität des Individuums begründet sind. Der aktive Aufbau von Repräsentationen ist sowohl bei elementaren Wahrnehmungsprozessen (z. B. Neisser, 1967) als auch bei "höheren" Informationsverarbeitungsprozessen, wie etwa dem Erinnern von Zusammenhängen, nachzuweisen (z. B. Bartlett, 1932).

Die vierte Kernannahme ist die *Systemannahme*. Der informationsverarbeitende Organismus führt unterschiedliche kognitive Prozesse aus, die auf verschiedenen Ebenen z. T. parallel und vor allem in gegenseitiger Abhängigkeit gesteuert werden. Nach Dörner (1974, S. 2 ff.) bedeutet dies, daß ein kognitiver Verarbeitungsprozeß nicht allein durch seinen Input determiniert ist und deshalb in der Regel auch nicht allein aus ihm vorhersagbar ist. Vielmehr werden Interaktionen mit verbundenen Prozessen angestoßen, die die Menge der möglichen Verarbeitungsergebnisse immens vergrößern. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die ständige zyklische Rückkopplung zwischen Wahrnehmung, Gedächtnis und Informationssuche (vgl. Neisser, 1967): Der Gedächtnisbestand leitet durch Erwartungsbildung die Informationssuche und Wahrnehmung, die ihrerseits den Gedächtnisbestand verändert. Diese Vorstellung entspricht in Grundzügen dem Assimilations- und Akkomodationsprozessen Piagets (1975a, 1978), mit denen ebenfalls die ständige Interaktion von intern repräsentierten Umwelterfahrungen mit der Wahrnehmung äußerer Reize beschrieben wird.

Mentale Modelle sind in dieser theoretischen Perspektive als hypothetische Konstrukte zu kennzeichnen (vgl. Wickens, 1984; Herrmann, 1988), die sich der unmittelbaren Beobachtung entziehen und somit der Validierung durch beobachtbares Verhalten bedürfen (Meehl & MacCorquodale, 1948). Sie dienen der Erklärung menschlicher Informationsverarbeitungsleistungen. Mentale Modelle werden als kognitive Konstruktionen aufgefaßt, die auf einer Interaktion von Wahrnehmung und Gedächtnis beruhen (vgl. Dörr, Seel & Strittmatter, 1986). Sie sind von den Intentionen des Informationsverarbeiters abhängig und damit auch indirekt abhängig von der zu bewältigenden Aufgabe.

Detalldarstellung 3

Begriffsvielfalt in der Erforschung mentaler Modelle

Neben dem Begriff des "mental Modells" werden in der kognitiven Psychologie noch weitere Konstrukte diskutiert, die weitgehend auf die gleichen psychischen Phänomene bezogen sind, durch eine andere Benennung jedoch unterschiedliche Aspekte akzentuieren.

- Anstelle des Modellbegriffs wird häufig der Begriff "Theorie" verwendet, um zu betonen, daß diese kognitiven Konstrukte, ähnlich wie wissenschaftliche Theorien, sich Abstraktionen bedienen, um Ereignisse vorherzusagen und Verhalten zu leiten (Kempton, 1986).
- Um diesen speziellen Theoriebegriff von dem der wissenschaftlichen Theorie jedoch abzusetzen, sprechen einige Autoren von "naiven" Theorien (DiSessa, 1982; McCloskey, 1983b; McCloskey, Caramazza & Green, 1980; Owen, 1986).
- Um zu betonen, daß mentale Modelle sich z. T. von explizitem, verbalisierbarem oder formalisierbarem Wissen unterscheiden, spricht z. B. McCloskey (1983a) von "intuitiven" Theorien oder Clement (1983) von "intuitiven" Modellen.
- Mit dem Begriff der "naiven Problemrepräsentation" betont Larkin (1983) die besondere Rolle mentaler Modelle bei der Lösung von Problemen: Die Art des mentalen Modells definiert den Problemraum bereits in frühen Stadien des Lösungsprozesses.
- Die schwer zu übersetzende Bezeichnung "folk theory" entstammt einer sowohl anthropologischen als auch kognitiven Sichtweise. Durch sie soll hervorgehoben werden, daß viele naive Theorien gruppen- und kulturspezifisch sind (vgl. Quinn & Holland, 1987). Ferner wird in diesem Ansatz stärker beachtet, daß mentale Modelle aus alltäglicher Erfahrung und vor allem in sozialer Interaktion mit anderen entstehen (vgl. Kempton, 1986).
- Schließlich verwendet Lakoff (1986, 1987) "kognitives Modell" als einen Oberbegriff sehr unterschiedlicher gedächtnispsychologischer Konstrukte, von denen einige dem hier darzustellenden Begriff des mentalen Modells entsprechen.

3.2 Unvollständigkeit, Instabilität und Änderungsresistenz

Die Diskussion der einführenden Beispiele (Kapitel 1) hatte ergeben, daß mentale Modelle technischer Systeme nicht zwangsläufig auch auf physikalisch und technisch validen Erklärungen basieren müssen. Noch weniger müssen mentale Modelle Kopierungen des Systems im Sinne Stachowiaks (1973) sein. Im Gegenteil nimmt Norman (1983a,b) sogar an, daß es zu den konstituierenden Merkmalen mentaler Modelle gehört, unvollständig und instabil zu sein (vgl. auch Proffitt, Kaiser & Whelan, 1990): "...most people's understanding of the devices they interact with is surprisingly meager, imprecisely specified, and full of inconsistencies, gaps, and idiosyncratic quirks" (Norman, 1983b, S. 8). Dies bezieht sich besonders auf Systemeigenschaften, die nicht mehr der direkten Beobachtung zugänglich sind. Norman berichtet das Beispiel einer Versuchsperson, die mit einem Taschenrechner Aufgaben zu lösen hatte, die aus mehreren Teilschritten bestanden. Zwischenergebnisse schrieb sie auf und drückte nach jeder Teilrechnung mehrmals die CLEAR-Taste, anstatt das jeweilige Zwischenergebnis im Speicher zu belassen. Nach Norman (1983b) begründet sie dies so:

I would not have done that because often when you play with the memory and the clear button, if you are not really clear about what it actually clears you can clear out the memory and it-it-I'm too cautious for that. I would be afraid that I'd mess up the memory. (S. 10)

Die Wissenslücken sind nicht nur darauf zurückzuführen, daß die entsprechenden Zusammenhänge nicht gelernt wurden, sondern auch auf das Vergessen von Details. Deshalb bezeichnet Norman (1983b) mentale Modelle auch als zeitlich instabil. Das Vergessen von Systemmerkmalen tritt insbesondere bei unregelmäßiger Benutzung auf.

Das obige Beispiel zeigt weiterhin, daß Benutzer gegenüber den Unzulänglichkeiten ihres Wissen durchaus sensibel sind. Die zitierte Versuchsperson ist sich darüber im klaren, daß sie keine exakte Vorstellung von der Wirkung der CLEAR-Taste hat. Ihre Strategie besteht darin, den Speicher nicht zu benutzen und Zwischenergebnisse schriftlich festzuhalten. Dies ist, gemessen an den Möglichkeiten des Rechners, eine suboptimale Methode. Andererseits bewirkt sie jedoch eine hohe subjektive Sicherheit der Zielerreichung (keine objektive, denn beim wiederholten Abschreiben und Eintippen können zahlreiche Fehler unterlaufen). Für die Verminderung kognitiver Komplexität und Unsicherheit nimmt die Benutzerin eine erhöhte Anzahl von Operationen hin: Defizite des mentalen Modells können durch Aufwandserhöhung im Handeln kompensiert werden. Aus der Perspektive des Lernenden betrachtet, kann dies bedeuten, daß eine Vermehrung einfacher und gut beherrschter Handlungen einer Elaboration des mentalen Modells vorgezogen werden (vgl. Battmann, 1989).

Doch nicht alle Benutzer folgen einer rationalen Strategie der Aufwandsabwägung. Unsicherheit über Systemzusammenhänge kann auch zu irrationalen Überzeugungen führen, die sich in einer Art "abergläubischem" Verhalten äußern, wie ein Fallbeispiel aus den Untersuchungen des Autors zeigt: Eine Versuchsperson, die ein direktmanipulierbares Anwendersystem erlernte und große Schwierigkeiten mit der Mausbedienung hatte, entwickelte z. B. die Überzeugung, daß sie zum Schließen eines Menüs mit der Maus auf den schmalen linken Rand zwischen Arbeitsfeld und Bildschirmbegrenzung klicken müßte. Obwohl der Versuchsleiter sie darauf aufmerksam gemacht hatte, daß

jeder Mausclick außerhalb des Menüs dasselbe schließt, war dieses Verhalten insbesondere nach mißlungenen Mauseoperationen noch wiederholt zu beobachten.

Aufgrund der Ausführungen in diesem Kapitel könnte nun die Überzeugung entstehen, daß die genannten Defizite mentaler Modelle grundsätzlich zu suboptimalen Leistungen führen müßten. Dies widerspräche zum einen den Erkenntnissen aus der Erörterung des Perspektivenproblems (Kapitel 2.3), welche ergab, daß die Güte eines Modells nicht allein aufgrund der Abbildtreue zu beurteilen ist, sondern nur unter Hinzunahme der Nützlichkeit im Hinblick auf einen bestimmten Zweck einzuschätzen ist. Zum anderen gibt es interessante Beispiele dafür, daß defizitäre und "naive" mentale Modelle in einem eingeschränkten Funktionsbereich durchaus zu guten Leistungen führen können: Ringelband, Misiak und Kluwe (1990) analysierten die Strategien von Versuchspersonen bei der Steuerung eines komplexen, dynamischen Systems, in dem die Werte von 15 Variablen vorgegebenen Zielwerten angeglichen werden sollten. Den Autoren gelang es, die Strategien der Personen in einem Programm zu simulieren. Ließ man das System von diesem "Versuchspersonensimulator" steuern und nicht von den Personen selbst, ergaben sich akzeptable Steuerungsleistungen, obwohl dieser Simulator nicht über das geringste Wissen über die tatsächliche mathematische Struktur des Variablenystems verfügte. Dies wird als Beleg dafür gewertet, daß ein solches System auch mit Hilfe eines unvollständigen mentalen Modells erfolgreich gesteuert werden kann.

Ein weiteres, alltäglicheres Beispiel wird von Kempton (1986) berichtet. In einer Feldstudie wurde untersucht, welche Vorstellungen Menschen von der Funktion von Heizungsthermostaten haben. Durch die Auswertung von Interviews wurden zwei Arten von mentalen Modellen identifiziert: Die "Ventil-Theorie" und die "Rückmelde-Theorie". Erstere geht davon aus, daß die Thermostatregelung direkt die Wärmeabgabe steuert, ohne daß die Raumtemperatur in die Regelung eingeht. Aus technischer Sicht ist diese Theorie nicht angemessen, da sie die Raumtemperatur als Einflußgröße vernachlässigt. Die Rückmelde-Theorie ist in diesem Sinne "richtig", weil sie die direkte Abhängigkeit der Wärmeabgabe von der gemessenen Raumtemperatur zum Gegenstand hat. Um die Nützlichkeit dieser Modelle beurteilen zu können, muß man ihren Zweck kennen. Kempton nennt zwei Funktionalitätskriterien: Erstens sollten die mentalen Modelle eine Heizungsregelung ermöglichen, die dem persönlichen Wohlempfinden entspricht. Zweitens sollte unter dieser Prämisse der Energieverbrauch (und die damit verbundenen Kosten) so niedrig wie möglich sein. Die Probanden wurden gebeten vorherzusagen, wie bestimmte Eingriffe in die Heizungsregelung wirken würden. Bezüglich beider Kriterien wurden bei den Personen, die über das "falsche" (Ventil-) Modell verfügten, Vorhersagen festgestellt, die (unerwartet) zu einer effizienteren Regelung führen könnten. Wie ist dies zu erklären? Kempton (1986) nimmt zunächst Bezug auf das subjektive Kriterium des Wohlempfindens: Da die Rückmelde-Theorie vorhersagt, daß die Innentemperatur bei fallender Außentemperatur und konstanter Thermostatstellung gleich bleibt, ist aus ihr kein Regelungsbedarf bei fallender Temperatur abzuleiten. Die Ventil-Theorie kennt diesen Rückmeldekreis nicht. Aus ihr ist abzuleiten, daß die Ventilöffnung vergrößert werden muß, wenn die Außentemperatur fällt. Dieses Verhalten scheint systemtheoretisch unangemessen zu sein, hat aber praktischen Wert: Bei niedrigeren Außentemperaturen kühlen Materialien in der Nähe von Außenwänden stärker ab und der Wärmeverlust in der Wohnung ist ungleichmäßiger. Bei niedrigeren Außen-

temperaturen kann also durchaus eine erhöhte Heizleistung erforderlich sein, um das gleiche subjektive Wärmeempfinden im gesamten Aufenthaltsbereich herzustellen.

Doch wie verhält es sich mit dem objektivierbaren Kriterium des Energieverbrauchs? Allein aus der Rückmelde-Theorie ist nicht abzuleiten, daß der Energieverbrauch bei niedrigeren Außentemperaturen steigt, denn die herzustellende Raumtemperatur ist ja konstant. Die Ventil-Theorie sagt jedoch unmittelbar voraus, daß der Energieverbrauch in diesem Falle steigen muß, denn eine verminderte Außentemperatur erfordert eine weitere Öffnung des Thermostats. Die Vorhersage ist richtig, aber mit der falschen Erklärung: Der erhöhte Energieverbrauch wird nicht durch die größere Ventilöffnung verursacht, sondern durch den höheren Wärmeverlust bei niedrigeren Außentemperaturen. Wäre das Rückmeldemodell um eine Theorie des Wärmeverlusts erweitert, so würde es die korrektere Vorhersage ermöglichen. Bei der isolierten Betrachtung beider Modelle erlaubt jedoch das technisch unangemessenere Modell aufgrund einer nicht zutreffenden Erklärung die nützlichere Vorhersage. Eine Erweiterung des technisch zutreffenden Modells, so daß dieses eine ähnliche Wirksamkeit erzielt, erfordert dahingegen einen erhöhten Lernaufwand des Anwenders.

Die Abwägung von Lernaufwand und Nützlichkeit mag dafür verantwortlich sein, daß mentale Modelle, auch wenn sie im technischen Sinne nicht korrekt sind, sich als sehr resistent gegenüber Veränderungen erweisen können (Oden, 1987). Das bereits aus dem allgemeinen Modellbegriff abgeleitete Primat der Funktionalität von Modellen, gemessen an den Anforderungen, die ein Problem stellt, erweist sich auch für mentale Modelle als vorrangig (vgl. Tergan, 1986).

Als ein weiteres Argument ist zu beachten, daß die in diesem Abschnitt diskutierten Eigenschaften mentaler Modelle, wie Unvollständigkeit und Instabilität, nur dann zu diagnostizieren sind, wenn ein optimales Modell des Gegenstands existiert (vgl. Weidenmann, 1988, S. 29). Dies ist glücklicherweise im Falle "naiver" Physik (Hayes, 1978) und einfacher technischer Systeme gegeben. Alle bisher diskutierten Beispiele stammen aus diesem Bereich. Wird der Gegenstandsbereich mentaler Modellbildung jedoch selbst komplexer, so daß mentale Modelle nicht mehr ohne weiteres mit einem zweifelsfrei optimalen konzeptuellen Modell kontrastiert werden können, gewinnt das funktionale Kriterium der Modellangemessenheit ohnehin an Bedeutung.

3.3 Analogien als Grundlage mentaler Modelle

3.3.1 Analogie und Ähnlichkeit

In Abschnitt 2.2 wurde die Analogie als ein Spezialfall einer Modell-Originalbeziehung charakterisiert: Die Relationen zwischen den Elementen eines Basisbereichs gleichen zumindest teilweise den Relationen zwischen Elementen eines Zielbereichs, ohne daß die Elemente selbst identisch wären. Dies unterscheidet die Analogie von der Ähnlichkeitsbeziehung (Miller, 1979; Tourangeau & Sternberg, 1981; Gentner, 1983). Diese repräsentiert nämlich eine zumindest partielle Identität der Eigenschaften der Elemente selbst. Gentner & Gentner (1983, S. 101, Übersetzung des Autors) veranschaulichen dies an einem einfachen Beispiel: Die Aussage "Ein System des Andro-

meda-Nebels ist wie unser Sonnensystem" repräsentiert eine Ähnlichkeitsbeziehung, gegen die man z. B. einwenden könnte: "Aber der Stern im Andromeda-System ist nicht gelb und heiß". Gegen die Analogie hingegen "Das Wasserstoffatom ist wie unser Sonnensystem" einzuwenden, "aber das Wasserstoffatom ist nicht gelb und heiß", träfe nicht den Kern der Aussage.

Warum würde dieses Argument die Bedeutung der Aussage verfehlen? Während die Analogie lediglich eine Überlappung von Relationen im Basis- und Zielbereich enthält, umfaßt das Ähnlichkeitsurteil auch die Vergleichbarkeit der Elemente selbst. Daher erscheint es auch sinnvoll, Attribute der Objekte selbst zu vergleichen ("gelb", "heiß"). Die Analogie hingegen zielt nur auf die Vergleichbarkeit der Relationen zwischen Stern und Planeten einerseits und Atomkern und Elektronen andererseits. Diese sind in der Tat vergleichbar: in beiden Fällen werden z. B. Körper mit geringerer Masse von einem Körper größerer Masse angezogen. Diesen Transferprozeß bezeichnet Gentner (1983) als Strukturübertragung ("structure mapping"). Die Beziehungen zwischen Objekten des Basisbereichs werden auf die Objekte des Zielbereichs übertragen, obwohl sich diese voneinander unterscheiden (Holyoak, 1984a): Die Sonne zieht einen Planeten an wie der Kern eines Wasserstoffatoms ein Elektron. Diese Analogiebildung führt zur Generierung neuen Wissens, obwohl die Objekte des Basis- und Zielbereichs unterschiedlich sind (Hesse, 1991).

Ein weiteres Beispiel: In mehreren Untersuchungen von Gick und Holyoak (1980) lasen Versuchspersonen eine Geschichte, in der ein bestimmtes Problem gelöst wurde. Später wurde ihnen eine andere Geschichte vorgegeben, in der die Lösung fehlte und von den Versuchspersonen selbst gefunden werden sollte. Beiden Problemen lag das gleiche Lösungsprinzip zugrunde, aber die Einbettung (Setting, Personen, Handlungen, Ziele etc.) war unterschiedlich. Trotzdem profitierten Versuchspersonen vom vorherigen Lesen des strukturgleichen Problems: Sie lösten das nachfolgende Problem häufiger in einer Weise, die der Lösung im ersten Text entsprach (vgl. Detaildarstellung 4). Die Versuchspersonen konnten bekannte Relationen zwischen Elementen der ersten Geschichte auf die ungleichen Elemente der zweiten Geschichte übertragen.

Der Wissensgewinn durch eine Analogie geht auf die Strukturübertragung zurück, nicht auf die Ähnlichkeit der Elemente selbst. Dennoch hat die Ähnlichkeit zwischen den Elementen des Basis- und Zielbereichs gerade in mentalen Modellen eine wichtige Funktion: Sie erleichtert das Erkennen einer Analogiebeziehung. Wie ein weiteres Experiment von Gick und Holyoak zeigt, ist dies nicht immer einfach: Versuchspersonen sollten drei Texte lernen (unter ihnen die Geschichte vom General und seiner erfolgreichen Angriffsverteilung aus Detaildarstellung 4). Die zwei anderen Texte waren disanalog zur Lösung des Strahlenproblems. Die Versuchsteilnehmer wurden instruiert, sich die Texte so einzuprägen, daß sie sie später reproduzieren können. Danach erhielten sie jedoch unerwartet das Strahlenproblem. Während der Hälfte der Versuchspersonen gesagt wurde, daß eine der vorher gelesenen Geschichten Hinweise auf die Lösung enthielt, mußte die andere Hälfte ohne diese Hilfe auskommen. In der ersten Gruppe lösten 92 % der Teilnehmer das Problem durch Strahlen-Verteilung. Diese Lösung fanden nur 20 % der Gruppe, die keinen Hinweis erhielt.

Das Ergebnis zeigt, daß die Entdeckung bzw. Erinnerung einer Analogie auch von der Ähnlichkeit der Elemente im Basis- und Zielbereich abhängt: Diktatoren und Tumore, Ärzte und Generäle, Armeen und medizinische Strahlen sind sehr schwer miteinander in eine semantische Beziehung zu setzen. Spontan wird mit ihnen keine strukturelle Vergleichbarkeit des Problems verbunden: Hierzu bedurfte es erst des Hinweises des Versuchsleiters. Ein analoges Problem mit größerer Ähnlichkeit der Einzelelemente, etwa in einem anderen medizinischen Kontext, hätte die Anwendung der Analogie zur Lösung des Zielproblems erleichtert.

Detaildarstellung 4

Analogie und Ähnlichkeit beim Lösen von Problemen: Tumore und Diktatoren

In mehreren Experimenten gingen Gick und Holyoak (1980) der Frage nach, wie das Lösen eines Problems durch die Kenntnis der Lösung eines analogen Problems erleichtert werden kann. Ihre Versuchspersonen sollten dazu stets das sogenannte "Strahlenproblem" (Duncker, 1935) lösen, das zu den klassischen Problemaufgaben der Experimentellen Psychologie gehört:

Die Aufgabe besteht darin, einen Patienten von einem bösartigen Magentumor zu befreien. Eine Operation ist aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Man verfügt aber über Strahlen, die in der Lage sind, den Tumor zu zerstören. Leider würden diese aber auch das den Tumor umgebende, gesunde Gewebe zerstören, was der Arzt nicht in Kauf nehmen darf. Welche Möglichkeiten gibt es, den Patienten mit Hilfe dieser Strahlen zu heilen?

Bevor die Versuchspersonen von Gick und Holyoak mit diesem Problem konfrontiert wurden, lasen sie eine andere Geschichte: Diese handelt von einem verbrecherischen Diktator, der von einer Festung aus regiert, die sich im Zentrum seines Landes befindet. In ihr laufen zahlreiche Straßen sternförmig aus allen Landesteilen zusammen. Ein außerhalb des Landes weilender General hat sich den Sturz des Diktators zum Ziel gesetzt und hierzu eine schlagkräftige Armee versammelt. Leider muß er von einem Spion erfahren, daß alle Straßen zur Festung in der Weise vermint seien, daß nur kleine Gruppen von Personen sie passieren könnten, größere Menschenmengen würden zur Detonation führen. Somit ist ein konzentrierter Angriff mit der gesamten Armee nicht möglich...

Die Versuchspersonen wurden in drei Gruppen aufgeteilt, die unterschiedliche Fortsetzungen dieser Geschichte erhielten:

1. Die Armee wird in viele kleine Gruppen aufgeteilt, die sich alle einzeln auf verschiedenen Straßen der Festung nähern. Dort wohlbehalten angekommen, versammeln sie sich zu einem gemeinsamen Angriff und bezwingen den Diktator.
2. Der General entdeckt einen einzigen offenen Zugang zur Festung, der dem Diktator zur eigenen Nachschubversorgung dient. Durch diesen dringt die gesamte Armee vor und vernichtet ihn.
3. Der General läßt einen Tunnel graben, durch den die gesamte Armee bis zur Festung vordringt und diese einnimmt.

Für jeden dieser Ausgänge gibt es beim Strahlenproblem eine analoge Lösung:

Zu 1. Es werden kleine Strahlungsdosen, die das Gewebe nicht beeinträchtigen, aus unterschiedlichen Richtungen auf den Tumor gelenkt. Dort, im Punkt ihres Zusammentreffens, addieren sich die Wirkungen zur Zerstörung des Tumors, ohne gesundes Gewebe in Mitleidenschaft zu ziehen ("verteilter Angriff").

Zu 2. Die Strahlen könnten konzentriert auf den Tumor geleitet werden, ohne daß sie vorher gesundes Gewebe durchdringen müssen z. B. indem sie durch die Speiseröhre geleitet werden ("offener Zugang").

Zu 3. Der Tumor könnte operativ freigelegt werden, so daß ihn die Strahlen direkt treffen können ("Tunnel-Lösung"). Diese Lösung wäre allerdings mit der Randbedingung des Problems nicht vereinbar, die besagt, daß eine Operation nicht möglich sei.

Den Versuchspersonen wurde gesagt, sie müßten nicht, aber sie könnten die jeweils vorher gehörte Geschichte zur Lösung des Strahlenproblems benutzen. Nimmt man nun eine Beeinflussung der Lösung des Strahlenproblems durch bekannte Lösungen analoger Probleme an, sollten sich die drei Gruppen in der Art der gefundenen Lösungen unterscheiden. Tatsächlich wurde festgestellt, daß die Strahlen-Verteilungs-Lösung in der Gruppe 1 am häufigsten genannt wird, die Speiseröhren-Lösung in der Gruppe 2 und die Operations-Lösung in der dritten Gruppe.

Obwohl Personen, Umgebungen und Objekte in beiden Problemen völlig unterschiedlich sind, gelang es vielen Versuchspersonen offenbar, bestimmte kausale Relationen zwischen einigen Elementen der Diktatorgeschichte auf das Strahlenproblem zu übertragen: Um beispielsweise auf die Strahlenverteilungs-Lösung zu kommen, muß man annehmen, daß Strahlen geringerer Dosis sich bei ihrem Zusammentreffen in ihrer Wirkung addieren. Dieser Schluß wird durch die Vorstellung der Strahlung als Partikelansammlung unterstützt. Während nach Duncker (1935) nur äußerst wenige Personen diese Vorstellung spontan entwickeln, fällt dies den Versuchspersonen, die die Angriffs-Verteilungs-Lösung kennen, leichter: Die Vorstellung einer Armee impliziert die Zusammensetzung aus Einzelelementen, die getrennt und wieder zusammgeführt werden können, sehr deutlich.

Noch schwieriger wird die Problemlösung, wenn gar keine analoge Lösung verfügbar ist, sondern erst konstruiert oder aus dem Gedächtnis abgerufen werden muß. Dies war z. B. bei dem eingangs erwähnten Wasserkreislaufmodell (Kapitel 1) der Fall: Diesen Versuchspersonen wurde gar keine Analogie vorgegeben, sondern sie mußten sie selbst finden. Für manche Zielbereiche gibt es nur Analogien, deren Elemente denen des Zielbereichs sehr unähnlich sind. Solche sind besonders schwierig zu finden oder zu konstruieren (vgl. Holyoak, 1984a). So moderiert die Ähnlichkeitsrelation die Nutzbarkeit der Analogiebeziehung.

Mentale Modelle sind kognitive Konstruktionen, die zu einem beträchtlichen Teil auf Analogiebeziehungen aufbauen. Collins und Gentner (1987, S. 243) drücken dies so aus (vgl. auch Weidenmann, 1988; Holyoak, 1984b; Gentner & Gentner, 1983, Dörr, Seel & Strittmatter, 1986): "Why are analogies so common? What exactly are they doing for us? We believe people use them to create generative mental models, models they can use to arrive at new inferences".

3.3.2 Analogie, Metapher und konzeptuelles Modell

Das letzte Beispiel im vorangegangenen Abschnitt veranschaulichte eine unbefriedigende Situation: Wissen über einen Problembereich konnte auf einen zweiten nicht angewendet werden, obwohl eine Analogiebeziehung zwischen beiden bestand. Welche instruktionspsychologischen Möglichkeiten gibt es, einer solchen Situation vorzubeugen?

Die erste Möglichkeit besteht in der Verwendung einer Metapher. Häufig werden die Begriffe "Analogie" und "Metapher" gleichbedeutend verwendet. Hier wird jedoch zwischen der Relation (Analogie) und einem externen Mittel zur Veranschaulichung dieser Relation (Metapher) unterschieden. Eine Metapher ist also ein didaktisches Mittel, auf eine Analogiebeziehung hinzuweisen: "... every metaphor may be said to mediate an analogy or structural correspondence" (Black, 1979, S. 31). Metaphern bestehen aus vergleichenden Aussagen, die aufgrund unseres Alltagswissens zunächst als unwahr zu klassifizieren wären, wenn sie allein ihrer unmittelbaren Bedeutung entsprechend interpretiert würden: Die Aussage, "Ihr Mann ist zu einem Eisblock geworden", wäre auf der Grundlage ihrer wörtlichen Bedeutung höchstwahrscheinlich absurd. Im folgenden Abschnitt (3.3.3) ist der Frage nachzugehen, warum Aussagen wie diese trotzdem als bedeutungsvoll interpretiert werden können und darüber hinaus zu einem Gewinn an Wissen führen. Ob die Inhalte einer Metapher sprachlich oder bildlich repräsentiert sind, ist dabei von untergeordneter Bedeutung.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, ein externes (konzeptuelles) Modell vorzugeben, welches die Analogiebeziehung verdeutlicht. Die Unterschiede zwischen Metaphern und konzeptuellen Modellen sind graduell und beziehen sich auf das Ausmaß, mit dem bereits gespeichertes Wissen aus anderen Bereichen zum Verständnis des Neuen beansprucht wird. Metaphern greifen umfassender auf Wissen bekannter Gegenstandsbereiche zurück, während konzeptuelle Modelle Zusammenhänge eher in den Begriffen des Zielbereichs darstellen. Vereinfachend könnte man zusammenfassen, daß Metaphern vorgefunden werden, konzeptuelle Modelle dagegen explizit zu einem bestimmten Zweck konstruiert werden müssen. Sowohl Metaphern als auch konzeptuelle Modelle sind externe Modelle eines Lerngegenstandes, der in einem internen, mentalen Modell abgebildet werden soll.

3.3.3 Lernen durch Metaphern

Die grundlegende Idee des Lernens durch Metaphern unterscheidet sich keineswegs von der anderer Lernvorgänge: Bereits vorhandenes Wissen leitet die Interpretation und Organisation neuer Informationen, um so selbst zum Gegenstand der Veränderung durch das neue Wissen zu werden. Die Auffassung, Metaphern seien lediglich implizite Vergleichsaussagen, greift also zu kurz. Black (1962, 1979) spricht in diesem Zusammenhang von einer "interaktionistischen" Konzeption der Metapher: In einer idealtypischen metaphorischen Aussage wird der Begriff, über den eine Aussage gemacht werden soll (primäres Subjekt) mit einem anderen Begriff (sekundäres Subjekt) gleichgesetzt. Zum Beispiel: "Er erstarrte zu Eis". Die Aussage erhält ihre Bedeutung dadurch, daß Begriffsmerkmale des sekundären Subjekts ("Eis") auf das primäre ("Er")

"projiziert" ¹ werden (Black, 1979, S. 28). Diese Projektion betrifft aber nur eine Teilmenge der Merkmale. Würde keine Selektion von Merkmalen stattfinden, würden also "vollständige" Merkmalssätze übertragen, müßte der Empfänger zu der Ansicht kommen, daß die Aussage falsch sei. Der Empfänger hätte die Aussage nicht als metaphorisch erkannt, sondern versucht, sie wörtlich zu interpretieren. Welche Merkmale zur Projektion jedoch ausgewählt werden, hängt vom primären Subjekt ab - ein erster Hinweis, warum diese Sichtweise als eine "interaktionistische" bezeichnet wird: Es werden nicht alle Merkmale von "Eis" selegiert (z. B. nicht "gefroren"), sondern bevorzugt solche, die lexikalisch auf Personen (hier also das primäre Subjekt) angewendet werden können (etwa "kalt" oder "hart"), allerdings verbunden mit einer leichten Bedeutungswandlung. Die Selektion fiel wahrscheinlich anders aus, wenn die Aussage ein anderes primäres Subjekt hätte. Voraussetzung für eine "sinnvolle" Selektion ist, daß unterschiedliche Bedeutungsvarianten von Merkmalen vorliegen, die im Zusammenhang beider Subjekte zulässig sind: Würde das Merkmal "kalt" nicht in Bedeutungsvarianten vorliegen, die sowohl im physikalischen als auch im emotionalen Sinne interpretierbar sind, trüge die Selektion dieses Merkmals nicht zum Verständnis der Metapher bei. Aus den selegierten Merkmalen wird nun versucht, ein Merkmalsset zu konstruieren, daß auch auf das primäre Subjekt zutrifft. Dies wirkt jedoch auf die wahrgenommene Bedeutung des Sekundärsubjekts zurück: Der Begriff "Eis" bezeichnet nun nicht mehr ausschließlich einen physikalisch bestimmbar Zustand, sondern ist zum Träger von Eigenschaften geworden, die potentiell auch anderen Begriffen zugeschrieben werden können.

Aus dieser interaktionistischen Sichtweise der Metaphernwirkung lassen sich einige Konsequenzen ableiten: Zunächst ist erkennbar, daß die Wirkung von Metaphern nicht allein auf dem impliziten Vergleich beruht (Black, 1979; Ortony, 1979), sondern mit gegenseitig bedingten Bedeutungsveränderungen der beteiligten Begriffe einhergeht. Zum zweiten ist durch diese Sichtweise die Rolle von Metaphern als "kognitive Instrumente" (Black, 1979) zur Assimilation neuen Wissens herausgearbeitet worden. Dies unterstützt die oben genannte These, Metaphern könnten den Aufbau individueller mentaler Modelle fördern. Schließlich ist festzustellen, daß Metaphern in dieser Konzeption nicht wahr oder falsch sein können, sondern lediglich in ihrer Erkennbarkeit und Nützlichkeit variieren können.

3.3.4 Erkennbarkeit und Nützlichkeit einer Metapher

Bevor eine Metapher ihre fördernde Wirkung auf die Entdeckung einer Analogie und damit auf die Entwicklung eines mentalen Modells entfalten kann, muß sie zunächst als eine Metapher erkannt werden: Um beim Aufbau eines mentalen Modells helfen zu können, darf eine Metapher also nicht wörtlich interpretiert werden. Wann eine Metapher als Metapher erkannt wird, hängt von der Unähnlichkeit zwischen primärem und sekundärem Subjekt ab (vgl. auch Gick & Holyoak, 1980 und Abschnitt 3.3.1): Je unähnlicher das mit dem Primärsubjekt gleichgesetzte Sekundärsubjekt ist, umso schwerer kann die Aussage wörtlich interpretiert werden, ohne als absurd bewertet zu

¹ Diese "Projektion" ist mit dem Prozeß der Strukturübertragung ("structure mapping") im Sinne Gentners (1983) vergleichbar.

werden. Je unverträglicher jedoch die wörtliche Interpretation einer Aussage mit dem verfügbaren Wissen ist, umso eher wird statt dessen eine metaphorische Interpretation angeregt.

Ein Beispiel in Anlehnung an Carroll und Thomas (1982): Die Metapher, "Ein Anwendungsprogramm ist wie ein Hamburger", ist aufgrund der geringen Ähnlichkeit zwischen Speisen und Softwareprodukten sehr leicht als Metapher zu erkennen. Die Unähnlichkeit zwischen primärem (Anwendungsprogramm) und sekundärem Subjekt (Hamburger) führt aber gleichzeitig zu einer niedrigen Transparenz: Die Analogiebeziehung zwischen Basis- und Zielbereich ist nicht ohne weiteres erkennbar².

Hieraus kann man den Schluß ziehen, daß Metaphern dann besonders wirkungsvoll auf Analogien hinweisen, wenn sie eine mittlere Ähnlichkeit zwischen Basis- und Zielbereich (zwischen primärem und sekundärem Subjekt) realisieren (vgl. Tourangeau & Sternberg, 1981). Bei großer Unähnlichkeit wird die Metapher zwar eher als eine solche erkannt, doch die Analogiebeziehung kann aufgrund der hohen Intransparenz nur schwer interpretiert werden. Bei großer Ähnlichkeit ist die Bedeutung zwar transparent, aber nur unter der Voraussetzung, daß die Aussage als eine Metapher erkannt und nicht wörtlich interpretiert wird, was bei großer Ähnlichkeit beider Subjekte wahrscheinlicher ist.

Neben ihrer Erkennbarkeit können Metaphern noch auf einer zweiten Dimension variieren: auf der Dimension ihrer Nützlichkeit. Diese hängt davon ab, wie reichhaltig die Menge an übertragbaren Relationen ist ("Kongruenz" nach Carroll & Thomas, 1982): Die Metapher "Ein Computer ist ein mit einer Schreibmaschine gekoppelter Fernseher" ist leicht als Metapher zu erkennen, ihre Bedeutung ist transparent, aber nicht sehr nützlich. Die Kongruenz zwischen Basis- und Zielbereich ist nämlich recht gering. Nur einige oberflächliche Relationen sind in den Zielbereich zu übertragen (etwa die Vermutung, daß geschriebene Zeichen auf dem Bildschirm sichtbar werden müßten). Eine geringe Kongruenz begrenzt den möglichen Erkenntnisgewinn und enthält darüber hinaus die Gefahr zu Fehlschlüssen, nämlich dann, wenn fälschlicherweise Relationen übertragen werden, die im Zielbereich ungültig sind.

3.3.5 Motivationale und emotionale Wirkungen von Metaphern

Die Verarbeitung von Metaphern ist nicht allein in Begriffen des Wissenserwerbs zu beschreiben. Einen zweiten Aspekt bilden die motivationalen und emotionalen Prozesse. So wurde im vorangegangenen Abschnitt z. B. ausgeführt, daß eine Metapher daran erkannt wird, daß der Rezipient ihre wörtliche Bedeutung weniger leicht mit seinem bereits etablierten Wissen in Einklang bringen kann als eine metaphorische Bedeutung. Das Bemerkte der Absurdität im ersten Verarbeitungsschritt ist häufig mit dem Erleben von Neuheit, mit einem Gefühl des Erstaunens und einer Aktivierung verbunden. Das erhöhte Aktivierungsniveau kann einerseits als eine Voraussetzung zur Investition weiteren kognitiven Aufwands gewertet werden, der zur Lösung der Wider-

² Carroll und Thomas (1982) weisen darauf hin, daß es dennoch übertragbare Relationen gibt, wie z. B. die Über- und Unterordnungsverhältnisse zwischen verschiedenen Schichten.

sprüchlichkeit erforderlich wird. Andererseits dient die Wiederherstellung der Kongruenz zwischen metaphorischer Aussage und vorhandenem Wissen der Senkung des Aktivierungsniveaus und der Befriedigung der Neugier (Anderson, 1964, Berlyne, 1960): "The incongruity of metaphor induces arousal, which the person seeks to reduce by means of a 'conceptual resolution' of the disparate elements" (Paivio, 1979, S. 152).

Unter dem Aspekt des Wissensgewinns wurde eine große Kongruenz zwischen Basis- und Zielbereich als nützlich bezeichnet, weil sie die Übertragung möglichst vieler Relationen in den Zielbereich zuläßt. Unter der Perspektive der motivationalen Wirkung von Metaphern geraten jedoch gerade die inkongruenten Merkmale in den Mittelpunkt (Carroll & Mack, 1985). Die offensichtlich nicht mit Basis- und Zielbereich gleichzeitig zu vereinigenden Merkmale, die eine Metapher anspricht, erregen Neugier. Sie sind eine Quelle selbstgesteuerten Wissenserwerbs: "... the *dissimilarities* between the text editor and a typewriter become open questions - impelling further thought and leading then to further learning" (Carroll & Mack, 1985, S. 47, Hervorhebung im Original).

Im Rahmen dieser Auffassung von Metaphern ist die partielle Nicht-Passung zwischen Basis- und Zielbereich notwendiger Bestandteil einer Metapher. Daß bestimmte Merkmale aus dem Basisbereich nicht übertragen werden können, ist also kein Kennzeichen einer "schlechten" Metapher, im Gegenteil: diese nicht übertragbaren Merkmale stellen sicher, daß eine Aussage überhaupt als Metapher erkannt wird. Der für den Lernenden entscheidende motivationale Faktor besteht darin, daß zunächst unbekannt ist, wo die Grenzen der Metapher liegen. Die Metapher erzeugt also unvermeidlicherweise Unsicherheit darüber, wieweit sie anwendbar ist. Die Unsicherheit kann aber durch Ausprobieren, Fragen oder Schlußfolgern reduziert werden. Sie motiviert also zum weiteren Lernen.

Ortony (1975) vertritt darüber hinaus die Ansicht, daß die Rezeption von Metaphern auch Wirkungen auf die Stimmung haben können. Diese eher emotionale Wirkung gehe darauf zurück, daß die übertragenen begrifflichen Merkmale in Kombination mit ihrem neuen Kontext eine Bedeutungswandlung durchmachen. Diese ist u. U. geeignet, mehr oder weniger starke emotionale Reaktionen hervorzurufen: "Seine Texte sind ein Skalpell im Fleische des Establishments", teilt eine Stimmung mit, die schwerlich durch eine explizite (nicht-metaphorische) Aussage herzustellen wäre. Nach Paivio (1979, S. 152) liegt dies häufig an der Möglichkeit zur stärker bildhaften Repräsentation der Bedeutung: "... metaphor provides a vivid and, therefore, memorable and emotion-arousing representation".

3.4 Schema-Abhängigkeit mentaler Modelle

3.4.1 Abstraktion von Analogiebeziehungen auf der Grundlage von Gedächtnisschemata

Bei der Darstellung der Analogiehaftigkeit mentaler Modelle wurde bisher ein Argumentationsschritt vernachlässigt, dessen Erörterung direkt in das Thema des vorliegenden Abschnitts führt. Dies läßt sich leicht am Beispiel des Wasserkreislauf-Modells

aus der Einleitung erläutern: Die Relationen zwischen elektrischem Strom und Schalter bzw. zwischen Wasser und Ventil sind insofern vergleichbar, als Ventil und Schalter den Austausch von Materie (Wasser) oder elektrischen Ladungen unterbrechen können. Es liegt also eine Analogie vor. Nicht diskutiert wurde bisher jedoch, daß das Ausmaß der Übereinstimmung vom Detailliertheitsgrad der Betrachtung abhängt. Auf einer sehr detaillierten Ebene muß natürlich festgestellt werden, daß beide Relationen wenig miteinander zu tun haben: So unterbricht der Schalter den Stromfluß durch die Aufhebung eines Kontakts zwischen leitenden Materialien, während das Ventil den Durchfluß für Materie versperrt. Die Gemeinsamkeiten treten erst bei einer abstrakteren Betrachtung hervor: in beiden Fällen wird etwas unterbrochen, wenn auch in unterschiedlicher Weise. Ein ganz ähnliches Problem gibt es bei der Diktator-Analogie (Detailldarstellung 4) von Gick und Holyoak (1980): Die Relation zwischen Strahlen und Tumor ist der Relation zwischen Armee und Diktator nur in der abstrakten Hinsicht des "Unschädlich-machens" ähnlich. Die Entdeckung einer Analogiebeziehung erfordert also in der Regel eine Abstraktion von den konkreten Beispielen (vgl. Winston, 1980): Analogien werden mit Hilfe schematischen Wissens entdeckt oder konstruiert. Was hierunter zu verstehen ist, wird in den beiden folgenden Abschnitten beschrieben.

Noch ein Problem kommt hinzu: Sowohl in der Diskussion des allgemeinen Modellbegriffs (Kapitel 2) als auch der Analogiebeziehung (vgl. 3.3) wurde herausgestellt, daß es sich in der Regel nur um eine partielle Überlappung von Relationen handelt. Das bedeutet, es gibt immer auch nicht übertragbare Relationen, in denen sich die dauerhafte Unterschiedlichkeit zwischen Basis- und Zielbereich manifestiert. In der Analogie zum Strahlenproblem wird dies besonders deutlich: Im Basisbereich besteht das Problem in der Vernichtung der Armee, wenn sie in ihrer Gesamtheit auf einer einzigen Straße marschiert. Im medizinischen Zielbereich werden jedoch nicht die Strahlen vernichtet, wenn sie konzentriert auf den Tumor gelenkt werden, sondern sie zerstören umgekehrt das zu durchdringende, gesunde Gewebe. Trotz dieses Unterschieds leidet die Analogie nicht, sie führt trotzdem zu einem Erkenntnisgewinn, der sich in einer erhöhten Lösungswahrscheinlichkeit des Zielproblems ausdrückt.

Dies ist ebenso erklärungsbedürftig wie das zuerst genannte Problem des Detailliertheitsgrades der Analogie. Beide Probleme führen zu einem weiteren Merkmal mentaler Modelle: ihrer Abhängigkeit von schematischem Wissen. Bevor diese Argumentation in Abschnitt 3.4.3 wieder aufgenommen wird, ist kurz zu beschreiben, was Schemata im psychologischen Verständnis sind und welche Bedeutung sie in der Kognitionspsychologie haben.

3.4.2 Schema als kognitionspsychologisches Konstrukt

"Schema" ist ein hypothetisches Konstrukt, mit dem die Organisation von Wissen im Gedächtnis beschrieben wird (Mandl, Friedrich & Hron, 1988). Die Einführung dieses Begriffs wird häufig Bartlett (1932) zugeschrieben (z. B. Aebli, 1980; Rumelhart, 1980), der selbst auf Head (1920) verweist. Doch auch schon in der "Theorie der Wissensaktualisierung" von Selz (1913, S. 89 ff.) findet der Schemabegriff Anwendung. Rumelhart und Ortony (1977) sehen den Ursprung noch früher im Kantschen Schema-

begriff. Ohne eine historische Betrachtung dieses Begriffs anstellen zu können (hierzu z. B. Thorndyke, 1984), sollen einige experimentelle Beobachtungen Bartletts die psychologische Bedeutung des Begriffs veranschaulichen.

Bartlett gab seinen Versuchspersonen eine Geschichte zu lesen (Detaildarstellung 5), deren Zusammenhänge nicht sofort offensichtlich sind. Stilmittel, die eine starke Textkohärenz erzeugen, wurden vermieden. Der Urtext ist ein nordamerikanisches Märchen, dessen Inhalt sich auf eine den Versuchspersonen wenig vertraute kulturelle und soziale Umgebung bezieht, z. T. metaphysische Elemente enthält. Nach 15 Minuten ließ Bartlett den Text zum erstenmal reproduzieren: Die Versuchspersonen sollten den Text so niederschreiben, wie sie ihn erinnerten. Auch nach mehreren Tagen und sogar Monaten sollten die Teilnehmer immer wieder ihre Erinnerung an den Text wiedergeben. Dabei war nicht so sehr von Interesse, wieviel die Personen von dem Text behielten, sondern, wie sich die Erinnerung an die Zusammenhänge mit zunehmender Anzahl von wiederholten Reproduktionen veränderte. Eines der wichtigsten Ergebnisse beschreibt Bartlett (1932, S. 93 f.) als "Rationalisierung". Damit ist die Tendenz gemeint, den Text in Richtung auf eine für den Leser nachvollziehbare Interpretation zu verändern: Zum einen wird Gedächtnismaterial auf eine Form reduziert, die sich in befriedigender Weise in das Wissen der Person einfügen läßt, also Inkonsistenzen innerhalb des Textes und Widersprüche zum Wissen des Lesers beseitigt. Auf der anderen Seite werden die Reproduktionen elaboriert d. h. es werden Sachverhalte ungewollt ergänzt, die im Original nicht enthalten waren. So werden erinnerte Details in einen Zusammenhang eingebunden, der ihnen Sinn verleiht. Solche Zusammenhang stiftenden Veränderungen sind zeitlich recht stabil: Nach ihrem ersten Auftreten leiteten sie viele nachfolgende Reproduktionen. Erinnern und Wiedergeben ist somit als ein konstruktiver Prozess im Gegensatz zu einer reinen Widerspiegelung des Wahrgenommenen zu kennzeichnen. Diese Rekonstruktion erfordert aber, daß das Gedächtnismaterial in strukturierter Form vorliegt, in Einheiten nämlich, die typische Zusammenhänge enthalten, entlang derer die Reproduktion aufgebaut werden kann. Diese Wissenseinheiten werden als Schemata bezeichnet.

In der theoretischen Perspektive der Kognitionspsychologie nehmen Schematheorien eine hervorragende Position ein. Aufgrund zahlreicher Experimente lassen sich folgende Merkmale von Gedächtnisschemata zusammenfassen (vgl. Norman & Bobrow, 1976; Anderson, 1977; Rumelhart & Ortony, 1977; Thorndyke & Hayes-Roth 1979; Rumelhart, 1980; Graesser, 1981; Thorndyke, 1984; Anderson, 1985; Mandl, Friedrich & Hron, 1988):

- Schemata sind Strukturen allgemeinen Wissens, die typische Zusammenhänge eines Realitätsbereichs enthalten. Sie unterscheiden sich damit von direkten Erinnerungen an konkrete Gegenstände, Ereignisse oder Personen. Schemata sind Abstraktionen der konkreten Erfahrung. Beispielsweise werden EDV-Benutzer ein Schema darüber besitzen, was ein Datenbank-Programm ist. Diese Vorstellung muß nicht an einem bestimmten Programm orientiert sein, sondern kann auf abstrakte Gemeinsamkeiten reduziert sein. Schemata müssen aber nicht, wie in diesem Beispiel auf Objekte begrenzt sein, sondern können sich ebenso auf Handlungsabläufe, Situationen oder Personen beziehen.

*Detaildarstellung 5***Die Rekonstruktion eines Textes aus der Erinnerung: Reduktion und Elaboration aufgrund von Gedächtnisschemata**

Bartlett (1932, S. 65) gab Versuchspersonen den folgenden Text zu lesen:

The War of the Ghosts

One nighth two young men from Egulac went down to the river to hunt seals and while they were there it became foggy and calm. Then they heard war-cries, and they thought: "Maybe this is a war-party". They escaped to the shore, and hid behind a log. Now canoes came up, and they heard the noise of paddles, and saw one canoe coming up to them. There were five men in the canoe, and they said: "What do you think? We wish to take you along. We are going up the river to make war on the people". One of the young men said: "I have no arrows". "Arrows are in the canoe", they said. "I will not go along. I might be killed. My relatives do not know where I have gone. But you", he said, turning to the other, "may go with them". So one of the young men went, but the other returned home. And the warriors went on up the river to a town on the other side of Kalama. The people came down to the water, and they began to fight, and many were killed. But presently the young man heard one of the warriors say: "Quick, let us go home: that Indian has been hit". Now he thought: "Oh, they are ghosts". He did not feel sick, but they said he had been shot. So the canoes went back to Egulac, and the young man went ashore to his house, and made a fire. And he told everybody and said: "Behold I accompanied the ghosts, and we went to fight. Many of our fellows were killed, and many of those who attacked us were killed. They said I was hit, and I did not feel sick". He told it all, and then he became quiet. When the sun rose he fell down. Something black came out of this mouth. His face became contorted. The people jumped up and cried. He was dead.

Nach mehreren Monaten schreibt eine Versuchsperson nieder, was sie von diesem Text behalten hat (Bartlett, 1932, S. 74):

The War of the Ghosts

Two youths went down to the river to hunt for seals. They were hiding behind a rock when a boat with some warriors in it came up to them. The warriors, however, said they were friends, and invited them to help them to fight an enemy over the river. The elder one said he could not go because his relations would be so anxious if he did not return home. So the younger one went with the warriors in the boat. In the evening he returned and told his friends that he had been fighting in a great battle, and that many were slain on both sides. After lighting a fire he retired to sleep. In the morning, when the sun rose, he fell ill, and his neighbours came to see him. He had told them that he had been wounded in the battle but had felt no pain then. But soon he became worse. He writhed and shrieked and fell to the ground dead. Something black came out of his mouth. The neighbours said he must have been at war with the ghosts.

- Schemata enthalten Leerstellen, die die Relationen zu bestimmten Kategorien angeben. Das Datenbank-Schema enthält z. B. Leerstellen wie "Daten" oder "Suchkriterien". Diese geben nur an, daß mit einem Datenbankprogramm Daten verwaltet werden können und daß in dieser Datenmenge gesucht werden kann. Welcher Art diese Daten sind, hängt vom konkreten Beispiel ab und wird je nach Situation ergänzt. Die Aktivierung eines Schemas und die damit verbundene Ausfüllung von Leerstellen durch spezifische Werte des Arbeitsgedächtnisses wird Instantiierung genannt. Die konkrete Ausfüllung der Leerstelle "Suchkriterien" hängt in diesem Beispiel erheblich von der Art der verwalteten Daten ab: Die Ausfüllung einer Leerstelle bestimmt also, welche konkreten Werte in einer anderen Leerstelle als sinnvoll akzeptiert werden. Genau diese Zusammenhänge, die sich als Einschränkungen von Instantiierungen äußern, stellen den Informationsgehalt des Schemas dar.

- Nicht immer liegen Informationen über die konkrete Ausfüllung aller Leerstellen vor. Ein Schema enthält jedoch Informationen über typische Merkmalsausprägungen, die gleichsam als Voreinstellungen wirken. So wird etwa ein Computerbenutzer, der mit einem ihm unbekanntem Datenbankprogramm konfrontiert wird, voraussetzen, daß mit diesem Daten verwaltet werden können. Sie oder er wird vermuten, daß diese Daten aus Namen und Zahlenwerten bestehen, weil dies in der Mehrzahl der Instanzen, aus denen das Schema hervorgegangen ist, der Fall war. Diese Voreinstellung bleibt wirksam, bis sie oder er erfährt, daß dieses bestimmte System Graphiken und Bilder verwaltet.

- Schemata werden auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen gebildet und sind hierarchisch verschachtelt. So kann der EDV-Benutzer durchaus ein allgemeineres Schema von Büroanwendungsprogrammen haben, dem sich das spezifischere Datenbank-Schema unterordnen läßt. Eine zunehmende Differenzierung und Unterscheidbarkeit von Schemata ist ein Kennzeichen wachsender Expertise in einer Wissensdomäne. Es gibt Hinweise darauf, daß allgemeine Schemata schwerer zu ändern sind als spezifische, weil die Anpassung eines hierarchisch höheren Schemas Wirkung auf alle untergeordneten hätte. Dies würde eine drastische Umorganisation von Wissensstrukturen erfordern (Anderson, 1977). Die Änderung eines hierarchisch niedrigeren Schemas dagegen bedingt nicht zwangsläufig eine Umstrukturierung der übergeordneten Wissensstrukturen.

- Schemata sind nicht statisch, sondern unterliegen selbst der ständigen Veränderung. Einerseits leiten Gedächtnisschemata die Wahrnehmung und Erinnerung, andererseits können neue Erfahrungen bewährte Schemata modifizieren. Piaget (1978) bezeichnet den ersten Prozeß (Gebrauch eines Schemas zur Interpretation neuer Reize) als Assimilation, den zweiten (Anpassung eines Schemas an neue Reize) als Akkomodation (vgl. auch Anderson, 1977). Wird z. B. ein EDV-Benutzer mit einem ihm unbekanntem Datenbankprogramm konfrontiert, wird schematisches Wissen über Programme dieser Art aktiviert. Dieses Wissen kann durchaus die Informationen übersteigen, die ihm tatsächlich mitgeteilt wurden: Auch wenn nicht explizit gesagt wurde, daß man mit diesem speziellen Programm Daten speichern, wiederauffinden und ordnen kann, wird der Benutzer dies aufgrund seines Datenbank-Schemas erwarten. Aufgrund dieser Erwartung können z. B. gezielt Fragen gestellt werden oder bestimmte Merkmale des Programms ausprobiert werden. Das bereits vorhandene schematische Wissen leitet dann

den Erwerb von Wissen. Die so gewonnenen Informationen wiederum bestätigen oder differenzieren das vorhandene Schema. Die Erkenntnis z. B., daß dieses spezielle Programm Bilder verwaltet anstelle (alpha-) numerischer Daten, kann zur Bildung eines untergeordneten Schemas führen, das eine weitere Differenzierung der möglichen Datentypen in einem Datenbanksystem berücksichtigt.

- Gedächtnisschemata beeinflussen die unterschiedlichsten kognitiven Leistungen. Sie lenken elementare Wahrnehmungsprozesse (Neisser, 1967), die Repräsentation visueller Wahrnehmungsinhalte (Minsky, 1975, "frame"), den Erwerb motorischer Fertigkeiten (Schmidt, 1975), das Verstehen von Ereignisabfolgen in sozialen Situationen (Schank & Abelson, 1977; Bower, Black & Turner, 1979, "script"). Diese breite Palette von theoretischen Ansätzen spiegelt sich in Rumelharts (1980, S. 31 f.), zwar kritischer, aber trotzdem positiver Einschätzung der Bedeutung des Schemabegriffs wider (vgl. auch kritische Stellungnahmen von Bower, Black & Turner, 1979; Alba & Hasher, 1983; Klix, 1984, S. 60 f.):

... schemata are *the building blocks of cognition*. They are the fundamental elements upon which all information processing depends. Schemata are employed in the process of interpreting sensory data ..., in retrieving information from memory, in organizing actions, in determining goals and subgoals, in allocating resources, and, generally, in guiding the flow of processing in the system. Clearly, any device capable of all these wondrous things must be powerful indeed. Moreover, ..., it is little wonder that a definitive explication of schemata does not yet exist and that skeptics view theories based on them with some suspicion. (Rumelhart, 1980, S. 31 f.)

3.4.3 Schemata und mentale Modelle

Doch nun zurück zu der in Abschnitt 3.4.1 aufgeworfenen Frage, in welchem Zusammenhang Schemata und die Analogiehaftigkeit mentaler Modelle stehen. Mit Hilfe des Schemabegriffs kann präzisiert werden, wann im Analogiefall Relationen vom Basisbereich in den Zielbereich übertragen werden: Diese werden dann übertragen, wenn ein Gedächtnisschema aktiviert werden kann, aus dem sowohl der Sachverhalt des Zielbereichs als auch der des Basisbereichs abgeleitet werden kann (Gick & Holyoak, 1983; Holyoak, 1984b). Beide Sachverhalte müssen also gültige Instantiierungen des gleichen Schemas sein. Kann dagegen kein gemeinsames Schema aktiviert werden, wird die Analogiebeziehung nicht entdeckt und die Bildung eines mentalen Modells, welches auf dieser Analogie aufbaut, verhindert (Manktelow & Jones, 1987).

Wird kein Schema aktiviert, kann dies zwei Ursachen haben: Entweder es existiert kein relevantes Gedächtnisschema, oder die Hinweisreize der Situation sind nicht geeignet, es zu aktivieren. Als Beispiel eignet sich wiederum das Dunckersche Strahlenproblem: Die Versuchspersonen, die das Strahlenproblem nach dem Lesen der Diktator-Geschichte lösten (Detaildarstellung 4), haben offenbar die Analogiebeziehung zwischen beiden Sachverhalten entdeckt. Diese Entdeckung war möglich, weil sie über ein abstraktes Schema des "Unschädlich-machens durch Angriff" verfügten, aus dem das Diktatorproblem, das Strahlenproblem und die Lösung des Diktatorproblems abgeleitet

werden kann. Auf der Grundlage dieses Schemas konnte eine mehr oder weniger anschauliche Vorstellung entwickelt werden, in der (unter Verwendung der Relationen aus der Diktator-Problem-Lösung) eine verteilte Anwendung der Strahlen zur Zerstörung des Tumors führt. Dies ist das mentale Modell der Strahlenproblem-Lösung. In einigen Fällen konnte ein solches Modell jedoch nicht aufgebaut werden. Die Ursache könnte darin bestehen, daß diese Personen über kein Schema des "Unschädlich-machens durch Angriff" verfügten. So hätte die Analogiebeziehung zwischen beiden Geschichten nicht entdeckt werden können, die Lösung des Diktator-Problems wäre nicht auf das Strahlenproblem anwendbar gewesen. Im vorliegenden Beispiel ist dies jedoch wohl recht unwahrscheinlich, denn der Hinweis seitens des Versuchsleiters, daß diese Geschichte eine Lösungshilfe enthielt, ließ die Lösungsrate ja drastisch steigen. So ist es wahrscheinlicher, daß das erforderliche Schema zwar existierte, aber aufgrund der äußeren Unähnlichkeit beider Geschichten ohne expliziten Hinweis nur mit geringer Wahrscheinlichkeit aktiviert wurde. Deshalb konnte kein adäquates mentales Modell der Strahlenlösung konstruiert werden.

Die Verallgemeinerung des obigen Beispiels führt zu einem weiteren Merkmal mentaler Modelle: Da mentale Modelle auf Analogiebeziehungen aufbauen, müssen sie auf der Grundlage schematischen Wissens konstruiert werden (Marks, 1990). Das bedeutet jedoch nicht, daß mentale Modelle selbst schematisch sind (jedoch Brewer, 1987). Anderson (1977, S. 423) beschreibt diesen Sachverhalt so: "abstract schemata program individuals to generate concrete scenarios". Anders ausgedrückt: Mentale Modelle werden auf der Grundlage schematischen Wissens konstruiert, sind selbst jedoch konkrete Instantiierungen eines oder mehrerer Schemata (vgl. Weidenmann, 1988; Dörr, Seel & Strittmatter, 1986; Jagacinski & Miller, 1978).

3.5 Mentale Modelle und die Inhaltsgebundenheit schlußfolgernden Denkens

3.5.1 Struktur vs. Inhalt

Schlußfolgerndes Denken wurde in der Geschichte kognitiver Psychologie in unterschiedlicher Weise behandelt. Vereinfacht betrachtet, vertrat eine Tradition das Primat der Struktur: Die Eigenschaften der logischen Struktur einer Aufgabe determinieren die Denkprozesse, die zu ihrer Lösung erforderlich sind. Die *Denkinhalte* sind dabei von sekundärer Bedeutung, die Prozesse sind unabhängig von den Inhalten analysierbar. Die strukturorientierte Analyse menschlichen Denkens ist häufig mit einer normativen Betrachtungsweise verbunden. Die Versuchung, die formale Analyse von Problemen zum Maßstab menschlichen Denkens und Urteilens zu machen, wächst mit der (vermeintlichen) Formalisierbarkeit der kognitiven Anforderungen. So mag es naheliegen, z. B. aufgrund einer formal-logischen Analyse zu bestimmen, welche Lösungen eines Problems "richtig" sind und die Analyse menschlichen Denkens auf die Registrierung von Abweichungen von diesem Standard zu reduzieren (Gigerenzer, 1991a). Dabei wird jedoch häufig nicht beachtet, daß dieser Standard selbst umstritten oder mehrdeutig sein kann (vgl. Gigerenzer & Murray, 1987). Noch problematischer ist jedoch, daß die Analyse menschlicher Abweichungen von formalen Standards noch keine Erklärung der Denkprozesse darstellt, häufig an einer solchen sogar vorbeiführt (Gigerenzer, 1991a,b).

Mentale Modelle als theoretische Konstrukte hätten in einer solchen Sichtweise kaum ihren Platz. Sind sie doch im vorangegangenen Abschnitt als Instantiierungen von Gedächtnisschemata charakterisiert worden, also als Repräsentationen konkreter Vorstellungsinhalte - eine Position, die mit einer strengen strukturorientierten Betrachtungsweise nicht vereinbar ist.

Dieser strukturorientierten, normativen Sichtweise wurden Ansätze gegenübergestellt, die Denkprozesse auf der Grundlage konkreter Denkinhalte analysieren (z. B. Gigerenzer, Kleinböling & Hoffrage, 1991). In diesem Zusammenhang wird betont, daß die Prozesse schlußfolgernden Denkens nicht unabhängig vom individuellen, bereichsspezifischen Wissen analysiert werden können. Das mentale Modell ist in diesem Ansatz das zentrale theoretische Konstrukt.

Mit der Schilderung einiger Experimente aus den Bereichen des logischen Schließens und des Urteilens unter Unsicherheit soll nun die struktur- und die inhaltsorientierte Argumentation veranschaulicht werden. Im Mittelpunkt steht dabei die Eigenschaft mentaler Modelle, Alltagswissen in die Lösung von Problemen des logischen Schließens und des Urteilens mit einzubeziehen.

3.5.2 Inhaltsgebundenes logisches Schließen mit Hilfe mentaler Modelle

Die Analyse logischen Schließens scheint zunächst nichts mit der Spezifität von Denkinhalten zu tun zu haben, gibt es doch formal-logische Regeln, deren konsequente Anwendung fast immer zu validen Schlüssen führt: Die Bedingungsaussage "wenn A, dann B" führt bei der Prämisse "gegeben sei A" zur Konsequenz "B", ohne daß die Frage, wen oder was A und B repräsentieren, von Bedeutung wäre. Die Validität der Aussage liegt allein in ihrer Struktur begründet und ist unabhängig von den Inhalten. Daraus allerdings abzuleiten, daß logische Formalismen gleichzeitig eine Theorie menschlichen logischen Denkens darstellen, führt z. B. nach Johnson-Laird (1983) oder Manktelow und Jones (1987) zu einer Fehlkonzeption. Gegen die Annahme einer solchen "mental-logik" (Johnson-Laird, 1983, Kapitel 2) wird zunächst angeführt, daß menschliches Denken eine Vielzahl probabilistischer und hypothetischer Aussagen, wie z. B. die folgende, berücksichtigt: "Wenn A geschehen wäre, hätte auch B eintreten können. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist B eingetreten" (Manktelow & Jones, 1987, S. 85, freie Übersetzung des Autors). Solche Aussagen können bestenfalls mit Hilfe unscharfer Quantoren formalisiert werden, die jedoch gerade erst Eingang in die experimentelle Psychologie finden (vgl. z. B. Spieß, 1989). Ein anderes Problem sehen Manktelow und Jones in der Tatsache, daß es unterschiedliche Wege gibt, zu logisch validen Aussagen zu gelangen. Das Ableiten einer korrekten Folgerung ist also keine hinreichende Bedingung dafür, daß die Ableitung tatsächlich formal-logischen Regeln folgte (vgl. Johnson-Laird, 1983, Kapitel 6).

Neben diesen theoretischen Argumenten gibt es jedoch auch empirisch begründete Bedenken. Eines der wichtigsten ist der Nachweis, daß die Lösungswahrscheinlichkeit logischer Probleme auch von inhaltlichen Aspekten der Aufgabe abhängt. Diese Befunde gehen maßgeblich auf Arbeiten von Wason (z. B. 1968) zurück. Wason entwick-

kelte eine Selektionsaufgabe, die trotz unterschiedlicher semantischer Einkleidungen immer die gleiche logische Struktur hatte. In ihrer abstrakten Formulierung erhielten die Versuchspersonen vier Karten vorgelegt, die auf der einen Seite einen Buchstaben, auf der anderen Seite eine Ziffer trugen. Zu sehen waren jeweils ein Vokal, ein Konsonant, eine gerade und eine ungerade Zahl. Dazu erhielten sie eine Regel, deren Gültigkeit überprüft werden sollte:

Wenn auf der einen Seite ein Vokal steht, befindet sich auf der Rückseite eine gerade Zahl.

Die Versuchspersonen sollten angeben, welche Karte man umdrehen muß, um zu prüfen, ob die Regel verletzt ist oder nicht. Bei einer thematisch eingebetteten Version des gleichen Problems, wurden die Versuchspersonen gebeten, sich vorzustellen, sie arbeiteten an einer Kasse eines Kaufhauses. Dabei sei folgende Regel zu beachten:

Wenn der Rechnungsbetrag mehr als 20 Pfund beträgt, muß die Rechnung auf der Rückseite vom Manager unterschrieben sein.

Gleichzeitig wurden vier Rechnungen vorgelegt und die Versuchsperson sollte entscheiden, welche Rechnung umgedreht werden muß, um eine Regelverletzung feststellen zu können. Zu sehen waren folgende Rechnungen: 30 Pfund, 10 Pfund, eine unterschriebene und eine nicht unterschriebene Rechnung. Die korrekten Lösungen (vgl. Detaildarstellung 6) treten häufiger bei der thematischen Version auf als bei der abstrakten, obwohl die logische Struktur beider Aufgaben identisch ist (z. B. Griggs, 1983).

Zur Erklärung dieser Befunde sind zwei Hypothesen bekannt geworden, die im folgenden kurz die "Einsichts-" und die "Gedächtnishypothese" genannt werden. Nach der ersten Hypothese erhöht der realistische Kontext der Aufgabe die Einsicht in die Struktur der Regel (vgl. Johnson-Laird & Wason, 1977). Insbesondere betone ein realistischer Kontext, daß es sich um jeweils ein Objekt (Rechnung) handelt, deren zwei verschiedene Seiten beliebig sichtbar gemacht werden können. Dies unterstütze die Vorstellung, daß eine Rechnung mehrmals umgedreht werden kann. Die Einsicht in die Reversibilität der jeweils aufgedeckten Kartenkonfiguration könne dazu beitragen, daß die Wenn- und die Dann-Komponenten nicht beliebig vertauscht werden können. Diese Erkenntnis würde die Wahrscheinlichkeit dafür senken, daß eine Rechnung umgedreht wird, über deren ursprünglich aufgedecktes Erscheinungsbild die Wenn-Komponente gar keine Aussage macht. Dies ist einer der typischen Fehler, den Versuchspersonen bei der abstrakten Aufgabenversion häufig begehen. Nach Manktelow und Jones (1987) muß jedoch nicht unbedingt die Einsicht in die logische Struktur erhöht sein, um zu einer richtigen Lösung zu gelangen. Diese könnte sich auch aus der Bedeutung der vorgestellten Situation ergeben. So könnte man sich etwa vorstellen, daß die zusätzliche Unterzeichnung höherer Rechnungen zur Vermeidung von Abrechnungsmanipulationen dient. Aus dem Verstehen des Zwecks können nun die richtigen Maßnahmen abgeleitet werden, die allein aus der abstrakten, logischen Struktur der Regel nur schwer zu erkennen gewesen wären. In diesem Falle würde man eher von einer "Einsicht in die Bedeutung der Situation" sprechen.

*Detaildarstellung 6***Schlußfolgern in einem abstrakten oder thematisch eingekleideten Problem**

Die Erforschung der Inhaltsabhängigkeit logischen Denkens wurde maßgeblich durch eine Selektionsaufgabe bestimmt, die P. C. Wason entwickelte. Diese Aufgabe konnte thematisch unterschiedlich eingekleidet werden, ohne daß sich die logische Struktur des Problems veränderte. Ein Beispiel: In einer abstrakten Form der Aufgabe wurden den Versuchspersonen vier Karten gezeigt, die auf einem Tisch lagen (vgl. Johnson-Laird & Wason, 1977):



Jede Karte trägt auch auf der Rückseite eine Zahl oder einen Buchstaben, und zwar nach folgender Regel:

Wenn auf der Vorderseite ein Vokal steht, dann befindet sich auf der Rückseite eine gerade Zahl.

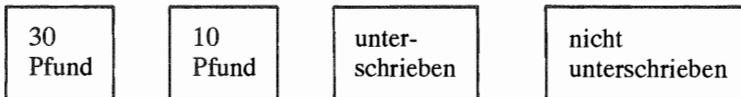
Die Versuchsperson soll angeben, welche Karte(n) sie umdrehen muß, um zu überprüfen, ob die Regel verletzt wird oder nicht.

Nach Manktelow und Jones (1987) besteht das typische Ergebnis darin, daß die A-Karte entweder allein oder zusammen mit der 4-Karte umgedreht wird.

In einer thematisch eingebetteten Form der Aufgabe sollten sich die Versuchspersonen vorstellen, sie arbeiteten an der Kasse eines Warenhauses und hätten folgende Regel zu beachten:

Wenn eine Rechnung einen Betrag von mehr als 20 Pfund ausweist, dann muß sie auf der Rückseite die Unterschrift des Managers tragen.

Den Versuchspersonen wurden folgende Rechnungen vorgelegt:



Nach Manktelow und Jones (1987) besteht das typische Ergebnis darin, daß die 30-Pfund-Rechnung zusammen mit der nicht unterschriebenen Rechnung umgedreht wird.

Die Lösung des thematischen Problems ist logisch valide, die des abstrakten nur teilweise: Das Umdrehen der A-Karte (30 Pfund) ist erforderlich, da dies Gegenstand des Bedingungsteils der Regel ist. Diese könnten auf der Rückseite eine gerade Zahl (Unterschrift) tragen oder eine ungerade (keine Unterschrift). Ein Regelverstoß ist also möglich, deshalb muß diese Karte umgedreht werden. Ein zweiter Regelverstoß läge dann vor, wenn die 7-Karte (nicht unterschriebene Rechnung) auf der Vorder-

seite einen Vokal trüge (höher als 20 Pfund wäre). Deshalb muß diese Karte umgedreht werden, was in der abstrakten Version selten der Fall ist. Die 4-Karte (unterschriebene Rechnung) umzudrehen, ist dagegen sinnlos, da die Regel nichts darüber aussagt, ob Karten mit gerader Zahl (unterschrieben) auf der Vorderseite einen Vokal tragen müssen (höher als 20 Pfund sein müssen). In der thematischen Version wird leichter erkannt, daß eine unterschriebene Rechnung mit einem Betrag unter 20 Pfund kein Regelverstoß ist und deshalb die unterschriebene Rechnung nicht umgedreht werden muß.

Die "Gedächtnishypothese" (vgl. Griggs & Cox, 1982) entstand auf der Grundlage von Experimenten, die zeigten, daß der erleichternde Effekt eines thematischen Kontextes nicht immer eintrat (vgl. Manktelow & Evans, 1979). Die Gedächtnishypothese besagt, daß die Aufgabenlösung in besonders gut bekannten Zusammenhängen nicht in einem Schlußfolgerungsprozeß abgeleitet wird, sondern aus dem Gedächtnis abgerufen wird. Ein eindrucksvolles Beispiel stellt die Untersuchung von Golding (zitiert nach Manktelow & Jones, 1987, S. 92) dar: In einer Replikation der Studie von Johnson-Laird, Legrenzi und Legrenzi (1972) sollten Versuchspersonen nach dem Muster der ursprünglichen Wason-Aufgabe "Briefe sortieren". Die Regel lautete: "Wenn ein Brief versiegelt ist, trägt er auf der anderen Seite eine 5-Pence-Briefmarke" - eine Regelung, die es in Großbritannien tatsächlich gab. Eine Gruppe von Versuchspersonen war älter als 45 Jahre, so daß sie diese Regelung selbst erlebt hatten und sich an diese erinnern konnten. Die jüngeren Versuchspersonen, die dieses nicht mehr erlebt hatten, profitierten von dieser thematischen Einkleidung weit weniger und zeigten schlechtere Leistungen als die älteren Personen. In einer Vergleichsstudie in den USA, wo es eine solche Regelung niemals gab, wurde gar kein Erleichterungseffekt gefunden (Griggs & Cox, 1982).

Nun ergibt sich für die Gedächtnishypothese aber ein theoretisches Problem: In den meisten Versuchen dieser Art kann nicht davon ausgegangen werden, daß alle Versuchspersonen direkte Erfahrungen mit den erforderlichen Probleminhalten hatten. Eine unmittelbare Erinnerung der Lösungen erscheint daher unwahrscheinlich. Manktelow und Jones (1987, S. 92) führen in diesem Zusammenhang wieder den Begriff des Gedächtnisschemas in die Diskussion ein: Aus einem abstrakteren Schema läßt sich eine spezifische, vorgestellte Situation ableiten, die den geeigneten Kontext zur Lösung des jeweiligen Problems darstellt, ohne daß exakt diese spezifische episodische Erinnerung vorliegen muß.

Diese anhand der Aufgabenstellung aus dem Gedächtnis konstruierte, vorgestellte Situation kann als mentales Modell des Schlußfolgerungsproblems aufgefaßt werden (vgl. Johnson-Laird, 1983; Manktelow & Jones, 1987; Ziegler, 1990). Der Prozeß des Schlußfolgerns besteht aus der Transformation der Vorstellungsinhalte, seltener aus der strikten Anwendung logischer Ableitungsregeln. Rips (1986, S. 263) faßt die Beziehungen zwischen mentalen Modellen und Inhaltseffekten so zusammen: "Thus, mental models handle content effects by building the content into the reasoning process itself. Content influences reasoning because reasoning is accomplished by transforming (domain-specific) content".

Diese Argumentation stützt aus empirischer Sicht die im vorangegangenen Abschnitt (3.4) vertretene Position, daß mentale Modelle konkrete Instantiierungen von Gedächtnisschemata sind. Diese Instantiierungen sind notwendigerweise exemplarische Konkretisierungen abstrakter Zusammenhänge - genau die Art von konkreten Problemrepräsentationen, deren förderlicher Effekt auf die Schlußfolgerungsleistung im vorliegenden Abschnitt diskutiert wurde. Der thematische Kontext einer Schlußfolgerungsaufgabe aktiviert somit (sofern vorhanden) ein passendes Gedächtnisschema, aus dem ein inhaltlich spezifiziertes (vgl. Wickens, 1984, S. 473 ff.) mentales Modell der Problemsituation abgeleitet wird. Die Bedeutungszusammenhänge dieses Modells bestimmen, bzw. erleichtern die Ableitung einer Lösung (Ziegler, 1990).

3.5.3 Urteilen unter Unsicherheit mit probabilistischen mentalen Modellen

"Urteilen unter Unsicherheit" ist eine alltägliche Anforderung an die menschliche Informationsverarbeitung. Gemeint sind Situationen, in denen eine Entscheidung getroffen werden muß, obwohl nicht alle Informationen vorliegen, die für eine sichere Entscheidung erforderlich wären. Statt dessen muß der Entscheider auf Häufigkeits- bzw. Wahrscheinlichkeitsschätzungen zurückgreifen. Dies unterscheidet die vorliegenden Probleme von den Aufgaben logischen Schließens, von denen im vorigen Abschnitt die Rede war. Ebenso wie beim logischen Schließen deutet sich jedoch auch hier der Übergang von einer rein formalen und normativen Betrachtungsweise zu einer Konzeption an, die stärker Denkinhalte und aufgabenspezifisches Wissen in den Mittelpunkt stellt. Als solche alternativen theoretischen Konzepte werden auch hier mentale Modelle zur Erklärung kognitiver Leistungen vorgeschlagen.

An vielen unterschiedlichen Beispielen (z. B. Tversky & Kahneman, 1974) konnte gezeigt werden, daß Urteile unter unsicheren Bedingungen nach formalen Maßstäben häufig nicht korrekt sind und bestimmten Verzerrungen unterliegen. Wie können solche, replizierbaren und stabilen Fehlleistungen erklärt werden? Nisbett und Ross (1980) sind der Ansicht, daß Menschen beim Urteilen nicht den Regeln der Logik, schon gar nicht optimalen Entscheidungsalgorithmen folgen. Im Gegenteil: menschliches Urteilen sei, besonders im sozialen Bereich, eher durch einen überhöhten Gebrauch "primitiverer intuitiver Strategien" gekennzeichnet als durch die Anwendung "normativ angemessener Strategien" (Nisbett & Ross, 1980, S. 3). Für diese intuitiven Strategien hat sich der Begriff "Heuristik" durchgesetzt (Tversky & Kahneman, 1974; Kahneman, Slovic & Tversky, 1982). Der Einsatz dieser Heuristiken führt zu charakteristischen Urteilsverzerrungen.

Eine solche Urteilsverzerrung ist der sogenannte "overconfidence bias" (Nisbett & Ross, 1980, S. 119 f.). Hiermit wird die Tendenz bezeichnet, ein stärkeres Vertrauen auf die Richtigkeit eigenen Wissens zu äußern als durch die objektive Richtigkeit der Urteile gerechtfertigt wäre. Experimentell wird dies z. B. so nachgewiesen (vgl. Gigerenzer, 1991b, S. 87, Übersetzung des Autors): Versuchspersonen werden gebeten, zwischen zwei Alternativen zu entscheiden.

Welche Stadt hat mehr Einwohner?

- (a) Hyderabad
- (b) Islamabad

Zusätzlich wird jedoch gefragt, wie sicher sich die Person ist, daß ihre Antwort richtig ist. Hierzu werden meistens Antwortkategorien (beispielsweise 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%) vorgegeben. Nachdem die Person eine Vielzahl solcher Fragen beantwortet hat, wird ausgezählt, wieviele tatsächlich richtige Antworten sich in den einzelnen Kategorien der Urteilssicherheit befinden (vgl. Lichtenstein, Fischhoff & Phillips, 1982). Typischerweise findet man, daß in diesen Kategorien immer weniger Fragen tatsächlich richtig beantwortet werden als die Schätzungen der Versuchsperson vermuten lassen. Zum Beispiel werden nur etwa 70%-80% der Antworten richtig sein, bei denen die Versuchsperson eine 90%ige Sicherheit angegeben hat.

Warum es jedoch zu einem Overconfidence-Effekt kommt, ist umstritten. Koriat, Lichtenstein und Fischhoff (1980) versuchen zu belegen, daß es sich hierbei um eine "Bestätigungstendenz" handelt, also um den Versuch, eine bereits getroffene Entscheidung nachträglich zu bestärken. Diese "Erklärung" ersetzt jedoch nur die Wirkung eines "bias" durch die Wirkung eines anderen, der wiederum erklärungsbedürftig wäre. Zum anderen wird die normative Sichtweise des Problems kritisiert: Besonders Gigerenzer (1991a,b) wendet sich gegen die Auffassung, daß es sich bei diesen Effekten um "Fehleinschätzungen" handle. Sie stellen keine Verstöße gegen die Wahrscheinlichkeitstheorie dar, sondern seien eher Ausdruck einer allzu undifferenzierten Wahrscheinlichkeitstheoretischen Sichtweise der Autoren. Gigerenzers Argumentation stützt sich vor allem auf die Unterscheidung von singulären Ereignissen und Häufigkeiten. Die beschriebenen Aufgaben verlangen die Beurteilung eines Einzelfalles (Einschätzung, ob die gerade gegebene Antwort korrekt ist). Die dominierende ("frequentistische") Schule der Wahrscheinlichkeitstheorie gehe jedoch von der Häufigkeit von Ereignissen aus (Gigerenzer, 1991b). "Wahrscheinlichkeiten" können nur auf der Grundlage von Häufigkeiten geschätzt werden. Diese werden aber im vorliegenden Fall gar nicht erfragt. So gesehen, wendet man also die Regeln einer unangemessenen Wahrscheinlichkeitstheoretischen Konzeption als Norm für Denkleistungen an. Abweichungen von denselben können somit nicht als "Fehler" bezeichnet werden (Gigerenzer, 1991b, S. 86 ff.).

Gigerenzer leitet daraus folgende Hypothese ab: Wenn man Versuchspersonen nicht um die Einschätzung der Richtigkeit einer einzelnen Antwort bittet, sondern um die Schätzung relativer Häufigkeiten, müßten diese Urteils-"fehler" verschwinden. Der empirische Nachweis wird von Gigerenzer, Kleinbölting und Hoffrage (1991) angetreten: Sie legten Versuchspersonen u. a. 300 Fragen über die Einwohnerzahl von Städten vor (Gigerenzer et al., 1991, S. 513, Übersetzung des Autors), z. B:

Welche Stadt hat mehr Einwohner?

- (a) Solingen
- (b) Heidelberg

Nach jeder Frage sollte die Urteilssicherheit mit Hilfe von sieben Kategorien (von 50% bis 100%) eingeschätzt werden. Zusätzlich wurden nun jedoch auch zwei explizite Häufigkeitsschätzungen verlangt. Zum einen wurden die Versuchsteilnehmer nach je-

weils 50 Aufgaben gefragt, wieviele der letzten 50 Fragen sie vermutlich richtig beantwortet hätten. Zum zweiten erhielten die Teilnehmer nach der Beantwortung aller Fragen noch einmal eine Vorlage mit den Antwortkategorien für die Urteilssicherheit. Mit Hilfe dieser sollten sie schätzen, wieviele der Antworten, die sie in die einzelnen Kategorien eingeordnet hatten, tatsächlich richtig gewesen seien.

Die Auswertung der Urteilssicherheiten ergab den bereits bekannten Overconfidence-Effekt. Die Schätzungen der relativen Häufigkeiten hingegen erwiesen sich als erstaunlich akkurat: Über die Gesamtgruppe gemittelt, fanden Gigerenzer et al. (1991, S. 514) eine Differenz zwischen Häufigkeitsschätzung und tatsächlicher Anzahl richtiger Antworten von nur 1,2. Die Schätzung wich vom tatsächlichen Wert also nur um etwa eine von 50 Antworten ab.

Dieser Unterschied ist nun erklärungsbedürftig: Warum überschätzen die Versuchspersonen einerseits die Richtigkeit einer einzelnen Antwort, und warum schätzen sie andererseits die relative Häufigkeit richtiger Antworten über eine Vielzahl von Fragen hinweg sehr realistisch ein? Im Rahmen des Heuristiken-Ansatzes kann dieser Unterschied - Gigerenzer et al. (1991, S. 511) führen hierfür den Begriff "Confidence-Frequency-Effekt" ein - jedenfalls nicht erklärt werden.

Die Theorie Gigerenzers und seiner Mitarbeiter sieht zwei mögliche Strategien vor, die sich in der Entwicklung zweier unterschiedlicher mentaler Modelle äußern: Zunächst wird die Person versuchen, ein sogenanntes *lokales mentales Modell* zu entwickeln, das einen direkten Abruf des zur Entscheidung erforderlichen Wissens ermöglichen soll. Die Entscheidung beruht in diesem Falle auf dem Abruf von Wissen aus dem Gedächtnis und elementaren logischen Operationen. Zum Beispiel könnte man im Vergleich der Einwohnerzahlen zweier Städte zumindest Größenordnungen erinnern, die klar voneinander unterscheidbar sind. Mit Hilfe dieses Wissens kann eine rasche und sichere Entscheidung getroffen werden. Ein solches lokales mentales Modell hat nach Gigerenzer et al. (1991) folgende Eigenschaften:

- Ein lokales mentales Modell ist in dem Sinne lokal begrenzt, als es sich ausschließlich auf die zur Entscheidung stehenden Alternativen bezieht.
- Es ist als direkt zu bezeichnen, da es sich allein auf die Zielvariable (hier: Einwohnerzahl) bezieht und keine weiteren Hinweise probabilistischer Art berücksichtigt.
- Es treten keine Schlußfolgerungen außer elementaren logischen Operationen, wie z. B. der Ausschlußmethode auf ("Wenn eine von zwei Alternativen nicht zutreffen kann, wähle die andere").
- Können entsprechende Informationen aus dem Gedächtnis abgerufen werden, wird die Entscheidung als sicher bewertet.

Ist es hingegen nicht möglich, die erforderlichen Informationen direkt abzurufen, wird Gigerenzers Theorie nach ein *probabilistisches mentales Modell* gebildet. Dieses stellt die Aufgabe in einen breiteren Zusammenhang und bezieht Wahrscheinlichkeitsstrukturen der "natürlichen Umwelt" (Gigerenzer et al., 1991, S. 507 f.) mit ein, die als Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit der einen oder anderen Alternative dienen. Im Falle der Städtefragen könnte etwa Wissen aktiviert werden, das im Zusammenhang mit beiden Städten verfügbar ist und aus dem auf das Verhältnis der Einwohnerzahlen ge-

geschlossen werden kann. Im einzelnen unterscheidet sich ein probabilistisches mentales Modell von einem lokalen in allen vier oben genannten Aspekten:

- Ein probabilistisches mentales Modell ist nicht auf die vorgegebenen Alternativen begrenzt (nicht lokal), sondern bezieht Wissen über die Umwelt mit ein, das über die Aufgabenstellung hinausgeht und im Langzeitgedächtnis gespeichert ist. Aus diesem Wissen wird eine Referenzklasse der Objekte oder Ereignisse gebildet, über die geurteilt werden soll.
- Es ist nicht direkt, weil es neben der Zielvariable ein Geflecht von weiteren Variablen einbezieht, das in Wahrscheinlichkeitsbeziehungen mit der Zielvariablen steht.
- Im Gegensatz zum lokalen mentalen Modell erfordert das probabilistische Modell Schlußfolgerungsprozesse auch komplexerer Art.
- Das Urteil im Rahmen eines solchen Modells ist durch Unsicherheit variierenden Ausmaßes gekennzeichnet.

Die Bildung einer Referenzklasse dient der Bestimmung von Wahrscheinlichkeitshinweisen. Im vorliegenden Beispiel könnte die Referenzklasse z. B. "alle Städte Westdeutschlands" heißen. Aus diesem Wissen können nun Merkmale extrahiert werden, deren Ausprägung für beide Alternativen bekannt ist und die Unterschiede in den Einwohnerzahlen nahelegen. Gigerenzer et al. (1991) nennen einige Beispiele: Die Wahrscheinlichkeit, daß es in einer Stadt eine Fußball-Bundesliga-Mannschaft gibt, ist bei größeren Städten höher als bei kleineren. Würde nun eine der beiden Alternativen eine Stadt sein, die über eine Bundesliga-Mannschaft verfügt, während die andere dies nicht tut, könnte das ein Hinweis darauf sein, welche von beiden die höhere Einwohnerzahl hat. Die Validität dieses Hinweises ist objektiv bestimmbar: So könnte man z. B. alle Städtepaare, bei denen eine Stadt eine Mannschaft in der Bundesliga hat und die andere nicht, daraufhin überprüfen, wie oft die erstere auch die größere ist³. Inwieweit diese "ökologische Validität" (Gigerenzer et al., 1991) auch subjektiv repräsentiert ist, hängt vom individuellen Wissen der Person ab. Im vorliegenden Fall (Heidelberg-Solingen) ist dieser Hinweis natürlich trotz seiner hohen Validität irrelevant, da beide Alternativen die gleiche Merkmalsausprägung (kein Bundesliga-Verein) haben. In einem solchen Falle wird die Suche nach einem anderen Wahrscheinlichkeitshinweis fortgesetzt. Im Idealfall (bei differenziertem Wissen über die Referenzklasse) werden die Wahrscheinlichkeitshinweise in der Reihenfolge ihrer Validität auf Anwendbarkeit überprüft. Insbesondere unter Entscheidungsdruck wird die Suche möglicherweise schon nach dem Auffinden des ersten, zwischen den Alternativen differenzierenden Hinweises beendet. Die potentiellen Wahrscheinlichkeitshinweise sind also innerhalb einer Referenzklasse nicht konstant, sondern können einander, je nach Aufgabenstellung, gegenseitig ersetzen.

Aus der Theorie probabilistischer mentaler Modelle kann nun der "Confidence-Frequency-Effekt" erklärt werden: Nach Gigerenzer et al. (1991) wird nämlich im Falle der Häufigkeitsschätzung ein anderes mentales Modell gebildet als bei der Schätzung der Urteilssicherheit über ein einzelnes Ereignis: Bei der Frage "Wieviele der letzten 50 Fragen haben Sie vermutlich korrekt beantwortet" (Häufigkeitsschätzung) wird ein pro-

³ Gigerenzer und Mitarbeiter haben dies für Städte von mehr als 100.000 Einwohnern getan und berechnet eine ökologische Validität des "Bundesliga-cues" von .91. Dies bedeutet, daß in 91% der Städtepaare, bei denen eine Stadt einen Bundesliga-Verein hat und die andere nicht, die erstere auch die höhere Einwohnerzahl hat.

babilistisches mentales Modell gebildet, dessen Referenzklasse eine Serie vergleichbarer Fragen in einer ähnlichen Prüfungssituation ist. Die Zielvariable ist die Anzahl korrekter Antworten, die Wahrscheinlichkeitshinweise können beispielsweise Erfahrungen über die eigene Leistungsfähigkeit in Wissenstests dieser Art sein. Wird hingegen gefragt: "Wie sicher sind Sie sich, daß die gerade gegebene Antwort richtig ist?" (Urteilsicherheit im Einzelfall), ist die Referenzklasse die Menge westdeutscher Städte und die Zielvariable die Einwohnerzahl. Die Wahrscheinlichkeitshinweise werden aus dem Wissen über westdeutsche Städte generiert und nicht aus Wissen über die eigene Leistungsfähigkeit.

Die Theorie probabilistischer mentaler Modelle sagt also aus, daß beide Typen von Urteilen strukturell auf die gleiche Weise abgeleitet werden, jedoch auf der Grundlage unterschiedlichen Wissens. Die Einbeziehung unterschiedlicher Gedächtnisinhalte (Referenzklasse, Zielvariable und Wahrscheinlichkeitshinweise) erklärt, warum Häufigkeitsschätzungen und Urteilsicherheit für Einzelentscheidungen divergieren können, warum also ein Confidence-Frequency-Effekt auftreten kann.

Somit schließt unsere Argumentation wieder an den Ausgangspunkt dieses Abschnitts an: Es wurde für einen weiteren Bereich menschlichen Denkens gezeigt, daß eine Theorie mentaler Modelle kognitive Leistungen dadurch zu erklären vermag, daß sie konkrete Denkinhalte bestimmt und das Alltagswissen als Erklärungskomponente mit einbezieht. Mentale Modelle sind auch im Bereich des Urteilens unter Unsicherheit als kognitive Konstruktionen zu kennzeichnen, die ein Problem mit Hilfe des Alltagswissen zu einer anschaulichen Vorstellung anreichern. Diese über die spezifische Aufgabenstellung hinaus angereicherte Vorstellung ermöglicht die Ableitung einer Lösung, ohne daß diese zwangsläufig mit normativen Kriterien des Schlußfolgerns verträglich sein muß. Noch weniger muß gefordert werden, daß der Lösungsprozeß selbst solchen normativen Kriterien folgt.

3.6 "Experimentieren vor dem geistigen Auge": Zur Simulationsfähigkeit mentaler Modelle

3.6.1 Aufbau mentaler Modelle als kognitive Simulation der Außenwelt

Mentale Modelle sind nicht statisch, sondern prozeßhaft. Dies äußert sich primär in ihrer Eigenschaft zur Simulation von Vorgängen der Außenwelt (Weidenmann, 1988; Volpert, 1980; Seel, 1986; Opwis, 1987; Marks, 1990). De Kleer und Brown (1983) verwenden hierfür den Begriff der "qualitativen Simulation" (S. 155). Als "qualitativ" wird diese Form der Simulation bezeichnet, um sie von quantitativen (mathematischen) Simulationen abzugrenzen (Brown & Burton, 1975). Es wird gerade angenommen, daß keine exakte mentale "Verrechnung" kontinuierlicher Größen vorgenommen wird. Alltagssprachlich kommt dem die "Betrachtung vor dem geistigen Auge" (De Kleer & Brown, 1983, S. 155, Übersetzung des Autors) nahe. Stevens und Collins (1980) betonen in diesem Zusammenhang den dynamischen Aspekt der kognitiven Simulation:

Simulation models ... make it possible to represent certain properties of the world. The properties may be both incomplete and incorrect, but by knowing how they

interact, it is possible to 'run' the model under different conditions to examine the consequences. Thus a simulation model is like a motion picture that preserves selected properties of the world. (S. 182)

Mentale Modelle entwickeln sich graduell in der Auseinandersetzung mit dem zu modellierenden Realitätsausschnitt (vgl. Schnotz, 1988). Nicht in allen Stadien dieser Entwicklung ist die gleiche Simulationsfähigkeit gegeben. In vielen Modelltheorien wird zwischen zwei Zustandsformen mentaler Modelle unterschieden, die je nach theoretischem Hintergrund anders benannt werden: Zum einen handelt es sich um Modelle, die "wahrnehmungsnah" sind, sogenannte "Perzeptionsmodelle" (Stachowiak (1973, S. 207 ff.)). Diese bilden Teile der Außenwelt als Folgen von Wahrnehmungsprozessen ab. Johnson-Laird (1983) nennt diese "physical models" (S. 422), denn: "... they correspond directly to the physical world. They can represent perceptible situations, but they cannot represent either abstract relations or anything other than determinate physical descriptions" (S. 423). De Kleer und Brown (1983, S. 158) nennen ein solches Modell "device topology". Der Begriff leitet sich aus dem spezifischen Anwendungsbereich dieser Theorie her: der qualitativen Simulation technischer Systeme. "Device topology" bezeichnet die Repräsentation der physikalischen Organisation eines Systems - also die äußere Erscheinungsform mit ihren physikalisch unterscheidbaren Komponenten. Auf diesen der Wahrnehmung nahestehenden Modellen operieren dann "höhere" kognitive Prozesse, wie "Inferenzen, Induktions- und Analogieschlüsse" (Seel, 1986, S. 394). Im Zusammenhang mit abstraktem, schematischen Wissen bewirken diese Prozesse Umstrukturierungen: Es werden neue Vorstellungen abgeleitet. Dieses Ableiten neuer Vorstellungen aufgrund der Interaktion von Wahrnehmungsinhalten und abstrakten Wissenbeständen kennzeichnet die zweite Erscheinungsform mentaler Modelle. Sie wird als "kognitives Modell" (Stachowiak, 1973, S. 210 ff.), "conceptual model" ⁴ (Johnson-Laird, 1983, S. 423 ff.), als "Kausalmodell" (De Kleer & Brown, 1983, S. 158) oder als "operatives Abbildsystem" (Hacker, 1978, 1986) bezeichnet. Mit gleicher Absicht sprechen Collins und Gentner (1987, S. 243) von "generative mental models", um zu betonen, daß Wissen in mentalen Modellen aktiv erzeugt werden kann.

Mit dem Übergang von einem wahrnehmungsnahen Modell zum Kausalmodell nimmt auch die Komplexität der kognitiv simulierbaren Vorgänge zu. Wie sich dieser Übergang vollziehen könnte, beschreiben De Kleer und Brown (1983): Sie entwickeln ihre Theorie am Beispiel einfacher technischer Systeme, wie z. B. einem Stromkreis mit einer Haustürklingel. Eine erste Repräsentation muß die Einzelkomponenten (z. B. Stromquelle, Leitung, Schalter, Klingel) in ihrer physikalischen Anordnung enthalten: die "device topology". Diese wird durch einen Veranschaulichungsprozeß ("envisioning", S. 165 ff.) in ein Kausalmodell umgewandelt. Hierbei wird aus dem Zustand einer Systemkomponente auf den Zustand einer anderen geschlossen. In dieser schrittweisen Ausbreitung ("propagation", S. 165) werden alle Systemkomponenten durchlaufen, bis die Kausalrelationen der einzelnen Komponenten so integriert sind, daß sie das Verhalten des gesamten Systems determinieren. Mit Hilfe dieses Kausalmodells

⁴ Um begrifflichen Verwirrungen vorzubeugen, sei darauf hingewiesen, daß der Begriff "konzeptuelles Modell" bereits im Zusammenhang mit der Modelliererperspektive in Erscheinung getreten ist (vgl. 2.3). In der Normanschen Bedeutung handelt es sich dabei um ein externes Modell. Johnson-Lairds konzeptuelles Modell ist dagegen ein inneres, mentales Modell.

können nun spezifische Vorgänge simuliert werden ("running the causal model", 160). "Envisioning" und "running" unterscheiden sich also in ihrer Funktion: Während der erste Prozeß dem Aufbau des mentalen Modells dient, hat der zweite ein darüber hinausgehendes Ziel, zu dessen Erreichung das mentale Modell und seine Simulationsfähigkeit benutzt wird (S. 156). In psychologische Termini übersetzt, dient "envisioning" dem Verstehen des Systems und "running" der Anwendung des generierten Wissens z. B. zur Vorhersage von Systemzuständen oder -fehlern sowie zur Handlungssteuerung.

3.6.2 Beispiele kognitiver Simulationen

Die psychologische Realität der Simulationsfähigkeit mentaler Modelle zeigt sich in vielen unterschiedlichen Bereichen psychologischer Forschung. Zur Veranschaulichung dieser zentralen Eigenschaft mentaler Modelle werden vier Beispiele aus unterschiedlichen kognitiven Funktionsbereichen dargestellt: Vorstellen visueller Muster, Bewerten von Handlungsausgängen und Handlungsplänen sowie syllogistisches Schließen.

Beispiel 1: Vorstellen - gedrehte Buchstaben und gefaltete Quader

Eine sehr elementare Simulationsfähigkeit belegen die Experimente zur sogenannten "mentalen Rotation" (z. B. Cooper & Shepard, 1973; Shepard & Cooper, 1982). Bei diesen Experimenten wurden Versuchspersonen Buchstaben in unterschiedlichen Orientierungen projiziert. Bei jedem Versuchsdurchgang war der gleiche Buchstabe zu sehen, der um jeweils eine andere Gradzahl gedreht war. Die Versuchspersonen sollten beurteilen, ob der angezeigte Buchstabe spiegelverkehrt oder "richtig" abgebildet war. Die Messung der Reaktionszeiten zeigte ein erstaunliches Ergebnis: Sie stiegen annähernd linear mit zunehmendem Drehungswinkel bis 180° , um dann ebenfalls fast linear bis zu einem Winkel von 360° wieder zu fallen. Dieses Ergebnis wurde nach mehreren Replikationen auch mit anderem Material (z. B. Metzler & Shepard, 1974) als ein Beleg dafür gewertet, daß die Versuchspersonen den Stimulus-Buchstaben in der Vorstellung soweit rotierten, bis er mit der Vorstellung der aufrecht stehenden, nicht gespiegelten Version des Buchstabens in Deckung gebracht werden konnte. Erst dann erfolgte das Urteil, ob der Stimulus spiegelverkehrt dargeboten wurde oder nicht. Für diese mentale Rotation wird mehr Zeit benötigt, je größer der Drehwinkel ist. Das Maximum liegt bei 180° , Stimuli mit einem größeren Drehwinkel können durch gegenläufiges Drehen mit geringerem Aufwand in die richtige Lage gebracht werden, so daß die Reaktionszeiten zwischen 180° und 360° wieder sinken. Während das mentale Modell in diesem Fall nur aus einem wahrgenommenen visuellen Muster und die innere Simulation nur aus einer Rotation desselben bestand, ist der Gegenstandsbereich des folgenden Beispiels komplexer. Statt eines zweidimensionalen Problems gab Görner (1976) seinen Versuchspersonen eine dreidimensionale Aufgabe zu lösen: Eine gezeichnete Vorlage gab die Umrisse der Flächen wieder, die entstehen, wenn man einen Quader (z. B. aus Pappe) aufaltet. Eine der Flächen war als die Unterseite des ehemaligen Quaders gekennzeichnet. Die Versuchsperson sollte nun u. a. angeben, welche Fläche dieser (als Oberseite) gegenüberläge, wenn man den Quader wiederherstellen würde. Dazu muß sich die Person - so die Hypothese - die einzelnen Phasen der Faltung vorstellen. Die Vorlagen unterschieden sich nun in der Anzahl der zur Wiederherstellung des Körpers erforderlichen

Faltungen. Das Ergebnis des Versuchs: Die Lösungszeiten nahmen mit der Anzahl der erforderlichen Faltungen zu (vgl. auch Shepard & Feng, 1972). Dies wird als ein Beleg dafür gewertet, daß die kognitive Simulation den Schritten eines tatsächlichen Faltungsvorgangs folgte.

Beispiel 2: Situationsbewertung - Was wäre gewesen, wenn ... ?

Die Simulation äußerer Ereignisse unterscheidet sich konzeptuell vom reinen Erinnern: Es handelt sich um Konstruktionen, die in genau dieser Form nicht gespeichert sein können. Kahneman und Tversky (1982) sind der Ansicht, dies spiegele sich besonders deutlich in Situationen wider, in denen Handlungsausgänge (gedanklich) ungeesehen gemacht werden bzw. überlegt wird, unter welchen Umständen ein unerwünschter Handlungsausgang nicht eingetreten wäre. Als Beispiel nennen sie die folgende Situation:

Mr. Crane und Mr. Tees haben vor, zur gleichen Zeit, aber in unterschiedlichen Maschinen vom Flughafen abzufliegen. Sie fahren von der Stadt aus im gleichen Wagen zum Flughafen, geraten in einen Verkehrsstau und erreichen den Flughafen erst 30 Minuten nach der vorgesehenen Abflugzeit. Mr. Crane erfährt, daß sein Flugzeug planmäßig gestartet sei. Mr. Tees wird erzählt, sein Flug habe Verspätung gehabt und sei erst vor fünf Minuten gestartet.

Die meisten Personen, die diese Geschichte hören, glauben, daß sich Mr. Tees mehr ärgert als Mr. Crane. Die Autoren vermuten, daß beide Fluggäste das Zustandekommen des Ereignisses nachvollziehen, also mental simulieren, wie es zum Verpassen des Fluges kommen konnte. Dabei fällt es in Mr. Tees' Situation leichter, sich vorzustellen, wie er fünf Minuten hätte einsparen können, oder wie sich der Flug um weitere fünf Minuten hätte verzögern können. Die "Distanz" zur Erreichung des Handlungsziels wird so für geringer gehalten als in Mr. Cranes Fall.

Offensichtlich ist das Simulieren der Vorgeschichte nicht vergleichbar mit einer reinen Phantasietätigkeit, denn diese ließe mit Leichtigkeit auch die Vorstellung zu, wie eine Verspätung von 30 Minuten zu vermeiden gewesen wäre. Kahneman und Tversky (1982) hierzu: "Evidently, there are constraints on the freedom of fantasy, and the psychological analysis of mental simulation consists primarily of an investigation of these constraints" (S. 204). Die mentale Simulation ist nach Kahneman und Tversky (1982, S. 202) auch nicht mit einer einfachen Vorhersage zu vergleichen: Bei der mentalen Simulation sei die Ausgangssituation fiktiv ("Was hätte geschehen müssen, damit ..."). Im Falle einer normalen Vorhersage dagegen gehöre die Ausgangssituation zur gegenwärtigen Realität ("Könnte ich in der jetzigen Situation das Flugzeug noch erreichen?").

Beispiel 3: Planen - Welche Wege führen zum Ziel?

Die psychologische Handlungsregulationstheorie (z. B. Hacker, 1978, 1986; Oesterreich, 1981) geht von einer sowohl sequentiellen als auch hierarchischen Repräsentation von Handlungszielen aus. Das bedeutet, daß individuelle Handlungspläne Informationen über die Abfolge von Teilzielen (sequentieller Aspekt), aber auch über ihre Über- und Unterordnung (hierarchischer Aspekt) enthalten. Die Entwicklung eines Handlungsplans, bzw. die Entscheidung zwischen alternativen Plänen besteht aus dem inneren Durchspielen von Handlungssequenzen, wobei an die Stelle ihrer tatsächlichen Ausführung Wahrscheinlichkeitsschätzungen über das Erreichen der Teilziele treten

(vgl. Volpert, 1980). Resch und Oesterreich (1987) simulierten Handlungssituationen, in denen sich die möglichen Zwischenziele, die zum Erreichen eines Endziels zu durchlaufen waren, unterschieden. Die Zwischenziele ließen entweder viele oder wenige Alternativwege zum Endziel offen. Bei der Analyse des Entscheidungsverhaltens der Versuchspersonen zeigte sich, daß solche Handlungswege bevorzugt wurden, die über Zwischenziele führten, die viele verschiedene zielführende Alternativen offenließen. Abgesehen von den motivationspsychologischen Gründen einer solchen Bevorzugung wird diese durch eine vorangegangene interne Simulation verschiedener Handlungswege erklärt. Denn erst bei einem inneren Durchspielen verschiedener Handlungssequenzen können solche "hoch-effizient-divergenten" Situationen (Oesterreich, 1981, S. 87 ff.) erkannt werden.

Beispiel 4: Syllogistisches Schließen - Was folgt daraus?

Das vierte Beispiel stammt aus dem Bereich des syllogistischen Schließens und ist Bestandteil einer breiteren Argumentation Johnson-Lairds (1983, S. 64 ff.), in der er den Erklärungswert mentaler Modelle zu belegen versucht. Johnson-Laird diskutiert in diesem Zusammenhang verschiedene Theorien des syllogistischen Schließens. Seine Kritik konzentriert sich auf die Vernachlässigung der Inhaltsabhängigkeit logischer Denkvorgänge, wie sie bereits in Abschnitt 3.5 dargestellt wurde. Schlüsse würden nicht durch die Anwendung formal-logischer Regeln auf die Prämissen abgeleitet, sondern durch die Vorstellungen konkreter Situationen, die mit den Prämissen kompatibel sind. Bei Vorgabe mehrerer Prämissen muß ein integriertes mentales Modell konstruiert werden, das alle Prämissen valide repräsentiert. Die gezielte Manipulation dieses mentalen Modells der Prämissen führt zu einem neuen Zustand des Modells, welcher den Schluß repräsentiert. Ein einfaches Beispiel aus Johnson-Laird (1983, S. 94 f.) soll dies veranschaulichen:

Gegeben seien folgende Prämissen:

Alle Künstler sind Imker.

Alle Imker sind Chemiker.

Ein geeignetes mentales Modell könnte in der Vorstellung einer Gruppe von Schauspielern bestehen, die verschiedene Rollen spielen. So können einige von ihnen Künstler darstellen, andere Imker oder Chemiker. Die Abbildung der Prämissen in diesem Modell erfolgt durch Einschränkungen der "Rollenvergabe": Entsprechend der ersten Prämisse müssen alle diejenigen, die einen Künstler darstellen, auch den Part eines Imkers übernehmen. Für diese Vorstellung ist die Anzahl der Schauspieler irrelevant. Deshalb kann die Situation als konkrete Vorstellung weniger Personen veranschaulicht werden, solange die Ein- und Ausschlußverhältnisse erhalten bleiben, z. B.:

Künstler = Imker

Künstler = Imker

Künstler = Imker

Imker

Ein solches mentales Modell bildet die erste Prämisse korrekt ab. Es enthält (willkürlicherweise) drei Schauspieler, die Künstler und zugleich Imker darstellen, aber

mindestens einen Akteur, der zwar einen Imker, aber keinen Künstler verkörpert. Das Modell wird um die Abbildung der zweiten Prämisse erweitert:

Künstler =	Imker	=	Chemiker
Künstler =	Imker	=	Chemiker
Künstler =	Imker	=	Chemiker
	Imker	=	Chemiker
		=	Chemiker

In der Sprache des Modells heißt dies: Alle Schauspieler, die Imker darstellen, sollen auch zusätzlich Chemiker spielen. Möglicherweise befinden sich darunter auch solche Imker-Darsteller, die nicht gleichzeitig auch Künstler spielen, vielleicht sogar Schauspieler, die keine der beiden anderen Rollen innehaben. Eine valide Konklusion "Alle Künstler-Darsteller sind auch Chemiker-Darsteller" ist in der letzten Version des mentalen Modells unmittelbar repräsentiert und kann aus der Vorstellung der Situation "abgelesen" werden. Dabei ist der Endzustand des mentalen Modells Ergebnis einer schrittweisen Simulation eines Außenweltausschnitts, die nach Maßgabe der Prämissen erfolgt.

Einen wichtigen Hinweis auf die psychologische Validität dieser Theorie geben Untersuchungen von Johnson-Laird und Steedman (1978) sowie von Johnson-Laird und Bara (1984). Grundlage war die Hypothese, daß solche Syllogismen schwieriger zu lösen sein müßten, deren Prämissen die Konstruktion mehrerer unterschiedlicher mentaler Modelle erfordern. Im obigen Beispiel hätte es kein alternatives Modell gegeben, das zu einer invaliden Folgerung geführt hätte. Bei einer anderen Struktur der Prämissen kann es jedoch vorkommen, daß die Prämissen in einem Modell integriert werden, das richtige und falsche Schlüsse zuläßt. Daher muß nach alternativen Modellen gesucht werden, die zwar immer noch die Prämissen valide abbilden, aber zu Schlüssen führen, die mit denen früherer Alternativmodelle kollidieren. Erst wenn keine Alternativmodelle mehr gebildet werden können, die widersprüchliche Konklusionen erlauben, kann von einem angemessenen mentalen Modell gesprochen werden. Somit sollte die Fehlerwahrscheinlichkeit umso größer sein, je mehr prämissenkompatible Modelle konstruiert werden müssen, bis alle invaliden Folgerungen ausgeschlossen sind. Ein Beispiel ist in der Detaildarstellung 7 beschrieben.

Für empirische Untersuchungen wurden Syllogismen konstruiert, bei denen ein, zwei oder drei Alternativmodelle erforderlich waren, um falsche Schlüsse auszugrenzen (vgl. Johnson-Laird & Bara, 1984). Den Hypothesen entsprechend, wurden weniger Fehlschlüsse bei den Syllogismen gefunden, die weniger alternative mentale Modelle erforderten, wobei sich der größte Unterschied zwischen denjenigen ergab, die ein bzw. zwei verschiedene Modelle erforderten (vgl. Galotti, Baron & Sabini, 1986).

Detalldarstellung 7**Syllogistisches Schließen als iterative Konstruktion mentaler Modelle**

Aus der Struktur einiger Prämissen können mehrere unterschiedliche Modelle konstruiert werden, wie das folgende Beispiel zeigt (Johnson-Laird, 1983, S. 95 ff.):

Keiner der Autoren ist ein Einbrecher
Einige der Chefs sind Einbrecher

Wird als mentales Modell eine Gruppe von Schauspielern gewählt, die unterschiedliche Rollen spielen können, ist folgendes Modell denkbar:

Autor
Autor
Autor
Einbrecher
Einbrecher
Einbrecher

Es gibt eine (willkürliche) Anzahl von Schauspielern, die die Rollen von Autoren und Einbrechern so übernehmen, daß keiner zwei dieser Rollen gleichzeitig innehat. Dies entspricht der ersten Prämisse. Das Modell könnte um die zweite Prämisse so erweitert werden:

Autor
Autor
Autor
Einbrecher = Chef
Einbrecher = Chef
Einbrecher Chef

Das Modell ist mit der zweiten Prämisse kompatibel, da es Chef-Darsteller enthält, die zum Teil gleichzeitig Einbrecher darstellen, zum Teil (in mindestens einem Fall) nicht. Es wäre naheliegend, aus diesem Modell abzuleiten, daß keiner der Autoren-Darsteller gleichzeitig Chefdarsteller ist und umgekehrt. Zweifel sind jedoch angebracht, wenn ein zweites Modell entdeckt wird, das ebenfalls mit den Prämissen kompatibel ist:

Autor
Autor
Autor = Chef
Einbrecher = Chef
Einbrecher = Chef
Einbrecher

Die erste Konklusion ist damit offensichtlich widerlegt, statt dessen wäre abzuleiten: "Einige der Autoren-Darsteller stellen nicht gleichzeitig auch Chefs dar". Doch es gibt noch eine dritte Möglichkeit:

Autor	=	Chef
Autor	=	Chef
Autor	=	Chef
Einbrecher	=	Chef
Einbrecher	=	Chef
Einbrecher		

Damit ist auch die zweite Folgerung widerlegt. Eine vierte Möglichkeit der Modellkonstruktion, die immer noch mit den Prämissen kompatibel wäre, gibt es nicht. Einige von Johnson-Lairds Versuchspersonen schließen daraus, daß es gar keine valide Lösung gibt. Sie übersehen dabei, daß es eine Konklusion gibt, die in allen Varianten des mentalen Modells gültig war: "Einige der Chef-Darsteller sind keine Autoren-Darsteller". Diese Lösung ist deshalb so schwierig abzuleiten, weil so viele verschiedene Modellvarianten entdeckt und gemeinsam beurteilt werden müssen. Bei einer Prämissenstruktur, die weniger mentale Modelle erfordert, geschehen weniger Fehler.

3.6.3 Kognitive Simulation, Verstehen und Einsicht

Im vorangegangenen Abschnitt wurden Beispiele dafür genannt, wie die kognitive Simulation zum Verstehen eines Problems beitragen kann. "Verstehen" ist als Erkenntnisobjekt innerhalb der Psychologie mehrdeutig. So weist z. B. Weidenmann (1988) darauf hin, daß "Verstehen" häufig mit Konnotationen anderer Disziplinen, wie der Erkenntnisphilosophie, der Semiotik und vor allem der Linguistik versehen wird. Bei der Vielfalt der Begriffsverwendungen und der offensichtlichen Komplexität mag es verwundern, daß der Prozeß des Verstehens auch sehr einfache Charakterisierungen erfahren kann. In seinem Einführungswerk in die Psychologie stellt Zimbardo (1983, S. 301) z. B. fest: "Verstehen heißt, ein Sinnverständnis für eine neue Erfahrung aus ihrer Ähnlichkeit mit Elementen schon vertrauter Erfahrung zu entwickeln". Mit diesem Zitat ist bereits der in diesem Zusammenhang relevante Rahmen abgesteckt: Verstehen ist ein Prozeß, in dem Kongruenz zwischen neuen Informationen und bereits organisiertem Wissen hergestellt wird (z. B. Sanford, 1987, S. 26 f.). Diese Kongruenz wird in mentalen Modellen hergestellt (vgl. Weidenmann, 1988; Schnotz & Mikkilä, 1990). Diese bauen auf abstrakten Gedächtnisschemata auf und werden solange verändert, bis die neuen Informationen widerspruchsfrei integriert sind (Glenberg, Meyer & Lindem, 1987). Die widerspruchsfreie Integration entspricht dann dem Erlebnis des Verstehens. Ist diese Integration nicht möglich, ist eine Veränderung der das Modell bestimmenden Gedächtnisschemata erforderlich. Die Akkomodation eines Schemas erlaubt eine Modifizierung des Modells und damit die erneute Chance der Integration der neuen Information. In dieser Sichtweise ist Verstehen ein konstruktiver Prozeß: Die Bedeutung wahrgenommener Ereignisse oder Mitteilungen wird diesen nicht entnommen, sondern in

Interaktion mit bestehendem Wissen aufgebaut (z. B. Bransford, Barclay & Franks, 1972). Das mentale Modell als Mittel und Produkt des Verstehens geht über den unmittelbaren Bedeutungsgehalt des Wahrgenommenen oder des Mitgeteilten hinaus (Sanford, 1987; Anderson, 1977; Glenberg, Meyer & Lindem, 1987):

"Von Verstehen soll im folgenden dann die Rede sein, wenn zu einem Zielbereich (Bilder, Text, Gerät, Ereignis usw.)

- eine mentale modellhafte Repräsentation entwickelt wird, die über die lediglich registrierende Perzeption hinausgeht;
- das mentale Modell evaluativ auf Konsistenz mit dem wahrgenommenen Zielbereich und auf interne Kohärenz mit Wissensbeständen überprüft und notfalls revidiert wird." (Weidenmann (1988, S. 30)

In der Detaildarstellung 7 wurde beispielhaft beschrieben, wie durch das iterative Konstruieren und "Durchspielen" mentaler Modelle ein (sylogistisches) Problem gelöst werden kann. Eine Verallgemeinerung dieses Prozesses entwarf Johnson-Laird (1983): Er postuliert hierzu eine Anzahl von allgemeinen kognitiven Prozeduren, die den Konstruktionsprozeß eines mentalen Modells steuern sollen (vgl. auch Manktelow & Jones, 1987). Sie beschreiben in allgemeiner Weise, wie sich die Verknüpfung neuer Sinneinheiten mit bestehenden Wissenstrukturen vollziehen könnte:

- Wenn eine neue Sinneinheit keinen Bezug zum gegenwärtigen mentalen Modell eines Umweltausschnitts aufweist, wird ein neues Modell konstruiert.
- Wenn eine neue Sinneinheit in wenigstens einem Aspekt mit dem gegenwärtigen Modell übereinstimmt, wird die gesamte darüber hinausgehende Information dieser Einheit dem mentalem Modell zugefügt.
- Wenn eine neue Sinneinheit Überschneidungen mit zwei bis dahin getrennten mentalen Modellen aufweist, werden beide Modelle zusammengefügt.
- Wenn eine neue Sinneinheit vollständig in das mentale Modell integriert ist, erfolgt eine Konsistenzprüfung.

Diese Konsistenzprüfung kann unterschiedliche Ausgänge haben: Die neue Sinneinheit kann im Rahmen des bestehenden Modells wahr, falsch oder nicht beurteilbar sein. In jedem dieser drei Fälle wird eine andere Prozedur erforderlich:

- Sollte es mangels Informationen nicht möglich sein, die Verträglichkeit zu überprüfen, wird die gesamte Sinneinheit nach Maßgabe der Widerspruchsfreiheit in das Modell integriert.
- Sollte sich die neue Sinneinheit als falsch im Sinne des Modells erweisen, werden bestehende Wissensbestände (Schemata) verändert, so daß ein modifiziertes Modell resultiert oder die neue Sinneinheit wird als inkompatibel mit dem bestehenden Modell zurückgewiesen.
- Sollte sich die neue Sinneinheit als wahr im Sinne des Modells erweisen, wird versucht, ein alternatives Modell zu konstruieren, das mit den bestehenden Schemata verträglich ist, aber in Widerspruch mit der neuen Sinneinheit tritt. Gibt es ein solches Modell, wird angenommen, daß die neue Sinneinheit nur möglicherweise wahr ist. Kann ein solches Modell nicht konstruiert werden, wird angenommen, daß die neue Sinneinheit notwendigerweise wahr ist.

Es ist zu betonen, daß die Prüfung der internen Konsistenz keinesfalls die objektive Richtigkeit des mentalen Modells, etwa im Sinne einer Kongruenz mit dem konzeptuellen Modell sicherstellt. "Verstehen" bedeutet in diesem Zusammenhang das Erleben einer stimmigen Einsicht in die Zusammenhänge, unbeschadet der Möglichkeit, daß sich diese Zusammenhänge als objektiv nicht zutreffend herausstellen können.

Der hier verwendete Begriff der "Einsicht" hat eine längere Tradition und ähnelt stark dem bereits 1935 von Duncker eingeführten Begriff der "synthetischen Ablesung": Duncker (1935, S. 56) nennt eine Verknüpfung zweier Gegebenheiten dann "total einsichtig", wenn a entnommen werden kann, daß, wenn a, dann auch b und genau b gilt". Die Evidenz einer solchen Verknüpfung könne zwei verschiedene Ursachen haben: Erstens, das "konstitutive Mitenthaltensein" von b in a. In diesem Falle ist b ein Teil des Ganzen und kann direkt aus der Gegebenheit des Ganzen abgelesen werden. Als Beispiel diene die Aussage: "Die Arbeiten Dunckers umfassen auch Abhandlungen über das Wesen der Einsicht". Die "Abhandlungen über das Wesen der Einsicht" sind Teil des Gesamtwerks, sind also "konstitutiv mitenthalten" in der Gegebenheit desselben. Das Erkennen dieses Mitenthaltenseins nennt Duncker in seiner anschaulichen Terminologie "analytisches Ablesen". Die zweite mögliche Ursache einer solchen Evidenz ist das "nicht-konstitutive Mitenthaltensein": In diesem Falle ist eine Begebenheit nur indirekt mitenthalten: "als Konsequenz aus den übrigen Momenten des Ganzen" (Duncker, 1935, S. 58). Als Beispiel diene ein einfacher Transitivitätsschluß: In den Aussagen $a > b$ und $b > c$ ist $a > c$ zwar mitenthalten aber nicht in konstitutiver Weise:

Von dem so konstruierten Sachverhalt läßt sich nun der Sachverhalt 'a größer als c' ablesen, ohne daß jedoch - und hierauf kommt es an - der abgelesene Sachverhalt zur Konstruktion (Konstituierung) der 'Ablesungsgrundlage' ... mitverwendet werden mußte, also ohne konstitutives Mitenthaltensein der Conclusio in den Prämissen. (Duncker, 1935, S. 59)

Das Erkennen eines solchen nicht-konstitutiven Mitenthaltenseins wird als "synthetische Ablesung" bezeichnet.

Interessant ist an dieser Konzeption, daß sie zwei wichtige Merkmale mentaler Modelle, nämlich das der Inhaltsgebundenheit (vgl. 3.5) und das der Bildhaftigkeit (folgender Abschnitt 3.7) vorweggenommen hat. Duncker vertritt die Ansicht, daß synthetische Ablesung zur Einsicht in einen Tatbestand führen kann, ohne daß ein Schlußfolgerungsprozeß formaler Art erfolgt sein muß. Es genüge die Konstruktion eines "paradigmatischen" Sachverhalts, aus dem die Folgerung dann abgelesen werden könne: " 'Paradigmatisch' wollen wir einen Sachverhalt nennen, welcher unter ausschließlicher Verwendung der in den Prämissen ausdrücklich enthaltenen Begriffe in der Anschauung konstruiert ist" (Duncker, 1935, S. 59). Die Anschauung dieses "paradigmatischen Sachverhalts" könnten wir in moderner Begrifflichkeit auch als "mentales Modell" bezeichnen. Das Beispiel in der Detaildarstellung 8 verdeutlicht die Parallelen zu den modernen Auffassungen mentaler Modelle, insbesondere, wie sie in den letzten beiden Abschnitten dargestellt wurden.

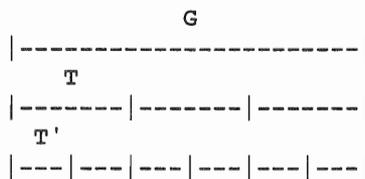
Detalldarstellung 8**Einsicht und synthetische Ablesung**

In seiner "Psychologie des produktiven Denkens" (1935) nennt Karl Duncker ein Beispiel für die Einsicht in ein Problem, die auf der "synthetischen Ablesung" (vgl. 3.6.3) beruht. Er betont dabei, daß das Problem ohne einen formalen Ableitungsprozeß gelöst werden kann:

"...es kann ohne Benutzung arithmetischer Axiome zur Evidenz gebracht werden, daß ein Teiler eines Teilers der Zahl a ein Teiler von a ist." (S. 59)

Duncker (1935) schlägt hierzu eine paradigmatische Darstellung vor, die das Problem geometrisch veranschaulicht:

... ein 'Teiler' eines Ganzen G läßt sich geometrisch auffassen als eine Größe T , die in endlicher Wiederholung das Ganze gerade ausfüllt ... Ein Teiler T' von T verhält sich genau so zu T wie dieser zu G ... Dann sehe ich, lese ich ab, daß T in endlicher Wiederholung G ergibt, q. e. d. Auch hier ist die Conclusio zum Aufbau der Fundamente ... nicht mitverwendet worden. Ein konstitutives Mitenthaltensein liegt also auch hier nicht vor. (S. 59)



Die Anschauung dieses paradigmatischen Sachverhalts ist dem sehr ähnlich, was bisher als mentales Modell bezeichnet wurde:

- Sie baut auf einer Analogie auf (T' verhält sich zu T wie T zu G),
- ist das Ergebnis einer vorstellungsmäßigen Simulation von Konfigurationen anschaulicher Elemente,
- die Lösung ist im Endzustand der kognitiven Simulation direkt repräsentiert und
- die paradigmatische Anschauung kann zumindest teilweise bildhaft sein.

3.6.4 Kritik am Konzept der kognitiven Simulation

Die These von der kognitiven Simulation ist trotz der recht überzeugenden empirischen Belege auch Ziel der Kritik gewesen. So stellt Rips (1986) die Frage, ob solche kognitiven Leistungen tatsächlich eine Simulation im Sinne des "Durchspielens" von Ereignisketten erfordern oder ob sie auch durch die Anwendung von Schlußfolgerungsregeln (u. U. auch recht ungenauen "rules of thumb") erklärt werden können. Nach An-

sicht von Rips (1986) handle es sich mehr um eine intuitive Unterscheidung: "... this sort of reasoning doesn't feel like carrying out a derivation in some sort of internal logic or probability calculus" (S. 270).

Begründet wird diese Ansicht u. a. auch mit einer empirischen Untersuchung von Dedre Gentner (nach Rips, 1986, S. 271 f.)⁵. In dieser Studie wurden Studenten, die keine besondere Vorbildung hatten, zu physikalischen Zusammenhängen befragt. Es wurde folgende Situation dargestellt: In einem geschlossenen Raum befindet sich eine Pfanne mit Wasser, die erhitzt werden kann. Gemessen werden die Variablen Lufttemperatur, Wassertemperatur, Luftdruck, Verdampfungsrate und relative Luftfeuchtigkeit. Den Probanden wurden jeweils Paare dieser Variablen mit der Frage vorgelegt, wie sich die eine verhält, wenn sich die andere in bestimmter Weise ändert. Auf der Grundlage dieser Paarrelationen ließ sich nun die Konsistenz des Wissens über die Gesamtzusammenhänge berechnen. Denn die tatsächlichen Zusammenhänge sind natürlich vielfach vernetzt und nicht nur zweiseitig. So können beispielsweise Transitivitätsverletzungen diagnostiziert werden: Wird z. B. behauptet, daß (1) die Variable A die Variable B beeinflusst und (2) die Variable B die Variable C beeinflusst, aber bestritten wird, daß die Variable A einen Einfluß auf die Variable C hat, liegt eine solche Inkonsistenz der Aussagen vor. In Gentners Set von Fragen waren insgesamt 18 solcher Intransitivitäten möglich. Dabei würde ein Wert von 0 für ein absolut widerspruchsfreies Wissen über die Gesamtzusammenhänge stehen, ein Wert von 18 entspräche der maximalen Inkonsistenz. Die Probanden erreichten Werte zwischen 3 und 12 Intransitivitäten, mit einem Mittelwert von 6,8, der sich nahe am Zufallswert befindet.

Rips (1986) interpretiert diese Ergebnisse als Gegenevidenz zur Annahme einer mentalen Simulation der physikalischen Vorgänge. Wenn diese Simulation "lauffähig" sein soll, müsse sie widerspruchsfrei sein. Dies sei jedoch keineswegs der Fall. Rips beendet seine Analyse mit der wenig optimistischen Erklärung:

If you like, you can refer to these projections as 'simulations based on mental models'. But in doing so, you forfeit the claim that 'simulation' should be taken literally as a distinct type of reasoning. (S. 274)

Dem ist entgegenzuhalten, daß die Inkonsistenz des Wissens über ein Relationsgefüge zwar die Güte der Simulation bestimmt, aber nicht die Simulation prinzipiell unmöglich macht. Eine Simulation aufgrund inkonsistenten Wissens wird ungenaue oder fehlerhafte Vorhersagen verursachen, aber nicht die Simulation selbst verhindert. Auch in einer zweiten Hinsicht überzeugt Rips' Argument nicht: De Kleer und Brown (1983) nehmen z. B. an, daß Komponentenmodelle gebildet werden, deren interne Struktur konsistent sein kann, trotzdem werden sie in einer Weise in das Gesamtmodell integriert, die inkonsistent mit anderen Komponenten sein kann. Dies führt zu einer insgesamt unvollständigen, unscharfen und teilweise widersprüchlichen Abbildung der Realität, die Norman (1983b) gerade für ein hervorragendes Merkmal mentaler Modelle hält. So gesehen können die grundsätzlichen Bedenken gegen das Konzept der mentalen Simulation nicht bekräftigt werden.

⁵ Nach Wissen des Autors ist diese Arbeit nicht anderweitig veröffentlicht worden.

3.7 Bildhaftigkeit mentaler Modelle

3.7.1 Anschauung und die Simulation der Außenwelt in mentalen Modellen

Die Themen der vorangegangenen Abschnitte schließen ein weiteres Merkmal mentaler Modelle ein, das bisher nicht explizit diskutiert wurde: Mentale Modelle können bildhafte Vorstellungen erzeugen. Die Manipulation dieser bildlichen Vorstellungen kann Ausdruck einer kognitiven Simulation sein. Duncker (1935) spricht sehr anschaulich davon, daß das Ergebnis einer solchen Simulation aus einem mentalen Modell "abgelesen" werden könne (vgl. auch Schnotz, 1988, S. 312). Ein Beispiel wurde im Zusammenhang mit Johnson-Lairds Theorie syllogistischen Schließens (vgl. 3.6.2) diskutiert: In diesem Zusammenhang wurde ein mentales Modell geschildert, in dem vorgestellte Schauspieler unterschiedliche Rollen einnehmen konnten. Die Vorstellung, welcher Schauspieler welche Rollen spielt, wurde solange manipuliert, bis alle Prämissen berücksichtigt waren. Der Endzustand dieser "Simulation" repräsentierte die Lösung des Problems direkt und konnte aus der bildlichen Vorstellung dieses Endzustands unmittelbar abgelesen werden.

Dörr, Seel und Strittmatter (1986) verweisen in diesem Zusammenhang auf Parallelen zum Begriff der "Anschauung", den sie von Kant ausgehend durch die pädagogische Literatur um die Jahrhundertwende verfolgen. Sie stellen fest, daß der Anschauungsbegriff in der pädagogischen Literatur an Bedeutung verloren hat, obwohl mit ihm bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wichtige Positionen kognitiver Psychologie vorweggenommen worden seien. Dörr et al. (1986) führen z. B. Arbeiten von Meumann (1914), Bäumker (1913) und Hönigswald (1913) an, in denen das Vorstellen von Bildern⁶ als Konstruktionsprozeß angesehen wird, der auf einem Wechselspiel von Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozessen beruht. Auch eine theoretische Wertung von Analogien in der Vorstellung wird berichtet (Dörr et al., 1986, S. 178). Diese Parallelen zwischen dem alten Anschauungsbegriff und den neueren Konzeptionen mentaler Modelle führen Dörr et al. zu der Hypothese, daß mentale Modelle tatsächlich nichts anderes seien als "Anschauungen". Der provozierende Titel ihrer Arbeit, "Mentale Modelle: Alter Wein in neuen Schläuchen" mag als überzogen betrachtet werden (z. B. Weidenmann, 1988, S. 35 ff.), doch die aufgezeigten Parallelen sind von theoretischer Bedeutung: Nach Weidenmann (1988) lassen sie sich darauf reduzieren, daß sowohl für die Anschauung als auch für mentale Modelle angenommen wird, daß Menschen Vorstellungen bilden können, die mit den "Produkten der direkten Wahrnehmung in einer lediglich analogen Beziehung stehen" (Weidenmann, 1988, S. 36) und daß solche Vorstellungen eine Rolle im Prozeß des Verstehens äußerer Sachverhalte spielen. Beiden Aspekten, der analogen Beziehung zwischen Wahrnehmung und Vorstellung sowie der Beziehung zwischen Vorstellung und Verstehen, wird im folgenden genauer nachgegangen.

⁶ Es muß nicht immer davon ausgegangen werden, daß mit "Anschauung" zwangsläufig eine tatsächlich "bildliche" Anschauung gemeint ist. Duncker (1935) beschreibt den Sachverhalt so:

Noch eine Bemerkung zu dem hier verwendeten Begriff der 'Anschauung'. Es ist gleichgültig, ob man das, was in der vorliegenden Untersuchung "Anschauung" genannt wird, noch als Anschauung im engeren Sinne oder teilweise bereits als 'unanschauliche Repräsentation' ... bezeichnen will. 'Anschauung' soll uns diejenige Begebenheitsweise sein, in der so etwas wie $a > b$, $b > c$, $a < c$, unvollziehbar wird. (S. 60)

3.7.2 Wahrnehmung und bildliche Vorstellung

Einerseits haben bildliche Vorstellungen ihren Ursprung in der Wahrnehmung, andererseits sind sie keine originalgetreuen Reproduktionen früherer Wahrnehmungen. Vorstellungen werden nicht nur anders erlebt als Wahrnehmungen (vgl. Hoffmann, 1988, S. 195), sondern sie sind auch unwillkürlichen und willkürlichen Veränderungen zugänglich, deren Realitätsbezug variieren kann. Die in Abschnitt 3.6 diskutierte Simulationsfähigkeit mentaler Modelle ist eine solche zielgerichtete Manipulation von Vorstellungen. Sie erfordert eine partielle Lösung von den ursprünglichen Wahrnehmungsinhalten. In diesem Sinne wird die Beziehung zwischen den Produkten der Wahrnehmung und der Vorstellung als "analog" bezeichnet (Weidenmann, 1988, S. 36; Steiner, 1988).

"Analog" kann diese Beziehung nun in unterschiedlicher Weise sein (vgl. Finke, 1985). Zunächst können die Prozesse des Wahrnehmens und Vorstellens in funktionaler Hinsicht analog sein (Hoffmann, 1988), d. h. sie haben vergleichbare Funktionen, operieren jedoch auf unterschiedlichen Reizgrundlagen: Wahrnehmungsprozesse benötigen externe Reize, Vorstellungen basieren auf den Erinnerungen an diese Wahrnehmungen. Ein überzeugendes Experiment berichten Podgorny und Shepard (1978): Sie präsentierten Versuchspersonen quadratische Felder, die sich aus 5 x 5 kleinen Quadraten zusammensetzten. In eine solche Matrix wurden Buchstaben projiziert. In einer anderen Versuchsbedingung wurden die Personen gebeten, sich jeweils die gleichen Buchstaben in der Matrix vorzustellen, ohne daß sie tatsächlich zu sehen waren. In beiden Fällen wurde ein Lichtpunkt in die Matrix projiziert und die Versuchspersonen sollten entscheiden, ob sich der Punkt innerhalb oder außerhalb des gesehenen bzw. vorgestellten Buchstabenmusters befand. Die Ergebnisse zeigen keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen: Weder Fehlentscheidungen noch Reaktionszeiten sind unterschiedlich. Wichtiger noch, zeigt sich Übereinstimmung darin, daß die Reaktionszeiten zunehmen, wenn die Buchstabenmuster eine größere Anzahl von Feldern überdecken (der Suchraum wird größer). In beiden Fällen wurden dagegen die außerhalb des Musters liegenden Punkte umso schneller erkannt, je weiter sie vom Buchstaben entfernt lagen (leichtere Unterscheidbarkeit).

Weitere Belege für eine funktionale Ähnlichkeit zwischen Wahrnehmung und Vorstellung konnten auch durch ein ganz anderes experimentelles Paradigma, das der "selektiven Interferenz" gewonnen werden. Segal und Fusella (1970) beispielsweise baten Versuchspersonen, sich visuelle oder auditive Signale vorzustellen, z. B. sich das Geräusch einer Schreibmaschine zu vergegenwärtigen oder sich vorzustellen, wie ein Vulkan aussehen könnte. Gleichzeitig sollten sie Signale entdecken, die entweder die gleiche Sinnesmodalität beanspruchten wie der Inhalt der Vorstellung oder eine andere. Stellte sich eine Person nun das Klingeln eines Telefons vor und sollte gleichzeitig einen akustischen Reiz entdecken, sank die Trefferrate um mehr als die Hälfte gegenüber einer Situation, in der während der Vorstellung des Telefonklingelns ein visueller Reiz dargeboten wurde. Diese selektive Interferenz wurde dadurch erklärt, daß Wahrnehmen und Vorstellen teildentische Informationsverarbeitungsprozesse beanspruchen (vgl. Steiner, 1988).

Neben diesen funktionalen Analogien wurden jedoch auch strukturell analoge Beziehungen zwischen Wahrnehmungen und Vorstellungen untersucht. Dabei wird davon ausgegangen, daß das Wahrnehmungsobjekt ähnliche Eigenschaften hat, wie der entsprechende Vorstellungsinhalt. Hinweise bieten viele Untersuchungen zum mentalen Durchsuchen von Bildern oder Umgebungen. Kosslyn, Ball und Reiser (1978) ließen Versuchspersonen die Landkarte einer fiktiven Insel lernen, auf der unterschiedliche Orte, wie ein Dorf, ein See oder ein Baum zu erkennen waren. Danach sollten sie sich die Karte vergegenwärtigen und auf die Nennung eines Ortes diesen in der Vorstellung fokussieren. Bei der Nennung eines zweiten Ortes sollten sie sich vorstellen, einen kleinen schwarzen Fleck so schnell, daß seine Bewegung gerade noch sichtbar ist, zu diesem zweiten Ort zu bewegen. Die Reaktionszeiten variierten mit der tatsächlichen Entfernung der Orte auf der Karte. Die Autoren schließen daraus, daß die Generierung dieser Vorstellung analog dem wahrnehmungsmäßigen Absuchen einer tatsächlichen Karte sei. Daraus folge wiederum, daß das Wahrnehmungsobjekt und die Vorstellung desselben strukturell ähnlich seien.

3.7.3 Bildliche Vorstellung und Verstehen

Die gezielte Manipulation bildlicher Vorstellungen in einem mentalen Modell erleichtert das Verstehen äußerer Sachverhalte. Ein experimentelles Beispiel hierfür stellen Trabasso, Riley und Wilson (1975; vgl. auch Trabasso & Riley, 1975) vor. Ihre Versuchspersonen waren Kinder im Alter von sechs und neun Jahren bzw. Studenten. Als Versuchsmaterial dienten sechs unterschiedlich lange Stöcke. Diese waren farblich kodiert (in der Reihenfolge): blau, rot, grün, weiß, gelb und orange, wobei der kürzeste Stock blau und der längste orange war. In einer Trainingsphase wurden jeweils benachbarte Paare dargeboten, allerdings so, daß ihre unterschiedliche Länge nicht sichtbar war:

- (1) blau - rot
- (2) rot - grün
- (3) grün - weiß
- (4) weiß - gelb
- (5) gelb - orange

Die Versuchspersonen wurden bei jedem Paar gefragt, welcher Stock kürzer bzw. länger sei. Nach jeder Entscheidung erhielten sie eine Rückmeldung über die Richtigkeit ihres Urteils. Auf diese Weise lernten die Teilnehmer die Längerrelationen, jedoch nur die der benachbarten Paarlinge. In einer Testphase mußten die Versuchspersonen aber auch Paare beurteilen, die in der Trainingsphase nicht dargeboten wurden, die also Transitivitätsschlüsse voraussetzten, z. B.:

blau - weiß

Eine Möglichkeit, diese Frage zu beantworten, besteht darin, alle relevanten Vergleiche der Reihe nach durchzugehen:

Da der weiße Stock länger ist als der grüne (3) und
 der grüne länger ist als der rote (2) und
 der rote länger ist als der blaue (1),
 folgt,
 daß der weiße Stock auch länger als der blaue ist.

Würde das Problem so bearbeitet werden, müßte man längere Antwortzeiten und höhere Fehlerraten bei solchen Problemen erwarten, deren Lösung mehrere solcher Zwischenschritte erfordert. Die Ergebnisse von Trabasso und Mitarbeitern bestätigen dies nicht. Welche weitere Lösungsstrategie kommt in Frage? Der Theorie mentaler Modelle zufolge wäre es möglich, daß die Aussagen zur Beantwortung dieser Frage in die bildliche Vorstellung einer Rangreihe übersetzt werden. Folgende Vorstellung wäre möglich (die Linien symbolisieren die Stocklängen):

orange	-----
gelb	-----
weiß	-----
grün	-----
rot	-----
blau	---

Eine solche Problemrepräsentation würde jedenfalls die Ergebnisse erklären: Die Inferenzaufgaben wurden nämlich schneller und zuverlässiger beantwortet, wenn zwei weit auseinanderliegende Stöcke verglichen werden sollten. Da die Stöcke der Größe nach geordnet sind, kann aus diesem "Bild" der Unterschied zwischen dem gelben und dem roten Stock schneller "abgelesen" werden, als der Unterschied zwischen dem weißen und dem grünen. Je größer der Unterschied, umso leichter und sicherer kann ein Urteil gefällt werden. Erstaunlich ist, daß die Leistung bei den in der Lernphase vorgegebenen Paaren am schlechtesten war, obwohl bei diesen gar kein Transitivitätsschluß erforderlich war. Offenbar werden die Antworten alle aus dieser bildlichen Vorstellung abgelesen - auch bei solchen Vergleichen, die vorher explizit dargeboten wurden (z. B. rot-grün). Dies könnte dafür sprechen, daß die Paarrelationen gar nicht mehr verfügbar waren, sondern nur noch eine integrierte, bildliche Vorstellung aller Stöcke.

Bei dem vorliegenden Beispiel ist nun jedoch unklar, ob das mentale Modell deshalb bildhaft ist, weil die Versuchspersonen dies bewußt als eine Strategie gewählt haben oder ob es sich hierbei um eine nicht willentlich beeinflussbare Eigenschaft des Verarbeitungsprozesses handelt. Empirische Hinweise gibt es für beide Sichtweisen: Paris und Carter (1973) haben beispielsweise eine Untersuchung durchgeführt, bei der es schwerfällt, den Versuchspersonen eine bewußte Strategiewahl zu unterstellen, weil sie gar nicht zum logischen Schließen aufgefordert wurden: Kinder im Alter von 7-10 Jahren hörten Aussagen, die sie behalten sollten, z. B.:

Der Vogel ist im Käfig.
 Der Käfig ist unter dem Tisch.
 (Paris & Carter, 1973, S. 110, Übersetzung des Autors)

Die Kinder wurden nun aber nicht dazu aufgefordert, einen möglichen Schluß zu ziehen oder die Korrektheit eines vorgegebenen Schlusses zu beurteilen. Statt dessen sollten sie nur beurteilen, ob sie Sätze wiedererkennen. Dazu wurden ihnen Sätze dargeboten, unter denen sich auch solche befanden, die zwar gültige Folgerungen aus den vorgelegten Sätzen darstellten, die aber in der Lernphase tatsächlich nicht dargeboten wurden (z. B. "Der Vogel ist unter dem Tisch"). Die Versuchspersonen sollten nun jeweils beurteilen, ob sie den Satz vorher schon einmal gehört hatten. Besonders häufig stimmten die Probanden solchen Sätzen zu, die kompatibel mit den gehörten Prämissen waren, auch wenn diese Sätze gar nicht dargeboten wurden. Die Probanden waren also der Ansicht, sie hätten die richtigen Schlußfolgerungen genauso gehört wie die tatsächlich dargebotenen Sätze. Dieses Ergebnis erhärtet die Vermutung, daß die räumlichen Relationen der Objekte aus den genannten Sätzen ohne eine bewußte Entscheidung in eine bildliche Repräsentation übersetzt wurden. Auf der Grundlage einer solchen Repräsentation fällt nun die Unterscheidung von tatsächlich gehörten Aussagen und anderen, ebenfalls kompatiblen Aussagen schwer.

Wendet man sich nun der zweiten Position zu, die die Konstruktion eines bildhaften mentalen Modells als eine bewußte Entscheidung wertet (Glenberg & Langston, 1992, S. 148), fallen solche Aufgaben auf, die eigentlich nicht-bildhafter oder nicht-räumlicher Art sind. So vertreten z. B. West, Morris und Nicholl (1985) die Ansicht, daß das Denken in räumlichen Beziehungen auch in Aufgaben und Problemen eine Rolle spielt, die ursprünglich nicht-bildhafter Art sind. Eines der prominentesten Beispiele dürfte die Beziehung zwischen räumlicher Vorstellungsfähigkeit und mathematischen Fähigkeiten sein (West et al., 1985, S. 29 f.). Doch auch beim Erlernen von Computerprogrammen wurden unter bestimmten Umständen Zusammenhänge zwischen dem Verstehen des Systems und der visuellen Vorstellungsfähigkeit belegt (Sein, Bostrom & Olfman, 1987; Cunniff & Taylor, 1987; Gomez, Egan & Bowers, 1986; Linde & Bergström, 1990).

3.7.4 Vorstellungsbilder und mentale Modelle

Eine zusammenfassende Charakterisierung des Verhältnisses zwischen Vorstellungsbildern und mentalen Modellen äußert Johnson-Laird (1983, S. 157). Vorstellungsbilder seien Sichtweisen auf mentale Modelle ("views of models"). Sie enthalten die wahrnehmbaren Eigenschaften der Objekte des Modells, und zwar aus einer bestimmten Perspektive, auf einen bestimmten Zustand des Modells (vgl. Bryant & Tversky, 1992). Die Änderung der Perspektive oder des Modellzustands kann durch kognitive Simulation bewerkstelligt werden. Marks (1990) betont in diesem Zusammenhang die Funktion von Vorstellungsbildern für den Aufbau eines mentalen Modells: Die Relationsstruktur eines mentalen Modells kann durch die Konstruktion verschiedener Vorstellungsbilder exploriert werden⁷:

Images enable mental exploration of that relation-structure from as many different points of view as are necessary to understand, *what it is that is being represented*.

⁷ Das Zitat beschreibt mit dem Begriff der "mental exploration" die im vorangegangenen Abschnitt erläuterte kognitive Simulation. Anders ausgedrückt, die Abfolge von Vorstellungsbildern repräsentiert den Prozeß der kognitiven Simulation.

Understanding is the perception of the relation-structure within models. (Marks, 1990, S. 14, Hervorhebung im Original)

Die Ausführungen Marks' machen deutlich, daß mentale Modelle nicht mit Vorstellungsbildern gleichzusetzen sind, da mentale Modelle auch abstrakte Relationen enthalten, die in einer momentanen Sicht auf das Modell nicht wahrnehmbar sein müssen: z. B. Eigenschaften, die dem vorgestellten Objekt inherent sind (Tergan, 1986, S. 186), die erst eine mentale Simulation ermöglichen. Marks nennt ein anschauliches Beispiel: In der bildlichen Vorstellung eines Spielwürfels können höchstens drei seiner Seiten "sichtbar" sein. Das mentale Modell eines Würfels hingegen enthält mehr Wissen über diesen Würfel: z. B. welche Augenzahlen darauf abgebildet sind und welche Seiten sich gegenüberliegen. Dies ermöglicht eine kognitive Simulation in dem Sinne, daß der Würfel in der Vorstellung so gedreht werden kann, daß andere Seiten "sichtbar" werden und daß alle möglichen Vorstellungsbilder des Würfels kompatibel miteinander sind - also unterschiedliche "Perspektiven" auf den gleichen Gegenstand darstellen. Diese Beziehung zwischen "image" und "model" ist in diesem Abschnitt als die "Bildhaftigkeit" mentaler Modelle bezeichnet worden.

3.8 Mentale Modelle als Grundlage der Handlungssteuerung

3.8.1 Innere Modelle in der Prozeßkontrollforschung

Die bisher geschilderten Beiträge zu einer Theorie mentaler Modelle sind überwiegend im theoretischen Kontext der Kognitionspsychologie entstanden. Interne Modelle der Außenwelt sind jedoch auch Gegenstand anderer theoretischer Traditionen.

Eine besondere Rolle kommt in diesem Zusammenhang einer kybernetisch und ingenieurwissenschaftlich orientierten Forschungsrichtung zu, die sich anfänglich mit der manuellen Kontrolle technischer Systeme befaßte (vgl. z. B. die Berichte über die NASA University Conferences on Manual Control, auf die u. a. Veldhuyzen & Stassen, 1977 verweisen). Mit zunehmender Automatisierung technischer Systeme verlagerte sich der Schwerpunkt des Interesses auf die Analyse von Überwachungstätigkeiten (vgl. Rouse & Morris, 1986). Gegenstand solcher Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten sind kontinuierliche oder diskontinuierliche Prozesse, in die ein menschlicher Überwacher zur Einhaltung von Sollwerten eingreifen muß. Die Steuerungstätigkeit kann ebenfalls kontinuierlich sein, wie z. B. bei der Steuerung eines Fahrzeugs oder diskontinuierlich, wie etwa beim punktuellen Beheben von Fehlregulationen in halbautomatischen Anlagen.

Wie eine Literatursichtung von Veldhuyzen und Stassen (1976) zeigt, wurde in der Prozeßkontrollforschung (z. T. implizit) recht konsequent davon ausgegangen, daß Regelungstätigkeiten eines inneren Modells des zu regelnden Systems bedürfen. Veldhuyzen und Stassen (1977) differenzieren drei Bereiche eines solchen inneren Modells:

- Wissen über das zu regelnde System,
- Wissen über Störbedingungen, die auf das System einwirken können und

- Wissen über die auszuführende Aufgabe, z. B. über Sollwerte, Randbedingungen oder Signalbedeutungen.

Die Prozeßkontrollforschung blieb jedoch nicht bei der verbalen Kennzeichnung stehen: Hypothetische innere Modelle wurden anhand von Aufzeichnungen des Eingriffsverhaltens menschlicher Operateure wiederum modelliert. So gelang es z. B. Veldhuyzen und Stassen (1977) das Verhalten von Steuerleuten eines Schiffes durch ein mathematisches Modell zu beschreiben. Sie formalisierten also ihre Theorie über das interne Modell mit Hilfe eines weiteren externen Modells. Der hohe Formalisierungsgrad dieser Theorien führt dazu, daß die Annahme eines internen Modells nicht nur eine "allgemein akzeptierte Überzeugung" blieb (Jagacinski & Miller, 1978, S. 425, Übersetzung des Autors), sondern einer formalen Beweisführung unterzogen werden kann. So folgern Conant und Ashby (1970) beispielsweise, daß ein Modell des zu regulierenden Systems nicht nur eine Optimierungsmöglichkeit darstellt, sondern eine unabdingbare Voraussetzung für eine effektive Regelungstätigkeit sei. Die Autoren beziehen sich zwar nicht ausdrücklich auf menschliche innere Modelle, doch ist ihre Kernaussage "Every good regulator of a system must be a model of that system" (Conant & Ashby, 1970, S. 89) auf die menschliche Handlungsregulation übertragbar (vgl. jedoch Ringelband, Misiak und Kluwe, 1990).

3.8.2 Handeln und operative Abbildsysteme

Prozeßkontrolltheorien nehmen also innere Modelle an, die einen Teil des zu regulierenden Systems und Möglichkeiten des Eingriffs abbilden. Gleichzeitig wird jedoch davon ausgegangen, daß die Zielsetzungen für Regelungsvorgänge extern vorgegeben sind. Hierin unterscheidet sich ein weiterer theoretischer Ansatz, der interne Modelle als Grundlage der Handlungssteuerung betrachtet: Die - zumindest in ihren Anfängen - materialistisch orientierte Tätigkeitspsychologie (z. B. Leontjew, 1982) bezieht die Zielbildung explizit als Anforderung an ein internes Modell mit ein. In diesem Sinne wurde das Modell-Konzept der anglo-amerikanischen Prozeßkontrollforschung auf die eigenständige Planung und Ausführung menschlicher Tätigkeiten erweitert, auch wenn dies in weitgehender Unabhängigkeit und unter Verwendung unterschiedlicher Begriffe geschah. An die Stelle des Modellbegriffs treten in der Tradition der Tätigkeitspsychologie die Konstrukte der "psychischen Widerspiegelung" der objektiven Welt im menschlichen Bewußtsein (z. B. Leontjew, 1982) und als Ergebnis dieses Widerspiegelungsprozesses das "operative Abbild" (z. B. Oschanin, 1976). Der Abbildbegriff wird "Modell" von Oschanin (1976) vorgezogen, da er den "psychologischen Charakter" und die "materialistische Interpretation" (S. 38) betone. Dennoch wird deutlich, daß "Abbild" nicht als eine Abbildung im Sinne passiver Übertragung äußerer in innere Informationen zu mißdeuten sei. Es werden zahlreiche aktive Transformationsprozesse (z.B. in der Wahrnehmung) angenommen, die aus kognitivistischer Sicht wiederum den Begriff "Abbild" irreführend erscheinen lassen (vgl. Neisser, 1967).

Detaildarstellung 9**Wie das operative Abbild zur Grundlage der Handlungssteuerung wird**

Die Vorstellung, mit zunehmender Übung werde ein inneres Modell des Arbeitsgegenstandes und des Handlungsablaufs zur Grundlage der Handlungssteuerung, erscheint plausibel. Häufig benutzte sprachliche Wendungen wie etwas "aus dem Kopf können" oder etwas "auswendig können" weisen auf die alltagspsychologische Validität hin. Doch gerade solche scheinbar selbstverständlichen Annahmen entziehen sich oft ihres empirischen Nachweises. Einen überzeugenden Versuch, die Rolle innerer Modelle bei der Handlungssteuerung empirisch zu belegen, haben Hacker und Clauss (1976) beschrieben.

Gegenstand ihrer Untersuchung war eine Montagetätigkeit: Leiterplatten waren mit elektronischen Bauteilen zu bestücken. Dabei kam es darauf an, die Bauteile mit Hilfe ihrer Bezeichnung richtig zu identifizieren und an den dafür vorgesehenen Positionen auf der Leiterplatte zu befestigen. Ist eine solche Verrichtung nicht bereits geübt, benötigt man dafür eine Anleitung. Hacker und Clauss entwarfen hierfür sieben verschiedene Vorgaben:

1. Eine fertig bestückte Leiterplatte als Vorbild (Plattenfelder und Bauelemente tragen Bezeichnungen).
2. Eine Zeichnung der fertig bestückten Leiterplatte (auch hier tragen Plattenfelder und Bauelemente Bezeichnungen). Zusätzlich sind die Koordinaten der Plattenfelder (vertikal: A-H, horizontal: 1-10), übereinstimmend mit den Koordinaten auf der Leiterplatte selbst, angegeben.
3. Eine Zeichnung wie 2. jedoch mit Koordinatenangaben, die gegenüber denen auf der Leiterplatte vertauscht waren (vertikal: 1-10, horizontal: A-H).
4. Eine Liste, in der jeweils die zusammengehörigen Koordinaten, die Feldbezeichnung und die Bauteilbezeichnung in einer Zeile stehen.
5. Eine Liste, in der nur die Bezeichnungen der Felder und der Bauelemente einander zugeordnet sind.
6. Eine Tonbandinstruktion, in der (wie in 5.) Felder und Bauelemente einander zugeordnet werden.
7. Die Leiterplatte selbst trägt Feldmarkierungen und Bauteilbezeichnungen.

Jeweils zehn Personen bestücken nun unter jeder der sieben Bedingungen Leiterplatten. Dabei sollen sie - mit Hilfe der jeweiligen Vorlage - immer 15 Bauteile auf 15 von 80 Plattenfelder aufstecken. Nach der dritten und sechsten Wiederholung wird eine Leiterplatte, die alle Bezeichnungen enthält, ohne Vorlage bearbeitet. Nach der neunten Wiederholung ist eine Leiterplatte ohne Bezeichnung und ohne Vorlage zu bestücken.

Ohne daß in diesem Zusammenhang genau auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Vorlagen eingegangen werden kann, ist offensichtlich, daß ihre Nutzung unterschiedliche kognitive Anforderungen stellt. Beispielsweise stellen einige Vorlagen die Leiterplatte genauso dar, wie sie tatsächlich aussieht, andere nicht. Die benötigten Informationen sind begrifflich, bildlich oder akustisch kodiert, manchmal sind die

Koordinaten des Montageortes angegeben, manchmal müssen sie erst erschlossen werden. Diese unterschiedlichen Anforderungen lassen erwarten, daß einige Vorlagen leichter (z. B. mit geringerem Zeitaufwand) zu nutzen sind als andere. Auch sollten die Vorlagen in unterschiedlicher Weise Fehler provozieren. Diese Unterschiede sollten aber nur so lange zu beobachten sein, bis ein inneres Modell ausgebildet ist, das selbst die zur Handlungssteuerung erforderlichen Informationen enthält. Von diesem Zeitpunkt ab sollten die unterschiedlichen Anforderungen der Vorlagen sich nicht mehr auf die Leistung auswirken, da diese nicht mehr in Anspruch genommen werden müssen.

Die Auswertung der Bestückungszeit (übrigens auch der Fehler und der erlebten Aufgabenschwierigkeit) bestätigen die Vorhersage: Bei der ersten Ausführung steigt beispielsweise der Zeitbedarf mit der Anzahl der kognitiven Operationen, die erforderlich sind, um die vorgegebenen Informationen für die Handlungssteuerung nutzen zu können. Am kürzesten ist die Bestückungszeit bei der Vorgabe 7: Die vorgegebenen Informationen können unmittelbar angewendet werden, denn die Leiterplatte selbst enthält schon alle Angaben zur richtigen Platzierung der Bauteile. Die schwierigste Vorgabe dagegen ist die Tonbandinstruktion. Bei dieser Variante ist die Bestückungszeit fast doppelt so lang wie bei der Vorgabe 7. Diese Ergebnisse gelten alle für die erste Ausführung, also für ein Lernstadium, in dem noch kein inneres Modell ausgebildet sein kann. Bei der letzten Ausführung dagegen sind diese Unterschiede verschwunden: Die Versuchspersonen, die mit den schwierig zu nutzenden Vorgaben arbeiten mußten, sind nun genauso schnell wie alle anderen. Bei allen Gruppen hat sich der Zeitbedarf verkürzt (auch bei denen, die mit den leicht zu nutzenden Vorgaben arbeiteten). Doch der Gewinn ist bei denjenigen am größten, die die vorgegebenen Informationen mehrfach transformieren mußten - solange sie auf die äußeren Vorgaben angewiesen waren.

Aus diesen Ergebnissen folgern Hacker und Clauss, daß die Handlungskontrolle von den äußeren Vorgaben auf das inzwischen entstandene innere Modell übergegangen ist. Damit haben die unterschiedlichen Vorlagen keinen differentiellen Einfluß mehr auf die Leistung. Eine weitere Bestätigung für diese Hypothese finden sie bei der Analyse der Blickzuwendungen zu den Vorlagen: In allen Gruppen verringert sich die Anzahl der Blickzuwendungen im Laufe des Lernprozesses. Da die Leistung aber gleichzeitig in allen Gruppen steigt, können die benötigten Informationen nur intern gespeichert sein.

Von größerer Bedeutung ist dagegen die Qualifizierung innerer Modelle als "operative" Abbilder. Dies betont ihre Rolle als "Regulator der Handlung" (Oschanin, 1976, S. 38). Die in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten Eigenschaften mentaler Modelle umfaßten dagegen schwerpunktmäßig ihre Funktion beim Lösen von Problemen und beim Wissenserwerb. Nun steht ihre Rolle bei der Handlungssteuerung im Mittelpunkt:

... das psychische Abbild des Objekts, das in diesen Handlungen als auf das Objekt bezogenes, als zweckmäßiges, d. h. den Aufgaben der Handlung entsprechendes strukturiertes Informationsensemble in Erscheinung tritt. Ein solches Ensemble eben bezeichnen wir als operatives Abbild. (Oschanin, 1976, S. 38)

Von größter Bedeutung sind tätigkeits- und handlungsleitende mentale Modelle bei der Erklärung zielgerichteten Handelns, wie es in besonderem Maße beim Arbeitshandeln der Fall ist. So enthält auch die Handlungsregulationstheorie (Hacker, 1978, 1986) eine der elaboriertesten Darstellungen operativer Abbilder.

Als Inhalte operativer Abbilder nennt Hacker (1986, S. 123) folgende Bereiche:

- Handlungsziele bzw. deren kognitive Antizipation. Diese repräsentieren die "Sollwerte" der Handlungssteuerung auf unterschiedlichen Detailliertheitsebenen.
- Ausführungsbedingungen. Diese umfassen Wissen darüber, unter welchen Randbedingungen die Handlungen auszuführen sind, mit denen die vorgenommenen Ziele erreicht werden können.
- Hinzu kommt das Wissen um Transformationsmaßnahmen, die den Ist- in den Sollzustand überführen können. Hierzu zählen nicht nur die Arbeitsmittel, sondern auch Pläne zu ihrem Einsatz und die hierzu erforderlichen Operationen des Handelnden selbst.

Operative Abbilder stellen somit die Grundlage sowohl der Handlungsplanung als auch der Handlungsausführung dar. Die handlungsleitende Wirksamkeit eines operativen Abbilds äußert sich vor allem darin, daß die Handlung unabhängig von äußeren Informationen, wie z. B. Handlungsanweisungen, Entscheidungsregeln etc. wird (Hacker & Clauss, 1976; vgl. Detaildarstellung 9). Die Handlungskontrolle geht von solchen äußeren Informationen auf das innere Modell des Arbeitsgegenstandes, des Handlungsablaufs und der Zielstruktur über. Das innere Modell erspart so die aktuelle Informationsaufnahme und -rekodierung während der Handlungsausführung, weil die erforderlichen Informationen zur Handlungssteuerung im Gedächtnis bereits vorliegen.

3.8.3 Operative Abbilder und mentale Modelle: Verschiedene Sichtweisen des gleichen Problems?

Aus dieser spezifischen Funktion der Handlungssteuerung ergibt sich ein Unterschied zu den bisher diskutierten Merkmalen mentaler Modelle: Arbeitshandlungen sind nur zu einem gewissen Teil problemlösender Art. Ein größerer Teil besteht aus mehr oder weniger geübten, wiederkehrenden Handlungen, die zumindest teilweise automatisiert werden können. Automatisierte Handlungen bedürfen z. B. nicht mehr der vollständigen Planung oder einer dauernden, bewußten Steuerung. Dies gilt sowohl für Prozeßkontrolltätigkeiten als auch z. B. für Fertigungs- oder Verwaltungsarbeiten. Innere Modelle zur Steuerung solcher Handlungen zeichnen sich durch eine relative "Beständigkeit" aus (vgl. Hacker, 1986, S. 121). Ihre Entwicklung bedeutet die Konservierung von Invarianten des Handlungsprozesses, die mit zunehmender Routine in Form von Schemata (vgl. 3.4.2) gespeichert werden können: "OAS (operative Abbildsystem, Anmerkung des Autors) tragen verallgemeinerte, schematische Züge. Sie tendieren dazu, Klassen von Merkmalen und Relationen zu repräsentieren. Schemata ermöglichen ein rationelles ... Behalten von Informationen" (Hacker, 1986, S. 125). Für die bisher diskutierten mentalen Modelle, deren Zweck vornehmlich im problemlösenden Wissenserwerb bestand (z. B. Ballstaedt, Molitor & Mandl, 1987), wurde gerade das Gegenteil postuliert: Aus allgemeinen Gedächtnisschemata werden konkrete Vorstellungen

abgeleitet und in einen spezifischen Kontext gestellt. Die "Rekontextualisierung" (Anderson, 1977, S. 424) bedeutet eine Hinwendung zu einem spezifischen Beispiel des allgemeineren Schemas. Effektive operative Abbildsysteme zeichnen sich dagegen gerade durch ihre "Entkontextualisierung" aus, durch das Erkennen der allgemeinen Invarianten eines Handlungsablaufs⁸. Hierin einen grundsätzlichen Unterschied zwischen "operativen Abbildern" und "mental Modellen" entdecken zu wollen, wäre jedoch unangemessen. Können diese Unterschiede doch allzuleicht durch ihre unterschiedlichen Funktionen erklärt werden⁹. Die Vertreter beider theoretischen Traditionen stimmen ohnehin wieder darin überein, daß innere Modelle auf ihre Funktion hin adaptierbar sind (vgl. Kapitel 2): "Operative Abbilder sind anforderungsabhängig bzw. bewältigungsorientiert. ... Sie bilden einschlägige Sachverhalte in einer für die Bewältigung der Tätigkeit nützlichen Weise ab" (Hacker, 1986, S. 125).

In diesem Sinne sind mentale Modelle und operative Abbilder als Adaptationen innerer Modelle an unterschiedliche kognitive Anforderungen zu verstehen. Es sind jedoch weitere theoretische Gemeinsamkeiten "kognitiver mentaler Modelle" und "tätigkeitsorientierter operativer Abbilder" festzustellen: Im Rahmen der Handlungsregulationstheorie (oder auch im Zusammenhang mit Theorien der Prozeßkontrolle) bedeutet "Handeln" immer Handeln in bezug auf ein externes Objekt, meistens unter Zuhilfenahme von Werkzeugen und Arbeitsmitteln. Deshalb umfaßt das System operativer Abbilder nicht nur die Repräsentationen eigener Handlungen, sondern auch die Relation zwischen eigenem Handeln und dem Zustand des Arbeitsmittels bzw. des Arbeitsobjekts. Aus der Erfahrung dieser Relation werden Regeln über den Zusammenhang von Ausführungsbedingungen, Zielen und Handlungen abgeleitet, die eine Vorhersage von Systemzuständen erlauben. Dies ist besonders bei Prozeßsteuerungstätigkeiten von hervorragender Bedeutung (z. B. Veldhuyzen & Stassen, 1977). So bezeichnet Hacker (1986, S. 128) auch "... die Regulation von Arbeitstätigkeiten mit Hilfe von Vorwegnahmen und Erwartungen (Hypothesenbildung)" als das wichtigste Merkmal operativer Abbilder. Die vorstellungsmäßige Vorwegnahme von Ereignissen ermöglicht sowohl effektives Eingreifen und damit die Vermeidung von Störfällen als auch ihre nachträgliche Diagnose. So fand beispielsweise Quaa (1976) bei der Analyse von Arbeitstätigkeiten beim Schären von Kunstseide, daß die Leistungsunterschiede zwischen den Arbeiterinnen größtenteils auf Unterschiede im vorausschauenden prophylaktischen Eingreifen zurückzuführen waren und nur in geringem Ausmaß auf unterschiedliche motorische Fertigkeiten. Die leistungsstarken Arbeiterinnen reagierten z. B. häufiger auf implizite Vorseignale für Fehlfunktionen: Zittern der Fäden, außergewöhnliche Maschinen Geräusche oder zu hohe Fadenspannung veranlaßten die Bedienerinnen, die Ablaufeigenschaften von Spulen zu überprüfen - noch während die Maschinen liefen und bevor Fadenbrüche auftraten. Im Falle einer solchen "hypothetischen Vorgangsabbildung" (Hacker 1986, S. 130) bevorzugt Oschanin (1976) den Begriff "dynamisches operatives Abbild". Hiermit ist nun auch begrifflich eine Eigenschaft operativer Abbilder gekenn-

⁸ Systematisch ausgenutzt wird dieser Prozeß z. B. beim mentalen Training von Bewegungsabläufen (z. B. Volpert, 1976; Heuer, 1985; Marks, 1990, S. 21).

⁹ Demgegenüber schlägt jedoch Rasmussen (1990) vor, den Begriff des mentalen Modells nur auf die intellektuelle Regulationsebene anzuwenden. Damit würde die Bedeutung des Begriffs auf die problemlösende Funktion mentaler Modelle eingeschränkt.

zeichnet, die in Abschnitt 3.6 als die "Simulationsfähigkeit" mentaler Modelle beschrieben wurde.

Eine zweite zentrale Gemeinsamkeit zwischen den Konstrukten beider Theorietraditionen besteht in der Anschaulichkeit operativer Abbilder: Nach Hacker (1986) ist der Begriff "Abbild" durchaus als Unterstreichung des bildhaft-anschaulichen Charakters operativer Abbilder zu verstehen. Hacker (1986, S. 122) gibt dafür folgendes Beispiel: In einem Textilbetrieb ließen geübte Spuler die Spulköpfe auch während der Pausen laufen, was zu einer besseren Maschinenauslastung führte. Allerdings dürfen die Spulköpfe nicht leer laufen, so daß vor einer Pause anhand des verbliebenen Spulendurchmessers abgeschätzt werden muß, welche Spulen vorher ausgewechselt werden müssen. Leistungsstarke Mitarbeiter konnten die verbleibende Laufzeit präziser schätzen als eine leistungsschwächere Vergleichsgruppe. Das Urteil kam nicht aufgrund einer formalen Berechnung zustande, sondern durch den Vergleich des wahrgenommenen Spulendurchmessers mit der bildlichen Erinnerung eines für die Pause ausreichenden Durchmessers.

Vor dem Hintergrund dieser Gemeinsamkeiten läßt sich eine Unterscheidung operativer Abbilder und mentaler Modelle nur durch die Betonung unterschiedlicher Funktionen aufrecht erhalten, nicht jedoch aus grundlegenden, konzeptuellen Gründen.

3.9 Wissensrepräsentation und mentale Modelle

3.9.1 Zu einigen Grundlagen der Wissensrepräsentation

In Abschnitt 3.1 wurden vier Grundannahmen der Kognitionspsychologie dargestellt. Unter ihnen befand sich auch die sogenannte "Transformationsannahme", die besagt, daß Gegebenheiten der Umwelt mit der Wahrnehmung in einen mentalen Code umgewandelt werden müssen. Erst mit dieser internen Darstellung entsteht subjektiv "Information", die einer Verarbeitung zugänglich ist. Denken, so schlug Craik (1943) vor, sei die Manipulation einer internen Repräsentation der Welt. In der bisherigen Darstellung wurden in erster Linie die möglichen Manipulationen in mentalen Modellen verfolgt. Der vorliegende Abschnitt wendet sich nun explizit der Frage der Wissensrepräsentation zu. In welcher Form also könnten mentale Modelle kodiert sein?

Einige grundlegende Aussagen über den Begriff der Repräsentation wurden bereits in den modelltheoretischen Erwägungen des zweiten Kapitels vorweggenommen. Denn jedes Modell (auch ein nicht-mentales) ist eine Repräsentation des Originals: "a representation is something that stands for something else", wie es Rumelhart und Norman (1988) sehr einfach ausdrücken. Dies macht eine Unterscheidung des repräsentierten (Original) und des repräsentierenden Sachverhalts (Modell) erforderlich. Möchte man sich nicht auf die spezifischeren Begriffe "Original" und "Modell" beschränken, sondern die Einbettung in einen allgemeineren Zusammenhang betonen, spricht man von "Repräsentanda" und "Repräsentaten". Bezogen auf die mentale Repräsentation unterscheidet Herrmann (1988, S. 164 f.) drei Klassen von Repräsentanda:

- *Observablen* sind Ereignisse oder Tatbestände der Außenwelt, die für den Menschen wahrnehmbar sind.

- *Mentale Sachverhalte*: Da Menschen (zumindest teilweise) ihre eigenen Informationsverarbeitungsprozesse reflektieren können, muß man annehmen, daß auch psychische Zustände oder Prozesse intern repräsentiert sind, so daß diese selbst Gegenstand kognitiver Operationen sein können. Ein solches Repräsentandum ist jedoch kein beobachtbarer Bestandteil der Außenwelt.

- *Überindividuelle Gebilde*: Einige Repräsentanda sind nun weder in der Außenwelt beobachtbar noch sind sie mentale Sachverhalte, die allein und eindeutig einem Individuum zuzuschreiben sind. Herrmann (1988, S. 164) nennt etwa "die Sprache" oder "das Recht" als Beispiele solcher "historisch-gesellschaftlich-kulturellen Makrophänomene".

Bezüglich mentaler Modelle muß festgestellt werden, daß alle drei Klassen zu den Repräsentanda gehören können. Am Beispiel eines mentalen Modells über das Funktionieren eines Computerprogramms läßt sich dies veranschaulichen: Beobachtbare Tatbestände sind beispielsweise alle potentiell sichtbaren Merkmale der Bedienungsoberfläche. Mentale Tatbestände sind ebenfalls repräsentiert: Versucht der Benutzer sich z. B. daran zu erinnern, wie sie oder er ein vergleichbares Problem schon einmal gelöst hat, muß der bereits ausprobierte Lösungsweg so repräsentiert sein, daß er weiteren kognitiven Operationen zugänglich ist, z. B. der aktuellen Situation angepaßt werden kann. Natürlich sind auch überindividuelle Tatbestände repräsentiert: Günstigenfalls z. B. die rationale Grundüberzeugung, daß zwischen den Aktionen des Bedieners und den Reaktionen des Systems kausale Beziehungen bestehen.

In welchen möglichen Repräsentaten diese Tatbestände abgebildet sein können, ist Gegenstand dieses Abschnitts, in dem in aller Kürze einige Repräsentationsformen gegenübergestellt werden. Entscheidend ist jedoch zunächst, daß die Abbildungsrelation zwischen Repräsentandum und Repräsentat nicht umkehrbar ist (Herrmann, 1988). Wäre dem nicht so, könnte man nur eine irgendwie geartete Beziehung zwischen beiden annehmen, aber keine spezifische Abbildungsrelation. Herrmann (1988) weist in diesem Zusammenhang zu Recht darauf hin, daß die Diskussion mentaler Repräsentationen tatsächlich nur dann erforderlich ist, wenn genau diese Abbildungsrelation in Frage steht. Kognitive Prozesse oder Verarbeitungsleistungen können auch ohne Rekurs auf die zugrundeliegende Repräsentationsform beschrieben werden, ohne zwangsläufig defizitär zu sein. Im Gegenteil sei eine gezielte Verwendung des Repräsentationsbegriffs von Vorteil für die begriffliche Klarheit psychologischer Theorien (vgl. auch Engelkamp & Pechmann, 1988, S. 2). Aus diesen Gründen kam auch die bisherige Behandlung der Eigenschaften und Funktionen mentaler Modelle ohne die Erörterung der Repräsentationsfrage aus. Neisser (1982) ist sogar der Ansicht, daß die Bedeutung der Repräsentationsart in der jüngeren Kognitionspsychologie überschätzt wurde.

Damit stellt sich die Frage, welchen zwingenden Grund es überhaupt gibt, sich mit der internen Repräsentation mentaler Modelle zu befassen. Ein wichtiger Grund besteht darin, daß in einigen Theorien mentaler Modelle der Anspruch erhoben wird, explizit Aussagen über die Wissensrepräsentation machen zu können - Aussagen, die im Widerspruch zu gängigen Repräsentationstheorien zu stehen scheinen. Eine Bewertung Mentaler-Modell-Ansätze kann deshalb das Problem der Wissensrepräsentation nicht außer

acht lassen. Diese Frage wird nach einer kurzen Darstellung möglicher Repräsentationsformen in Abschnitt 3.9.3 wieder aufgenommen.

3.9.2 Einige Formen der Wissensrepräsentation

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung über verschiedene Formen der Wissensrepräsentation ist durch zahlreiche sogenannte "Kontroversen" gekennzeichnet, in denen jeweils zwei scheinbar inkompatible Repräsentationsformate gegeneinandergehalten werden. Dabei stellt sich häufig heraus, daß diese "Kontroversen" das Problem auf die zwei beteiligten Alternativen einzuschränken drohen und damit der Komplexität der Fragestellung nicht immer gerecht werden. Auf der anderen Seite haben sie jedoch oft eine beeindruckende Forschungsaktivität ausgelöst, die eine Fülle empirischer Befunde zur Folge hatte. In der vorliegenden Arbeit dient die stichwortartige Darstellung dieser "Kontroversen" dazu, eine Grundlage zur Einordnung Mentaler-Modell-Theorien zu schaffen. Auf eine vertiefende Darstellung muß in diesem Zusammenhang verzichtet werden¹⁰.

Vorauszuschicken ist die Bemerkung, daß alle folgenden Repräsentationsformen als Repräsentationen zweiter Ordnung zu verstehen sind. Da die mentale Repräsentation eines Sachverhalts nicht direkt beobachtbar ist, muß sie selbst Gegenstand eines externen Modellierungsprozesses sein. Ein semantisches Netz als ein prominentes Beispiel einer Repräsentationsform ist selbst nur eine externe Repräsentation der internen Repräsentation von begrifflichen Beziehungen. Die darzustellenden externen Repräsentationsformen können also nicht per se richtig oder falsch sein, sondern nur mehr oder weniger geeignet, die interne Repräsentation von Wissen nachzubilden.

Propositionale vs. analoge Repräsentation:

Die meisten in der Kognitionspsychologie und in der Forschung zur Künstlichen Intelligenz entwickelten Repräsentationssysteme sind im weiteren Sinne als propositionale Systeme zu bezeichnen. Sie basieren auf der Grundannahme, Bedeutungen mit Hilfe von Symbolen darstellen zu können. Auch die natürliche Sprache ist ein Symbolsystem und in diesem Sinne hervorragend geeignet, Bedeutungen zu repräsentieren. Da das Erkenntnisinteresse sich aber z. T. gerade auf das Sprachverstehen richtet, erscheint es angezeigt, eine Repräsentation zu wählen, die Bedeutungen weitestgehend unabhängig von einer spezifischen sprachlichen Formulierung abzubilden erlaubt. Deshalb sind stärker formalisierte Sprachen in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Besonders häufig wurde das von dem deutschen Mathematiker Gottlob Frege (1892) entwickelte Prädikatenkalkül in mehr oder weniger direkter Weise als Ausgangspunkt gewählt.

Ein Prädikat bezeichnet eine Eigenschaft eines Objekts *oder* eine Beziehung zwischen Argumenten (z. B. zwischen Objektbegriffen). Dabei ist das Prädikat in der Regel inhaltlich bestimmt, nicht jedoch die Argumente, auf die es sich bezieht. Diese werden durch Variablen dargestellt. Sind diese Variablen jedoch durch spezifische Konstanten ausgefüllt, wird dieses Prädikat als Proposition bezeichnet. Dadurch, daß es nun keine

¹⁰ Übersichtsdarstellungen zu diesem Thema sind die Arbeiten von Rumelhart & Norman (1988), Tergan (1986) oder der Sammelband von Mandl & Spada (1988).

Platzhalter mehr gibt, sondern konkrete Objektbegriffe, kann die Proposition wahr oder falsch sein.

Auf dieser Grundlage sind zahlreiche Repräsentationssysteme entstanden, die sich dadurch unterscheiden, daß sie unterschiedliche Arten von Symbolen, Relationen und Darstellungsmodi benutzen. Deshalb sind sie nicht für alle Darstellungsebenen in gleicher Weise geeignet. Drei Beispiele bekannter symbolischer Repräsentationsformen veranschaulichen dies: Semantische Merkmalslisten sind beispielsweise geeignet, Begriffsbedeutungen darzustellen. Propositionen können Wissen auf der Ebene natürlichsprachlicher Sätze repräsentieren. Semantische Netze dagegen werden mit dem Anspruch konstruiert, Wissen sowohl auf lexikalischer Ebene als auch auf der Ebene von Satzaussagen abbilden zu können.

Detaildarstellung 10

Symbolische Repräsentationen von Bedeutungen: Propositionen und semantische Netze

Die folgende Aussage sei propositional zu repräsentieren:

1. Mit dem Kommando 'Kopieren' kann man einen Textteil in den Zwischenspeicher übertragen, wenn dieser Textteil vorher markiert wurde.

Dieser Satz kann in folgende Einzelaussagen zerlegt werden:

2. 'Kopieren' ist ein Kommando.
3. 'Kopieren' überträgt einen Textteil in den Zwischenspeicher.
4. Der Textteil ist markiert.
5. Satz 3 gilt nur, wenn Satz 4 zutrifft.

Als Prädikat-Argument-Strukturen lassen sich diese drei Sätze wie folgt umformulieren. Das Prädikat jeweils kursiv gedruckt, die Argumente nicht:

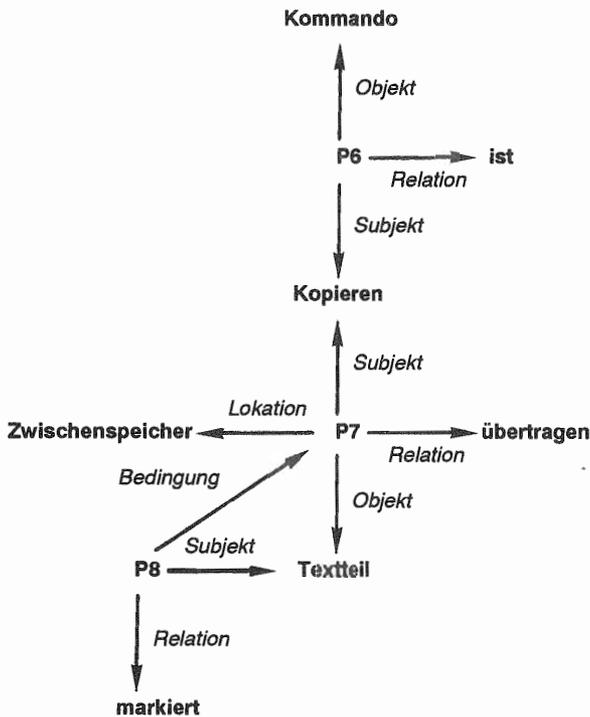
6. (*ist*, Kopieren, Kommando)
7. (*übertragen*, Kopieren, Textteil, Zwischenspeicher)
8. (*markiert*, Textteil)
9. (*gilt wenn*, Proposition 7, Proposition 8)

Die propositionale Repräsentation ändert sich auch bei einer veränderten sprachlichen Formulierung nicht. Der Bedeutungsgehalt des folgenden Satzes wäre in den Propositionen 6-9 vollständig repräsentiert, obwohl er nicht wörtlich mit Satz 1 übereinstimmt:

10. Wenn man einen Textteil markiert hat, kann man diesen mit dem Kommando "Kopieren" in den Zwischenspeicher übertragen.

Detaildarstellung 10 (Fortsetzung)

Propositionenlisten können graphisch in semantischen Netzen dargestellt werden:



Die Beispiele sind an den Notationen von Kintsch (1974) und Anderson (1985) orientiert.

Analoge Repräsentationen dagegen "... sind Abbildungen, die die Eigenschaften (oder zumindest einige von ihnen) eines abzubildenden Objekts oder Umweltereignisses beibehalten" (Steiner, 1988, S. 99). Abgebildetes und Abzubildendes sind einander in bestimmten Relationen ähnlich. Nach dieser Kennzeichnung erscheint die Unterscheidung symbolischer und analoger Repräsentationen zunächst recht willkürlich, denn prinzipiell ist jede Repräsentation dem Abzubildenden analog oder ähnlich. Die Frage ist nur, ob für diese Abbildungen Elemente erforderlich sind, die dem Abzubildenden nicht zwangsläufig inhärent sind (Palmer, 1978). Eine symbolische Darstellung muß für alle abzubildenden Relationen Symbole einführen. Diese Symbole können willkürlich gewählt werden, sie sind kein inhärenter Bestandteil des Abzubildenden. Bei einer analogen Repräsentation kann zumindest teilweise auf die Verwendung von Symbolen verzichtet werden, wenn die darzustellende Relation in der gleichen Weise abgebildet werden kann, wie sie für das Original kennzeichnend ist (Detaildarstellung 11).

Detaildarstellung 11**Symbolische oder analoge Repräsentation**

Folgender Sachverhalt sei symbolisch oder analog zu repräsentieren:

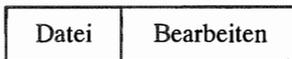
1. Das Pull-down-Menü "Bearbeiten" befindet sich rechts vom Menü "Datei".

Diese sprachliche Kodierung ist bereits eine symbolische Kodierung. Eine von der sprachlichen Formulierung abstrahierte Kodierung bestände z. B. in einer propositionalen Schreibweise:

2. (*rechts von*, Menü "Bearbeiten", Menü "Datei")

Die Relation *rechts von* ist in den Aussagen 1 und 2 symbolisch dargestellt: einmal durch die Worte "rechts von" und einmal durch das Prädikat "*rechts von*". In beiden Fällen waren diese Symbole nicht Bestandteil des zu repräsentierenden Sachverhalts. Sie treten erst durch die Verwendung eines bestimmten Codes in Erscheinung. Im Sinne Palmers (1978) ist diese Repräsentation damit extrinsisch. Im Kontrast hierzu die analoge Repräsentation:

- 3.



Das Beispiel zeigt, wie schwer symbolische und analoge Repräsentation zu trennen sind: Natürlich sind die beiden Menüs wieder durch Symbole (die Worte "Datei" und "Bearbeiten") dargestellt. Aber die in Frage stehende Relation (*rechts von*) ist analog repräsentiert: So wie das Menü "Bearbeiten" auf der Bedienoberfläche *rechts von* Menü "Datei" steht, so steht in dieser Repräsentation das Symbol für das eine Menü *rechts von* dem des anderen. Zur Abbildung dieser Relation ist kein aus einem externen Code stammendes Symbol erforderlich: Es handelt sich um eine intrinsische Repräsentation.

Der größte Teil der Forschung zu analogen Repräsentationen ist am Beispiel bildlicher Erinnerungen und Vorstellungen durchgeführt worden (Steiner, 1988). Dies stellt aus zwei Gründen eine einseitige Betrachtung des Problems dar: Zum einen sind analoge Repräsentationen auch bezüglich anderer Sinnesmodalitäten denkbar und sogar wahrscheinlicher. So ist etwa bei der Erinnerung von Geräuschen oder Gerüchen mit recht hoher Wahrscheinlichkeit eine analoge Repräsentation anzunehmen: Obwohl wir für die wenigsten Wahrnehmungen dieser Art Symbole zur Verfügung haben, können wir sie relativ sicher unterscheiden oder wiedererkennen (vgl. Steiner, 1988). Zum anderen müssen bildliche Vorstellungen oder die Erinnerung von Bildern nicht zwangsläufig auf analogen Repräsentationen beruhen: Im Zusammenhang mit der sogenannten "Imagery"-Diskussion (Wippich, 1984; Pinker & Kosslyn, 1983) sind unterschiedliche Annahmen vertreten worden (vgl. auch Tergan 1986, S. 156 ff.):

- Bilder sind als Bilder gleichberechtigt neben propositionalen Repräsentationen im Langzeitgedächtnis gespeichert (z. B. Paivio, 1978).

- Bildliche Informationen sind zwar zweifach repräsentiert, aber beide Repräsentationen unterscheiden sich in funktionaler Hinsicht. Kosslyn (1980) beispielsweise betrachtet eine propositionale Tiefenrepräsentation als das Medium der Langzeitspeicherung, während analoge Oberflächenrepräsentationen bei der aktuellen Vorstellung und Erinnerung generiert werden.

- Wissen (auch bildliches) ist einheitlich propositional gespeichert. Bildliche Vorstellungen werden aus propositionalen Repräsentationen rekonstruiert (z. B. Pylyshyn, 1981) oder sprechen unterschiedliche Merkmale im semantischen Netz an (z. B. Hoffmann & Klimesch, 1984).

- Bilder sind ausschließlich analog repräsentiert (z. B. Shepard & Cooper, 1982).

Deklarative vs. prozedurale Repräsentation:

In einer häufig auf Ryle (1949) zurückgeführten Unterscheidung werden zwei Formen von menschlichem Wissen betrachtet: Deklaratives Wissen sei in einer Form gespeichert, die einen direkten Zugriff, Bewußtmachung und Verbalisierung ermögliche. Fragt man einen Computerbenutzer, ob ihm die Wirkung eines bestimmten Kommandos im Anwendungsprogramm X bekannt ist, wird für die Beantwortung deklaratives Wissen aktiviert, das höchstwahrscheinlich zu einer Ja-Nein-Entscheidung führt. Prozedurales Wissen dagegen liege der Steuerung von Verhalten zugrunde. Es muß weder bewußt noch verbalisierbar sein (vgl. Nisbett & Wilson, 1977; Ericsson & Simon, 1980). Geübte Computerbenutzer betätigen z. B. Tasten, deren genaue Lage sie verbal nicht unbedingt zutreffend beschreiben können. Deklaratives Wissen könne nur vorhanden oder nicht vorhanden sein, während prozedurales Wissen in unterschiedlichen Ausprägungsgraden vorliegen und durch Übung verbessert werden kann. Im Gegensatz dazu kann deklaratives Wissen auch allein durch Mitteilung erworben werden. Nach Anderson (1983) besteht allerdings die Möglichkeit, daß deklaratives Wissen durch Übung in prozedurales gewandelt werden kann.

Es wäre naheliegend, diese Unterscheidung mit dem Begriffspaar des "Fakten- und Handlungswissens" gleichzusetzen. Dies ist nicht angemessen, weil die Unterscheidung des Inhalts (Fakten oder Handlungen) nicht zwangsläufig auch die Repräsentation dieses Wissens determiniert (vgl. Detaildarstellung 12). Oswald und Gadenne (1984, S. 181) beispielsweise argumentieren, daß eine Untermenge des deklarativen Wissens sich durchaus auf Handlungen beziehen kann. Sie nennen dies "präskriptives Handlungswissen". Andererseits könne deklaratives Wissen aber auch über bereits erworbene Prozeduren entwickelt werden ("hypothetisches Handlungswissen").

Beide Formen des Wissens (deklarativ und prozedural) lassen sich durch unterschiedliche Formalismen repräsentieren (vgl. Winograd, 1975). Während deklaratives Wissen sich in allen symbolischen Repräsentationsformen darstellen läßt, die semantische Relationen abbilden, ist dies für prozedurales Wissen zwar möglich, aber sehr aufwendig. Besser eignen sich hierzu Produktionssysteme (vgl. Opwis, 1988). Produktionen sind untereinander verknüpfte Regeln, die Aktionen der Dann-Komponente ausführen, wenn die Bedingung der Wenn-Komponente erfüllt ist. Diese Darstellung erleichtert die Repräsentation von Prozessen, obwohl theoretisch auch jedes deklarative Wissen in Produktionen kodiert werden kann (vgl. Newell & Simon, 1972). Mit der theoretischen Unterscheidung prozeduraler und deklarativer Wissenrepräsentation ist also

keine Entscheidung für ein bestimmtes externes Repräsentationsformat zwingend geboten.

Detaildarstellung 12

Deklaratives vs. prozedurales Wissen = Fakten- vs. Handlungswissen?

Die Antwort auf die Frage, wozu ein bestimmtes Kommando dient, basiert auf deklarativem Wissen. Das Wissen über die Position einer bestimmten Taste ist möglicherweise nicht klar verbalisierbar, trotzdem äußert es sich in der sicheren Benutzung dieser Taste im Handlungsverlauf, es wird als prozedural bezeichnet. Betrachtet man die Wissensinhalte in beiden Beispielen, scheint die Unterscheidung deklarativ-prozedural mit Fakten- und Handlungswissen zusammenzufallen: Welche Bedeutung ein Kommando hat, ist eher eine Frage des Faktenwissens, während das Wissen, wo sich eine bestimmte Taste befindet, in erster Linie für die Ausführung einer Handlung von Bedeutung ist. Wie das folgende Beispiel zeigt, kann das auch anders sein:

Angenommen, ein Computeranfänger lernt die Bedienung eines Programms. Dem Handbuch entnimmt der Lernende, in welcher Reihenfolgen welche Tasten gedrückt werden müssen, um ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen. Natürlich ist auch beschrieben, wo sich die entsprechenden Tasten befinden. Das anzueignende Wissen bezieht sich also auf die Ausführung von Handlungen. Trotzdem liegt es zunächst in deklarativer Form vor, denn der Lernende erinnert die Einzelschritte und folgt ganz bewußt diesen "inneren Anweisungen" bis zur Zielerreichung. Oswald und Gadenne (1984) sprechen in diesem Falle von "präskriptivem Handlungswissen".

Auch wenn bereits prozedurales Wissen vorliegt, kann deklaratives Wissen über diese Prozeduren gebildet werden. Obwohl das Wissen über die Tastenposition prozeduralisiert ist, kann der Versuch unternommen werden, durch Imitation der erforderlichen Bewegungen oder durch Vorstellen des Handlungsablaufs deklaratives Wissen erneut zu generieren. Das "Können" wird bewußt rekonstruiert. Das Ergebnis wird nach Oswald und Gadenne (1984) als "hypothetisches Handlungswissen" bezeichnet. "Hypothetisch" ist es deshalb, weil die deklarative Repräsentation das tatsächlich handlungssteuernde Wissen nicht zwangsläufig zutreffend oder vollständig abbilden muß. Es ist lediglich eine Hypothese über die Grundlage des eigenen Könnens.

Einheitliche oder multiple Repräsentationen:

Aus der Gegenüberstellung unterschiedlicher Repräsentationsformen könnte der Eindruck entstehen, daß sich diese gegenseitig ausschließen. In der Tat gehen viele Autoren von einem einheitlichen Repräsentationssystem aus (z. B. Newell & Simon, 1972; Piaget, 1975b; Levesque, 1984, Anderson & Bower, 1973). Diese sind dann als abstrakt amodale Repräsentationen (Levesque, 1984; Snodgrass, 1984) konzipiert, d. h. sie sind unabhängig von spezifischen Wahrnehmungs- oder Reaktionsmodi. In der Regel handelt es sich um propositionale oder prozedurale Formen.

Andererseits wird in vielen Ansätzen auf die Nützlichkeit multipler Repräsentationen hingewiesen (vgl. Engelkamp, 1987). Viele dieser Ansätze gehen davon aus, daß es mehrere modalitätsspezifische Repräsentationen gibt. Hierzu gehören z. B. die Arbeiten von Bruner (1966a). In diesen wird die Ansicht vertreten, es gäbe drei Repräsentationsformen: enaktiv (handlungsleitend), ikonisch (bildlich) und symbolisch (in erster Linie sprachlich), die onthogenetisch nacheinander entstehen, ohne die jeweils vorher entstandenen zu verdrängen (vgl. auch Bruner, 1973). Engelkamp (1987, 1990) nimmt eine getrennte Speicherung der sprachlichen und motorischen Komponenten an. In der Theorie der "dualen Kodierung" geht Paivio (1971) davon aus, daß Wahrnehmungen sowohl symbolisch als auch bildlich kodiert werden. Kosslyn (1980) postuliert eine propositionale langzeitliche Speicherung von bildlichen Informationen, nimmt aber zusätzlich eine analoge Repräsentation aktueller bildlicher Vorstellungen (die sogenannte "Oberflächenrepräsentation") an. Daß auch Konzeptionen multipler Repräsentationen modalitätsunspezifisch sein können, zeigt Andersons (1983) Modell ACT (Adaptive Control of Thought): Es basiert auf einer deklarativen Wissensspeicherung in Form eines semantischen Netzes und einem Produktionssystem.

Die Annahme multipler Repräsentationen steht im Zusammenhang mit einem theoretischen und einem empirischen Problem: Das theoretische Problem wurde von Anderson (1978, S. 266) als das "Mimicry-Theorem" bezeichnet. Es gelte für jede Theorie menschlicher Informationsverarbeitung, die auf einer bestimmten Repräsentationsform beruht, daß eine andere Theorie, basierend auf einer anderen Repräsentationsform konstruiert werden kann, die die gleichen Vorhersagen macht. Diese muß sich lediglich anderer Verarbeitungsprozesse bedienen. Die Konsequenz ist eine stärker funktionale Sichtweise: Kann nicht absolut entschieden werden, welche Repräsentationsform die "wahre" ist, gewinnt die Frage an Bedeutung, welche Repräsentationsform für welche kognitiven Leistungen am besten geeignet ist. Diese Sichtweise scheint im Zusammenhang wachsender Gemeinsamkeiten zwischen Teilgebieten der Psychologie und der KI-Forschung zu stehen (vgl. Spada & Opwis, 1987). Die Zielsetzung, kognitive Operationen simulieren zu können, mußte die Frage einer technisch möglichst eleganten Realisierung in den Mittelpunkt rücken (vgl. z. B. Brown & Burton, 1975; Altenkrüger, 1987): Die funktionale Sichtweise gewinnt so an Bedeutung, die Wahrscheinlichkeit, unterschiedliche Repräsentationsformen für unterschiedliche kognitive Operationen postulieren zu müssen, steigt.

Das empirische Problem liegt in der begrenzten Aussagefähigkeit des originär psychologischen Herangehens an das Repräsentationsproblem: die empirische, experimentelle Erforschung des Gedächtnisses. Obwohl die oben genannten theoretischen Kontroversen eine große Menge experimenteller Untersuchungen initiiert haben, bleiben viele Aussagen widersprüchlich. Einige Autoren nehmen sogar an, daß eine Entscheidung, welche Repräsentationsform menschlichem Wissen zugrundeliegt, nicht prinzipiell lösbar sei (Norman & Rumelhart, 1975; Anderson, 1978; Snodgrass, 1984; Glucksberg, 1984). Dies muß nicht unbedingt auf eine mangelnde Reliabilität experimenteller Methoden zurückzuführen sein, sondern vielleicht eher auf die enorme Flexibilität des kognitiven Systems. Insbesondere die Frage, Welche Wissensanteile direkt repräsentiert sind und welche auf Anforderung generiert werden, stellt für die experimentelle Erforschung menschlicher Wissensrepräsentation eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit dar.

rigkeit dar (Rumelhart & Norman, 1988). Sie erfordert zumindest eine Unterscheidung zwischen Repräsentationen im Langzeitgedächtnis und transitorischen Repräsentationen in bestimmten Verarbeitungsstadien, wie sie in der Vorstellungsforschung (z. B. Kosslyn, 1980) oder bei der Analyse begrifflicher Beziehungen (z. B. Klix, van der Meer, Preuß & Wolf, 1987; Klix, 1988) untersucht werden.

3.9.3 Wissensrepräsentation in mentalen Modellen

3.9.3.1 Mentale Modelle als Einheiten der Wissensrepräsentation?

In welcher Form könnten mentale Modelle repräsentiert sein? Diese Frage wird nun wieder aufgenommen. Doch es befassen sich überhaupt nicht alle Theorien mentaler Modelle mit der Frage der mentalen Wissensrepräsentation (vgl. Rips, 1986). Viele Arbeiten konzentrieren sich auf eine ganz bestimmte Wissensdomäne und analysieren im Detail, wie bereichsspezifisches Wissen in Form mentaler Modelle zur Erklärung von Phänomenen der Außenwelt benutzt wird. Die meisten Arbeiten aus dem Bereich "naiver Physik" zählen hierzu. Sie erklären im Detail, wie Schlußfolgerungen über springende (Forbus, 1983) oder fallende Bälle (McCloskey, 1983b), über Elektrizität (Gentner & Gentner, 1983), balancierende Körper (Funt, 1980) oder in der mikronesischen Navigation (Hutchins, 1983) entstehen. Fast alle dieser Arbeiten zeigen eine deutliche Nähe zur Künstlichen Intelligenz in dem Sinne, daß sie Rechnerimulationen dieser Schlußfolgerungsprozesse darstellen. Wissensrepräsentation ist in diesem Zusammenhang die externe, technische Repräsentation von Wissen zum Zwecke computerisierter Verarbeitung. Aussagen zur mentalen Repräsentation finden sich in diesen Arbeiten nur selten.

Anders ist dies bei den "eigentlichen" mentalen Modellen ("literal mental models"), wie Rips (1986) sie nennt. Zu den Autoren, die mentale Modelle als Einheiten der Wissensrepräsentation verstehen, gehört vor allem Johnson-Laird (1980, 1983; auch Johnson-Laird, Herrmann & Chaffin, 1984). Es werden drei grundlegende Formen der mentalen Repräsentation angenommen: propositionale Repräsentation, mentale Modelle und Vorstellungsbilder (Johnson-Laird, 1983, S. 146 ff.). Dabei werden mentale Modelle als Repräsentationen höherer Ebene betrachtet, die aus propositionalem Wissen aufgebaut werden. Während mentale Modelle also aus Einheiten generiert werden, die propositionaler oder bildlicher Art sein können, ist das mentale Modell selbst, zumindest teilweise, als eine analoge Repräsentation zu betrachten.

3.9.3.2 Propositionale Repräsentation vs. mentale Modelle

Für die Abgrenzung zwischen propositionalen Repräsentationen und mentalen Modellen bemüht Johnson-Laird (1983) zunächst die bereits erläuterte Unterscheidung zwischen extrinsischen und intrinsischen Repräsentationen:

Unlike a propositional representation, a mental model does not have an arbitrarily chosen syntactic structure, but one that that plays a direct representational role

since it is analogous to the structure of the corresponding state of affairs in the world. (S. 156)

Die "willkürlich gewählte syntaktische Struktur" von Propositionen bezieht sich auf die extrinsischen Elemente eines Abbildungsformalismus. Genau solche extrinsischen Elemente seien für die Repräsentation mentaler Modelle nicht erforderlich. In diesem Sinne repräsentieren sie Teile der Welt in analoger Weise mit Hilfe der Relationen, die dem Abzubildenden inhärent sind. Mentale Modelle sind also intrinsische Repräsentationen.

Eine grundlegende Kritik an propositionalen Repräsentationen, insbesondere aber an semantischen Netzen üben Johnson-Laird, Herrmann und Chaffin (1984; auch Johnson-Laird, 1983, S. 205 ff.): Semantische Netze werden mit dem Anspruch konstruiert, Bedeutungen (z. B. von Begriffen der natürlichen Sprache) zu repräsentieren. Tatsächlich repräsentierten sie jedoch nur intensionale Bedeutungen, d. h. die Beziehungen zwischen Begriffen, nicht jedoch ihre extensionale Bedeutung. Die Begriffsexensionen stellen die Beziehungen eines Symbolsystems zu den bezeichneten Objekten oder Relationen der Außenwelt dar. Fehlen diese, könne keine Rede von Bedeutungsrepräsentation sein. Eine Theorie, die diesen Anspruch erhebe, sei der "symbolic fallacy" (Johnson-Laird, Herrmann & Chaffin, 1984) anheimgefallen. Die Folgen versuchen sie an einem Beispiel zu erklären: Es werden drei Personen (A, B und C) angenommen, die nebeneinander auf Stühlen Platz genommen haben. Gegeben seien ferner die folgenden Aussagen:

- (1) A sitzt rechts von B.
- (2) B sitzt rechts von C.

Aus beiden Aussagen könnte gefolgert werden, daß A rechts von C sitzt. Die Richtigkeit der Folgerung hänge nicht von der intensionalen Bedeutung der beteiligten Konzepte ab, sondern von deren Extensionen, anders ausgedrückt von der tatsächlichen Situation, die die Sätze (1) und (2) repräsentieren. Die Folgerung wäre richtig, wenn alle Personen z. B. auf einer geraden Bank säßen, nicht jedoch, wenn sie sich um einen runden Tisch versammelt hätten. Um die Bedeutung des Prädikats "rechts von" korrekt repräsentieren zu können, müßte man also zwei verschiedene Bedeutungen, eine transitive und eine intransitive, annehmen. Dies mache nach Johnson-Laird et al. (1984) jedoch keinen Sinn, da bereits eine kleine Veränderung der Personenzahl zu einer weiteren Unsicherheit führe. Angenommen ein weiterer Satz käme hinzu:

- (3) D sitzt rechts von C.

Es könnte daraus geschlossen werden, daß A an einem runden Tisch links von D sitzt, aber sitzt A links oder rechts von C? Die Zahl von Bedeutungen dieses Prädikats ufert aus. Nach Johnson-Laird et al. (1984) ist dies ein Beispiel für ein typisches Problem symbolischer Repräsentationen, das sie "symbolic fallacy" nennen. Damit ist die Annahme gemeint

... that the mere translation of sentences into symbols constitutes a useful account of their meaning. ... if the knowledge complex merely consists of other symbolic expressions, then there is no escape from the maze of symbols into the world: The

theory has succumbed to the symbolic fallacy. (Johnson-Laird, Herrmann & Chaffin, 1984, S. 310)

Ist dagegen eine Referenz zur tatsächlichen Situation (Bank oder runder Tisch) hergestellt, seien diese Vagheiten beseitigt. Die Repräsentation extensionaler Beziehungen sei nun gerade die Funktion mentaler Modelle: Eine anschauliche Vorstellung der konkreten Situation stelle eine extensionale Beziehung her, die Zweifel über die Bedeutung des Prädikats ausräume¹¹. Glenberg, Meyer und Lindem (1987) fassen diese Position so zusammen: "Mental models represent what the text is about. Not the text itself" (S. 70, hier kein Text, sondern Einzelaussagen, Anmerkung des Autors). Deshalb sprechen van Dijk und Kintsch (1983) auch nicht von einem "mentalen" Modell, sondern von einem "Situationsmodell". Damit wird der Gegenstand der Repräsentation abgegrenzt: Während propositionale oder allgemein symbolische Repräsentationen geeignet sind, einen Text, eine sprachliche Mitteilung o. ä. abzubilden, repräsentieren mentale Modelle die in diesem Text oder dieser Mitteilung beschriebene Situation.

Einen weiteren Unterschied zwischen mentalen Modellen und propositionalen Repräsentationen sieht Johnson-Laird (1983) in der Spezifität der Inhalte: Während Modelle (mentale wie nicht-mentale) ähnlich wie Bilder immer spezifisch sein müssen, können Propositionen auch abstrakte Bedeutungen repräsentieren. Ein Beispiel von Pylyshyn (1973) veranschaulicht dies: Eine propositionale Repräsentation zweier Objekte könnte die Relation "nebeneinander" enthalten, ohne daß diese näher spezifiziert sein müßte. Eine analoge modellhafte Repräsentation käme ohne eine Spezifikation ("links von" bzw. "rechts von") nicht aus: Zwei nebeneinander befindliche Objekte können ohne eine diesbezügliche Entscheidung nicht abgebildet werden. Propositionale Repräsentationen sind also in der Lage, sowohl determinierte als auch indetermierte (hier räumliche) Relationen abzubilden. Bildliche Vorstellungen mentaler Modelle können dagegen leicht determinierte Relationen repräsentieren. Dieser Unterschied ist insofern von Bedeutung, als auf ihm einer der wichtigsten experimentellen Belege für den Übergang propositionaler Repräsentationen in mentale Modelle basiert. Eine schwach determinierte propositionale Beschreibung eines Sachverhalts, so die Vorhersage, sollte seltener in ein mentales Modell übersetzt werden, da die Entscheidung zwischen den verschiedenen Realisierungen Schwierigkeiten bereitet. Ist die propositionale Beschreibung jedoch determiniert, läßt sie also nur ein einziges zutreffendes Modell zu, sollte die Übersetzung in ein analoges mentales Modell mit größerer Wahrscheinlichkeit erfolgen. In einem Experiment von Mani und Johnson-Laird (1982) erhielten Versuchspersonen verbale Beschreibungen räumlicher Anordnungen von Gegenständen (siehe Detaildarstellung 13). Die Beschreibung ließ einmal genau eine bildliche Repräsentation des gleichen Sachverhalts zu, in einem anderen Fall zwei unterschiedliche. Im Falle der eindeutigen Darstellung erinnerten die Probanden die Anordnung der Objekte besser als bei der mehrdeutigen Beschreibung. Doch bei der mehrdeutigen Fassung wurde der Wortlaut der dargebotenen Sätze besser erinnert als die Anordnung insgesamt. Die Experimentatoren interpretieren, daß im Falle der eindeutigen Beschreibung ein mentales Modell gebildet wurde, das Informationen über die Anordnung der Objekte direkt ab-

¹¹ Rips (1986) kritisiert diese Argumentation. Das Beispiel zeige lediglich, daß "rechts von" keine transitive Relation sei. Es könne nicht das Problem einer propositionalen Repräsentation sein, daß bei Mißachtung dieser Einschränkung falsche Schlüsse gezogen würden.

bildete. Deshalb konnte der Wortlaut nur ungenau erinnert werden. Im mehrdeutigen

Detaildarstellung 13

Der Übergang von propositionalen Repräsentationen zu mentalen Modellen im Experiment

Mani und Johnson-Laird (1982) prüften in mehreren Experimenten die Hypothese, daß propositionale Repräsentationen zur Abbildung determinierter und indeterminierter, räumlicher Relationsgefüge geeignet seien, während analoge Repräsentationen, wie z. B. mentale Modelle bevorzugt determinierte, räumliche Relationen abbilden können.

Sie gaben Versuchspersonen eine Anzahl räumlicher Beschreibungen zu lesen, z. B.:

Der Löffel liegt links vom Messer.
 Der Teller steht rechts vom Messer.
 Die Gabel liegt vor dem Löffel.
 Die Tasse steht vor dem Messer.

Nach einer solchen Beschreibung sollten die Versuchspersonen beurteilen, ob ein Diagramm, z. B. der folgenden Art, mit der sprachlichen Beschreibung übereinstimmt:

Löffel	Messer	Teller
Gabel	Tasse	

In diesem Falle stimmen räumliche und sprachliche Beschreibung überein: Bei der Hälfte aller Items wurden jedoch Diagramme gezeigt, die der verbal beschriebenen Anordnung widersprachen.

Im vorliegenden Beispiel ist die sprachliche Struktur in dem Sinne determiniert, als nur eine einzige zutreffende räumliche Abbildung möglich ist. Die Hälfte der Darstellungen sind jedoch so konstruiert, daß sie zwei verschiedene räumliche Muster zulassen, also indeterminiert sind, z. B.:

Der Löffel liegt links vom Messer.
 Der Teller steht rechts vom Löffel.
 Die Gabel liegt vor dem Löffel.
 Die Tasse steht vor dem Messer.

Beide folgenden räumlichen Muster sind mit der obigen sprachlichen Darstellung kompatibel:

Löffel	Messer	Teller	Löffel	Teller	Messer
Gabel	Tasse		Gabel		Tasse

Nachdem die Versuchspersonen die Übereinstimmung sprachlicher und räumlicher Darbietungen beurteilt hatten, mußten sie unangekündigt einen Wiedererkennenstest absolvieren. Dazu erhielten sie für jedes vorher gelernte Muster wiederum jeweils vier Aussagen: Eine entsprach dem Original, eine konnte aus der räumlichen Darstellung geschlossen werden, ohne vorher genannt worden zu sein (z. B. enthielt sie den Satz: "Die Gabel liegt links von der Tasse"), zwei Aussagen entsprachen nicht dem Original und konnten auch nicht erschlossen werden, da sie unzutreffend waren. Diese vier Aussagen mußten entsprechend ihrer Ähnlichkeit mit den ursprünglichen Sätzen in eine Rangordnung gebracht werden.

Zunächst wurde festgestellt, daß im Falle determinierter sprachlicher Strukturen sowohl die Originalsätze als auch die erschließbaren Aussagen besser wiedererkannt wurden als bei den nicht determinierten. Einen interessanten Unterschied gab es jedoch bezüglich der Originale und der erschließbaren Aussagen: Die Häufigkeit, mit der die Originale ähnlicher eingestuft wurden als die erschließbaren war bei determinierten Strukturen geringer als bei indeterminierten. Anders ausgedrückt: bei indeterminierter Darstellung wurden die Originalaussagen häufiger den erschließbaren vorgezogen als bei determinierter Darstellung.

Die Autoren interpretieren die Ergebnisse so: Bei indeterminierten Relationsgefügen fällt die Konstruktion eines mentalen Modells schwer. Denn die analoge Abbildung erfordert eine Entscheidung zwischen beiden Abbildungsmöglichkeiten. Die Verarbeitung bleibt so bei der propositionalen Repräsentation stehen. Auf dieser Grundlage werden tatsächlich dargebotene Aussagen leichter wiedererkannt. Dahingegen ist es unwahrscheinlich, daß Aussagen wiedererkannt werden, deren Bedeutung gar nicht propositional repräsentiert sein kann, weil sie nicht zu den ursprünglich dargebotenen zählen und ihre Bedeutung erst einer elaborierten räumlichen Repräsentation entnommen werden konnte. Die Häufigkeit, mit der solche (nicht gehörten aber erschließbaren) Sätze für ähnlicher gehalten werden, steigt erst, wenn eine räumlich integrierte Repräsentation gebildet werden kann. Die Konstruktion eines mentalen Modells ist aber eher bei determinierten Relationen zu erwarten. Mani und Johnson-Laird (1982) schließen daraus, daß es (mindesten) zwei aufeinander folgende Repräsentationsformen gäbe: propositionale Repräsentationen und mentale Modelle.

Fall war jedoch die Übersetzung in ein konkretes mentales Modell erschwert, weshalb es bei der vorgeordneten propositionalen Verarbeitung blieb. Diese ermöglichte eher eine Rekonstruktion der dargebotenen Sätze als eine integrierte räumliche Abbildung der gesamten Objektanordnung.

Dieses Experiment zeigt einerseits, wie die propositionale Repräsentation das mentale Modell spezifiziert, es andererseits jedoch nicht im einzelnen festlegt (vgl. Schnotz, 1988). Denn für viele propositionale Strukturen gilt, daß mehrere unterschiedliche Modelle konstruiert werden können, die alle den ursprünglichen Bedeutungsgehalt korrekt wiedergeben, ihn aber doch anders repräsentieren. Das mentale Modell ist somit immer notwendigerweise eine Konkretisierung der propositionalen Repräsentation.

3.9.3.3 Zur Funktionalität der Repräsentationsform

Johnson-Laird (1983) faßt seine Antwort auf die Repräsentationsfrage so zusammen:

This chapter has presented the case for the existence of at least three types of mental representation: propositional representations which are strings of symbols that correspond to natural language, mental models which are structural analogues of the world, and images which are the perceptual correlates of models from a particular point of view. The distinction is a high-level one; doubtless, everything can be reduced to a uniform code in the language of the brain just as the data structures of a high-level programming language can be reduced to patterns of bits in the machine code of a computer, and the most complex algorithms can be reduced to manipulations on strings of symbols by a Turing machine. (S. 165)

Mit dieser Sichtweise wird wiederum auf das Kriterium der Funktionalität mentaler Repräsentationsformen verwiesen (Tergan, 1986; Hoffmann, 1988). Es wird kein Zweifel daran gelassen, daß ein einheitlicher abstrakter Gedächtniscode denkbar wäre. Für die hier von Johnson-Laird in Aussicht genommene Funktion der Modellbildung, das Verstehen komplexer äußerer Sachverhalte, belegen empirische Untersuchungen jedoch eher die Wirksamkeit unterschiedlicher Repräsentationsformen. Mentale Modelle sind also mit der Annahme einer einheitlichen Wissensrepräsentation kaum vereinbar (Ballstaedt, Molitor & Mandl, 1987; Glenberg & Langston, 1992).

Doch das Kriterium der Funktionalität wird nicht nur in bezug auf die grundsätzliche Frage angestrengt, welche Repräsentationsformen eine effektive Abbildung ermöglichen. Die Anwendung dieses Kriteriums wird auch im Hinblick auf die spezifische Struktur und den spezifischen Inhalt einzelner, individueller mentaler Modelle fortgesetzt. Johnson-Laird (1983) im Anschluß an die Erläuterung der analogen Repräsentation mentaler Modelle:

However, the analogical structure of mental models can vary considerably. Models of quantified assertions may introduce only a minimal degree of analogical structure, such as the use of separate elements to stand for individuals. Alternatively, models of spatial layouts such as a maze may be two- or three-dimensional; they may be dynamic and represent a sequence of events; they make take on an even higher number of dimensions in the case of certain gifted individuals. (S. 156)

Diese weitgehende Unbestimmtheit der Modellentwicklung muß auch vor dem Hintergrund gesehen werden, daß die propositionale Struktur das mentale Modell ohnehin nicht vollständig determiniert. Die entstehenden Freiheitsgrade werden so genutzt, daß ein mentales Modell resultiert, das den individuellen Anforderungen angemessen ist (vgl. auch Kolars & Brison, 1984). Mit Bezug auf handlungsorientierte mentale Modelle stellen Hacker und Clauss (1976) fest:

Das entstehende innere Modell entspricht den Erfordernissen der Antwortregulation, nicht Inpoteigenschaften oder einem gedächtnisspezifischen Kode. ... Die Leistungsverbesserung durch Entwicklung eines inneren Modells ist durch das Ersparen informationsaufnehmender und -umwandelnder Operationen erklärbar. ... Eingespärt werden die Informationssuche während der Antwort und Rekodierung-

gen zwischen gespeicherter und in der Antwortregulation umgesetzter Information. Wir vermuten zwei Minimierungsvorgänge:

- die Minimierung aktueller Informationsaufnahmevorgänge durch Speichern der für die Regulation benötigten Daten.
- die Minimierung von Rekodierungsoperationen während der Ausführung im geübten Zustand durch Speichern im regulativ relevanten Kode. ... Die inneren Modelle sind insofern selektiv, als nicht alle in der Tätigkeit gegebenen Daten gleichermaßen gespeichert werden, sondern bevorzugt regulativ unerläßliche Daten enthalten sind. (S. 100 f.)

Die Repräsentation eines solchen mentalen Modells (z. B. zur Steuerung von Routinehandlungen) braucht nur selten angepaßt zu werden: Die Konstanz der Anforderungen an das Modell läßt eine Konstanz seiner Repräsentation erwarten. Es wird große Anteile prozeduralisierten Wissens aufweisen. Demgegenüber unterliegen die Anforderungen beim Lösen von Problemen zahlreichen und schnellen Veränderungen. Mentale Modelle zum Problemlösen dürften deshalb eher "vorübergehende Strukturbildungen" (Gumm & Hagendorf, 1990, Übersetzung des Autors) als stabile Gedächtnisrepräsentationen sein. Sie werden je nach Problem in unterschiedlicher Weise konstruiert:

It is the mutual relationship between knowledge, transient structure formations ... and strategy that we have to study in more detail if we are going to justice to our claim ... which characterizes our understanding of the mental model approach. (Gumm & Hagendorf, 1990, S. 109)

Ebenso ist Brewer (1987) der Ansicht, langfristig gespeicherte, generische Wissenstrukturen seien zutreffender mit dem Begriff des Gedächtnisschemas zu bezeichnen. Mentale Modelle dagegen seien Wissensstrukturen, die zum Zeitpunkt des Inputs, unter Zuhilfenahme generischen Wissens, aktuell konstruiert werden (Brewer, 1987, S. 189). Ähnlich argumentieren Glenberg und Langston (1992), die mentale Modelle als Konstruktionen des Arbeitsgedächtnis sehen, die sich je nach Aufgabenstellung und Fortgang des Verstehensprozesses verändern. Sie tragen damit dem Merkmal der Prozeßhaftigkeit mentaler Modelle Rechnung, denn das "updating" eines mentalen Modells im Prozeß des Verstehens (die Autoren sprechen von "on-line comprehension") erfordert Kontrolle über das Arbeitsgedächtnis (Glenberg & Langston, 1992). Mentale Modelle sind somit transitorische Produkte der Vorstellung (Weidenmann, 1986), die nur indirekten Einfluß auf die langzeitliche Speicherung haben. So könnten beispielsweise Aufgabenwiederholungen zur Konstruktion ähnlicher Modelle führen, die dann langfristig eine Akkomodation generischer Gedächtnisschemata bewirken. Die Modelle selbst sind jedoch eher flüchtig als permanent. Mit Kahneman und Tversky (1982) kann man mentale Modelle mit der Simulationsheuristik vergleichen: Begreift man die Modellkonstruktion als eine Heuristik zum Verstehen eines spezifischen Problems oder allgemein als eine Heuristik zur Bewältigung bestimmter kognitiver Anforderung, ist evident, warum das Modell, angepaßt an diese Anforderungen, jeweils aktuell konstruiert bzw. rekonstruiert wird.

3.10 Zusammenfassung: Merkmale und Funktionen mentaler Modelle

Mentale Modelle sind hypothetisch.

Mentale Modelle sind hypothetische Konstrukte, mit denen Leistungen menschlicher Informationsverarbeitung beschrieben und erklärt werden sollen. Eigenschaften und Funktionen mentaler Modelle können daher nur indirekt aus der experimentellen oder simulationsbasierten Analyse menschlicher Informationsverarbeitung erschlossen werden.

Mentale Modelle bilden Gegebenheiten der Umwelt in sowohl reduzierender als auch elaborierender Weise ab.

Es werden nicht alle Merkmale eines Originals in einem inneren Modell abgebildet. Die Menge der Merkmale und Relationen wird verkürzt. Welche Merkmale abgebildet werden, hängt vom Vorwissen der Person ab und von der Funktion des mentalen Modells bzw. von den Intentionen des Modellierers. Das mentale Modell kann gegenüber dem Original, gegenüber der subjektiven Wahrnehmung desselben oder gegenüber Mitteilungen über das Original jedoch auch zusätzliche Merkmale enthalten. Diese stammen aus dem bereits gespeicherten Wissen, das in die Konstruktion eines inneren Modells mit eingeht.

Mentale Modelle dienen unterschiedlichen Funktionen.

Die beiden wichtigsten Funktionen sind das Verstehen von Sachverhalten der Umwelt zu ermöglichen und eine Grundlage zur Planung und Steuerung von Handlungen bereitzustellen. Je nach Funktionsschwerpunkt werden Modelle über unterschiedliche Aspekte des gleichen Gegenstands gebildet. Ein mentales Modell zur Steuerung von Routinehandlungen ist besonders wirksam, wenn es schematische Beziehungen zwischen Umweltzuständen, Handlungen und Handlungsfolgen in der Umwelt enthält, wenn es also von Einzelereignissen abstrahiert. Ein mentales Modell zum Verstehen eines unbekanntes Sachverhalts ist besonders wirksam, wenn es die Probleminhalte der spezifischen Situation abbildet und nicht bei der Verarbeitung schematischen Wissens stehenbleibt.

Nützliche mentale Modelle sind schwer zu verändern.

Ist ein mentales Modell gebildet worden, das einer bestimmten Funktion gerecht wird, ist dieses Modell nur schwer zu verändern, selbst wenn es eine Gegebenheit der Umwelt objektiv falsch oder unzureichend abbildet. Auch unzutreffende mentale Modelle können unter eingeschränkten Bedingungen nützlich sein. Ihre Korrektur ist mit kognitivem Aufwand verbunden, dem u. U. kein unmittelbarer Nutzen gegenübersteht. Die Qualität eines mentalen Modells bemisst sich subjektiv nur zu einem geringeren Anteil an seiner objektiven Korrektheit und zu einem größeren Teil an seiner Nützlichkeit zur Erreichung von individuellen Zielen.

Mentale Modelle zum Verstehen neuer Sachverhalte basieren häufig auf Analogien.

Eine Analogie ist ein Spezialfall eines Modells, bei der nur Relationen zwischen Elementen eines Basisbereichs (bereits gespeichertes Wissen) auf die Elemente eines neuen Zielbereichs übertragen werden. Der Erkenntnisgewinn beruht auf der Übertragung der Relationen, nicht auf der Ähnlichkeit der Elemente selbst.

Das Erkennen oder Konstruieren einer Analogie erfordert schematisches Wissen.

Die Vergleichbarkeit der Relationen im Basis- und Zielbereich können nur dann konstruiert bzw. erkannt werden, wenn es ein oder mehrere langfristig gespeicherte Gedächtnisschemata gibt, aus denen sowohl die Relationen im Basisbereich als auch die im Zielbereich abgeleitet werden können. Dazu muß dieses Schema abstrakter sein als die Relationen im Basis- und Zielbereich. Eine hohe Ähnlichkeit der Elemente im Basis- und Zielbereich begünstigt die Aktivierung eines geeigneten Schemas.

Ein mentales Modell zum Verstehen eines neuen Sachverhalts ist eine Instantiierung eines oder mehrerer Schemata.

Bei der Konstruktion eines mentalen Modells zum Verstehen eines neuen Sachverhalts werden die Leerstellen eines Schemas durch die Gegebenheiten einer spezifischen Situation ausgefüllt. Damit werden die abstrakten Relationen des Schemas auf dieses spezifische Modell übertragen. Die Folge ist eine Anreicherung des Modells durch Kontextwissen, das Bestandteil des Schemas ist. Das Ableiten neuer Folgerungen wird dadurch erleichtert oder ermöglicht, daß die abstrakten Relationen durch Beispiele vertrauter, vorstellbarer Sachverhalte repräsentiert sind. Das mentale Modell ist also konkreter als die zugrundeliegende schematische Wissensbasis.

In einem mentalen Modell können Sachverhalte der Umwelt dynamisch simuliert werden.

Gedankliches Probehandeln oder Durchspielen von Ereignisfolgen kann das mentale Modell so verändern, daß neue Modellzustände vorher nicht bekannte Zusammenhänge und Folgerungen repräsentieren. Das Ergebnis der Simulation kann aus dem Endzustand des Modells abgelesen werden. Dieser kann auf die Wissensbasis des Modells zurückwirken und Gedächtnisschemata verändern. Da die kognitive Simulation aus der Manipulation konkreter Gedächtnisinhalte in der Vorstellung besteht, bedarf sie nicht unbedingt der Anwendung formaler Schlußfolgerungsregeln.

Mentale Modelle sind anschaulich.

Anschaulichkeit bedeutet nicht zwangsläufig "Bildhaftigkeit", obwohl dies in vielen Fällen zutreffen mag. Denn Vorstellungsbilder sind Sichtweisen auf ein Modell in einem bestimmten Zustand. An einem mentalen Modell können jedoch auch Repräsentationen anderer Sinnesmodalitäten beteiligt sein, so daß "anschaulich" im Sinne von "vorstellbar" zu verstehen ist.

Theorien mentaler Modelle sind keine Repräsentationstheorien im engeren Sinne.

Mentale Modelle sind zumindest teilweise analoge Repräsentationen, ihre Wissensbasis kann propositional oder anderweitig symbolisch repräsentiert sein. Es muß nicht zwangsläufig angenommen werden, daß mentale Modelle eine eigenständige und gegenüber analogen Repräsentationen abgrenzbare Repräsentationsform darstellen.

Mentale Modelle sind transitorische Produkte der Vorstellung.

Mentale Modelle werden auf der Grundlage abstrakten, schematischen Wissens zu einem bestimmten Zweck gebildet. Es ist deshalb auch aus Gründen der Speicherökonomie nicht anzunehmen, daß mentale Modelle Einheiten der langzeitlichen Speicherung sind. Dafür spricht auch die begründete Hypothese, daß die Art der Repräsentation eines mentalen Modells von seinem Verwendungszweck, also von den situativen An-

forderungen sowie den Kompetenzen und Intentionen der Person abhängt. Mit Kahneman und Tversky (1982) könnte man die Bildung mentaler Modelle auch als Heuristik bezeichnen, die immer dann von Nutzen ist, wenn Anforderungen an die Informationsverarbeitung gestellt werden, für die entweder nur unzureichende informationelle Grundlagen vorliegen (z. B. bei Verständnisproblemen) oder bei denen die Nutzung derselben unökonomisch wäre (z. B. bei Routinehandlungen).

Eine einheitliche Theorie mentaler Modelle?

Die vorliegende Darstellung mentaler Modelle basiert nicht auf einer einzigen Theorie, sondern auf einer Vielzahl unterschiedlicher Ansätze, die gegenseitige Bezüge aufweisen. Diese Vernetzung ist nicht in allen zitierten Arbeiten expliziert worden, darum ist hier der Versuch einer eher integrierenden Darstellung unternommen worden. Die geschilderten Zusammenhänge sind nicht in ihrer Gesamtheit empirisch belegt, sondern zumeist nur in isolierten Aspekten. So betrachtet hat auch die vorliegende Zusammenfassung teilweise hypothetischen Charakter.

Was die Ansätze zu mentalen Modellen eint, ist eine gemeinsame Perspektive auf das problemlösende Denken. In deren Mittelpunkt steht eine ganzheitliche Betrachtung der Vorstellungstätigkeit. In ihr kommt zum Ausdruck, daß viele komplexe Leistungen der menschlichen Informationsverarbeitung auf dem Zusammenwirken von Prozessen beruhen, die häufig isoliert voneinander untersucht werden: analoges Denken, Gedächtnisorganisation, Vorstellung, deduktives Schließen, Urteilen unter Unsicherheit, Handlungsregulation sind einige Schlagworte. Die separate Untersuchung wirkt sich positiv auf die Präzision der Aussagen aus, die man gerade im Rahmen des Mentalen-Modell-Ansatzes vermissen mag. Eine stärker integrative Betrachtung büßt an Präzision ein, expliziert andererseits Zusammenhänge, die sonst unbestimmt blieben. Der theoretische Status des Mentalen-Modell-Ansatzes ist somit als der eines Rahmenkonstrukts (Perrig, 1988) zu kennzeichnen.

Eine solche integrative Perspektive benötigt ein gemeinsames Etikett. "Mentales Modell" scheint sich als ein solches etabliert zu haben. Es trägt zur Kommunizierbarkeit dieser Perspektive bei. Einige Kernbedeutungen sollten aus der bisherigen Darstellung hervorgegangen sein und in diesem Kapitel ihre Zusammenfassung gefunden haben. Dies soll der Ausgangspunkt für die nächste Fragestellung sein, nämlich welche Konsequenzen aus diesem Konzept für die Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion abgeleitet werden können.

Teil 2

Software-ergonomische Anwendungen von Theorien mentaler Modelle

4 Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion: Von der Theorie zur Anwendung

Im ersten Teil dieses Buchs wurden theoretische Konzeptionen mentaler Modelle dargestellt. Damit sollte eine Vorstellung davon vermittelt werden, welcher Art die Aussagen Mentaler-Modell-Theorien sind, auf welche Phänomenbereiche sie sich beziehen und wie diese theoretischen Annahmen empirisch untersucht wurden.

Der nun folgende zweite Teil soll Anwendungsmöglichkeiten aufzeigen. Diese Darstellung wird auf einen bestimmten Anwendungsbereich innerhalb der Mensch-Computer-Interaktion, nämlich auf die Entwicklung und die software-ergonomische Bewertung von Anwendungsprogrammen, beschränkt. Wie an den unterschiedlichen Beispielen im ersten Teil leicht zu erkennen ist, wäre diese Einschränkung unter inhaltlichen Gesichtspunkten nicht erforderlich gewesen: auch viele andere Anwendungsbereiche bieten sich an. Daß diese Einschränkung dennoch vorgenommen wurde, hat zwei Gründe: Zum einen ist die Software-Ergonomie ein an Bedeutung gewinnendes Forschungsgebiet, dessen interdisziplinärer Charakter immer deutlicher wird. Es ist als Herausforderung erkannt worden, psychologische Theorien nutzbringend in diese Entwicklung einzubeziehen. Zum anderen wurde das Konzept des mentalen Modells in der Software-Ergonomie bereits in vielfältiger Weise aufgenommen und diskutiert. Einige dieser Beiträge sollen nun dargestellt werden.

Das Ziel des folgenden zweiten Teils besteht nicht, wie sonst weit verbreitet, in einer Auflistung von Gestaltungsregeln oder gar Richtlinien. Zutreffend läßt sich das Ziel mit einem Begriff von Keil-Slawik (1990) benennen. Er spricht in Abgrenzung zu Kriterienkatalogen, Richtlinien und Normen zur Unterstützung der Systemgestaltung von der Notwendigkeit einer "Designorientierung":

Für sie (die Entwickler, Anmerkung des Autors) ist eine Designorientierung wichtig, die ihnen schon im Frühstadium der Systementwicklung Entscheidungsunterstützung bei Designkonflikten gibt und die es ihnen erlaubt, auch neuartige technische Lösungen zu bewerten. Dabei geht es in diesem Entwicklungsstadium noch nicht darum, alle Gestaltungsaspekte vollständig zu erfassen oder bestimmte technische Lösungen festzuschreiben. (Keil-Slawik, 1990, S. 83)

Eine Designorientierung antizipiert absichtlich keine spezifische Anwendungssituation, weil dies bei dem zu verzeichnenden schnellen Wandel an technischen Möglichkeiten und Gestaltungsproblemen sowieso nur unter Schwierigkeiten möglich ist. Statt dessen erscheint es sinnvoll, den an der Entwicklung Beteiligten Hintergrundwissen zu vermitteln, das sie in die Lage versetzt, auch fachfremde (hier: kognitionspsychologische) Probleme zu erkennen, und Entscheidungen treffen zu können, ohne daß ihnen diese durch rezeptartige Gestaltungsrichtlinien vorgegeben sind. Die Einbringung psychologischen Wissens in den Designprozeß kann entweder durch die direkte Beteiligung von Fachpsychologen in diesem Prozeß geschehen (was die erste Wahl wäre) oder aber durch Fachleute anderer Professionen, die im Zeichen ihrer Interdisziplinarität über psychologisches Grundlagenwissen verfügen. Dieses Grundlagenwissen gibt nicht die Entscheidung von Einzelproblemen vor, sondern soll eine Eingrenzung des Suchraums bewirken, ohne dabei die Kreativität der Entwickler zu untergraben. "Orientierung geben" heißt nicht "vorschreiben". In diesem Sinne soll explizit zum Ziel erklärt werden, was Hammond et al. (1987) bezüglich der Nutzung von Gestaltungsrichtlinien sowieso schon vermuten:

... it would seem that guidelines do provide a practical aid ... The impression is that guidelines are taken not so much as prescriptive rules but rather as sources of information about user performance and about alternative design options, information to be evaluated in the design context along with other evidence. Strict standards *would not fit well into this method of decision-making*. (S. 41, Hervorhebung durch den Autor).

In diesem Sinne sollen in den folgenden drei Kapiteln Designorientierungen entwickelt werden. Alle drei Kapitel sind gleich aufgebaut: Die Darstellung nimmt jeweils ihren Ausgang von bestimmten Merkmalen mentaler Modelle, die in den Kapiteln des ersten Teils herausgearbeitet wurden. Dann werden hierauf bezogene Beispiele aus der software-ergonomischen Forschungsliteratur berichtet. Jedes Kapitel endet mit einer Zusammenfassung von Orientierungs- und Entscheidungshilfen.

In Kapitel 5 wird das Thema "Metaphern und konzeptuelle Modelle" wieder aufgenommen. EDV-Benutzer, die mit einem für sie neuen Anwendungsprogramm konfrontiert werden, müssen ein mentales Modell der Funktionsweise, der Einsatzmöglichkeiten und der Bedienung des Programms erwerben. Einer der wichtigsten Prozesse beim Aufbau und bei der Anwendung mentaler Modelle ist das Schließen auf der

Grundlage von Analogien (vgl. 3.3 und 3.4). Metaphern und konzeptuelle Modelle waren als didaktische Mittel charakterisiert worden, die auf Analogiebeziehungen hinweisen oder sie konstruieren. Vor diesem theoretischen Hintergrund ist anhand von Beispielen zu erörtern, welchen Nutzen Metaphern und konzeptuelle Modelle für das Verstehen von Anwendungsprogrammen haben können.

In Kapitel 6 werden Möglichkeiten der visuell-räumlichen Informationsgestaltung erörtert. Der theoretische Ausgangspunkt hierfür ist vor allem in der Aussage zu sehen, daß mentale Modelle bildhafte, anschauliche Elemente enthalten (vgl. 3.7), also nicht ausschließlich auf einer sprachlichen bzw. propositionalen Repräsentation beruhen (3.9). Hieraus kann abgeleitet werden, daß die visuell-räumliche Informationsdarstellung auf dem Bildschirm Systemzusammenhänge verdeutlichen kann. Es wird an Beispielen gezeigt, wie durch solche Gestaltungsmaßnahmen das Verstehen eines Anwendungsprogramms gefördert werden kann.

Die beiden Kapitel 5 und 6 sind also den instruktionspsychologischen Implikationen des Mentalen-Modell-Konzepts gewidmet. Sie befassen sich mit Maßnahmen, die "von außen" auf den Lernprozeß einwirken: z. B. durch Instruktionen oder durch manifeste Merkmale des zu erlernenden und zu verstehenden Systems. Doch der Aufbau mentaler Modelle wird natürlich nicht ausschließlich durch solche Maßnahmen beeinflusst, sondern auch durch den individuellen, tätigen Umgang mit dem System selbst. Dies ist das dritte Anwendungsthema:

Kapitel 7 befaßt sich nämlich mit der Rolle selbstgesteuerten, explorierenden Lernens in der Mensch-Computer-Interaktion. Die Darstellung baut vor allem auf dem Merkmal der dynamischen Simulationsfähigkeit mentaler Modelle (vgl. 3.6) und ihrer Funktion bei der Handlungssteuerung auf (3.8). Ein mentales Modell ermöglicht die Vorhersage oder die nachträgliche Erklärung von Systemverhalten. Dies ist möglich, weil Handlungsabläufe oder Verarbeitungsschritte des Programms in der Vorstellung simuliert werden können. Ob diese Simulationen zutreffend sind, ob das mentale Modell das System also in nützlicher Weise abbildet, stellt sich häufig erst im Vergleich mit der tatsächlichen Handlungsausführung und ihren Ergebnissen heraus. Eine Lernumgebung, die viele Freiheiten zum Überprüfen eigener Hypothesen über Systemzusammenhänge läßt, bietet besonders reichhaltige Rückmeldungen über die Angemessenheit des mentalen Modells. Die Möglichkeit zum selbstgesteuerten, aktiven Explorieren eines Programms sollte also die Entwicklung des mentalen Modells fördern. Diese Form des Lernens stellt jedoch besondere Anforderungen an das EDV-Programm und die Lernumgebung. Es sind in diesem Kapitel also praktische Möglichkeiten der Unterstützung explorierenden Lernens zum Aufbau mentaler Modelle zu diskutieren.

5 Aufbau mentaler Modelle durch Metaphern und konzeptuelle Modelle

5.1 Der theoretische Ausgangspunkt

Die Entwicklung eines mentalen Modells über die Funktionsweise eines Systems basiert häufig auf der Konstruktion einer Analogie. Die Analogiebeziehung erlaubt die Übertragung von Wissen aus einem bereits bekannten Gegenstandsbereich in einen neu zu erschließenden (vgl. 3.3). Hierbei wird vor allem auf schematisches Wissen zurückgegriffen. Die Übertragung "typischer", also schematischer Relationen in den neuen Wissensbereich führt zu einer Erweiterung des mentalen Modells, die Anlaß zu neuen "Gedankenexperimenten" bzw. zu tatsächlichem Überprüfen der neuen Hypothesen gibt (vgl. 3.4). Die Konstruktion oder Entdeckung einer Analogiebeziehung kann durch die externe Vorgabe einer Metapher (an der Bedienungsfläche des Systems selbst oder durch Instruktionen) oder durch die Präsentation eines konzeptuellen Modells gefördert werden (3.3.3). Metaphern und konzeptuelle Modelle könnten somit die Entwicklung individueller mentaler Modelle fördern. Die folgende Darstellung bezieht sich sowohl auf Metaphern als auch auf konzeptuelle Modelle. Die in Abschnitt 3.3.2 getroffene Unterscheidung wird im vorliegenden Kapitel durch Beispiele veranschaulicht.

5.2 Metaphern und konzeptuelle Modelle in der Mensch-Computer-Interaktion

Die breite Verwendung von Metaphern in der Mensch-Computer-Interaktion begann mit der Ausweitung des Benutzerkreises: Personen, die mit den technischen Funktionsprinzipien von Rechnern nicht vertraut waren, sollten deren Bedienung erlernen. Metaphern halfen, bereits vertrautes Wissen zur Aneignung neuen Wissens zu nutzen:

The general idea behind the use of metaphors is that they make the system appear to be 'like' the non-electronic world. Interaction is facilitated because even naive users will know what to expect from the system, and will have previous knowledge of what to do in specific situations. (Marshall, Nelson & Gardiner, 1987, S. 228).

Dabei ist zunächst nicht so sehr von Bedeutung, wie und wo eine Metapher oder ein konzeptuelles Modell in Erscheinung tritt. Es kann in Training und Ausbildung vermittelt werden, Bestandteil der Bedienungsfläche eines Programms sein, Grundlage für Benutzerhandbücher, Unterrichtsmaterial oder Hilfesysteme darstellen oder als eine Kommunikationshilfe bei kooperativer EDV-Arbeit dienen. Möglicherweise weist eine Metapher auch gar nicht auf eine Analogie mit den internen Funktionsprinzipien des Systems hin, sondern auf eine Analogie zwischen Arbeitsaufgaben, wie sie ohne EDV- und mit EDV-Einsatz in Erscheinung treten (Waern, 1987). Auch in der folgenden Darstellung wird in diesem Punkte keine Festlegung getroffen und Beispiele aus sehr unterschiedlichen Anwendungen erörtert.

Neben der Vermittlung von Wissen werden Metaphern in der Mensch-Computer-Interaktion auch wegen ihrer emotionalen und motivationalen Wirkungen eingesetzt (vgl. 3.3.5). Carroll und Thomas (1982) sind beispielsweise der Ansicht, Metaphern sollten so konstruiert sein, daß sie eine positive emotionale Einstellung zum Computer fördern:

..., it is better that a user regard a system as 'fun' and 'helpful' than as 'dull,' 'frustrating,' or 'depersonalizing'. ... the costs of ignoring such attitudes range from user dissatisfaction and reduced productivity all the way to overt sabotage. (S. 112)

Ob Einstellungen und Stimmungen allein durch die Art der verwendeten Metaphern beeinflusst werden, ist nicht belegt. Allerdings können Metaphern Stimmungen auf dem Weg der Wissensvermittlung beeinflussen. Führt eine Metapher nämlich zu einem mentalen Modell einer neuen Situation, das stark an Bekanntes anknüpft, wird Unsicherheit über die neue Situation reduziert. Carroll und Mack (1985) beschreiben, wie der Leiter eines EDV-Einführungskurses versucht, seinen Teilnehmern die Furcht vor dem Computer zu nehmen:

... suppose I took you outside the room, told you to go in and turn on the computer switch ... to press a key marked ENTER twice, and the word READY would appear on the screen. And you did that and nothing happened. Your reaction might be, 'What did I do wrong? I don't understand computers!' But if I told you to go into the room and turn on a TV set and dial Channel 4 and nothing happened, what would you do? You would probably see if the TV set were plugged in and your reaction might be, 'what's wrong with the TV?' (S. 40)

Die Teilnehmer sollen so dazu angeregt werden, ihre (wahrscheinlich) furchtlose Einstellung gegenüber Fernsehgeräten auf Computer zu übertragen.

Die systematische Untersuchung der Auswahl oder Konstruktion geeigneter Metaphern, ihrer Einsatzbedingungen und Wirkungen blieb aber bald hinter den ersten praktischen Erfolgen zurück. Die Annahme, Metaphern seien hilfreiche Instrumente der Wissensvermittlung, ist aufgrund unseres Alltagsverständnisses so plausibel, daß systematische Untersuchungen seltener sind als es die Bedeutung des Themas erwarten ließe. Viele Beiträge sind von methodischen Unzulänglichkeiten geprägt, andere basieren auf Einzelfallbeobachtungen und der anekdotenhaften Überlieferung von Erfahrungen. So berichten etwa Rumelhart und Norman schon (1981), daß sie Versuche zur Wirksamkeit von Metaphern beim Erlernen eines Zeileneditors untersucht haben. Dabei stellten sich für die verschiedenen Funktionsmerkmale jeweils andere Metaphern als nützlich heraus: Die "Sekretärinnen-Metapher" beispielsweise schuf ein grundlegendes Verständnis dafür, daß Anweisungen und Texteingaben unterschiedliche Bedeutungen haben. Leider erwarteten die Versuchspersonen nun auch, daß der Editor, ähnlich wie eine Sekretärin, allein unterscheiden kann, was eine Texteingabe ("Diktat") ist und was eine Anweisung (z. B. zur Formatierung des Diktierten) ist und deshalb nicht im Text erscheinen soll. Der damals verwendete Editor benötigte nämlich ein explizites Signal, daß die Texteingabe beendet ist und die nun folgenden Eingaben als Befehle zu interpretieren sind. Dies konnte man bequem mit einer weiteren, nämlich der "Tonband-Metapher" verdeutlichen: Ein Tonbandgerät registriert im Aufnahmemodus unterschiedslos alle Geräusche bis der Aufnahmevorgang explizit beendet wird. Erst dann sind andere Funktionen, wie Spulen oder Löschen zugänglich.

Das Beispiel ist in zwei Aspekten typisch für Beiträge in diesem Bereich: In inhaltlicher Hinsicht ist der Gegenstandsbereich recht eingeschränkt. Die Mehrzahl der Untersuchungen wurde im Bereich der Textverarbeitung durchgeführt. Dies ist insbesondere deshalb zu bedauern, weil der Aufgabenbereich der Textverarbeitung vielen

Computeranfängern so gut bekannt ist, daß er einen überdurchschnittlich geeigneten Basisbereich für Metaphern darstellt. Probleme bei der Verwendung von Metaphern können aber gerade dann entstehen, wenn der Aufgabenbereich eines Systems unbekannt ist, möglicherweise, weil er erst durch die Existenz des zu erlernenden Systems entsteht:

We might dub this the 'device-domain dependency paradox'. It is easier to learn the domain if it can be actively explored but to explore the domain the learner must do so through the medium of the device. On the other hand, the device cannot be learned in isolation, as its vital properties are determined by the way it interacts with the domain. (Howes & Payne, 1990, S. 882)

Zum anderen befassen sich die meisten Untersuchungen mit der Wirkung von Metaphern auf den Lernerfolg (insbesondere bei computerunerfahrenen Personen). Das Problem des Erkennens von Metaphern ist dagegen nur selten Gegenstand der Untersuchung. Dies mag mit der Art der verwendeten Metaphern zusammenhängen: Im vorliegenden Beispiel ist offensichtlich, daß der Computer nicht tatsächlich ein "Tonband" enthält, ebensowenig wie in einem Rechner mit Büroanwendungssoftware "Papierkörbe" oder "Ordner" stehen. Wie einige der folgenden Beispiele zeigen werden, sind jedoch auch Metaphern eingesetzt worden, die nicht so leicht als Metaphern zu erkennen sind.

In den folgenden Abschnitten, werden einige interessante, empirische Untersuchungen geschildert, die sich mit der Wirkung von Metaphern und konzeptuellen Modellen auf das Lernen und Verstehen von Anwendungsprogrammen befaßt haben.

5.2.1 Schreibmaschinen und computerisierte Textverarbeitung

Daß die Untersuchung von Metaphern in der Mensch-Computer-Interaktion ihren Ausgang von der Textverarbeitung nahm, lag wohl auch daran, daß die oberflächliche Ähnlichkeit zwischen den Tätigkeiten des Maschineschreibens und der computerisierten Textverarbeitung so groß ist. Deshalb gingen Douglas und Moran (1984) der Frage nach, ob die Vertrautheit mit der Schreibmaschine sich in der Arbeit mit einem Texteditor auswirkt. Die Annahme war vor allem auch darin begründet, daß die Autoren in einem Trainingskurs für den EMACS-Editor (in der Studie von Roberts & Moran, 1983, aus der sie die Daten benutzten) häufig beobachteten, daß der Trainer sich spontan der Schreibmaschinen-Metapher bediente um die Auswirkung von Kommandos zu erklären. Da sich die Funktionsprinzipien des Editors und der Schreibmaschine in vielen Aspekten jedoch deutlich unterschieden, war es möglich, spezifische Bedienungsfehler für den Fall vorherzusagen, daß sich die Versuchspersonen an ihrem Wissen über Schreibmaschinen orientierten. Tatsächlich wurde festgestellt, daß sowohl in verbalen Äußerungen der Versuchspersonen als auch in ihrer Tätigkeit am System Fehlkonzeptionen auftraten, die auf die unzulässige Übertragung von Wissen über die Schreibmaschinenfunktionen auf Textverarbeitungsfunktionen zurückzuführen waren (vgl. auch Halasz & Moran, 1982). Mit diesem Ergebnis ist aber bisher nur gezeigt worden, daß Computeranfänger Wissen aus EDV-fremden Bereichen offenbar transferieren, wenn sie dazu

ermutigt werden (vgl. Briggs, 1990, S. 196 ff.). Hat die Schreibmaschinen-Metapher jedoch auch spezifische Wirkungen?

Einen Ansatz zur experimentellen Untersuchung dieser Frage ist von Waern und Rabenius (1987) vorgelegt worden. Sie erstellten schriftliche Anweisungen für Anfänger eines Textverarbeitungssystems unter Verwendung von zwei verschiedenen Metaphern: Entweder wurde das Programm mit einer Schreibmaschine verglichen oder der Text mit einer Kette von Bausteinen, von denen jeweils einer einen Buchstaben repräsentiert¹². Im erstgenannten Fall hofften die Autoren, den Lernenden einen umfassenden Gesamteindruck von dem Aufgabenbereich zu vermitteln, für den das Programm konzipiert war. Die zweite Metapher sollte vor allem in solchen Aufgaben hilfreich sein, in denen räumliche Beziehungen zwischen Zeichen eine Rolle spielen: Stellt man sich den Text als eine Kette von Zeichen vor, ist z. B. einsichtig, wie das Einfügen von neuen Zeichen bereits vorhandene verschiebt, eine Vorstellung, die die Schreibmaschinen-Metapher nicht nahelegt. Beide Metaphern müßten also differentiell wirken. Zur Prüfung dieser Hypothese konstruierten Waern und Rabenius Aufgaben, bei denen das Merkmal der räumlichen Position von Zeichen mehr oder weniger im Mittelpunkt stand. Beispielsweise böte keine der beiden Metaphern einen spezifischen Vorteil, wenn in einem Text ein Wort zu ersetzen wäre, das genauso lang ist wie das neu einzusetzende. Bei einer Tabelle hingegen, in der die einzelnen Einträge bündig mit den Spalten gesetzt werden müssen, sollte die Baustein-Metapher nützlicher sein. Als abhängige Variable berichten die Autoren jedoch leider nur die Lesezeiten in den schriftlichen Lernmaterialien während der Bearbeitung der Testaufgaben. Diese werden so interpretiert, daß längere Lesezeiten auf eine erschwerte Aufgabenlösung und damit auf eine geringere Nützlichkeit der jeweiligen Metapher hinweisen. Ihr Hauptbefund zeigt, daß die Schreibmaschinen-Metapher kürzere Lesezeiten beansprucht, aber nur zu Beginn des Lernprozesses. Die Unterschiede zwischen den Gruppen verlieren sich recht schnell mit fortschreitendem Lernen. Mit der eigenen Erfahrung mit dem System, so Waern und Rabenius, scheint die Metapher ihre spezifischen Effekte zu verlieren. Dies läßt sich gut mit dem wachsenden Verständnis für die tatsächlichen Zusammenhänge im System erklären: Das mentale Modell enthält zunehmend Wissen über das System, das über die Grenzen der Metapher hinausreicht. Dadurch wird der Rückgriff auf die Quelle anfänglichen Wissens, nämlich auf die Metaphern selbst, zunehmend überflüssig. Kritisch ist jedoch anzumerken, daß die Ergebnisse allein auf der Analyse der Lesezeiten beruhen und nicht durch andere Verhaltensdaten gestützt werden. Belege für die angenommene differentielle Wirkung der beiden Metaphern in unterschiedlichen Aufgaben werden nicht berichtet.

5.2.2 "Rohrpost" und Datenfluß

Daß Metaphern nicht allein sprachlicher, sondern auch bildlicher bzw. kombinierter Art sein können, zeigt eine Feldstudie von van der Veer und Felt (1988, auch van der Veer, Felt, van Muylwijk & van Biene, 1987). Für einen Einführungskurs in ein inte-

¹² Tatsächlich wurde noch ein zweiter Faktor variiert, über den hier nicht weiter berichtet werden soll: Die Darstellungsweise in den schriftlichen Materialien war entweder kommando- oder aufgabenorientiert.

griertes Bürosystem entwarfen sie eine metaphorische, sprachliche Beschreibung für den Aufgabenraum, der sich dem Benutzer des neuen Systems öffnet. Dabei werden Funktionen personalisiert:

The central theme of the metaphor was chosen to correspond to a knowledge domain that all students were expected to share prior to the course. The core of the metaphor was the management of an office comparable to the kind of situation in which the students practice their daily work, with delegation of subtasks to different functionaries. The most important among these (the chief of the typing pool, the draughtsman, the accountant and the records officer) were referred to as individuals. Apart from this there were people from the communication services, from the safety department ... , people from the record offices and a group of elderly men nicknamed 'Decent Old Style' (DOS), who did almost anything for you, provided you ask them precisely. (van der Veer & Felt, 1988, S. 258)

Auch wenn das in Frage stehende System hier nicht im Detail beschrieben wurde, hat der Leser sicherlich schon jetzt einen wagen Eindruck vom Leistungsumfang dieses Systems. Interessant ist an diesem Beispiel, daß es sich um eine zusammengesetzte Metapher handelt, die ein ganzes Szenarium beschreibt und zahlreiche Erweiterungsmöglichkeiten bietet. Die Kursteilnehmer wurden mit den einzelnen Komponenten vertraut gemacht und die Funktionsteilung immer wieder unter Bezugnahme auf das Büroszenarium verdeutlicht.

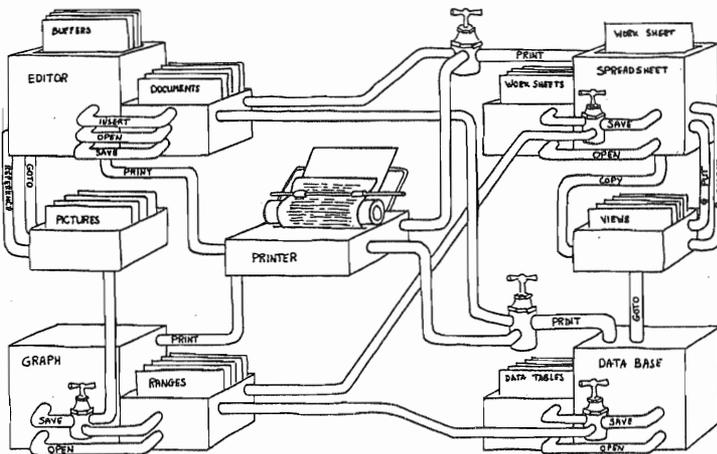


Abbildung 1: Räumlich-bildhafte Metapher eines Büroanwendungssystems nach van der Veer und Felt (1988, S. 259).

Damit die Kursteilnehmer die Beziehungen zwischen den Systemkomponenten kennenlernen, vor allem die Möglichkeiten des Datenaustauschs zwischen den Komponenten, wurde eine räumlich-bildhafte Metapher entworfen (Abbildung 1). Die Systemkomponenten wie Drucker, Datenbasis, Editor oder Kalkulationstabelle wurden gra-

phisch symbolisiert, die Möglichkeiten des Informationsflusses als Röhren und Ventile zwischen den Komponenten dargestellt. Die Röhren waren mit den Funktions- bzw. Kommandonamen beschriftet. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, wurde das Bild in Teilbereiche gegliedert und mit Fortschreiten der Unterweisung zusammengesetzt, bis das gesamte System als "Bild" repräsentiert war¹³.

Da diese Studie ursprünglich zur Untersuchung interindividueller Unterschiede bei der Entwicklung mentaler Modelle geplant war, wurde keine Bedingungsvariation, z. B. in Form einer zweiten Metapher oder einer Kontrollgruppe eingeführt. Deshalb kann die Wirksamkeit der eingesetzten Metaphern nicht differenziert beurteilt werden.

5.2.3 Zahlenregister und Taschenrechner

Bayman und Mayer (1984, auch Mayer & Bayman, 1981) haben beobachtet, welche Vorstellungen Personen über die internen Prozesse eines Taschenrechners bilden. Die Autoren kommen (in Einklang mit Norman, 1983b) zu der Auffassung, daß sich die mentalen Modelle der Benutzer zum einen stark unterscheiden, zum anderen auch häufig unvollständig seien (Briggs, 1988). Dies gelte auch dann, wenn die Benutzer vergleichbare praktische Erfahrungen mit einem technischen Gerät gemacht haben. Deshalb entwickelten die Autoren Methoden zur Vertiefung des Verständnisses dieser internen Prozesse. Zu ihrer Veranschaulichung wurden zwei verschiedene konzeptuelle Modelle konstruiert und in einem Lernversuch im Vergleich mit einer Kontrollgruppe bewertet. Beide Modelle beschreiben die Speicherlogik eines Taschenrechners auf unterschiedliche Weise (vgl. Young, 1981; Halasz & Moran, 1983): Das sogenannte "line-model" geht von zwei Registern aus: einem sichtbaren Anzeigeregister und einem unsichtbaren Hauptregister. Das Hauptregister kann sowohl Zahlen (von 1 bis 8 Stellen) als auch Operatoren (+ - / x) aufnehmen, und zwar immer abwechselnd. Das line-model wird für die Lernenden graphisch veranschaulicht (Abbildung 2).

Die Linien im Hauptregister symbolisieren Plätze für Zahlen, die Kästchen zeigen Plätze für jeweils einen Operator. Tastatureingaben erscheinen zunächst im Anzeigeregister, Werte im Anzeigeregister können in das Hauptregister kopiert werden und füllen dieses von links nach rechts. Ergebnisse werden im Anzeigeregister dargestellt.

Das zweite Modell wird "stack-model" genannt. Es besitzt neben dem Anzeigeregister drei weitere, unsichtbare Register: Ein X- und ein Y-Register für die Aufnahme von Zahlen und ein getrenntes Operatorregister. Abbildung 3 zeigt die entsprechende graphische Veranschaulichung.

Jedes Register kann jeweils nur eine Zahl bzw. einen Operator speichern. Zahlen können aus dem Anzeigeregister in das X-Register und von da aus in das Y-Register kopiert werden, jedoch in keiner anderen Richtung. Dabei verdrängt jede Neueingabe einen Wert aus dem Anzeigeregister in das X-Register während der Inhalt des X-Regi-

¹³ Eine Vielzahl weiterer Beispiele bildlich repräsentierter Metaphern findet sich bei der Analyse von Icons (z.B. Gittins, 1986). Das Thema der bildlichen und räumlichen Repräsentation von Informationen auf dem Bildschirm wird jedoch erst in Kapitel 6 fortgesetzt.

sters in das Y-Register kopiert wird. Im Operator-Register verdrängt ein neuer Operator den bereits enthaltenen.

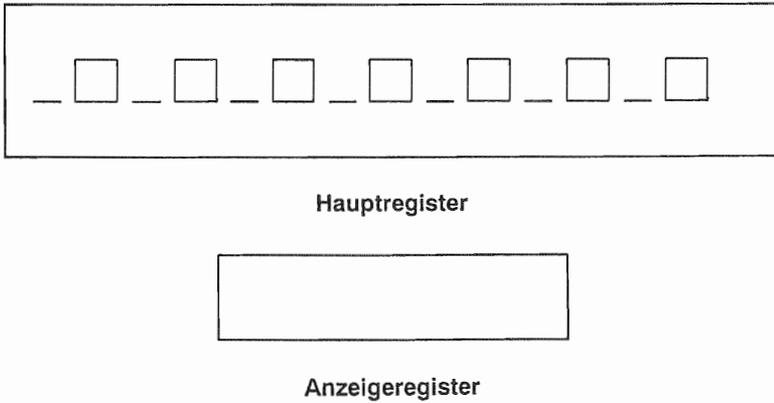


Abbildung 2: Das "line model" eines Taschenrechners. Nach Bayman und Mayer (1984, S. 192).

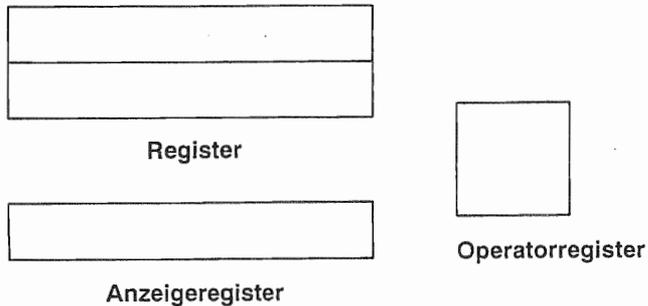


Abbildung 3: Das "stack model" eines Taschenrechners. Nach Bayman und Mayer (1984, S. 193).

Beide konzeptuellen Modelle unterscheiden sich von den bisher dargestellten Metaphern (vgl. 3.3.2). Der sonst recht offensichtliche Bezug zwischen Basis- und Zielbereich (Wasserrohr und Datenfluß, Schreibmaschine und Textverarbeitungssystem) ist hier weniger deutlich. Zwar sind "Register" auch Metaphern für die tatsächlichen Speicherprozesse, aber die metaphorischen Begriffe sind denen des Zielbereichs recht ähnlich, so daß sie als Metaphern schwerer zu erkennen sind. Zum anderen sind diese konzeptuellen Modelle explizit für einen bestimmten Zweck konstruiert worden: Sie beschreiben interne, nicht direkt beobachtbare Prozesse so, daß ein mentales Simulieren dieser Prozesse möglich wird, und so der Aufbau eines inneren, mentalen Modells gefördert wird. Dabei nehmen die hier konstruierten konzeptuellen Modelle weniger Bezug auf EDV-unabhängiges Vorwissen als die bisher dargestellten Metaphern.

Welche Wirkung hatten diese konzeptuellen Modelle nun? Die Versuchspersonen von Bayman und Mayer (1984), insgesamt 72 Studenten, erhielten sowohl die graphischen Repräsentationen als auch die sprachlichen Beschreibungen der Modelle zusammen mit 25 arithmetischen Problemen. Diese sollten im Sinne des vorliegenden Rechnermodells durchgespielt werden und das am Ende im Anzeigeregister sichtbare Ergebnis angegeben werden. Eine Gruppe erhielt das "stack-model", die zweite Gruppe arbeitete mit dem "line-model", weitere 24 Personen mußten die Aufgaben ohne jedes Modell lösen und dienten als Kontrollgruppe. Aus den Angaben der Versuchspersonen, welcher Wert am Ende der Aufgabe im Anzeigeregister steht, konnten die Untersucher schließen, welcher Strategie sich die Versuchspersonen bedienten. Diese Strategien unterscheiden sich in der Aufgabenangemessenheit. Beispielsweise benutzten einige Versuchspersonen offenbar die folgende Strategie: "Eine Zahl wird bewertet (verrechnet), sobald sie eingegeben ist." Die Anwendung einer solchen "number strategy" würde bei der Aufgabe "2+3" zu der Antwort "5" führen, was im arithmetischen Sinne korrekt wäre. Allerdings müßte diese Strategie versagen, wenn z. B. mehrstellige Zahlen addiert werden sollen. Nach einer anderen Strategie, der "equals strategy" wird eine Zahleingabe erst nach der Eingabe eines Gleichheitszeichens bewertet. Diese Strategie ist nur dann geeignet, wenn die Aufgaben in Standardform vorliegen. Ein Ausdruck wie $2++$ könnte nicht adäquat behandelt werden. Die einzige tatsächlich adäquate Strategie ist die "operator strategy", nach der die Bewertung dann erfolgt, wenn der nächste Operator eingegeben wird.

Beide verwendeten konzeptuellen Modelle unterstützen die Entwicklung der Operatorstrategie, da die Eingabe eines Operators die einzige Möglichkeit darstellt, eine im Anzeigeregister befindliche Zahl in das Haupt- bzw. X-Register zu kopieren. Eine weitere Eingabe von Zahlen würde nämlich eine weitere Stelle an die bereits eingegebene Zahl anfügen. Ohne Übertragung der Zahl in das interne Register würde jedoch keine Eingabe eines weiteren Wertes möglich sein, ohne den ersten zu löschen. Die Vermutung, daß diese Funktion nur auf das Gleichheitszeichen zutrifft, wird in beiden Modellen nicht unterstützt, da es nur ein gemeinsames Register für = und alle anderen Operatoren gibt.

Bayman und Mayer zählten nun aus, wieviele Personen aus den drei Experimentalgruppen unangemessene oder angemessene Strategien benutzten. Zumindest für zwei der drei Aufgabentypen konnte gezeigt werden, daß die beiden Modell-Gruppen häufiger differenziertere und damit aufgabenangemessenere Strategien benutzten. Allerdings konnte keine differentielle Wirkung der beiden verschiedenen Modelle nachgewiesen werden. Dennoch interpretieren die Autoren die Ergebnisse als einen Beleg für ihre These, daß die Entwicklung des mentalen Modells durch Instruktionen beeinflusst werden kann. Sie legen Wert auf die Feststellung, daß allein die Erfahrung im Umgang mit dem Gerät häufig zu inadäquaten mentalen Modellen führt. Bayman und Mayer (1984) empfehlen daher: "Provide the user with a simple and useful model of the internal components and operating rules. ... Encourage the user to relate 'hands-on experience' ... to the model" (S. 198).

Von entscheidender Bedeutung ist die Frage, welche Kriterien an ein konzeptuelles Modell zu stellen sind, damit es eine Wirkung wie die demonstrierte entfaltet. Bayman und Mayer (1984) nennen drei Kriterien:

- Das Modell ist in dem Maße *nützlich*, wie es eine anspruchsvolle Leistung des Benutzers unterstützt.
- Das Modell ist in dem Maße *vollständig*, wie es alle Details der Systemkomponenten und Funktionsregeln berücksichtigt.
- Das Modell ist in dem Maße *originalgetreu* (veridical), wie seine Komponenten die tatsächliche physikalische Gestaltung und die Funktionsregeln die "Sprache" des Geräts abbilden.

Eine Bewertung dieser Kriterien wird in Abschnitt 5.3 zusammen mit weiteren kritischen Aspekten der Verwendung von Metaphern in der Mensch-Computer-Interaktion vorgenommen. Zunächst soll jedoch die Reihe der praktischen und empirisch untersuchten Metapheranwendungen fortgesetzt werden.

5.2.4 Kontrollwarte im "Starship Enterprise"

Experimentell besonders sorgfältig ist die Wirkung eines konzeptuellen Modells von Kieras und Bovair (1984) untersucht worden. Sie simulierten ein sehr einfaches technisches System, bestehend aus zwei Schaltern mit zwei bzw. drei möglichen Stellungen, zwei Druckknöpfen und vier Kontrolleuchten. Das Ziel der Bedienung dieses Systems bestand darin, eine bestimmte Kontrolleuchte zum Blinken zu bringen. Es waren zwei Prozeduren zu lernen, bei der die Schalter und Knöpfe in bestimmte Stellungen gebracht werden mußten, um das Ziel zu erreichen. Das Gerät war jedoch so gestaltet, daß nicht immer alle Komponenten so funktionierten wie vorgesehen. Deshalb waren weitere Prozeduren zu lernen, die im Falle bestimmter "Fehlfunktionen" trotzdem zum Ziel führten. Von diesen waren einige umständlicher gestaltet als unbedingt erforderlich, andere so effizient wie möglich.

Aufgabe der Versuchspersonen war es, diese Prozeduren zu lernen. Dazu wurden ihnen die Prozeduren vorgegeben, und sie mußten sie ausführen. Begingen sie dabei einen Fehler, erfolgte eine nochmalige Instruktion. Nach drei aufeinander folgenden fehlerfreien Versuchen wurde die Instruktion mit einer neuen Prozedur fortgesetzt. In einer nachfolgenden Testphase mußten die Versuchspersonen diese Prozeduren auf eine Anweisung hin anwenden, wobei in der Hälfte aller Fälle eine unvorhergesehene "Fehlfunktion" auftrat, was den Wechsel zu einer entsprechenden Fehlerbehandlungsprozedur erforderte.

Diese Untersuchung wurde mit zwei Gruppen (von je 20 Versuchspersonen) durchgeführt. Beide Gruppen lernten die Prozeduren, wie oben erläutert. Eine Gruppe jedoch erhielt eine "cover story" zur Funktion des Systems: Es handele sich um einen Teil des Bordinstrumentariums der "Starship Enterprise"¹⁴, bestehend aus verschiedenen auf der Anzeigentafel nicht sichtbaren Komponenten: einem "Energiegenerator", zwei Akkumulatoren und der "phaser bank". Die sichtbaren Schalter verbinden oder

¹⁴ aus der Science-Fiction-Fernsehserie "Star Trek".

unterbrechen den Energiefluß zwischen diesen Komponenten, die Kontrolleuchten geben Auskunft darüber, welche Komponenten mit Energie versorgt werden und funktionstüchtig sind. Die genauen Relationen wurden in einem Blockdiagramm und einem darauf bezogenen Text dargestellt. Die Bedienungselemente waren dem konzeptuellen Modell entsprechend benannt. Die zweite Gruppe erhielt keine Hintergrundgeschichte, die Bedienungselemente waren neutral bezeichnet. In jeder anderen Hinsicht waren die Lern- und Testbedingungen der beiden Gruppen vergleichbar.

Die Ergebnisse sind beeindruckend: Der Gruppe, die das konzeptuelle Modell erhielt, befaßte sich zwar länger mit dem Modell, doch holten die Versuchspersonen dies teilweise dadurch wieder auf, daß die Trainingszeit für die Prozeduren erheblich (28%) kürzer war (vgl. Duff & Barnard, 1990). Die Modellgruppe behielt mehr Prozeduren, führte sie schneller aus und fand vor allem sehr viel häufiger heraus, daß einige der Prozeduren effizienter gestaltet werden konnten.

Dieses Experiment belegt zwar die Wirksamkeit einer Modellvorgabe, läßt jedoch die Frage offen, auf welche Weise das Modellwissen die Leistung beeinflusst. In Einklang mit der bisherigen Erörterung mentaler Modelle nehmen Kieras und Bovair (1984) an, daß die Vorgabe eines konzeptuellen Modells den Lernenden erlaubt, die Prozeduren (durch kognitive Simulation und Handeln) abzuleiten. Sie sind damit nicht allein auf das Lernen und Erinnern derselben angewiesen, sondern können sie auch aus dem mentalen Modell rekonstruieren. Dies erspart Lernzeit und kompensiert Vergessen. Zur Prüfung dieser Hypothese führten Kieras und Bovair ein zweites Experiment durch, in dem wieder zwei Gruppen mit dem System konfrontiert wurden. Wieder erhielt eine Gruppe das Modell, die zweite nicht. Im Unterschied zur ersten Untersuchung sollten die Versuchspersonen diesmal jedoch nicht die fertigen Prozeduren lernen, sondern sie sollten diese, begleitet von "lautem Denken", selbst ableiten und entwickeln. Dazu konnten sie das System nach Belieben manipulieren. Die durchschnittliche Anzahl von Aktionen, die die Versuchspersonen brauchten, um eine Prozedur herauszufinden, war in der Modell-Gruppe beträchtlich geringer. Die Analyse der Verbalprotokolle ergab, daß die Personen der Modell-Gruppe ihre Handlungen überwiegend in Begriffen des konzeptuellen Modells beschrieben und erklärten. Die Gruppe, die ohne konzeptuelles Modell auskommen mußte, orientierte sich häufiger an einer systematischen Trial-and-error-Strategie. Mit diesem Ergebnis konnten Kieras und Bovair ihre Hypothese stützen, daß der Lernvorteil des konzeptuellen Modells größtenteils darin begründet ist, daß es die Lernenden in die Lage versetzt, Lösungen eigenständig abzuleiten und zu entwickeln (vgl. auch Kapitel 7). Der Aufwand für das Memorieren und Abrufen sinkt, Erinnerungsfehler oder -lücken fallen weniger ins Gewicht, da sie kompensiert werden können.

Doch auch nach diesem Experiment bleibt zumindest eine Frage offen: Welche Merkmale des konzeptuellen Modells sind verantwortlich für die lernförderlichen Effekte? Das hier verwendete Modell ist ja ein komplexes Gebilde mit unterschiedlichen Merkmalen: Es stellt erstens einen phantasiereichen Kontext her, der motivierend wirken könnte und der zweitens generelle Prinzipien des Systems enthält. Drittens werden verschiedene Komponenten und ihre Beziehungen beschrieben. Kieras und Bovair sind der Ansicht, daß das wichtigste das "How-it-works-knowledge" sei. Dieses bestehe

hauptsächlich aus der genauen Beschreibung der Bedienelemente und der Relationen zwischen den Komponenten. Ein Beispiel für das How-it-works-knowledge ist etwa die Erkenntnis, daß bei Stellung "on" des Schalters X die Komponente A mit Energie versorgt wird, vorausgesetzt, daß sich Schalter Y ebenfalls in einer bestimmten Stellung befindet. Um die Hypothese zu testen, daß das How-it-works-knowledge (also die funktionalen Beziehungen zwischen den Komponenten) die entscheidende Determinante des Modellvorteils ist, entwarfen sie ein drittes Experiment: Die Bedingungen zweier Gruppen entsprachen denen der vorherigen Experimente. Die Modellgruppe hatte den Phantasiekontext und spezifische Informationen über die funktionalen Zusammenhänge, die Nicht-Modell-Gruppe hatte weder das eine noch das andere. Nun wurden zwei zusätzliche Gruppen eingeführt, die mit einem konzeptuellen Modell versorgt wurden, das entweder einen Phantasiekontext und keine spezifischen funktionalen Zusammenhänge aufwies oder umgekehrt. Dies ergab einen 2×2 - faktoriellen Versuchsplan mit den Faktoren "Phantasiekontext" und "funktionale Zusammenhänge". Wie im zweiten Experiment sollten die Versuchspersonen durch Ausprobieren und kognitives Simulieren die Prozeduren selbst herausfinden. Analysiert wurde wieder die mittlere Anzahl von Handlungsschritten, die erforderlich waren, um die Prozeduren abzuleiten. Das Ergebnis, ein varianzanalytischer Haupteffekt für den Faktor "funktionale Zusammenhänge", läßt keinen Zweifel zu, daß die Wirksamkeit des aufgebauten mentalen Modells maßgeblich auf das "How-it-works-knowledge" zurückgeht. Ein wirkungsvolles konzeptuelles Modell sollte also die funktionalen Zusammenhänge zwischen den Systemkomponenten enthalten.

Ein weiterer interessanter Aspekt wurde oben nur am Rande erwähnt: In den Verbalprotokollen der Teilnehmer am zweiten Experiment tauchten viele Begriffe auf, die auch im konzeptuellen Modell verwendet wurden. Dies gibt Anlaß zu der Hypothese, daß konzeptuelle Modelle ein Vokabular einführen können, das der weiteren Kommunikation über das System dienlich ist. Das Sprechen "verschiedener Sprachen" behindert in vielen Instruktionssituationen die Vermittlung von Wissen. Insbesondere in kooperativen Arbeits- und Lernsituationen sind gemeinsame Begriffe zur Verständigung über das System von zentraler Bedeutung.

5.2.5 Schreibtische und Menüs

Eine der im Zusammenhang mit Büroanwendungssoftware am häufigsten genannten Metaphern ist die sogenannte Schreibtisch-Metapher (vgl. Malone, 1983; Streitz, 1990). Dabei wird der Bildschirm mit der Oberfläche des wohlbekannten Schreibtisches verglichen. Auf diesem liegen verschiedene Gegenstände: Schriftstücke, Notizzettel, Ordner, unterschiedliche Schreibgeräte, manchmal bleibt eine geringe Arbeitsfläche unbedeckt. Ebenso repräsentiert der Bildschirm symbolisch Objekte, wie z. B. Dateien, Dateiverzeichnisse und Werkzeuge, wie Editoren oder Dienstprogramme. In der Mitte bleibt eine Arbeitsfläche beispielsweise zum Bearbeiten von Tabellen, Texten oder Graphiken.

Lieser, Streitz und Wolters (1987) untersuchten zum einen die Wirksamkeit dieser Metapher, erweiterten die Fragestellungen jedoch um einen bisher nicht erwähnten

Aspekt: Die Wirkung einer Metapher hängt nicht allein von ihrer Beschaffenheit ab, sondern auch von den Interaktionsmöglichkeiten und -techniken mit Hilfe derer sich der Bediener mit dem System auseinandersetzen kann. Metaphern sollen nicht nur das Verstehen des Systems erleichtern, sondern sie legen auch eine bestimmte Form der Interaktion nahe. Werden beispielsweise Objekte graphisch auf dem Bildschirm repräsentiert, und können diese direkt manipuliert werden, legt dies nahe, mit dem System durch Kommandos zu interagieren, die ebenfalls auf dem Bildschirm (in Form von Menüs) repräsentiert sind. Zumindest sollten die Lernvorteile der Metaphern, so Lieser et al. (1987), durch eine wenig gedächtnisbelastende Interaktionsform verstärkt werden.

Sie erstellten deshalb vier Versionen eines Textverarbeitungssystems auf Macintosh-Basis (Abbildung 4), die sich auf zwei Dimensionen unterschieden: Zum einen wurde die verwendete Metapher variiert (Schreibtisch- vs. Computermetapher), zum anderen die Interaktionsform (Menüauswahl vs. Kommandoeingabe).

Bei der Variation der Metaphern sprechen die Autoren nicht von einzelnen Metaphern, sondern von "Metaphernwelten", da ganze Umgebungen in Begriffen der "Computer-" bzw. "Bürowelt" gestaltet sind. Das Schreibmaschinensymbol im Macintosh als Icon für den Editor wird in der Welt der Computermetapher tatsächlich wieder zum "Editor", der viel zitierte "Papierkorb" wird zum "Löschbereich", "Dokumente" in der Bürometapher sind in der Computermetapher schlicht "Objekte".

In beiden Metaphernwelten gibt es nun zwei verschiedene Möglichkeiten, mit dem System zu interagieren: Entweder mit Hilfe von Menüs und Maus, oder durch die Eingabe von Kommandos über die Tastatur. Die Benennung der Kommandos ist identisch, egal ob sie eingegeben werden müssen, oder ob sie in Menüs erscheinen. In der Kommandosprachenversion sind die Bezeichnungen speziellen Hilfetafeln zu entnehmen, die jedoch nicht als Eingabemedium dienen. Somit gibt es jeweils eine Kommandosprachen- und eine Menüversion, die auf der Computer- bzw. Bürometapher aufbaut.

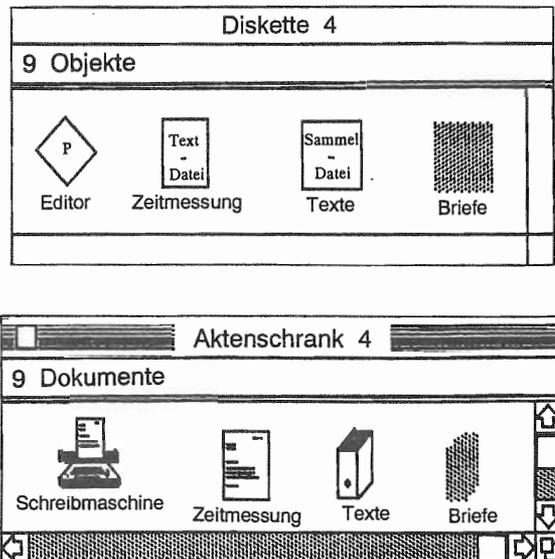


Abbildung 4: Beispiele für die Oberflächengestaltung gemäß der Computermetapher (oben) und der Bürometapher (unten). Nach Lieser, Streitz & Wolters (1987, S. 6 f.).

Nach der Erklärung des Programms und der Mausbedienung bearbeiteten die Versuchspersonen eine Probeaufgabe aus dem Bereich der Textverarbeitung. Danach wurde

das erworbene Wissen mit Fragebögen geprüft. Es folgte die Bearbeitung von fünf Testaufgaben. Der Abschluß des Versuchs wurde durch eine Wiederholung der Wissenstests gebildet. Zunächst ist festzuhalten, daß die Wahl der Metapher durchaus Unterschiede im Wissen der Versuchsteilnehmer bedingt: Beim Beurteilen von Relationen zwischen Objekten beispielsweise wurden weniger Fehler gemacht, wenn im Rahmen der Bürometapher gelernt wurde. Die Ergebnisse zeigen jedoch noch einen anderen Trend: Häufig treten die Vorteile der Bürometapher nur in Zusammenhang mit einer bestimmten Dialogform, nämlich der Menüsteuerung auf. Prototypisch für diesen Trend ist die Bearbeitungszeit pro Testaufgabe: Die beiden "Kommando-Gruppen" und die Gruppe "Menüauswahl/Computermetapher sind etwa gleich schnell. Nur die Gruppe "Menüauswahl/Bürometapher" ist um etwa ein Viertel der Bearbeitungszeit schneller. Interessant ist, daß vergleichbare Verhältnisse auch bei Reaktionszeiten angetroffen werden, bei denen gar nicht am System gearbeitet wird, nämlich bei den Wissenstests: Die Antwortzeit zur richtigen Erkennung von Relationen zwischen Objekten ist in der Kombination "Menüauswahl/Bürometapher" kürzer als bei "Menüauswahl/Computermetapher". Die möglichen Kombinationen von Metaphern und Dialogformen sind also nicht gleichwertig.

Insbesondere bei den Aufgabenbearbeitungszeiten könnte man der Ansicht sein, daß die schnellere manuelle Bedienbarkeit der Menüs einen Störfaktor darstellt. Der Zeitgewinn ginge in diesem Falle nicht auf ein erleichtertes Verständnis des Systems zurück, sondern auf eine schnellere motorische Ausführbarkeit der Handlung (obwohl dies nicht erklärt, warum dieser Vorteil bei der Kombination "Menüauswahl/Computermetapher" nicht zutreffen soll). Bei der Beantwortung der Wissensfragen ist diese Interpretation jedoch gänzlich unplausibel: Die längeren Antwort- und Beobachtungszeiten scheinen auf einen erhöhten Verarbeitungsaufwand bei den nicht-kompatiblen Kombinationen von Metaphern und Dialogformen zurückzuführen zu sein. Lieser, Streitz & Wolters (1987) schließen daraus: "Die Frage 'Ist die Bürometapher von Vorteil?' kann also nicht generell beantwortet werden und sollte deshalb auch nicht so gestellt werden. Ebenso wenig ist die Frage nach der Überlegenheit von 'Menüauswahl' oder 'Kontrollkommando' so nicht zu beantworten" (S. 26 f.). Sie empfehlen daher, "... daß man bei der Diskussion von Designempfehlungen die Einflußfaktoren nicht isoliert behandeln darf" (a. a. O.).

5.2.6 Metaphern als Ausdruck grundlegender Sichtweisen auf die Mensch-Computer-Interaktion

Die vorangegangenen Beispiele sind alle auf spezifische Probleme bezogen. Im Mittelpunkt des Interesses stand jeweils ein besonderes Vermittlungsproblem: Welche Metapher führt effizient zum gewünschten Wissenstransfer. Durch diese Beispiele könnte nun der Eindruck entstanden sein, daß Metaphern im Designprozeß tatsächlich ausschließlich nach Maßgabe dieses Zielkriteriums ausgewählt werden. Das ist sicherlich nicht immer der Fall.

Maaß und Oberquelle (1992) zeigen auf, daß Metaphern Ausdruck grundlegender Sichtweisen auf die Mensch-Computer-Interaktion sind. Insbesondere differenzieren sie

unterschiedliche Perspektiven der Systementwickler auf den Software-Entwicklungsprozeß und die Vorstellungen der Konstrukteure von der Benutzung des fertigen Software-Systems:

- Die *Maschinen-Perspektive* bestärkt den Benutzer in seiner Ohnmacht gegenüber dem Computer: Maschinen arbeiten effizient, meistens fehlerfrei und präzise. Der Versuch, sie zu durchschauen ist dem Experten, oft allein dem Konstrukteur vorbehalten. Metaphern wie "Rechner", "Ein- und Ausgabe" oder das "elektronische Fließband" haben nach Maaß und Oberquelle ihre Wurzeln in dieser Sichtweise.
- In der *System-Perspektive* werden Benutzer und Computer als grundsätzlich vergleichbare Teilkomponenten einer umfassenderen Informations- und Kommunikationsstruktur aufgefaßt. Die in Abschnitt 5.2.2 dargestellte Metapher eines Bürosystems von van der Veer und Felt (1988) dürfte ein gutes Beispiel für diese Perspektive sein: Die Personalisierung von Systemkomponenten bringt nachhaltig die prinzipielle Vergleichbarkeit von menschlichen und maschinellen Informationsverarbeitungsleistungen zum Ausdruck.
- In der *Kommunikations-Perspektive* werden Computer und ihre Benutzer als (manchmal sogar gleichberechtigte) Sender und Empfänger von Mitteilungen behandelt. Der Zweck eines so konzipierten Mensch-Computer-Systems ist der Austausch und die Speicherung von Informationen. Die Metapher des "Dialogs" und des "Dialog-Partners" seien Beispiele für diese Perspektive, ebenso wie alle Konzeptionen, die eine "Metakommunikation" z. B. in Hilfe-Dialogen für möglich halten.
- Die *Werkstatt-Perspektive* billigt den Benutzern Expertenwissen und Kontrolle über ihre Werkzeuge zu. Das Software-System hält eine Anzahl von Werkzeugen bereit, die nach Expertise der Benutzer eingesetzt werden können, um Produkte herzustellen. Die Programmier-"Umgebung" mit "Werkzeugen" wie "Editoren", "Compilern" oder "Debugger" sind Metaphern dieser Perspektive.
- In der *Medien-Perspektive* ist der Computer lediglich eine Erweiterung traditioneller Medien, wie Druckmedien oder Telefone. Sie sind Mittel zur Unterstützung von Koordinations- und Organisationsaufgaben. "Electronic Mail", "elektronische Bücher" oder "Bulletin Boards" sind Ausdruck einer Medien-Perspektive.

Metaphern werden also nicht immer allein zum Zweck des Wissenserwerbs eingeführt, sondern können auch intuitiver Ausdruck des Verhältnisses von Mensch und Computer in der Sichtweise der Metapherschöpfer, also der Konstrukteure sein. In der Umkehrung bedeutet dies, daß jede Metapher nicht nur punktuellen Einfluß auf den Wissenserwerb nimmt, sondern auch Mitteilungen über das globale Verhältnis von Mensch und Technik birgt. Dies kann weitreichende Konsequenzen für die Organisation computerisierter Arbeit, für das Selbstverständnis der künftigen Benutzer und damit für ihr Lernverhalten haben.

5.2.7 Metaphern oder konzeptuelle Modelle?

In den bisherigen Ausführungen wurden unterschiedliche Methoden vorgestellt, die die Entwicklung eines mentalen Modells durch die Vorgabe von Lernhilfen unterstützten. Dabei wurde eine Unterscheidung zwischen Metaphern und konzeptuellen Modellen getroffen (vgl. 3.3.2, 5.2.3). Beide Möglichkeiten wurden als gleichberech-

tigte Varianten der gleichen Idee behandelt. Aber natürlich gibt es auch Hypothesen darüber, welche spezifischen Vor- und Nachteile die eine oder die andere Variante haben könnte. So könnte beispielsweise argumentiert werden, daß Metaphern grundsätzlich geeigneter seien, da sie in stärkerem Maße auf vertrautem Wissen des Benutzers basieren, während das Begreifen eines konzeptuellen Modells selbst Lernaufwand erfordere. Die vertrauten Relationen einer Metapher brauchen "nur" in einen neuen Gegenstandsbereich übertragen zu werden, während die Relationen in einem konzeptuellen Modell selbst erst gelernt werden müssen, bevor überhaupt Wissen auf das reale System übertragen werden kann. Ein Gegenargument könnte darin bestehen, daß konzeptuelle Modelle aufgrund ihres höheren Abstraktionsgrades die Bildung eines mentalen Modells in viel flexiblerer Weise unterstützen. Schließlich wird ein konzeptuelles Modell für ein Zielsystem *konstruiert*, während eine Metapher das Original immer nur mit einer gewissen Unschärfe abbildet, *weil* sie auf vertrautem Alltagswissen aufbaut. Hieraus müßte man eine Überlegenheit abstrakter konzeptueller Modelle ableiten.

Empirisch wurde diese Frage von Sein, Bostrom und Olfman (1987) untersucht. Sie ließen Personen in drei Versuchsgruppen die Ablagemöglichkeiten eines Electronic-Mail-Systems erlernen. Eine Gruppe erhielt nur allgemeine Informationen über das System (Kontrollgruppe), der zweiten Gruppe wurde ein konzeptuelles Modell in Form einer schematischen und abstrakten Abbildung der Komponenten und einer Liste von Kommandos gegeben. Die dritte Gruppe erhielt metaphorische Erklärungen zum System: Das Ablagesystem entspräche ungefähr einer Büroablage, die Aufgaben des Systems ähneln denen eines Boten und die einzugebenden Kommandos seien als Anweisungen an den Boten aufzufassen. Nachdem sich die Versuchspersonen mit den Unterrichtsmaterialien vertraut gemacht hatten, bearbeiteten sie 11 Aufgaben mit dem System. Um diese Aufgaben bewältigen zu können, mußte Wissen aus den Trainingsmaterialien auf die neue Problemstellung übertragen werden. Bei einigen Aufgaben waren nur ein oder zwei unbekannte Schritte zu erschließen, bei anderen jedoch mehr. Gemessen wurde die Zeit der Aufgabebearbeitung, wobei Fehler die Bearbeitungszeit verlängerten. Die Versuchsleiter achteten auf die vollständige Erfüllung aller Aufgaben.

Die Ergebnisse zeigen keine eindeutige Überlegenheit einer der Gruppen. Statt dessen sind differentielle Effekte bezüglich der Aufgabenschwierigkeit festzustellen: Die Metapherngruppe bearbeitete die leichten Aufgaben schneller als die Kontrollgruppe und diese schneller als die Gruppe mit dem abstrakten konzeptuellen Modell. Bei den komplexen Aufgaben kehrte sich das Bild jedoch um: Nun arbeitete die Kontrollgruppe und die Gruppe mit dem konzeptuellen Modell effektiver als die Metapherngruppe.

Den Unterschied zwischen den beiden Experimentalgruppen erklären die Autoren so: Die einfachen Aufgaben sind den in den Trainingsmaterialien dargestellten so ähnlich, daß sie "aus dem Gedächtnis", also durch Abarbeiten einer bereits gelernten Eingabesequenz bewältigt werden konnten. Hierbei wirke die Metapher als Erinnerungshilfe. Die schwierigeren Aufgaben waren so jedoch nicht zu bewältigen. Die Lösungswege mußten erst erschlossen werden. Dies wiederum kann durch tatsächliches Ausprobieren oder durch kognitives Simulieren von Handlungsmöglichkeiten in einem mentalen Modell erfolgen. Letzteres gelang Personen nach Kenntnisnahme des kon-

zeptuellen Modells offenbar besser, denn sie verbrauchten weniger Bearbeitungszeit als die Personen der Metaphergruppe. Diese Interpretation wird auch dadurch gestützt, daß die Konzeptuelle-Modell-Gruppe die besten Ergebnisse in einem Test erzielte, mit dem geprüft wurde, wie gut die Teilnehmer das System verstanden haben.

5.2.8 Metaphern, konzeptuelle Modelle und aktives Lernen

In Abschnitt 3.3.5 wurde Metaphern auch ein motivationaler Einfluß auf den Lernprozeß zugeschrieben. Demnach sollten Metaphern aufgrund ihrer Unbestimmtheit zu selbstgesteuertem, aktivem Lernen anregen. Diese, vor allen von Carroll und Mack (1985) vertretene Hypothese ist direkt wohl nie geprüft worden. Doch zwei der oben angeführten empirischen Arbeiten enthalten deutliche Hinweise auf den Zusammenhang zwischen Metaphern, konzeptuellen Modellen und aktivem Lernen:

Kieras und Bovair (1984) hatten festgestellt, daß eine Experimentalgruppe, die mit Hilfe eines konzeptuellen Modells lernte, besser in der Lage war, die zur Bedienung des Systems erforderlichen Prozeduren selbst abzuleiten. Dieses "Ableiten" war eine Tätigkeit, in der Zusammenhänge zwischen Systemkomponenten dazu benutzt wurden, Hypothesen darüber zu generieren, welche Bedienungsoperation zu welchem Ergebnis führt. Diese Hypothesen wurden dann am System selbst ausprobiert. Die Gruppe, die ohne ein konzeptuelles Modell lernte, zeigte ein Verhalten nach dem Prinzip von "Versuch-und-Irrtum", bei dem begründete Hypothesen über die Systemzusammenhänge nur in geringerem Maße gebildet wurden. Das konzeptuelle Modell diente als Grundlage zur zielgerichteten und selbstgesteuerten Exploration des Geräts.

Der zweite Hinweis ist der Arbeit von Lieser, Streitz und Wolters (1987) zu entnehmen. Ein wichtiger Befund dieser Arbeit besagte, daß nur bestimmte Kombinationen von Metaphern und Interaktionsformen effektiv waren. Dies deutet darauf hin, daß unterschiedliche Metaphern verschiedene Anforderungen an die tätige Auseinandersetzung mit dem System stellen. Die Bürometapher, die stark an das bei den unerfahrenen Benutzern anzutreffende Vorwissen anschließt, bot dann einen Vorteil, wenn sie mit der Interaktionsform "Menüsteuerung" kombiniert war. Dies ist eine Interaktionsform, die besonders zeitsparend ist und nur in geringem Maße von Erinnerungsleistungen abhängt. Daß diese Kombination besonders effektiv war, könnte so interpretiert werden, daß der hohe Anregungsgehalt der Metapher mit dieser wenig aufwendigen Interaktionsform leichter in explorierendes Handeln umgesetzt werden konnte als mit der aufwendigeren Kommandosprache.

5.2.9 Typen von konzeptuellen Modellen

Die bisher geschilderten Beispiele konzeptueller Modelle dienten alle dem gleichen Zweck: Sie sollten das Verstehen des Systems erleichtern. Es handelte sich also um extern vorgegebene Modelle, die die Entwicklung eines inneren Modells fördern sollten. Dabei sollte das innere Modell die Grundlage zur Vorhersage und Erklärung von Systemreaktionen darstellen. Young (1981, 1983) bezeichnet Modelle für solche

Zwecke als "surrogate models". In diesem Sinne haben "surrogate models" einen recht eingeschränkten Anwendungsbereich: Sie sind nur in der Phase des problemlösenden Lernens von Nutzen. So hilft das "stack-model" von Bayman und Mayer (1984) Benutzern wohl bei den ersten Versuchen, eine sinnvolle Eingabesequenz für ihren Taschenrechner zusammensetzen. Ist dies jedoch einige Male gelungen, wird nicht jedesmal wieder der gleiche Ableitungsprozeß durchlaufen, sondern es werden "Abkürzungsstrategien" eingesetzt. Mit Hilfe zumindest partieller Erinnerung gelungener Eingaben kann der Problemlöseprozeß verkürzt werden und manche schrittweise Ableitung aus dem konzeptuellen Modell übersprungen werden. Dies wird umso häufiger der Fall sein, je mehr der Benutzer sich seinen routinemäßig anfallenden Arbeitsaufgaben zuwendet. Für diese Zwecke, so Young, seien "surrogate models" nicht geeignet. Die Hauptursache liegt darin, daß sie allein Modelle des Systems sind und in keiner Weise die Aufgaben mit einbeziehen, für deren Bearbeitung das System überhaupt benötigt wird. Deshalb unterscheidet Young einen zweiten Typ von konzeptuellen Modellen, "task/action mapping models", in deren Mittelpunkt die Beziehung zwischen Aufgaben und System steht. Solche konzeptuellen Modelle bestehen aus Regeln, die Sequenzen von Eingaben oder Handlungen für die Erledigung von Aufgaben bestimmen.

Der Unterschied zwischen "surrogates" und "task/action mappings" läßt sich an folgendem Beispiel veranschaulichen: In der Untersuchung von Kieras und Bovair (1984) enthielt das konzeptuelle Modell z. B. eine Beziehung zwischen einem bestimmten Schalter und einem Energieverbraucher. Diese Beziehung wurde allein in Begriffen des Systems dargestellt, z. B. wird der Akkumulator 1 nur geladen, wenn die Hauptenergieversorgung eingeschaltet ist und Schalter X sich in Stellung Y befindet. Diese Beschreibung kommt völlig ohne die Einbeziehung einer bestimmten Aufgabe des Benutzers aus. Es beschreibt die Struktur oder den Aufbau des Systems. Hauptsächlich vermittelt es also Faktenwissen. Der Nachteil besteht darin, daß das Handlungswissen für die Erledigung einer bestimmten Aufgabe erst aus dem konzeptuellen Modell abgeleitet werden muß. Dies ist natürlich möglich, wie die Diskussion der kognitiven Simulation in mentalen Modellen gezeigt haben sollte. Doch erfordert dieser Simulationsprozeß Aufwand und birgt die Möglichkeit, ungeeignete Handlungssequenzen abzuleiten. Ein "task/action mapping model" enthält dagegen explizit die Handlungssequenzen, die aus einem "surrogate model" erst abgeleitet werden müßten. Zum Beispiel könnte es eine Regel enthalten, die vorschreibt, welche Handlungsschritte zu unternehmen sind, um ein bestimmtes Ziel (z. B. das Laden des Akkumulators) zu erreichen. Solche Modelle sollen Handlungswissen vermitteln. Sie bestehen z. B. aus Ablaufdiagrammen oder sprachlich repräsentierten Wenn-dann-Regeln. Je nach Gestaltung sind auch hier weitergehende Unterschiede festzustellen: Eine rein sprachliche Regelsammlung beispielsweise kann die Funktionalität des Systems hervorragend repräsentieren, jedoch den Einblick in die Systemzusammenhänge, die diese Funktionalität erzeugen, völlig versperren. In diesem Sinne können sie "black boxes" sein, deren Reaktionen auf bestimmte Benutzeraktionen zwar vorhersehbar, aber nicht einsehbar sind. Andererseits können auch handlungs- oder ablauforientierte konzeptuelle Modelle die Systemzusammenhänge so darstellen, daß die dargestellten Abläufe nachvollziehbar werden (im übertragenen Sinne "glass boxes"). Verstehensorientierte und handlungsorientierte kon-

zeptuelle Modelle können einander besonders in fortgeschrittenen Lernstadien hervorragend ergänzen.

Bei der Konstruktion konzeptueller Modelle ist also vorher festzustellen, welchem Zweck es vorrangig dienen soll: dem Verstehen der Systemstruktur (z. B. auch zum Erkennen von Fehlern) oder der direkten Anleitung von Handlungen. Gegebenenfalls ist die Konstruktion unterschiedlicher Modellvarianten für unterschiedliche Lernstadien erforderlich.

5.3 Zur Orientierung: Grenzen der Anwendung von Metaphern und konzeptuellen Modellen



In den vorangegangenen Abschnitten sind der theoretische Ausgangspunkt, praktische Beispiele der Metaphernverwendung und Ansätze der empirischen Bewertung dargestellt worden. In dieser Darstellung sind sowohl Nutzen als auch Grenzen der Anwendbarkeit von Metaphern und konzeptuellen Modellen in der Mensch-Computer-Interaktion kenntlich geworden. Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß Metaphern und konzeptuelle Modelle sich als hilfreich für den Aufbau individueller mentaler Modelle von technischen Systemen erwiesen haben¹⁵. Einige Grenzen der Nützlichkeit und Anwendbarkeit, die diese generelle Aussage einschränken und präzisieren, sind im folgenden zusammengefaßt, durch Beispiele erläutert und mit Schlußfolgerungen versehen, die die Orientierung in der Gestaltung und Bewertung von Anwendungssystemen und Trainingsprozessen erhöhen sollen.

5.3.1 Erkennbarkeit

Eine Grenze der Erkennbarkeit einer Metapher ist dann erreicht, wenn die Ähnlichkeit zwischen primärem und sekundärem Subjekt (also zwischen Basis- und Zielbereich) so groß ist, daß eine wörtliche Interpretation wahrscheinlicher als eine metaphorische ist.

Beispiel:

Ist bei der Aussage "die Datei mit der Extension 'alt' ist wie eine Sicherheitskopie zu behandeln" noch zweifelsfrei erkennbar, ob es sich um eine Metapher handelt oder nicht? Das primäre und sekundäre Subjekt ("Datei mit ..." und "Sicherungskopie") sind einander recht ähnlich, sie könnten aus der gleichen Begriffsklasse stammen (Arten von Dateien). In diesem Falle könnte die Metapher wörtlich interpretiert werden. Dabei müßte dann berücksichtigt werden, daß z. B. automatisch angelegte Sicherungskopien häufig nicht ohne weiteres als Arbeitsdatei weiterverwendet werden können. Möglicherweise muß sie sogar vor Gebrauch erst "rückübersetzt" werden. Es kann aber auch sein, daß beide Begriffe aus unterschiedlichen Begriffsfeldern stammen und mit "Kopie"

¹⁵ Einschränkend weist Lloyd (1990) jedoch darauf hin, daß Wechselwirkungen zwischen der Vorgabe konzeptueller Modelle und individuellen Eigenschaften der Lernenden in der bisherigen Forschung vernachlässigt wurden.

eine Photokopie eines gedruckten Textes gemeint ist. Wir hätten es tatsächlich mit einer Metapher zu tun! In diesem Falle brauchte man keine funktionalen Unterschiede zwischen Sicherungskopie und Original zu erwarten. Eine Metapher, die schwer als solche zu erkennen ist, kann in die Irre führen.

Die andere Grenze ist erreicht, wenn die Ähnlichkeit zwischen Basis- und Zielbereich so gering ist, daß die Beziehung zwischen beiden intransparent bleibt. Ein Beispiel hierfür wurde bereits in Abschnitt 3.3.4 ("Anwendungsprogramme sind wie Hamburger") erläutert.

Zur Orientierung:

Metaphern müssen als solche erkennbar und transparent sein. Dies ist am ehesten gewährleistet, wenn sie ein mittleres Maß an Ähnlichkeit zwischen primärem und sekundärem Subjekt aufweisen.

5.3.2 Kongruenz

Je kongruenter Basis- und Zielbereich einer Metapher sind, umso mehr Merkmale können aus dem Basisbereich in den Zielbereich übertragen werden, umso größer ist also der potentielle Wissensgewinn. Ein Höchstmaß an Nützlichkeit ist dann gegeben, wenn alle bekannten Merkmale des Basisbereichs übertragen werden können, ohne im Zielbereich ungültige Relationen zu postulieren. Die Nützlichkeit sinkt, wenn Merkmale transferiert werden, die die Verhältnisse im Zielbereich nicht adäquat abbilden.

Beispiel:

Die "Clipboard-Metapher" für einen temporären Speicher, in dem Notizen festgehalten werden können, führte in einigen Fällen zu einer nicht adäquaten Übertragung von Merkmalen. Nicht alle so bezeichneten Speicher sind z. B. immer in der Lage, mehrere Items, die nacheinander eingegeben werden, zu halten. Ein Clipboard der nicht-computerisierten Welt hat hiermit keine Schwierigkeiten. Das gleiche erwartet der Benutzer dann auch vom jeweiligen Computerprogramm. Das Clipboard eines Anwendungsprogramm hingegen ersetzt u. U. jeweils ein altes Item durch das neu hinzukommende.

Zur Orientierung:

Metaphern repräsentieren nie eine vollständige Kongruenz zwischen Basis- und Zielbereich. Die Grenzen der Kongruenz sind den Lernenden mitzuteilen. Der Empfänger muß wissen, welche Merkmale aus dem Basisbereich übertragen werden dürfen und welche nicht. Ist dies nicht möglich und kann nicht vorausgesetzt werden, daß die Grenzen der Kongruenz ohnehin bekannt sind, sollte die Verwendung einer Metapher erneut kritisch überdacht werden.

5.3.3 Beeinflußbarkeit von Stimmungen und Einstellungen

Prinzipiell ist die Möglichkeit gegeben, daß Metaphern nicht nur die Grundlage für den Transfer von Wissen darstellen, sondern auch für Stimmungen und emotional geprägte Einstellungen. So könnte es durchaus sein, daß der Transfer von Wissen in ein neues Gegenstandsgebiet Unsicherheit reduziert und dadurch eine positive emotionale Wirkung hat.

Beispiel:

Die Mitteilung, "Formeln im Tabellenkalkulationsprogramm X werden genauso eingegeben, wie bei einem Taschenrechner" reduziert Unsicherheit über die Gestaltung von Formeln in diesem Programm. Dies kann einen positiven Einfluß auf die Stimmung und die weitere Lernmotivation haben, da der Lernende sich an einem sicheren Ausgangspunkt glaubt. Diese positive Wirkung ist aber nur dann zu erwarten, wenn sich wirklich Erfolge einstellen. Dazu muß die Kongruenz der Metapher hoch sein. Sie darf also nicht z. B. bereits bei der Behandlung von Klammerausdrücken versagen. Der unsicherheitsreduzierende Effekt tritt (trivialerweise) auch dann nicht auf, wenn dem Betreffenden die Funktionen eines Taschenrechners genauso unbekannt sein sollten. Im Gegenteil ist dann eine negative Wirkung zu erwarten, weil der Lernende die Erfahrung macht, daß das, was andere für eine Hilfe halten, ihm überhaupt nicht hilft. Dies könnte sie oder er als einen Beleg für die eigene Unzulänglichkeit werten.

Zur Orientierung:

Für den ersten Kontakt mit einem unbekanntem System kann die Übertragung vertrauten Wissens durch eine Metapher das Empfinden von Unsicherheit mindern. Dazu muß jedoch sichergestellt sein, daß (1) die Person mit dem Basisbereich der Metapher wirklich vertraut ist und (2) die Kongruenz zwischen Basis- und Zielbereich tatsächlich so groß ist, daß die sichere Erwartung, das vertraute Wissen auch anwenden zu können, nicht sofort enttäuscht wird.

Ebenso könnten emotional geprägte Einstellungen gegenüber dem Basisbereich der Metapher auf den Zielbereich übertragen werden. Diese Wirkungen könnten dann langfristige Folgen haben, wenn sie einen bestimmten Stil der Auseinandersetzung mit dem System bedingen, der den Lernprozeß entweder beeinträchtigt oder unterstützt.

Beispiel:

Eine Person hat beispielsweise durch eigenes Ausprobieren gelernt, Buchhaltungsprobleme in kreativer und unbefangener Weise mit einem traditionellen Buchungsautomaten zu erledigen. Dieser Person wird mitgeteilt, daß die Anwendung eines neuen Kalkulationsprogramms "im Prinzip eine Buchungsmaschine ohne Papier aber dafür mit Bildschirm sei". Möglicherweise überträgt diese Person ihre positive Einstellung und damit auch eine unbefangene Art der Auseinandersetzung auf das neue Arbeitsmittel. In diesem Falle könnte dies langfristige positive Konsequenzen haben, da eine eigenständige Exploration des Systems zu größerer Sicherheit im täglichen Umgang führen kann. Der umgekehrte Fall wäre zu erwarten, wenn nicht nur eine negative Einstellung über-

tragen wird, sondern damit auch ein zurückhaltender und ängstlicher Stil der Interaktion, der den Benutzer langfristig einiger Lernmöglichkeiten beraubt.

Bedingt die übertragene emotionale Einstellung keinen besonderen Stil der Auseinandersetzung, werden die Konsequenzen in der Regel nur kurzfristiger Natur sein. Sie werden schnell durch die konkreten Erfahrungen mit dem System geprägt und verändert.

Beispiel:

Ist die positive Einstellung gegenüber dem in der Metapher verwendeten traditionellen Arbeitsmittel "Buchungsmaschine" nicht mit einem überdauernden Interaktionsstil verbunden, kann sie sich sehr schnell ändern. Etwa dann, wenn der Lernende bemerken sollte, daß die Arbeit nun z. B. mehr Aufmerksamkeit erfordert, weil Eingabefehler häufig erst später entdeckt werden können. Die unmittelbare Erfahrung wiegt dann schwerer als eine aus einem anderen Gegenstandsgebiet übertragene emotionale Einstellung. Langfristige Effekte sind unwahrscheinlich.

Zur Orientierung:

Die Möglichkeit der Übertragung positiver emotionaler Einstellungen ist zwar prinzipiell gegeben, aber nicht garantiert. Die Gefahr der Übertragung negativer emotionaler Einstellungen kann nicht ausgeschlossen werden. Eine konservative Strategie bestünde darin, Metaphern zu vermeiden, deren Basisbereich möglicherweise negativ konnotiert sein könnten (das Hauptmenü als "Kommandozentrale", eine Löschfunktion als "Kill-Befehl"), andererseits Metaphern mit einem allgemein positiv konnotierten Basisbereich zwar zu benutzen, jedoch ihre Wirkung nicht zu überschätzen oder als sicher zu betrachten. Beim Aufbau eines Trainingsprogramms beispielsweise sollte man sich nicht gänzlich auf die positive Konnotation von Metaphern verlassen, um eine konstruktive Einstellung gegenüber dem zu erlernenden System zu erzeugen. Auf keinen Fall können Mängel der Funktionalität und der Aufgabenangemessenheit so kompensiert werden.

5.3.4 Nützlichkeit im Lernverlauf

Empirische Untersuchungen und Erkenntnisse über die Entwicklung mentaler Modelle legen die Vermutung nahe, daß die positive Beeinflussung des Lernverlaufs durch Metaphern auf das frühe Anfängerstadium begrenzt ist. Die erfolgreiche Verarbeitung einer Metapher erfordert die Aktivierung eines geeigneten Gedächtnisschemas, das die abstrakten, typischen Zusammenhänge repräsentiert und Grundlage für die Konstruktion eines mentalen Modells ist. Damit sind die kritischen Zusammenhänge bereits repräsentiert und ein späterer Rückgriff auf die Quelle dieser Erkenntnis (die Metapher selbst) erscheint nicht mehr erforderlich. Für fortgeschrittene Lerner kann die Metapher somit schnell an Wert verlieren, sobald die durch sie transportierten Relationen losgelöst vom ursprünglichen Kontext repräsentiert sind.

Beispiel:

Sobald die Bedeutung einer Metapher erkannt ist, damit auch die Grenzen der Kongruenz bekannt sind, ist das durch die Metapher vermittelte Wissen von Interesse, aber nicht mehr die Metapher selbst: Ein Benutzer, der ausprobiert und verstanden hat, wozu das "Clipboard" dient und was es nicht leistet, benötigt die Metapher selbst zum Bedienen desselben nicht mehr. Es sei denn, die- oder derjenige benutzt das System so selten, daß die Metapher bei jeder Benutzung als Erinnerungshilfe dient.

Zur Orientierung:

Die Metapher wird solange benötigt, bis der Transferprozeß von Wissen aus dem Basisbereich in den Zielbereich abgeschlossen ist und die Grenzen der Metapher bekannt sind. Wie lang diese Phase ist, hängt u. a. vom Nutzungskonzept des jeweiligen Systems ab. Soll es beispielsweise intensiv von einer kleinen und wenig fluktuierenden Benutzergruppe bedient werden, wäre der Aufwand zur Entwicklung von Metaphern u. U. nicht gerechtfertigt. Bei einem System, das von vielen unterschiedlichen Benutzern gelegentlich in Anspruch genommen wird, kann die Lernphase, in der Metaphern nützlich sind, individuell recht lang sein. Viele Gelegenheitsbenutzer werden vielleicht nie eine Expertise erreichen, in der Metaphern keine Rolle mehr spielen.

5.3.5 Konsistenz bei zusammengesetzten Metaphern

Die Nützlichkeit komplexer "Metaphernwelten", die aus mehreren Metaphern zusammengesetzt sind, stoßen dort an ihre Grenzen, wo die Einzelkomponenten untereinander nicht mehr konsistent sind. Büßen die Einzelkomponenten untereinander an Konsistenz ein, erhöht sich die Gefahr, Relationen als vergleichbar anzunehmen, die tatsächlich unterschiedlich sind (vgl. 5.3.2).

Beispiel:

Je komplexer ein System ist, umso schwieriger ist es, eine einheitliche Metapher zu finden, die kongruent ist. Im oben erläuterten Beispiel von van der Veer und Felt (1988) stehen für die einzelnen Systemkomponenten Personen, die sich lediglich in ihrer Zuständigkeit (Funktion) unterscheiden. Sind sie aber in anderer Hinsicht untereinander vergleichbar? Hat beispielsweise der "Chef des Schreibbüros" die gleichen "Vollmachten" wie der der "Druckerei" - schließlich handelt es sich um Personen mit gleichem Status. Der Informationsfluß wird in dieser Metapher generell mit Röhren verglichen. Fließt deswegen zwischen allen Komponenten die gleiche "Art von Information"? Es wurden verschiedene Arten von Röhren unterschieden. Fließen Informationen zwischen allen Komponenten in beiden Richtungen? Diese Unschärfen sind der Preis für die Einheitlichkeit der Metapher. Die Berücksichtigung von Unterschieden zwischen Komponenten in den sekundären Subjekten der Metapher würde dazu führen, daß die Metapher ihre vereinfachende Wirkung verliert.

Zur Orientierung:

Ist ein System so komplex, daß das Auffinden kompatibler Metaphern in der nicht-computerisierten Welt auf Schwierigkeiten stößt, muß abgewogen werden, welcher Grad an Unschärfe und Inkonsistenz zwischen den Metaphern toleriert werden kann. Die Toleranz kann größer sein, wenn diese Metaphern zur Einführung und nur für eine kurze Phase (z. B. in einem Einführungskurs) dargeboten werden. Sind die Metaphern Bestandteil der Oberfläche und die Benutzer somit permanent mit ihnen konfrontiert, sollte die Toleranz geringer sein. Können Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Metaphern nicht in Kauf genommen werden, ist es günstiger, grundsätzlich auf Metaphern zu verzichten als einige Komponenten metaphorisch, andere dagegen direkt zu beschreiben oder zu benennen.

5.3.6 Begrenzung der Systementwicklung

Eine Strategie, die obigen Grenzen der Anwendbarkeit und Nützlichkeit von Metaphern nicht zu verletzen, besteht darin, die Systemgestaltung an möglichen Metaphern zu orientieren und nicht umgekehrt, Metaphern für die Merkmale und Funktionen eines nach eigenen Maßstäben konstruierten Systems zu suchen. Dies birgt die Gefahr, die Möglichkeiten der Systementwicklung auf die Möglichkeiten der nicht-computerisierten Welt zu beschränken und die Kreativität der Systementwickler zu untergraben.

Beispiel:

Die Karteikasten-Metapher für Datenbanksysteme weist keine sehr große Kongruenz auf. Es sind nur sehr grundlegende Merkmale übertragbar: z. B. das Strukturprinzip bestehend aus der Unterscheidung von Datensätzen (Karten), der Notwendigkeit einer Reihenfolge der Datensätze, die Möglichkeit zur Einführung beliebiger Ordnungsprinzipien usw. Eine Grenze der Metapher ist z. B. bei solchen Programmen erreicht, die es ermöglichen, innerhalb einer Datei Datensätze nach verschiedenen Kriterien sichtbar oder unsichtbar zu machen, ohne daß die Datensätze aus der Datei entfernt werden müssen. Dies ist in einem Karteikasten nicht möglich. Sollen bestimmte Datensätze nicht auftauchen, müssen sie aussortiert werden und in einem anderen Kasten abgelegt werden. Will man diese Nichtpassung nicht tolerieren, kann man entweder auf die Metapher verzichten oder aber auf die Systemfunktion, die für die Inkongruenz verantwortlich ist. Man erhält dann entweder ein System, das ohne Metapher erklärt werden muß, dafür aber einen höheren Leistungsumfang hat oder ein weniger leistungsfähiges System mit einer kongruenten Metapher. Noch drastischer äußert sich das Problem bei Systemen, für die überhaupt nur unter größten Schwierigkeiten Metaphern in der nicht-computerisierten Welt gefunden werden können: Ein Hypertext-System im Rahmen einer Metapher zu erklären, ist mehr als problematisch.

Zur Orientierung:

Wenn die Verfügbarkeit von Metaphern eine Begrenzung der Systementwicklung darzustellen droht, ist zwischen einer innovatorischen Ausweitung der Funktionalität bei Verlust von Metaphern und einer Stagnation der Systementwicklung bei Erhalt von Metaphern abzuwägen. Die Entscheidung hängt wieder von der Nutzung des Systems ab: Erfordert der Einsatzzweck des Systems keine Erweiterung oder Anpassung der Funktionalität, kann weiterhin Gebrauch von den zur Verfügung stehenden Metaphern im Sinne leichter Erlernbarkeit gemacht werden. Erscheint eine Erweiterung oder Anpassung der Funktionalität an die zu erledigenden Aufgaben jedoch als geboten, sollte dies keinesfalls zugunsten des Erhalts von geläufigen Metaphern unterlassen werden. Die Aufgabenangemessenheit ist hier höher zu werten, da die Erlern- und Bedienbarkeit maßgeblich von ihr abhängt. Metaphern dagegen sind nicht die einzigen Lernhilfen (vgl. 5.3.8).

5.3.7 Mensch-Technik-Verhältnis in der Metapher

Jede Metapher kommuniziert auch Einstellungen und Werthaltungen über das Verhältnis von Mensch und Technik. Ihre Implikationen müssen neben den rein kognitiven Konsequenzen einer Metapher mit berücksichtigt werden.

Beispiel:

Der "Bediener" einer Maschine sieht sich wohl in einer anderen Situation als der selbstständig Handelnde, der sich eines "Werkzeugs" bedient. Das Selbstverständnis eines Computerbenutzers kann auch durch solche globalen Metaphern geprägt werden.

Zur Orientierung:

Metapher sind nicht allein nach den Kriterien des unmittelbaren Wissenserwerbs auszuwählen, sondern auch nach ihren indirekten Implikationen bezüglich des Mensch-Technik-Verhältnisses.

5.3.8 Metaphern suchen oder konzeptuelle Modelle konstruieren ?

Wo die Systementwicklung sich weit vom Alltagsverständnis der Benutzer entfernt hat, ist der Vorrat an verwendbaren Metaphern gering. Um die internen Prozesse des Systems zu veranschaulichen, können konzeptuelle Modelle eingesetzt werden, die die Systemkomponenten und vor allem ihre funktionalen Beziehungen untereinander darstellen. Konzeptuelle Modelle werden nicht in Gänze in der nicht-computerisierten Welt *vorgefunden*, sondern zu einem bestimmten Zweck *konstruiert*. So können die skizzierten Grenzen der Metaphernverwendung überschritten werden und negative Seiteneffekte vermieden werden. Die höhere Flexibilität bei der Konstruktion eines konzeptuel-

len Modells wird mit der geringeren Möglichkeit, auf vertrautes Wissen zurückgreifen zu können, bezahlt. In einem konzeptuellen Modell können einzelne Komponenten und Relationen zwar noch metaphorisch beschrieben werden, die Gesamtkonfiguration hat jedoch keine Entsprechung mehr in der nicht-computerisierten Welt.

Beispiel:

Ein sehr einfaches konzeptuelles Modell wurde in den Arbeiten zur Erklärung von Taschenrechnern vorgestellt (vgl. 5.2.3). Die Anordnung von verschiedenen Registern und die Bestimmung der Regeln, nach denen Werte zwischen diesen Registern ausgetauscht werden, sind in ihrer Gesamtheit kaum als Metapher zu bezeichnen, bestenfalls einzelne Bestandteile daraus. Dieses konzeptuelle Modell wurde ausschließlich zu didaktischen Zwecken konstruiert. Es gab keine Entsprechung in der nicht-computerisierten Welt, das einfach als eine Metapher hätte dienen können. Dadurch, daß dieses Modell jedoch explizit konstruiert wird, können die Eigenschaften des Systems auch adäquat abgebildet werden, während bei einer Metapher zwangsläufig Inkongruenzen auftreten müssen.

Aus dem obigen Beispiel ergibt sich jedoch gleichzeitig das wichtigste Problem konzeptueller Modelle: das umgekehrt proportionale Verhältnis zwischen Einfachheit und Abbildungstreue (vgl. 2.2). Eine stark vereinfachte Darstellung der Systemstruktur fördert zwar das anfängliche Verständnis, verursacht jedoch in fortgeschrittenem Lernstadium Probleme, da unvermeidliche Diskrepanzen zwischen Modell und Original auftreten werden. Eine große Abbildungstreue dagegen mindert die didaktische Vereinfachung, erhöht den kognitiven Aufwand, gewährleistet dann jedoch ein zutreffendes, tieferes Verständnis.

Zur Orientierung:

Konzeptuelle Modelle zur Unterstützung der Lernprozesse von Benutzern sind zumindest dann zu konstruieren, wenn keine akzeptabel kongruenten und transparenten Metaphern für einzelne Systemkomponenten gefunden werden können. Die explizite Konstruktion soll zu einer möglichst originalgetreuen und vollständigen Abbildung des Originals führen. Da dies den Umfang und die Komplexität des Modells beträchtlich erhöht und damit den Vorteil der didaktischen Vereinfachung mindert, ist abzuwägen, welche Systemmerkmale bei gegebenem Aufgabenfeld und voraussichtlicher Benutzergruppe unbedingt zu berücksichtigen sind, und auf welche im konzeptuellen Modell verzichtet werden kann. Nützlich ist auch die Strategie des schrittweisen Aufbaus und einer allmählichen Differenzierung des konzeptuellen Modells, was hauptsächlich in Trainingskursen günstig erscheint.

5.3.9 Zweck des konzeptuellen Modells

Konzeptuelle Modelle können stärker auf das Verstehen der funktionalen Zusammenhänge des Systems ausgerichtet sein oder stärker die Bereitstellung von Handlungswissen unterstützen.

Zur Orientierung:

Bei der Konstruktion eines konzeptuellen Modells ist vorher festzustellen, welche Art kognitiver Leistung es beim Benutzer unterstützen soll. Erst dann kann eine Entscheidung über die Gestaltung des konzeptuellen Modells gefällt werden. Besteht das Ziel in der Entwicklung anwendbaren Handlungswissens, sollte das konzeptuelle Modell zumindest um eine handlungsorientierte Modellkomponente ergänzt werden.

5.3.10 Aktives Lernen

Weniger eine Grenze als eine Entwicklungsmöglichkeit stellt die Beziehung zwischen Metaphern und konzeptuellen Modellen einerseits und dem aktiven Lernen andererseits dar. Ein wichtiger Effekt der Metapherverwendung könnte darin liegen, daß sie zur aktiven Informationssuche anregen und das Bedürfnis nach der Selbststeuerung des Lernprozesses erhöhen. Dabei entsteht Neugier aufgrund der Vagheit und Unbestimmtheit der Metapher¹⁶. Je abgeschlossener, vollständiger und zweifelsfreier der Geltungsbereich einer Metapher oder eines konzeptuellen Modells ist, umso geringer dürfte der Anreizwert sein, umso größer und sicherer ist jedoch das übertragbare Wissen. Eine vage und wenig kongruente Metapher dagegen kann einen hohen Anreizwert darstellen, u. U. aber nur einen geringen Wissenstransfer ermöglichen.

Beispiel:

Von der Karteikasten-Metapher wurde bereits gesagt, daß sie nicht sehr nützlich sei, was die Menge der tatsächlich übertragbaren Relationen angeht. Der Wissensgewinn ist bescheiden. In motivationaler Hinsicht hat diese Metapher jedoch einen recht hohen Anreizwert, weil die Erinnerung an den Karteikasten unmittelbar Hypothesen über Eigenschaften des Programms bereitstellt. So könnte man vermuten, daß es "vorgefertigte Karten" gibt, die sofort und frei beschriftet werden können, daß man "Karten" entfernen, hinzufügen und ordnen kann. Es ergibt sich eine Fülle von spontanen Hypothesen, die wenigsten zur gedanklichen Beschäftigung, aber auch zum tatsächlichen Ausprobieren einladen.

Zur Orientierung:

Metaphern können unabhängig von ihrer Nützlichkeit im Hinblick auf den unmittelbaren Wissenserwerb zum aktiven Explorieren des Systems anregen. Von dieser Möglichkeit sollte Gebrauch gemacht werden, wenn besonderer Wert auf selbstgesteuertes Lernen gelegt wird (z. B. in Trainingskursen, die nicht allein auf einem Lehrervortrag beruhen sollen). Eine ausführlichere Diskussion explorierenden Lernens folgt in Kapitel 7.

¹⁶ Das Verhältnis von Unbestimmtheit und explorierendem Verhalten wird ausführlicher in Abschnitt 7.3.2 behandelt.

6 Visuell-räumliche Informationsgestaltung

6.1 Der theoretische Ausgangspunkt

6.1.1 Gedächtnisunterstützung: Ein traditionelles Argument für Visualisierungen

Mit der zunehmenden Verwendung von Graphik in der Gestaltung der Mensch-Computer-Schnittstelle (z. B. Gorny & Tauber, 1987) sind zahlreiche Forschungsarbeiten entstanden, die sich mit der Wirkung von Visualisierungen auf den Lernprozeß befassen. Die theoretische Perspektive der meisten Arbeiten unterscheidet sich jedoch von der hier vertretenen Ansicht, visualisierende Gestaltungsmittel trügen zur Bildung mentaler Modelle bei und damit in erster Linie zum Verstehen des Systems. Eines der am häufigsten angeführten Argumente für den Einsatz von Visualisierungen ist das der Gedächtnislastung (z. B. Shneiderman, 1980):

- Unterschiedliche Fenster erlauben die Anzeige von Informationen, die andernfalls memoriert werden müßten (z. B. Norman, Weldon & Shneiderman, 1986).
- Menüs zeigen Kommandos an, die der Benutzer eines herkömmlichen Kommandosystems "auswendig" wissen müßte (z. B. Ilg & Ziegler, 1987).
- Icons (Lodding, 1983; Gittins, 1986) werden leichter wiedererkannt als verbale Kommandos (z. B. Wandmacher & Müller, 1987), auf ihre Darbietung kann schneller reagiert werden als auf Wörter (z. B. Whitaker, 1982).

Trotz der offensichtlichen Vorteile kann nicht in jedem Falle von einer gedächtnisunterstützenden Wirkung solcher Visualisierungen ausgegangen werden. Neben der allgemeinen Gefahr der "Überladung" des Bildschirms (Heinecke & Koschel, 1989; Rohr, 1990, S. 307) mit Menüs, Icons, graphischen Bedienungselementen, Fenstern, Statusanzeigen etc. legen auch verschiedene empirische Befunde eine differenziertere Sichtweise nahe. Da die Funktion der Gedächtnisunterstützung nicht das zentrale Thema dieses Kapitels ist, sollen einige stichwortartige Hinweise genügen, die belegen, daß Visualisierungen keinen "automatischen" Vorteil beim Speichern, Abrufen oder Wiedererkennen von Informationen implizieren:

- Wandmacher und Müller (1987) fanden zwar in einem Menü-Selektionsexperiment, daß auf ikonisch repräsentierte Kommandos schneller reagiert wurde als auf verbale, doch bestanden auch große Unterschiede zwischen verschiedenen Icons: Die Autoren sehen deutliche Vorteile für Icons, die strukturell möglichst einfach gestaltet sind (Beispiele bei Wandmacher & Müller, 1987, S. 37).
- Ein ähnliches Problem sehen Carswell und Wickens (1987): Die Erscheinung von Icons kann auf verschiedenen Dimensionen variieren. Das bedeutet, ein Icon kann Träger mehrerer Variablen sein (vgl. McCleary, 1983). So können Form und Farbe für unterschiedliche Variablen stehen (z. B. zeigt schwarz die Verfügbarkeit, grau die momentane Nicht-Verfügbarkeit an, rechteckige Icons stehen für Dateien, runde für ausführbare Programme). Der informativ Gehalt ist deshalb nicht immer einfach zu analysieren (was zeigt ein rechteckiges, graues Icon an?). Carswell und Wickens vermuten, daß diese integrative Informationsdarstellung bei Aufgaben nützlich ist, die eine gemeinsame Beachtung aller im Icon kodierten Informationen erfordert. Bei Aufgaben, die aber die isolierte Betrachtung von Variablen erfordert, sollte die integrative Informationsdarstellung Interferenzen erzeugen (vgl. auch Boles & Wickens, 1987).

- Den Zusammenhang zwischen Art der Darstellung und Art des abgebildeten Objekts bzw. der abgebildeten Funktion untersuchte Rohr (1986) und fand beispielsweise, daß Funktionen, die räumliche Veränderungen implizieren, wie "Einfügen" oder "Verschieben" besser durch Bildoperationen dargestellt werden, während Funktionen ohne räumliche Implikation, wie "Definieren" besser durch ein Wortkommando dargestellt werden können.
- Gerstendörfer und Rohr (1987) zeigten experimentell, daß die Nützlichkeit bildlicher Informationsdarstellung auch vom Aufgabentyp abhängt: Vorteile wurden vor allem registriert, wenn es auf die Erfassung von vielfältigen Beziehungen zwischen einzelnen Elementen ankam (Decken eines Tisches). Für Aufgaben mit stark sequentiellen Eigenschaften (nach einem Rezept kochen) war eine sprachliche Aufgabenrepräsentation geeigneter.
- Arend (1989, 1990) konnte zeigen, daß die Nützlichkeit der Visualisierung von Kommandos von der Struktur dieser Kommandos abhängt. Versuchspersonen, die ein experimentelles Datenbanksystem erlernten, profitierten von der vollständigen Visualisierung aller Kommandos, wenn es sich um elementare und parallel verfügbare Kommandos handelte. Gab es hingegen nur wenige mächtige Kommandos, bei denen die Parameter sequentiell abgefragt werden und die dem Benutzer nur einen geringen Handlungsspielraum ließen, erwies es sich als günstiger, nur die jeweils handlungsrelevanten Informationen zu visualisieren.

Die genannten Beispiele zeigen, daß Visualisierungen nicht unter allen Umständen zur gewünschten Gedächtnisentlastung und damit zu Performanzvorteilen führen (vgl. Rohr, 1990, S. 308 ff.). Die angeführten Forschungsarbeiten haben zahlreiche Wechselwirkungen und Randbedingungen aufgedeckt.

In den folgenden Abschnitten soll nun jedoch eine Perspektive verfolgt werden, die in dieser Forschungstradition weniger im Mittelpunkt des Interesses stand: Die Rolle von Visualisierungen für den Aufbau eines mentalen Modells vom System, also für den Prozeß des Verstehens von Systemzusammenhängen. Dies schließt den Aspekt der Gedächtnisunterstützung natürlich nicht aus: Je genauer das mentale Modell interne Zusammenhänge des Softwaresystems repräsentiert, je besser also das System verstanden wird, umso leichter können Eigenschaften des Systems erinnert oder rekonstruiert werden. Hierbei handelt es sich jedoch um längerfristige Gedächtnisleistungen als bei den meisten der bisher angeführten Untersuchungen.

6.1.2 Anschaulichkeit und Dynamik mentaler Modelle

Mentale Modelle sind als Produkte der Vorstellung gekennzeichnet worden, die zumindest teilweise bildhaft-anschaulichen Charakter haben (vgl. 3.7). Vorstellungsbilder sind nach Johnson-Laird (1983) introspektive Sichtweisen auf den spezifischen Zustand eines mentalen Modells. Deshalb basieren mentale Modelle - nicht ausschließlich, aber auch - auf analogen Repräsentationen (vgl. 3.9). Das Lösen eines Problems wird durch die interne Simulation der Außenwelt im mentalen Modell unterstützt (vgl. 3.6). Ein subjektives Gefühl von "Verstehen" setzt dann ein, wenn ein befriedigender Endzustand aus dem mentalen Modell "abgelesen" werden kann: "Understanding is the per-

ception of the relation-structure within models" (Marks, 1990, S. 14). Bezüglich der Unterstützung des Verstehensprozesses fügt Marks hinzu: "... - a process which can be greatly facilitated with the production of images" (a. a. O).

Eine umfangreiche didaktische Tradition beruht auf der symbolhaften Visualisierung abstrakter Sachverhalte (vgl. z. B. Holley & Dansereau, 1984). Vorstellungsbilder oder Ansichten mentaler Modelle können also ihrerseits durch externe bildliche oder graphische Darstellungen angeregt werden (vgl. auch Ackermann & Stelovsky, 1987; Stelovsky, Ackermann & Conti, 1987):

Generell wird der Visualisierung objektiver Gegebenheiten ... große Bedeutung für die Erzeugung mentaler Modelle zugesprochen: Visualisierungen durch spezifische ikonische Darstellungsmittel fungieren als *Repräsentationshilfen* und stellen als solche symbolische physikalische Extensionen mentaler Modelle dar. (Seel, 1986, S. 385)

Die Bildung eines mentalen Modells kann durch bildliche Mittel im weiteren Sinne unterstützt werden. In den folgenden Abschnitten wird der Frage nachgegangen, welche Visualisierungsmöglichkeiten¹⁷ aus der Sicht Mentaler-Modell-Theorien hilfreich für das Verstehen von Systemzusammenhängen sind.

6.1.3 Visuell-räumliche Metaphern und konzeptuelle Modelle in Softwaresystemen

Einige der in Kapitel 5 besprochenen Metaphern und konzeptuellen Modelle, die das Verstehen von technischen Systemen erleichtern sollen, nehmen Bezug auf räumliche Konfigurationen. Ein gutes Beispiel ist die Abbildung von van der Veer und Felt (1988), in der die Datenflüsse in einem multifunktionalen Bürosystem als ein Röhrensystem mit Absperrventilen und Verzweigungen dargestellt waren (vgl. 5.2.2). Ähnlich verhält es sich mit den unterschiedlichen Speichermodellen für den Gebrauch von Taschenrechnern (Bayman & Mayer, 1984) in Abschnitt 5.2.3. Gemeinsam ist diesen Ansätzen, daß sie eine räumliche Struktur der Systemkomponenten vermitteln, die tatsächlich nicht gegeben ist: Die Tatsache, daß in van der Veers Abbildung die Datenbankkomponente sich rechts unterhalb des Editors befindet und beide durch ein zweimal gewinkeltes Rohr verbunden sind, entbehrt jeder technischen Grundlage. Vermittelt werden soll die funktionale Unterschiedlichkeit dieser Komponenten. Um dieses auszudrücken, wird das Darstellungsmittel der räumlichen Trennung benutzt. Der Raum ist hier die generelle Metapher zur Darstellung von Beziehungen. Deshalb wird im folgenden auch von der "Raum-Metapher" die Rede sein (Card & Henderson, 1987). Hiervon abzugrenzen ist jedoch die Frage, wie die Metapher oder das konzeptuelle Modell, das eine räumliche Konfiguration von Systemkomponenten beschreibt, selbst repräsentiert ist. In den oben genannten Beispielen sind sie selbst als Bild repräsentiert. Doch die

¹⁷ Der Begriff der "Visualisierung" wird im Zusammenhang mit der Informationsdarstellung auf dem Bildschirm häufig etwas weiter gefaßt, so daß die feinere Unterscheidung von "Abbildung" (zumindest in Teilaspekten der Wahrnehmung entsprechend) und "Visualisierung" (Veranschaulichung von nicht wahrnehmbaren Zusammenhängen) nicht immer konsequent eingehalten wird (vgl. zu dieser Unterscheidung z. B. Balistaedt, Molitor & Mandl, 1987, S. 3).

Welt der Computerarbeit ist traditionell auch reich an sprachlich repräsentierten, räumlichen Metaphern: Man befindet sich "in einem Programm", weiß manchmal nicht, wie man wieder "hinaus" gelangen kann. Daten werden "eingelesen" oder "weggeschrieben". Anfänger arbeiten eher an der "Oberfläche" von Softwaresystemen, während Experten schon einmal sehr "tief" in ein System "eindringen". Die folgenden Ausführungen werden sich jedoch überwiegend auf Metaphern und konzeptuelle Modelle beziehen, die durch graphische Mittel räumliche Konfigurationen vermitteln sollen. Die räumlichen Konfigurationen sind jedoch selbst als Metapher zur Vermittlung interner Systemzusammenhänge zu verstehen.

Räumliche Metaphern sind Ausdruck des Bemühens, anschauliche mentale Modelle aufzubauen, die die abstrakten und dem Benutzer häufig unvorstellbaren Verarbeitungsprozesse gedanklich kontrollierbar machen sollen. Gestützt wird diese These durch Untersuchungen über interindividuelle Fähigkeitsunterschiede und ihre Auswirkungen auf die Lernleistung. Gomez, Egan und Bowers (1986) fanden z. B. Zusammenhänge zwischen dem Lernerfolg bei der Arbeit mit einem Textverarbeitungssystem und der Fähigkeit, sich räumliche Anordnungen merken zu können. Personen mit guter visueller Vorstellungsfähigkeit waren beim Verstehen von Programmtexten im Vorteil (Cunniff & Taylor, 1987) aber auch beim Suchen in Datenbanken (Linde & Bergström, 1990). So kommen Canter, Powell, Wishart und Roderick (1986) zu dem Schluß, daß "Räume" und "Umgebungen" geeignete Metaphern zur Beschreibung von Softwaresystemen sind:

While the environment of a computer system can be conceptualized in a number of different ways, ... one of the most appropriate and easily understood representations is that of an environment of linked states. It can be argued that there is more than a mere syntactic convenience in the use of the term 'environment' and that there are advantages in taking an environmental analogy to the point where navigation of a specific environment can be considered. (S. 249)

Ähnlich formuliert Tauber (1987) in der folgenden Metapher (vgl. auch Rohr, 1987):

The system is conceptualized as an object with places where individual objects can be located. Each of them can have again places for the location of individual objects and can have properties (attributes). The places are assigned to objects and introduced for the description of the location of other objects. The task in this virtual spatial world is to introduce objects into the system or to remove them (existential events), to locate objects on the places and to change the locations (relational events or operations). (S. 115)

Nicht von einer Raum-Metapher sprechen Hutchins, Hollan und Norman (1985), sondern von einer Modellwelt-Metapher (die natürlich auch eine räumliche ist). Sie stellen diese der lange Zeit gültigen Konversations- (oder auch Kommunikations-) Metapher gegenüber. Letztere konzipierte das Programm und den Bediener als Kommunikationspartner, deren Probleme z. B. darin bestehen, einen gemeinsamen Code zu finden, über eine vergleichbare Semantik zu verfügen, eventuell auf ähnliche Wissensbasen zurückgreifen zu müssen u. ä. Die Modellwelt- oder Raum-Metapher konzipiert die Mensch-Computer-Interaktion nicht mehr als ein Verständigungsproblem, sondern als

eines der Manipulation. Die im Programm repräsentierte Modellwelt stellt Objekte und Funktionen zur Verfügung, über die keine Konversation betrieben wird, sondern die benutzt und manipuliert werden: Das Konzept der "direkten Manipulation" (Shneiderman, 1982; vgl. auch Ziegler & Fähnrich, 1988) ist unmittelbarer Ausdruck der Raum-Metapher¹⁸. Noch deutlicher tritt die räumliche Komponente im Zusammenhang mit der Werkstattmetapher auf (vgl. 5.2.6). Nach Maaß und Oberquelle (1992) bietet sich gerade die konzeptuelle Trennung von "Materialien", "Produkten", "Werkzeugen" und "Steuerungseinrichtungen" zur räumlichen Organisation an (vgl. Budde & Züllighoven, 1992).

Die Konzeption eines Anwendungsprogramms als ein System von räumlichen Strukturen führt in die zwei folgenden Themenbereiche: Zum einen präsentiert sich das Problem der Interaktion des Benutzers mit einem Programm nun als eines der räumlichen Orientierung. Bereits die "Nievergeltischen Fragen" zielten hierauf ab: "Where am I? What can I do here? How did I get here? Where else can I go and how do I get there?" (Nievergelt, 1982, S. 265).

In vielen Teilgebieten der Psychologie (Allgemeine, Entwicklungs- und Umweltpsychologie) gibt es ausgearbeitete Vorstellungen darüber, wie Menschen sich in tatsächlichen Räumen orientieren und wie sie Wissen über ihre räumliche Umgebung erwerben (z. B. Trowbridge, 1913; Tolman, 1948; Downs & Stea, 1973; Kuipers, 1978; Chase & Chi, 1981; Clayton & Woodyard, 1981; Olson & Bialystok, 1983; Dixon, 1987). Fitzgibbon und Patrick (1987) sehen hier eine Analogie zwischen der Orientierung in Räumen der natürlichen Umwelt und symbolischen Räumen eines DV-Systems:

Users find navigation among the various functional states and screen displays within a computer system very difficult, as they may have inadequate understanding of the structure and relationships present in the system ... This may be analogous to the acquisition of spatial knowledge. (S. 611)

In Abschnitt 6.2 wird einigen Ansätzen über den Erwerb räumlichen Wissens nachgegangen und Beispiele für die Anwendung bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen berichtet.

Das zweite Thema, das sich aus der Raum-Metapher ergibt, bezieht sich auf die Nutzung visuell-räumlicher Beziehungen zur Unterstützung des Verstehensprozesses. "Der Raum ist der potentielle Träger von Beziehungen". So beschreibt Keil-Slawik (1990, S. 139) eine wichtige Funktion räumlicher Strukturen. Die graphische Darstellung von Systemzusammenhängen auf dem Bildschirm kann das Verstehen des Systems erleichtern. DiSessa (1987) hält es für angezeigt,

... to use spatial arrangement to express important system semantics. The aim is to capitalize on every learner's capability to see, understand and manipulate spatial structures, in order to make computation more 'familiar' and easy to learn. (S. 154).

Wie der Aufbau eines mentalen Modells von den Systemzusammenhängen durch visuell-räumliche Darstellungen unterstützt werden kann, ist Thema des Abschnitts 6.3.

¹⁸ Im vorliegenden Zusammenhang steht der Aspekt der Informationsgestaltung im Mittelpunkt des Interesses. Daß direkte Interaktionstechniken mit Hilfe von Zeigeelementen bei einer visuell-räumlichen Informationsdarstellung häufig geeigneter sind als andere (vgl. z. B. Rauterberg, 1989), sei hier nicht weiter ausgeführt.

6.2 Raum-Metaphern und die Orientierung im System

6.2.1 Wissen über natürliche und symbolische Räume

Fitzgibbon und Patrick (1987) zufolge kann die Orientierung in natürlichen Räumen als Analogie zur Orientierung in den symbolischen Räumen eines Softwaresystems betrachtet werden, das entsprechend einer Raum-Metapher konzipiert wurde. Fragen der Orientierung in der natürlichen, räumlichen Umwelt sind jedoch keine neuen Themen in der Psychologie. Deshalb sollen im folgenden einige einführende Konzepte dargestellt werden.

Sowohl aus Sicht der Allgemeinen Psychologie (z. B. Thorndyke, 1981) als auch aus entwicklungspsychologischer (z. B. Siegel & White, 1975) und umweltsychologischer Perspektive (z. B. Appleyard, 1970) wird übereinstimmend festgestellt, daß verschiedene Formen räumlichen Wissens zu unterscheiden sind: Wissen über Orientierungspunkte, Wissen über Routen und Überblickswissen. In Thorndykes Terminologie (1981, S. 139) ist dies "landmark knowledge", "procedural knowledge" und "survey knowledge".

"Landmark knowledge" wird als Wissen über einzelne Orte und Objekte beschrieben. Dieses Wissen sei in erster Linie bildhaft und entstehe aus der unmittelbaren Erfahrung, d. h. der Ansicht von Orten und Objekten. Diese Einzelansichten können zu Orientierungspunkten werden, wenn räumliche Relationen zwischen ihnen ausgebildet werden. Beispiel für einen Orientierungspunkt ist etwa ein Gebäude, das der Suchende in einer fremden Stadt wiedererkennt, das somit ein Gefühl von Vertrautheit erweckt, ohne daß dieses Gebäude in einem überblicksartigen Wissen über die Struktur der gesamten Stadt eingeordnet werden kann.

Räumliche Relationen haben nach Thorndyke zunächst die Form von Routenbeschreibungen und sind Bestandteil des prozeduralen Wissens. Zu Beginn des Lernprozesses besteht dieses aus ungeordneten Produktionsregeln. Als ungeordnet werden sie deshalb bezeichnet, weil sie zwar eine Relation zwischen einer bestimmten Position in der Umgebung und - bei gegebenem Ziel - einer angemessenen Aktion herstellen, den Sucher aber noch nicht in die Lage versetzen, die gesamte Route zu überblicken. Auch sieht die Person noch nicht vorher, wann sie auf die Position stößt, an der eine ihr bekannte Produktion anzuwenden ist. Sind solche Beziehungen zwischen Produktionsregeln gelernt, spricht Thorndyke (1981) von "geordneten Produktionen". Ein Beispiel für Routenwissen erfährt jeder, der einen Weg durch eine ihm wenig bekannte Stadt zurücklegt und dabei zwar immer die Orientierungspunkte wiedererkennt, auch weiß, welches der nächste, anzusteuernde Orientierungspunkt ist, die Route jedoch nicht im Kontext der gesamten Verkehrswegestruktur der Stadt überschaubar.

Überblickswissen enthält konfigurale Bestandteile und räumliche Relationen, die nicht unmittelbar aus der praktischen Routenerfahrung stammen, da es in seiner Gesamtheit nicht wahrnehmbar ist (die Grenzform eines Landes beispielsweise kann realiter und in Gänze nicht wahrgenommen werden). Die relativen Positionen verschiedener Objekte zueinander, damit auch Richtungsangaben und Distanzschätzungen können aus dem Überblickswissen erschlossen werden, da dieses überwiegend bildhaft und integra-

tiv sei. Auch noch nicht erfahrene Routen können hieraus abgeleitet werden (vgl. Thorndyke, 1981).

Übertragen auf die Mensch-Computer-Interaktion sind "Räume" natürlich nur symbolische Räume, in der Regel 2 1/2-dimensional. Liegt der Gestaltung eines Anwendungsprogramms eine räumliche Metapher zugrunde, erfordert die Orientierung in diesem System ein mentales Modell, das mindestens zwei unterschiedliche Arten räumlichen Wissens enthält: Der Benutzer muß sich innerhalb von Räumen und auf den Wegen zwischen verschiedenen Räumen orientieren. Das hierzu erforderliche Wissen bezieht sich also zum einen auf Relationen innerhalb eines Raumes oder auf Relationen zwischen verschiedenen Räumen. Die Orientierung innerhalb eines Raumes ermöglicht z. B. die Lokalisation von Kommandos in Pull-down/Pop-up-Menüs oder das Wiedererkennen des Ablageortes einer Datei, der durch ein bestimmtes Sinnbild gekennzeichnet ist. In diesen Fällen sind Bedienungsinformationen, Daten oder Eingabemöglichkeiten aus der Sicht des Benutzers direkt an Bildschirmorte gekoppelt. Zum anderen muß sich der Benutzer zwischen verschiedenen Räumen bewegen, die unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten und -erfordernisse bieten, die aber nicht im engeren Sinne an Bildschirmorte gebunden sind und die auch nicht immer simultan sichtbar sein müssen. Die Ebenen in einer Menühierarchie, unterschiedliche Dateiverzeichnisse, verschiedene Programme oder unterschiedliche Module eines Anwendungsprogramms, der Standort in einer Sequenz von Parameterabfragen sind Beispiele.

Naheliegend wäre es, die Orientierung innerhalb eines Raumes mit der Orientierung auf dem aktuell angezeigten Bildschirm gleichzusetzen und die Orientierung zwischen Räumen mit der zwischen unterschiedlichen Bildschirmanzeigen. Dies trifft jedoch spätestens seit der Verwendung von Fenstern nicht mehr zu (vgl. Card, Pavel & Farrell, 1985): Es können Fenster simultan auf einem Bildschirm angezeigt sein, die gleichsam "Einblicke" in mehrere, funktional unterschiedliche Räume gestatten. Dies unterscheidet die Orientierung in natürlichen Räumen erheblich von der in symbolischen. Trotzdem ist die Parallelität der Kategorien räumlichen Wissens in beiden Settings, der realen, räumlichen Umgebung und einem Softwaresystem, offensichtlich. Auch wenn viele Autoren diese Parallelität nicht explizieren, stellt die Klassifikation Thorndykes eine gute Grundlage zur Einordnung software-ergonomischer Bemühungen dar, die Orientierung der Benutzer durch visuell-räumliche Gestaltungsmaßnahmen zu erhöhen.

6.2.2 Wissen über Orientierungspunkte: "Orte" im System

Die Gestaltung von Orientierungspunkten, die dem Benutzer die "Navigation" (Canter, Rivers & Storrs, 1985; Canter et al., 1986) im System erleichtern sollen, hat vor allem Tradition in Datenbanksystemen. Diese stellen besondere Anforderungen an die Orientierungsfähigkeit der Benutzer. Unter dem Stichwort "spatial data management" (z. B. Herot, 1984; Larson, 1986) sind Ansätze berichtet worden, mit denen die Übersichtlichkeit von Datenbanken dadurch erhöht wird, daß Datenbankinhalte mit räumlichen Informationen verbunden werden: Daten (oder Symbole für Daten) werden in einem zwei oder 2 1/2-dimensionalen Datenraum ("data space", Herot, 1984,

S. 95) angeordnet. Da die Bildschirmgröße schnell die Grenzen des graphisch Darstellbaren aufzeigt, sind häufig Zoom-Funktionen vorgesehen, die ein Betrachten der Datenbasis in unterschiedlichen Detaillierungsgraden ermöglicht. Die visuell-räumliche Repräsentation von Daten weist einige besondere Merkmale auf:

- Normalerweise sind Datenbankinhalte dadurch wieder auffindbar, daß sie benannt oder anderweitig symbolisch spezifiziert werden. Die entscheidende Frage lautet: "Was ist das Gesuchte?" Räumliches Datenmanagement berücksichtigt die in der nicht-computerisierten Welt selbstverständliche Ortsinformation (z. B. Mandler, Seegmiller & Day, 1977): "Wo befindet sich das Gesuchte?" Dies erlaubt eine Suchstrategie, die nicht zwangsläufig voraussetzt, daß der Benutzer exakt beschreiben kann, was er sucht. Es kann mit sehr vagen Kriterien gesucht werden, solange eine Erinnerung an den Ablageort verfügbar ist: In Zusammenhang mit einer direkten Interaktionstechnik reicht das Zeigen auf Bildschirmorte aus, um einen Suchschritt auszuführen. In nicht-computerisierter Arbeit ist dies eine sehr häufig genutzte Strategie: So weiß eine Sekretärin z. B. daß ein Brief mit einer Terminangabe hereingekommen ist, der oben im Stapel der noch nicht bearbeiteten Post links auf ihrem Schreibtisch liegt. Sie wird ihn höchstwahrscheinlich wiederfinden, ohne den Namen des Absenders oder andere spezifizierende Merkmale zu erinnern.

- Bei der Benutzung konventioneller Datenbanken müssen die Benutzer in der Regel erst lernen, welche Typen von Informationen vorliegen. Denn nur daraus kann geschlossen werden, welche Arten von Abfragen möglich und sinnvoll sind. Bei einer graphischen Datenrepräsentation ist dies nicht erforderlich, da die vorliegenden Daten - zumindest andeutungsweise - sichtbar sind: "The database is its own dictionary" (Herot, 1984, S. 93).

- Die Darstellungsmöglichkeiten sind bei graphischen Abbildungen flexibler als bei rein sprachlichen und können vorliegende Datenstrukturen treffender abbilden: Neben Listen sind etwa auch Hierarchien, Netze oder unregelmäßigere Anordnungen in mehrdimensionalen Räumen möglich. Darüber hinaus kann Gebrauch von Farbe, Formen, Bildern, Sprache oder anderen Symbolen gemacht werden.

Der Wirksamkeit räumlicher Datenorganisation gingen z. B. Dumais und Jones (1985) in einer experimentellen Untersuchung nach. Ihre Versuchspersonen sollten Nachrichtenartikel lesen und so ablegen, daß sie sie wiederfinden konnten. Das Ablagesystem war für drei Experimentalgruppen unterschiedlich: In einer Gruppe legten die Probanden die Nummern, durch die die einzelnen Texte identifizierbar waren, räumlich gruppiert auf einem Ablageblatt ab. In diesem Falle konnten die räumlichen Positionen auf dem Blatt zum Auffinden genutzt werden. In einer anderen Gruppe konnten die Texte mit kurzen Namen versehen und in einer Liste festgehalten werden. Hier konnte nur die Namenszuordnung eine Hilfe sein. In zwei weiteren Gruppen waren beide Methoden miteinander kombiniert worden. Bei einem anschließenden Auffindenstest erhielten die Probanden kurze Sätze über die abgelegten Texte. Sie sollten die vorher beschrifteten Ablageblätter dazu verwenden, die jeweiligen Texte wiederzufinden. Das Ergebnis entsprach nicht den Erwartungen: Die räumliche Ablagemethode ohne Namensangabe erbrachte die geringste Auffindensrate. Auch in Kombination mit der Namensangabe war die Leistung nicht höher als bei alleiniger Namensangabe. Auffällig und von praktischer Bedeutung ist noch ein anderes Ergebnis: Die Versuchspersonen wiederholten die ganze Prozedur von Ablage und Auffinden dreimal mit je zehn Texten.

Die Leistung im ersten Zehnerblock war bei allen vier Gruppen noch recht ähnlich, doch dann sank die Leistung in der Gruppe, die nur die räumliche Position als Merkhilfe hatte, drastisch ab. Offensichtlich stieg die Verwehlungswahrscheinlichkeit mit der Anzahl der schon einmal auf dem Ablageblatt abgelegten Texte. Je mehr Positionen zu merken sind, umso unzuverlässiger kann zwischen den verschiedenen Texten diskriminiert werden. Die Autoren drücken es so aus: Der hier zur Verfügung stehende visuelle Ablageraum hatte eine geringere Auflösung als der sprachlich-symbolische. Dies ist eine wichtige Einschränkung räumlichen Datenmanagements: bei begrenztem Ablageraum profitiert die Orientierung offenbar nur bei geringen Datenmengen. Ein weiterer Grund für die schlechte Leistung der Gruppe, die allein auf die räumliche Position angewiesen war, könnte darin liegen, daß das Ablageblatt nicht durch weitere visuell-räumliche Hinweise strukturiert werden durfte.

Auch andere Autoren kommen zu einer differenzierten Beurteilung der Nützlichkeit räumlicher Orientierungspunkte: In einem Experiment von Landsdale (1988, auch Landsdale, Simpson & Stroud, 1987) sollten Versuchspersonen ebenfalls Texte wiederfinden, die in einer Datenbank abgelegt waren. Dazu konnten sie die Texte mit Icons markieren, die in Form, Farbe und Lokation variierten. Da die Hinweisreize zum Auffinden der Texte auf diese Weise angereichert wurden ("cue enrichment", vgl. Landsdale et al. 1987, S. 911), wurde eine erhöhte Sicherheit beim Auffinden der Texte erwartet. Die Verwendung dieser Icons führte jedoch nicht generell zu hohen Leistungen: Als vorteilhaft erwiesen sich solche Icons, die einen inhaltlichen Bezug zur Textkategorie aufwiesen gegenüber abstrakten Icons. Noch wichtiger war, daß systemgenerierte Icons die Gedächtnisleistung weniger gut unterstützten als solche, die die Versuchspersonen selbst wählen konnten.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen kann die Nützlichkeit räumlicher Orientierungspunkte nur eingeschränkt positiv bewertet werden. Zu bedenken ist allerdings, daß diese Untersuchungen alle im Zusammenhang mit Datenbanken entstanden sind. Ohne Zweifel gibt es auch in anderen Anwendungsprogrammen Orientierungsprobleme, die durch die Gestaltung visuell-räumlicher Hinweisreize erleichtert werden können. So wiesen z. B. Green und Barnard (1990) nach, daß Icons schneller gefunden und leichter wiedererkannt werden, wenn ihre Position auf dem Bildschirm konstant bleibt: Die Erinnerung an den Ort des Icons kann sogar zu einer wichtigeren Determinante werden als die Gestaltung des Icons selbst. Dies kann als Hinweis dafür gewertet werden, daß im mentalen Modell Orientierungspunkte repräsentiert sind, die durchaus zur Erleichterung der Navigation beitragen können.

6.2.3 Wissen über Routen: "Wegweiser" durch das System

Das Wiedererkennen von "Orten" im System ist eine wichtige Leistung des mentalen Modells. Zur Planung zielgerichteter Handlungen wird jedoch zusätzlich Routenwissen benötigt, dessen Erwerb andere Unterstützung erfordert. In diesem Abschnitt geht es deshalb nicht mehr allein darum, "Orte" wiederzuerkennen, sondern darum, "den Weg zu möglichen Zielorten zu weisen". Tatsächlich sprechen z. B. Benest und Potok (1984) von "signposting techniques". Solche Techniken sollten so gestaltet sein, "... that

they provide an 'aura' that enables the user to realize almost subconsciously what is expected of him" (S. 99). Es bleibt zweifelhaft, ob eine "unterbewußte" Verarbeitung von Orientierungshinweisen (außer bei hoch automatisierten Handlungen) erreicht werden kann oder ob sie überhaupt wünschenswert ist. Doch Benest und Potok (1984) konkretisieren ihre Ansicht an einigen bemerkenswerten Beispielen: In einem Anwendungssystem, mit dem elektronische Schaltkreise konstruiert werden, haben sie mehrere Wegweisertechniken eingesetzt. Die oberste Ebene des Menüsystems erscheint links oben auf dem Bildschirm. Mit dem Herabschreiten in der Hierarchie wird das Menüsystem nach unten rechts fortgeschrieben und hinterläßt so gleichsam eine Spur des bisher zurückgelegten Weges, weil die hierarchisch höheren Menüebenen sichtbar bleiben. Bewegungen in der Menühierarchie sind sowohl aufwärts als auch abwärts möglich. Um die Aufmerksamkeit auf die nachfolgend möglichen Handlungsschritte zu lenken, wurde ein "Eye-Mover" konstruiert, der die Aufmerksamkeit auf die jeweils relevanten Handlungsmöglichkeiten der nächst niedrigeren Hierarchie-Ebene richten soll:

... in order to help the user to realize where he should be working next, an animated line is drawn to where he should be looking ... This eye-mover takes about 2 s to complete and is sufficient to draw the user's attention to the next level. In this way an open-plan approach may be maintained while minimizing the effective screen clutter. (Benest & Potok, 1984, S. 103)

Eine ähnliche Absicht verfolgen Snowberry, Parkinson und Sisson (1985) mit der Präsentation von Hilfefeldern während des Durchsuchens der Menühierarchie. In einer experimentellen Untersuchung sollten Versuchspersonen in einer sechsstufigen Menühierarchie mit jeweils zwei Wahlmöglichkeiten einen Zielbegriff suchen. Auf jeder Hierarchie-Ebene wurde den Probanden eines von drei möglichen Hilfefeldern angezeigt. Es enthielt entweder

- die bisherigen Entscheidungen
- den Zielbegriff
- oder die Wahlmöglichkeiten auf der nächst niedrigeren Ebene.

Eine vierte Gruppe erhielt gar keine zusätzlichen Hilfen. Nur die Gruppe, die die vorausschauend als nächstes erreichbaren Alternativen angezeigt bekam, suchte mit größerer Genauigkeit als die Kontrollgruppe. Die beiden anderen Gruppen profitierten nicht von den Hilfestellungen. Die in diesem Experiment wirksame Hilfe hat Ähnlichkeit mit dem Eye-Mover aus dem System von Benest und Potok (1984): In beiden Fällen wird die Orientierung dadurch unterstützt, daß Hinweise auf die nächst zu erreichenden Systemzustände gegeben werden.

Auffällig ist, daß der Begriff der "Navigation" meistens im Zusammenhang mit hierarchischen Menüsystemen betrachtet wird. Dies ist insofern verständlich, als Menüs die Prototypen eines "Wegweisers" sind. Andererseits engt dies das Problem der Orientierung in einem Softwaresystem auf eine bestimmte Perspektive ein, die sich u. a. gegen den Eindruck der Künstlichkeit erwehren muß. Liegen doch bereits ausreichend Forschungsergebnisse zur geeigneten Metrik von Menüsystemen vor (z. B. Miller, 1981; Kiger, 1984; Parkinson, Hill, Sisson & Viera, 1988), nach denen eine sechsstufige Hierarchie mit je zwei Wahlmöglichkeiten, wie sie von Snowberry et al. (1985) verwendet wurde, sowieso nicht zu empfehlen wäre. Mit Sicherheit werden jedoch auch andere Formen der Interaktion und andere Informationsdarstellungen subjektiv als Be-

wegungen in unterschiedlichen Räumen erlebt, die Orientierungsanforderungen an den Benutzer stellen. Ganz offensichtlich ist dies etwa bei Systemen mit mehrfachen Fenstern (vgl. Norman, Weldon & Shneiderman, 1986). Auch hier sollten Konzepte der Forschung über räumliche Kognitionen anwendbar sein. Praktische Beispiele oder empirische Untersuchungen fehlen jedoch bisher weitgehend.

6.2.4 Überblickswissen: "Pläne" und "Karten"

Der Erwerb von Überblickswissen soll unterstützt werden, damit das mentale Modell nicht nur isolierte "Routen" repräsentiert, sondern auch eine Abbildung der Gesamtstruktur des Systems¹⁹. Hierbei werden ebenso räumliche Gestaltungsmittel eingesetzt wie bei der Schaffung von Orientierungspunkten oder Wegweisern. Insbesondere soll Überblickswissen das Erkennen alternativer Routen oder von Abkürzungen ermöglichen. Gerade dies ist durch die am häufigsten eingesetzte Wegweisertechnik, hierarchische Menüs, nicht möglich:

Users are also reliant on the signposted options in the menu and cannot use other routes which their experience may tell them are more direct. This is like a motorist on a one-way system who knows that his goal is close at hand but is constrained by the environment to follow pre-determined and possibly inconvenient routes. (Canter et al. 1986, S. 250)

Eine der einfachsten Möglichkeiten, Überblickswissen zu vermitteln, ist in direkter Analogie zum Erwerb echten räumlichen Wissens zu sehen: die Vorgabe einer "Karte" oder eines "Plans" (vgl. Thorndyke & Hayes-Roth, 1982). Hierunter sind visuell-räumliche Repräsentationen zu verstehen, die in mehr oder weniger abstrakter Weise die Komponenten des Systems abbilden. Damit soll die Transparenz des Systems, also die Erkennbarkeit funktionaler Zusammenhänge zwischen verschiedenen Komponenten erhöht werden. Als ein sehr anschaulicher Plan kann die bereits mehrfach angesprochene bildliche Darstellung eines Bürosystems von van der Veer und Felt (1988) betrachtet werden. Abstrakter sind Pläne, die z. B. die Menüstruktur eines Anwendungsprogramms abbilden (Parton, Huffman, Pridgen, Norman & Shneiderman, 1985; Dutke, 1990), einen Überblick über die Organisation eines Informationssystems (Kommers, 1988) vermitteln oder Arbeitsabläufe auf einem "Orientierungsplakat" graphisch abbilden (Greif & Janikowski, 1987).

Widdel und Kaster (1987) untersuchten die Wirksamkeit eines solchen Überblicksplans. Sie ließen ungeübte Personen einen Graphikeditor erlernen. Dabei unterschieden sie zwischen drei Versuchsgruppen: In der ersten Gruppe wurden die zur Interaktion mit dem Programm erforderlichen Menüs sukzessiv auf dem Bildschirm angezeigt. In der zweiten Gruppe wurde zusätzlich auf einem zweiten Monitor permanent die gesamte Menüstruktur angezeigt. Die dritte Gruppe erlernte den gleichen Editor, jedoch waren alle Kommandos in Pull-down-Menüs angeordnet. Die Probanden hatten sechs Aufgaben jeweils zweimal zu bearbeiten. Die Analyse der Bearbeitungszeiten zeigt, daß die Gruppe, die mit sukzessiven Menüs arbeiten mußte und keine Überblicks-

¹⁹ Mentale Modell, die ein solches Überblickswissen repräsentieren, werden auch als "kognitive Landkarten" ("cognitive maps") bezeichnet (Tolman, 1948).

information erhielt, bei allen Aufgaben längere Bearbeitungszeiten als die anderen beiden Gruppen aufwies. Ein Vorteil durch die Präsentation der gesamten Menüstruktur gegenüber den Pull-down-Menüs war nur zu Beginn des Lernprozesses zu erkennen. Später arbeitete die Pull-down-Menü-Gruppe schneller. Dabei führte sie mehr Handlungsschritte aus. Dies ist jedoch auch auf eine leichtere Ausführbarkeit der Operationen zurückzuführen, da die Mehrzahl dieser Probanden mit der Maus arbeitete. Zu kritisieren ist also, daß die Leistungsunterschiede nicht eindeutig auf ihre Quelle zurückgeführt werden können: Unterschieden sich die Gruppen aufgrund des unterschiedlichen Informationsangebots oder auch aufgrund der verschiedenen Interaktionsformen? Dennoch bleibt festzuhalten, daß die zusätzliche Präsentation von visuell-räumlichen Überblicksinformationen (Menübild oder Pull-down-Menüs) zu einer Leistungsverbesserung führte.

Die in diesem Beispiel vermittelte Überblicksinformation bezog sich auf die Struktur des Systems, genauer auf die Dialogstruktur. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Merkmale von Aufgaben zu visualisieren: So haben Patrick und Fitzgibbon (1988, vgl. auch Fitzgibbon & Patrick, 1987) eine visuell-räumliche Abbildung von Systemzuständen erstellt, vergleichbar mit einem Ablaufdiagramm, das auf die Erledigung einer ganz bestimmten Textverarbeitungsaufgabe bezogen war. Diese Aufgabe war Bestandteil eines Lernprogramms, das Computeranfänger absolvierten: "The display was a diagrammatic representation of the major functional states or computer displays involved in the editing task and the available routes between them" (Patrick & Fitzgibbon, 1988, S. 627). In einem Lernexperiment verglichen Patrick und Fitzgibbon drei Gruppen von Probanden: Eine Gruppe erhielt zuerst die Abbildung, bearbeitete dann ein Lernprogramm und absolvierte die Testaufgaben. In einer zweiten Gruppe wurde erst das Lernprogramm durchgearbeitet und dann die Abbildung gezeigt. Die dritte Gruppe mußte ganz ohne Abbildung auskommen. Anzumerken ist, daß die Abbildung keine Informationen enthielt, die nicht auch im Lernprogramm behandelt wurden. Der Unterschied bestand lediglich in der Art der Repräsentation: Während im Lernprogramm die Informationen sequentiell und sprachlich repräsentiert waren, wurde für die Abbildung eine zweidimensionale Anordnung verbal bezeichneter Systemzustände gewählt.

Von der Übersichtsabbildung profitierten besonders die Personen, die sie vor dem Lernprogramm erhielt: Diese Versuchspersonen vollendeten mehr Teilaufgaben, begannen dabei weniger Fehler und benötigten weniger Zeit zur Lösung der Aufgaben. Die Gruppe, die die Abbildung nach dem Lernprogramm erhielt, hatte zwar auch einige Vorteile, doch waren die Unterschiede statistisch häufig nicht zu sichern. Patrick und Fitzgibbon schließen daraus, daß die Übersichtsabbildung vor allem einen organisierenden Effekt auf die Verarbeitung der Detailinformationen des nachfolgenden Lernprogramms hat: Sie können so leichter eingeordnet und besser behalten werden.

Eine etwas andere Idee bei der visuellen Repräsentation von Aufgabenmerkmalen verfolgen Carroll, Herder und Sawtelle (1987). Sie berichten über ein experimentelles System namens "Task Mapper", das die Komponenten einer Aufgabenbearbeitung auf einer zweidimensionalen "Karte" auf dem Bildschirm abbildet. Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Schreibtisch-Metapher, bei der Objekte und Funktionen graphisch

auf dem Bildschirm repräsentiert werden, jedoch ohne daß Zusammenhänge zwischen den abgebildeten Komponenten sichtbar wären: "Instead of a messy desk, in which documents and applications can become lost in the active workspace ..., we are investigating an organized desk" (Carroll, 1987, S. 265). Diese Art von Übersichtskarte ist nicht statisch, sondern "wächst" im Verlauf einer Sitzung: "User sessions are initiated from an origin menu in the center of the display. As new applications and documents are selected they are opened along a path, clearly indicating what is related to what" (S. 265). Der Task Mapper eröffnet also einen individuellen Raum von Handlungsmöglichkeiten, der von den Aufgaben der Benutzer abhängt. Wie in einer Übersichtskarte werden die Beziehungen zwischen verschiedenen Komponenten visualisiert. Ob dies tatsächlich mit der erwarteten Unterstützung der Orientierung verbunden ist, kann in Ermangelung empirischer Untersuchungen noch nicht beurteilt werden. Positive Effekte sind jedoch deshalb zu erwarten, weil so Eigenschaften der Arbeitsaufgaben in die Bildung des mentalen Modells mit eingehen. Dies ist vorteilhaft, weil das mentale Modell nicht nur dem Verstehen des Systems dient, sondern auch der Planung und Ausführung von Handlungen (vgl. 3.8). Dies erfordert eine gemeinsame Repräsentation von Aufgaben- und Systemstruktur.

6.2.5 Analyse einfacher mentaler Modelle einer direktmanipulierbaren Bedienungsoberfläche: Ein experimentalpsychologisches Beispiel

In den bisher geschilderten Untersuchungen wurden die Auswirkungen von Gestaltungsmaßnahmen untersucht, die die "räumliche" Orientierung im System verbessern sollten. Dabei wurden in erster Linie Auswirkungen in der Lernleistung betrachtet. Die Lernleistung ist jedoch nur ein mittelbarer Indikator, denn sie ist durch ein mehr oder weniger geeignetes mentales Modell vermittelt. Dieses vermittelnde Konstrukt "mentales Modell" wurde in diesen Untersuchungen nicht ausdrücklich analysiert. Im folgenden werden einige experimentelle Erkundungen darüber berichtet, wie visuell-räumliche Gestaltungsmaßnahmen ein räumliches, mentales Modell von einer Bedienungsoberfläche beeinflussen. Ausgangspunkt dieser Erkundungen ist eine eigene Untersuchung (Dutke, 1990) über das Erlernen eines Textverarbeitungsprogramms.

In dieser Untersuchung erlernten 29 Computeranfänger die Bedienung eines direktmanipulierbaren Textverarbeitungsprogramms. Das Programm wird durch 41 Kommandos gesteuert, die in sechs Pull-down-Menüs angeordnet sind. Die Titel der Menüs stehen nebeneinander in der obersten Zeile des Bildschirms. Es wurden zwei verschiedene visuell-räumliche Hilfen experimentell variiert:

- Zum einen wurde die Aneignung von Routenwissen unterstützt bzw. erschwert. Die Hälfte der Versuchspersonen arbeitete mit den Originalmenütiteln, die aus Begriffen wie "Datei", "Bearbeiten" oder "Zeichen" bestanden. Diese sollten einen inhaltlichen Bezug zu den durch sie erreichbaren Kommandos haben und deshalb ihr Auffinden erleichtern. Die andere Hälfte lernte mit Menütiteln, die aus semantisch neutralen Ziffern bestanden. Die Wegweiserfunktion ("Das Kommando 'Layout' befindet sich in Menü 4") mußte in dieser Bedingung also erst gelernt werden.
- Mit der zweiten Variation sollte die Aneignung von Überblickswissen beeinflußt werden: Jeweils die Hälfte der beiden genannten Gruppen erhielt ein zusätzliches Menübild,

die andere Hälfte nicht. Das Menübild zeigte den Inhalt aller sechs Menüs in geöffnetem Zustand. Die Lernenden konnten dem Bild entnehmen, welche Kommandos es überhaupt gibt und durch welche Überschrift (Menütitel) sie erreicht werden können. Es ist zu beachten, daß im Programm selbst nur jeweils ein Menü geöffnet werden kann, aber nie mehrere gleichzeitig.

Die Versuchspersonen bearbeiteten in fünf Terminen von jeweils ca. zwei Stunden Dauer Übungs- und Testaufgaben. Um Daten über diese räumliche, mentale Repräsentation zu gewinnen, wurde am Ende der fünften Sitzung folgende Prozedur durchgeführt: Den Versuchspersonen wurde auf dem Bildschirm ein Rahmen angezeigt, der die Grenzen der Fläche bezeichnete, in der im Textverarbeitungsprogramm die Kommandos sichtbar gemacht werden konnten. Ein Versuchssteuerungsprogramm²⁰ zeigte ein Kommando an und forderte den Probanden dazu auf, mit der Maus an die Stelle des Bildschirms zu zeigen, an der dieses Kommando im Originalsystem gestanden hätte. Die Koordinaten jeder Ortsangabe wurden automatisch gespeichert. Die Kommandos wurden in Zufallsreihenfolge dargeboten. Es erfolgte keine Rückmeldung über die Genauigkeit der Positionsangabe. Die Erhebungsmethode war für alle Versuchsgruppen gleich. Die während der Lern- und Handlungsphasen gewährten Hilfen (Menübild bzw. Menütitel) standen nicht zur Verfügung.

Die von den Versuchspersonen geschätzten Koordinaten der einzelnen Kommandos können nun mit den tatsächlichen Koordinaten der Kommandos verglichen werden. Aus den Abweichungen kann sowohl auf die Genauigkeit der Repräsentation im mentalen Modell als auch auf spezifische Verzerrungen geschlossen werden.

Vergleicht man zunächst die Abweichungen der angegebenen von den korrekten Orten bezüglich der y-Dimension, ergeben sich keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Der analoge Vergleich für die x-Achse zeigt jedoch ein unerwartetes Ergebnis: Die Personen, die mit dem Menübild lernten, lokalisierten die Kommando-Orte ungenauer, als diejenigen, die keine Überblickshilfe zur Verfügung hatten²¹. Dies ist zunächst erstaunlich, da das Menübild genau die erforderlichen Informationen enthielt. Ohne diese Darstellung mußte das Überblickswissen erst synthetisiert werden, denn es war nicht möglich, die Orte aller Kommandos gleichzeitig auf dem Bildschirm sichtbar zu machen. Trotzdem lokalisierten diese Versuchspersonen die Kommandos genauer. Verständlich wird dieses Ergebnis vor dem Hintergrund, daß die Personen, die kein Menübild hatten, aktiver explorierten und deshalb auch bezüglich des verbalen Wissens über Systemzusammenhänge besser informiert waren (vgl. 7.3.2.3). Das Wissen über das räumliche Layout der Bedienungsoberfläche war offenbar mehr durch die tatsächlichen Handlungserfahrungen beeinflusst als durch die Wahrnehmung der Überblicksinformation.

²⁰ Das Versuchssteuerungsprogramm wurde von Klaus Montigel entwickelt, der auch die umfangreichen Datentransformationen erledigte.

²¹ Eine 2 X 2-faktorielle Varianzanalyse zeigt einen Haupteffekt für den Faktor "Menübild" ($F= 4.9, p<.05$).

Diese Hypothese wird durch Befunde bezüglich zweier Verzerrungen in der kognitiven Repräsentation gestärkt²²: Bezüglich der x-Dimension ist festzustellen, daß die Differenzen zwischen geschätzten und tatsächlichen Kommando-Orten umso größer sind, je weiter rechts sich ein Kommando tatsächlich auf dem Bildschirm befindet (Abbildung 5).

Die Analyse der y-Werte ergibt dagegen keine lineare, sondern eine u-förmige Verzerrung: Bei den Menüs am linken und rechten Rand werden die Kommandopositionen in der kognitiven Repräsentation nach unten überstreckt (hohe Abweichungen, siehe Abbildung 6). Kommandos im mittleren Bildschirmbereich werden tendenziell genauer (bezüglich der y-Dimension lokalisiert). Von diesen werden einige besonders weit unten stehende Kommandos auch weiter in der Mitte vermutet. Die tatsächlichen und die von den Versuchspersonen durchschnittlich erinnerten Positionen der Kommandos sind in Abbildung 7 zu sehen. Bezüglich beider Dimensionen sind keine Gruppenunterschiede festzustellen: Die Verzerrungen sind unabhängig von der experimentellen Bedingung.

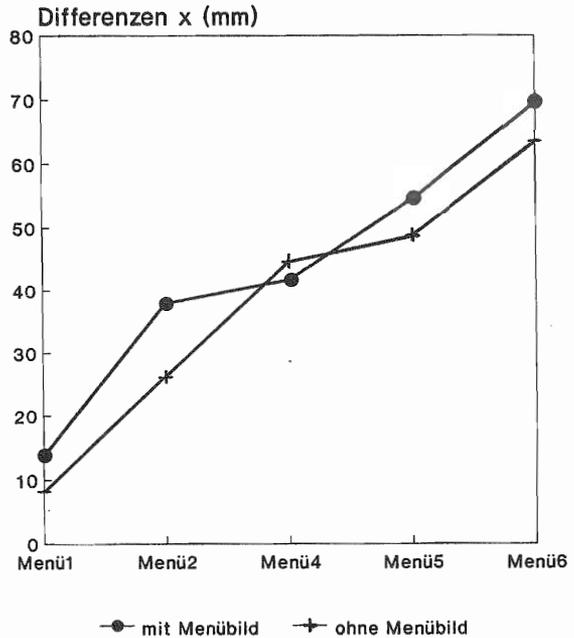


Abbildung 5: Mittlere Differenzen auf der x-Dimension zwischen den tatsächlichen und erinnerten Kommandopositionen. Die Menüs sind von links nach rechts numeriert. Aus Menü 3 traten keine Kommandos in den Instruktionen auf. Unterschiede zwischen Menüs: $F=36.07$, $p<.001$.

Die Gründe für diese Verzerrungen können in der mangelnden Handlungsrelevanz der Informationen gesehen werden, deren Vernachlässigung diese Verzerrungen hervorruft: Bezüglich der x-Dimension ist nämlich festzustellen, daß sich die Menüs auf dem Bildschirm teilweise überlappen. Dies kann der Benutzer jedoch nur mittelbar erfahren, da nie zwei Menüs gleichzeitig geöffnet werden können. Die permanent sichtbaren Menütitel stehen allerdings ständig nebeneinander. In der kognitiven Repräsentation wird diese Überlappung "herausgefiltert" und die Kommandos als nebeneinander stehend erinnert. In Abbildung 7 sieht man, daß in der kognitiven Repräsentation die gesamte Bildschirmbreite ausgenutzt wird, was zu einer "Entzerrung" der Überlappungen

²² Die Abbildungen bezüglich der Verzerrung der kognitiven Repräsentation basieren nur auf den Daten der Kommandos, die in den Instruktionen tatsächlich vorkamen. Nur bei diesen besteht Sicherheit, daß sie überhaupt benutzt und ausprobiert wurden.

führt. Liegt dem nun eine realistische Größenschätzung der Kommandofelder zugrunde, erklärt dies, warum Kommandos in den rechten Menüs noch weiter rechts vermutet werden als sie tatsächlich stehen. Das Merkmal der Überlappung von Menüs wird also offenbar nicht gespeichert. Dies ist insofern einsichtig, als die Überlappung handlungsirrelevant ist. Erstens kann nur jeweils ein Menü geöffnet werden, zum anderen verhindern im Normalfall die permanent sichtbaren Menütitel als visuelle Ankerreize das irrtümliche Öffnen eines falschen Menüs.

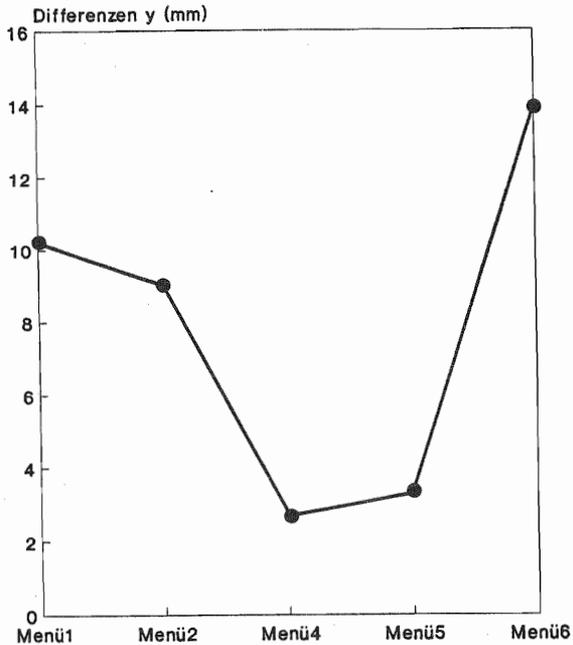


Abbildung 6 (rechts): Mittlere Differenzen auf der y-Dimension zwischen den tatsächlichen und erinnerten Kommandopositionen. Die Menüs sind von links nach rechts numeriert. Aus Menü 3 traten keine Kommandos in den Instruktionen auf. Unterschiede zwischen Menüs: $F=6.47$, $p<.001$. Keine Gruppenunterschiede.

Auch die Verzerrung der bildlichen Repräsentation auf der y-Dimension kann auf eine selektive Verarbeitung räumlicher Merkmale zurückgeführt werden. Die Distanzwerte verhalten sich umgekehrt proportional zur Länge der Menüs. Je weniger Kommandos in einem Menü untereinander stehen, umso weiter wird deren Position nach unten überstreckt (vgl. Abbildung 8). Das bedeutet, daß in diesem Falle das Merkmal der unterschiedlichen Menülängen vernachlässigt wird. Die Kommandos werden tendenziell häufiger in der Nähe der horizontalen Bildschirmmitte erinnert und zwar unter Vernachlässigung der unterschiedlichen Menülängen. Daß dieses Merkmal nicht oder nur unzureichend repräsentiert ist, kann ebenfalls durch die mangelnde Handlungsrelevanz erklärt werden. Die Erinnerung der Menülänge trägt nichts zur Ausführbarkeit des Kommandos bei, da das Menü zuerst geöffnet werden muß. Nach dem Öffnen des Menüs ist die y-Position des gesuchten Kommandos jedoch sichtbar.

Die Interpretation beider Verzerrungen steht im Einklang mit dem Ergebnis, daß mentale Modelle der visuell-räumlichen Eigenschaften der Bedienungsoberfläche eher durch Handeln als durch bloße Rezeption des Menübildes erworben werden. Die aktive Exploration als Merkmal der Lerntätigkeit scheint auch für den Bereich der räumlichen

Repräsentation einen höheren Stellenwert zu haben als allein die Visualisierung von Bedienungsinformationen (vgl. Kapitel 7).

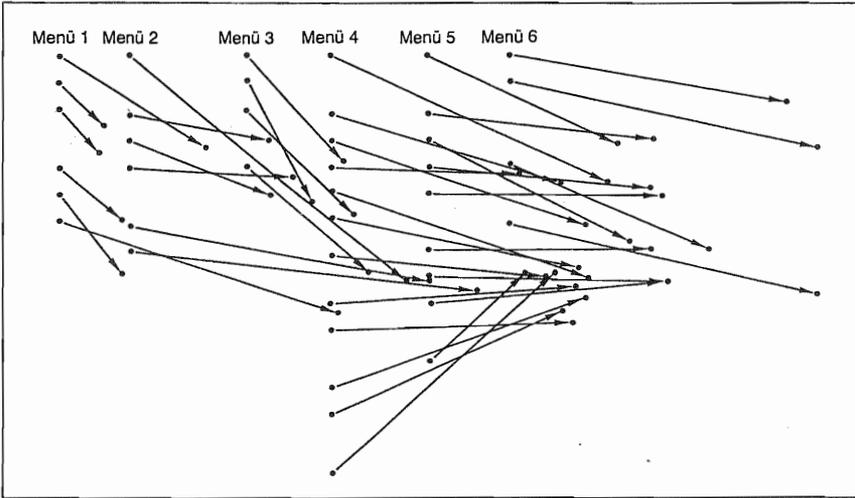


Abbildung 7 (oben): Tatsächliche und erinnerte Positionen aller Kommandos. Die Pfeile zeigen von der tatsächlichen auf die durchschnittlich erinnerte Position.

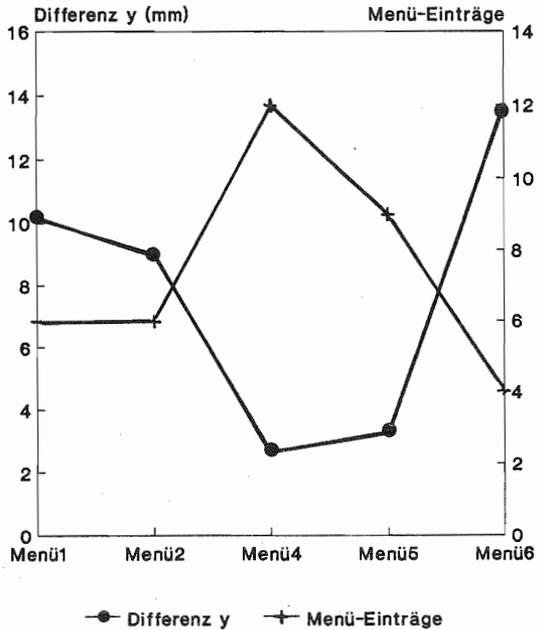


Abbildung 8 (rechts): Vertikale Erstreckung der Menüs und Differenzen zwischen tatsächlicher und erinnelter Kommandoposition auf der y-Dimension (über alle Gruppen zusammengefaßt). Menülänge = Anzahl untereinander stehender Kommandos in einem Menü.

6.3 Raum-Metaphern und das Verstehen von Systemzusammenhängen

6.3.1 Räumliche Beziehungen zur Darstellung funktionaler Systemzusammenhänge

Die Gestaltung von Benutzungsoberflächen ist in erster Linie ein Kommunikationsproblem: Die Konstrukteure wollen den zukünftigen Benutzern mitteilen, wie und wozu ein Softwareprodukt benutzt werden kann. Die "Vermittlung von Bedeutung" müsse nach Keil-Slawik (1990, S. 44 ff.) das Anliegen der Systemgestaltung sein. Diese Bedeutungsvermittlung kann sich u. a. visuell-räumlicher Darstellungsmittel bedienen, besonders dann, wenn das von den Entwicklern zugrundegelegte konzeptuelle Modell eines Systems selbst ein räumliches ist. Dies ist z. B. zwangsläufig bei solchen Anwendungsprogrammen der Fall, die Arbeitsobjekte (Tabellen, Zeichnungen, Programme, Texte, Bilder, Datensätze) verarbeiten, die nicht vollständig auf einem Bildschirm darstellbar sind. In dem Augenblick, in dem der Bildschirm nur einen Ausschnitt aus der Gesamtansicht des Arbeitsgegenstandes zeigt, muß eine räumliche Konzeption gefunden werden, die den sichtbaren Ausschnitt ins Verhältnis zur unsichtbaren Gesamtheit setzt. Köhler (1987) hat gängige Raumkonzeptionen zusammengestellt, von denen nur einige genannt seien:

- Viele Anwendungsprogramme im Bürobereich basieren auf der "Papierblatt-Metapher". Das Papierblatt als Darstellungsfläche impliziert, daß die gesamte Fläche mit Zeichen versehen werden kann. Dies führt häufig zur Verwechslung von Bereichen, in denen sich keine Zeichen befinden und solchen, auf denen sich unsichtbare Zeichen (wie z. B. Leerzeichen) befinden.

- Daraus ergab sich nach Köhler die Konzeption des "Sägezahnblattes", beispielsweise in der Textverarbeitung. In diesem Falle werden Zeilenenden, auf die das folgende Wort nicht mehr paßt, nicht als "unbeschriebenes Papier" gekennzeichnet, sondern als das Fehlen von Papier, was zu einem sägezahnförmigen rechten "Blattrand" führt.

- Die Art der Raumkonzeption bestimmt, welche Operationen möglich sind: Die adäquate räumliche Operation im Falle einer Blatt-Konzeption ist das "Umschlagen" von Seiten oder das "Blättern". Ist jedoch auch ein Blatt nicht in Gänze auf dem Bildschirm darstellbar, muß das Blatt "gerollt" werden: horizontal, wenn der Bildschirm nicht hoch genug ist; vertikal, wenn der Bildschirm zu schmal ist. Rolloperationen sind jedoch nicht unbedingt mit einem mentalen Modell vom "Blättern" kompatibel: Sie entsprechen mehr der Vorstellung, das Dokument sei ein kontinuierliches Band, das hinter dem Bildschirm bewegt werden könne. Eine weitere Alternative bestehe nach Köhler darin, den Bildschirm als Fenster aufzufassen, durch das jeweils ein Ausschnitt des dahinter befindlichen Arbeitsgegenstandes betrachtet werden kann.

Das Gestaltungsproblem besteht darin, dem Benutzer zu vermitteln, welches das gerade gültige konzeptuelle Raum-Modell ist. Andernfalls kann beim Benutzer ein mentales Modell entstehen, das inkompatibel mit den tatsächlichen Systemfunktionen ist. In eigenen Untersuchungen des Autors wurde z. B. immer wieder beobachtet, daß Anfänger große Probleme haben, die Art der Rolloperation zu verstehen. Bedeutet beispielsweise ein nach unten gerichteter Pfeil, daß der Text (gedacht als Band hinter dem Bildschirm) nach unten gerollt wird? Oder bedeutet er vielmehr, daß der Bildschirm (gedacht als Fenster vor dem Text) nach unten bewegt wird? Beide mentalen Modelle führen zu entgegengesetzten Vorhersagen (vgl. Abbildung 9). Die Gestaltung der Be-

dienungsoberfläche sollte durch graphische Mittel Klarheit darüber schaffen, welche Raumvorstellungen den Systemfunktionen am ehesten gerecht werden²³. Einen sehr einfachen Vorschlag für das vorliegende Beispiel zeigt Abbildung 10.

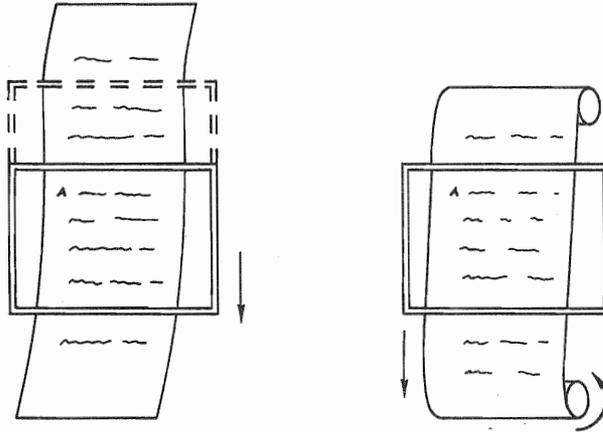


Abbildung 9: Zwei verschiedene Raumkonzeptionen für die Anzeige von Dokumenten. Beim linken Modell scheint sich der Bildschirm vor dem Text zu bewegen, beim rechten wird der Text hinter dem Bildschirm bewegt.

Die Anforderungen an die graphische Gestaltung erhöhen sich, wenn mehrere Bildschirmfenster oder Bildschirme zur Verfügung stehen. In diesem Fall muß nämlich nicht nur die Beziehung zwischen dem sichtbaren Teil des Arbeitsgegenstandes und seiner Gesamtansicht vermittelt werden, sondern darüber hinaus müssen die Beziehungen zwischen mehreren Teilansichten des gleichen Gegenstands oder sogar unterschiedlicher Arbeitsgegenstände verdeutlicht werden. Norman, Weldon und Shneiderman (1986) nennen Beispiele mentaler Modelle von multiplen Fenstern. Die Autoren nennen sie "cognitive layouts" um diese vom "surface layout", also vom unmittelbar auf der Oberfläche Sichtbaren zu unterscheiden (S. 237 ff):

- Das "linear array layout" impliziert eine Reihenfolge von mehreren Anzeigen. Beispielsweise werden aufeinanderfolgende Datensätze in räumlich hintereinander liegenden Fenstern angezeigt.
- Im "information integration layout" dagegen entnimmt der Benutzer verschiedenen Fenstern jeweils die Informationen, die er für die Bearbeitung eines Problems zusammenführen muß. Beispielsweise zeigt ein Fenster die Namen gespeicherter Dateien an, ein zweites die Kommandos für die Ausführung von Statistikprozeduren. Aus beiden Fenstern werden Informationen entnommen und in einem Arbeitsfenster zu einem Auswertungsprogramm integriert.

²³ Voraussetzung hierzu ist, daß ein konzeptuelles Raum-Modell gewählt wurde, das kompatibel mit den physikalischen Gegebenheiten in der nicht-computerisierten Welt ist (vgl. Kapitel 5): Eine vertikale Rolloperation kann sowohl auf dem Band-Modell als auch auf dem Fenster-Modell beruhen. Aus physikalischen Gründen ist jedoch eine horizontale und vertikale Rolloperation kaum noch in Form eines aufrollbaren Bandes vorstellbar (horizontal und vertikal drehende Rollen würden sich gegenseitig blockieren). Das Fenster-Modell bereitet hier keine Schwierigkeiten. Voraussetzung ist nun aber auch, daß Rollpfeile so konstruiert werden, daß sie allein mit dem Fenster-Modell vereinbar sind: ein nach oben gerichteter Pfeil bewegt das Fenster vor dem Text nach oben.

- Möglicherweise erlauben verschiedene Fenster jedoch auch nur unterschiedliche Perspektiven auf den gleichen Arbeitsgegenstand ("perspective layout"): Ein und die gleiche Adressendatei ist in einem Fenster nach Namen geordnet, in einem anderen nach der Höhe noch ausstehender Rechnungsbeträge.

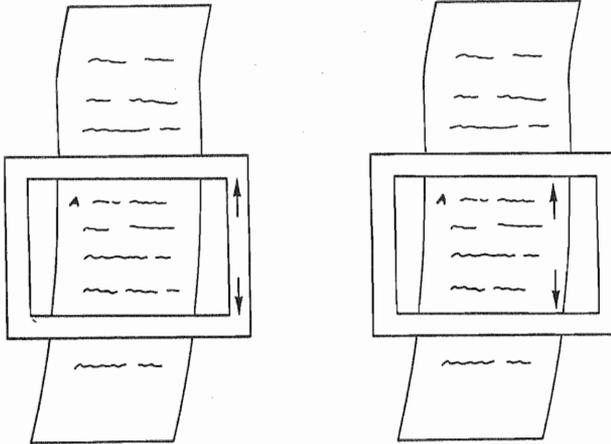


Abbildung 10: Möglichkeiten, zwei verschiedene Raumkonzeptionen graphisch zu veranschaulichen. In der linken Version deuten die Pfeile auf der Umrandung des Bildschirmfensters eine Bewegung desselben an: Pfeil nach unten = Bewegung des Fensters nach unten = untere Teile des Dokuments werden sichtbar. In der rechten Version deuten die Pfeile im Anzeigebereich des Dokuments darauf hin, daß das Dokument selbst bewegt wird: Pfeil nach unten = Dokument wird nach unten gerollt = obere Teile des Dokuments werden sichtbar.

Obwohl Norman, Weldon und Shneiderman (1986) noch weitere Modelle diskutieren, soll die Liste der Beispiele hier nicht fortgesetzt werden. Gemeinsam ist allen Beispielen, daß der Benutzer aus der Kenntnis seiner Aufgaben, aber auch aus der Oberflächengestaltung des Programms das geeignete mentale Modell erschließen muß. Die zu vermittelnde Bedeutung geht über das unmittelbar Wahrnehmbare und Ablesbare hinaus. Hierbei können visuell-räumliche Gestaltungstechniken hilfreich sein. Abschnitt 6.4 ist der Diskussion solcher Techniken gewidmet.

Empirische Untersuchungen über die Wirksamkeit visuell-räumlicher Darstellungen bei der Verdeutlichung von Systemzusammenhängen sind recht selten. Ein Untersuchungsbeispiel stammt aus dem Bereich der "graphischen" oder "visuellen Programmierung" (vgl. Shu, 1986): Cunniff und Taylor (1987) verglichen, wie gut Programmieranfänger die Texte von Computerprogrammen verstanden, die in zwei verschiedenen Sprachen geschrieben waren: FPL (First Programming Language) und Pascal. FPL ist eine sogenannte "graphische" Programmiersprache, in der Anweisungen ähnlich wie in Ablaufdiagrammen dargestellt werden. Acht in FPL geschriebene Programme wurden in Pascal übersetzt, so daß acht logisch identische Paare resultierten. Die 16 Programmelemente wurden in zufälliger Reihenfolge 23 Versuchspersonen gezeigt, die sowohl mit FPL als auch mit Pascal vertraut waren. Nach Lesen eines Unterprogramms sollten die Probanden standardisierte Verständnisfragen so schnell wie möglich beantworten. Die Antwortzeiten waren für die Pascal-Segmente fast ausnahmslos länger. Die

Antwortgenauigkeit wies dagegen nur schwache Trends zugunsten von FPL auf. Insgesamt interpretieren die Autoren, daß die graphische Repräsentation Vorteile beim Verstehen bietet. Nicht näher diskutiert wurde jedoch die Frage, ob nicht auch andere Unterschiede zwischen beiden Programmiersprachen verantwortlich für die Leistungsunterschiede sein könnten.

6.3.2 Softwaretechnische Beschreibungsmittel

Visuell-räumliche Darstellungen zur Veranschaulichung von Systemzusammenhängen spielen nicht nur bei der Gestaltung von Bedienungsoberflächen eine Rolle. Auch der Prozeß der Software-Entwicklung erfordert Kommunikation über das System. In arbeitsteiligen Entwicklerteams müssen Informationen ausgetauscht werden und ein gemeinsames Verständnis von Anforderungen und Problemen muß hergestellt werden. In der Planungsphase ist die Kommunikation zwischen Entwicklern und Auftraggebern erschwert, weil über ein Produkt kommuniziert werden muß, welches noch nicht existiert. Sollen die zukünftigen Benutzer an der Entwicklung beteiligt werden, ist auch mit ihnen eine "gemeinsame Sprache" über das zu entwerfende System zu suchen. Diese Verständigungs- und Verständnisprobleme erfordern eine externe Repräsentation des Systems, die als Kommunikationsgrundlage dient.

In der Softwaretechnik hat dieses Problem zu einer Vielzahl von Beschreibungsmitteln und -"sprachen" geführt, von denen einige sich auch graphischer und quasi-räumlicher Darstellungsmittel bedienen. Bekanntestes Beispiel hierfür ist wohl die auf Diagrammdarstellungen beruhende "Structured Analysis and Design Technique" (SADT) (Ross, 1977). Eine ganze Gruppe von Beschreibungsmitteln basiert auf Netzdarstellungen (vgl. Petri, 1980), die im Grad ihrer Abstraktheit und ihrer graphischen Ausdrucksfähigkeit stark variieren. Oberquelle (1987b) hat eine Vielzahl solcher Beschreibungsmittel einer Kritik unterzogen und vor allem einen Mangel an Benutzerorientierung festgestellt. "Benutzerorientierung" ist hier in einem zweifachen Sinne zu verstehen: Die vorhandenen Techniken seien ungeeignet, Rollenbeschreibungen für die zukünftigen Benutzer in ihrem Arbeitskontext zu modellieren. Zum anderen seien sie aufgrund ihrer oft mangelnden Ausdrucksfähigkeit nicht zur Kommunikation mit Benutzern geeignet, die in der Regel Informatik-Laien sind. Als Konsequenz aus seiner Kritik entwickelte Oberquelle (z. B. 1987a,b) ein eigenes Konzept zur Repräsentation kooperierender Rollen mit ihren automatisierten oder automatisierbaren Anteilen. Das auf einer Netzdarstellung basierende System ermöglicht die Betrachtung eines Systems auf der Ebene von Rollen, Funktionen und Aktionen (RFA-Netze). Aufgrund der elaborierten und systematisierten graphischen Ausdrucksformen sollte dieses Beschreibungsmittel besser zur Kommunikation mit Laien geeignet sein. In welchem Maße die mentale Modellbildung bei Benutzern mit Hilfe dieses oder anderer softwaretechnischer Beschreibungsmittel gefördert werden kann, ist empirisch bisher nicht untersucht worden. Das Potential dieser Ansätze ist jedoch hoch einzuschätzen, da sie zu einer gemeinschaftlichen Kommunikationsbasis zwischen verschiedenen, am Entwicklungsprozeß beteiligten Gruppen werden kann. Ohne Zweifel tragen diese Methoden schon jetzt zur Entwicklung adäquater mentaler Modelle bei den beteiligten Experten bei. Die folgenden Abschnitte werden sich jedoch wieder, dem Thema des

Buches entsprechend, mit Maßnahmen befassen, die sich in einem weniger mittelbaren Sinne auf die mentale Modellbildung bei den Benutzern auswirken.

6.3.3 Visuell-räumliche Externalisierung mentaler Modelle

In den beiden vorangegangenen Abschnitten wurden Kommunikationsprobleme erläutert: Zum einen gilt es, Bedeutungen, die die Entwickler Programmen oder Programmelementen zudenken, den Benutzern zu vermitteln. Zum anderen erfordert der Software-Entwicklungsprozeß selbst auch Kommunikation über das entstehende System zwischen Entwicklern, Auftraggebern, Benutzern und anderen Beteiligten. Der Aufbau geeigneter mentaler Modelle kann in beiden Fällen durch visuell-räumliche Darstellungen unterstützt werden. In diesem Abschnitt erhält die Diskussion einen anderen Schwerpunkt: Der Aufbau eines mentalen Modells impliziert die interne Simulation von Zusammenhängen und Prozessen der Außenwelt (vgl. 3.6). Diese interne Simulation kann dadurch unterstützt werden, daß Stationen der internen Simulation wieder externalisiert werden. Dies geschieht beispielsweise, wenn bei der Lösung eines Problems das Ergebnis des gerade "durchdachten", also simulierten Zwischenschritts auf einem Blatt Papier festgehalten wird. Als Beispiel nennt Steiner (1988; vgl. auch Bruner, 1966b) das Problem, aus einer Liste von Flugverbindungen zwischen Städtepaaren eine Reiseroute zu ermitteln, für die in der Liste keine Direktverbindung genannt ist. Sobald eine bestimmte Anzahl von zu berücksichtigenden Verbindungen überschritten ist, neigen die meisten Personen dazu, entweder die existierenden Verbindungen graphisch darzustellen oder Zwischenstops zu notieren. Steiners (1988) Ansicht nach "... besteht kaum Zweifel daran, daß wir dies spontan deshalb tun, weil es unseren Denkprozeß oder den Prozeß des Wissenserwerbs erleichtert" (S. 116). Beide Maßnahmen dienen nämlich der Gedächtnisentlastung: Zwischenergebnisse der kognitiven Simulation werden externalisiert, damit weiterführende Schritte durchprobiert werden können. Eine Externalisierung kann darüber hinaus aber auch eine bewertende Wirkung haben: durch sie können z. B. logische Widersprüche entdeckt werden oder vernachlässigte Seiteneffekte in Erscheinung treten.

Interaktive Softwaresysteme eignen sich besonders gut als Medium zur Externalisierung mentaler Modelle eines Arbeitsgegenstandes (Weber & Kosslyn, 1986). Denn im Gegensatz zu einem Blatt Papier im obigen Beispiel könnte ein Softwaresystem über Regelwissen verfügen, das die mentale Modellbildung in ihrer Beliebigkeit einschränkt. Werden z. B. bestimmte Externalisierungen nicht zugelassen, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit für die Bildung eines im Sinne des Systems zutreffenden Modells (vgl. Kotovsky, Hayes & Simon, 1985). Dies sei an drei Beispielen demonstriert, die aus vollkommen unterschiedlichen Anwendungsbereichen stammen²⁴:

²⁴ Weitere Beispiele sind die Arbeiten von Kommers (1988) und Reimann (1991). Kommers berichtet über ein System, mit dem eine Graphenstruktur von Begriffen visualisiert werden kann, die als Hilfe zum Verstehen von Texten dient. In Reimanns System können Benutzer optisch-physikalische Experimente simulieren, um sich über die Richtigkeit ihres diesbezüglichen mentalen Modells zu vergewissern.

Beispiel 1: Graphische Programmierung

Das erste Beispiel führt noch einmal in den Bereich der "graphischen Programmierung". Haarslev und Möller (1989) berichten über eine Programmierumgebung, die sich vor allem durch unmittelbare visuelle Rückmeldungen an den Programmierer auszeichnet. Das zu entwickelnde Programm wird durch Pictogramme (für verschiedene Arten von Objekten) und Datenleitungen (Verbindungen zwischen Objekten) graphisch dargestellt. In zusätzlichen Fenstern oder Unterpictogrammen können neben dem Namen und den Parametern das funktionale Verhalten oder die Ein- und Ausgänge eines Objekts sichtbar gemacht werden: Der Zustand eines Objekts ist also an seinem Pictogramm ablesbar. Das System kann z. B. dadurch verändert werden, daß Objekte hinzugefügt oder verändert werden bzw. Datenleitungen gelegt oder entfernt werden. Jede Veränderung führt zu visuellen Rückmeldungen der Art, daß sich Objektzustände und die Strukturdarstellung verändern. Dabei

... muß dem Entwickler die Möglichkeit gegeben werden, seine Berechnungen interaktiv und möglichst in Echtzeit zu steuern. Es werden dabei beispielsweise Parameter, Auflösung oder Darstellung der Verarbeitungsprozesse verändert. Eine sofortige visuelle Rückmeldung ist notwendig, um die resultierenden Auswirkungen zu inspizieren und neue Erkenntnisse oder Anomalien zu entdecken. (Haarslev & Möller, 1989, S. 427)

Das mentale Modell des Programmierers von seinem Arbeitsgegenstand wird widergespiegelt. Der Vorteil gegenüber anderen Formen der Externalisierung besteht darin, daß diese Widerspiegelung "angereichert" ist: Z. B. werden die Auswirkungen struktureller Veränderungen umfassend repräsentiert, sie enthalten also auch solche Konsequenzen, die dem Programmierer als unbeabsichtigte Seiteneffekte entgehen könnten. Ebenso können logische Inkompatibilitäten oder Verstöße gegen Vereinbarungen angezeigt werden und so Unschärfen bei der kognitiven Simulation entdecken helfen.

Beispiel 2: Anfragen in Wissensbanken

Das zweite Beispiel betrifft die Handhabung von Daten- oder Wissensbanken. Kuntz und Melchert (1989) schildern die Konstruktion einer graphischen Benutzungsschnittstelle für ein solches System. Grundlage ist wieder die Unterscheidung von Entitäten (Objekten) und Relationen. Zur Veranschaulichung der Wissensbankstruktur kann ein Beziehungsgraph angezeigt werden, der Entitäten und die zwischen ihnen bestehenden Relationen anzeigt (Wissensbankschema). Attribute können in zusätzlichen Fenstern angezeigt werden, bei großen Graphen kann dieser in mehrere Fenster aufgeteilt werden, so daß Ausschnittsvergleiche möglich werden. Diese Darstellungsform erleichtert die Erkundung der Struktur der Wissensbank. In dieser Hinsicht baut das System also auf dem bereits diskutierten Konzept der "räumlichen Datenorganisation" auf (vgl. 6.2.2). Ein besonderes Merkmal des Systems von Kuntz und Melchert (1989) ist jedoch die Art der Anfrageformulierung: Aus dem Beziehungsgraphen können nämlich Teile direkt in ein Anfragefenster kopiert und dort modifiziert werden. Die Anfrage wird also in einer "zweidimensionalen grafischen Syntax" (Kuntz und Melchert, 1989, S. 331) formuliert, die eine sequentielle, formale Anfragesprache ersetzt:

Wichtigstes Merkmal der Formulierung graphischer Anfragen ist ihre permanente Editierbarkeit. Damit sind die Nachteile der sequentiellen Entstehung textuell formulierter Anfragen überwunden. Jedes Element einer graphischen Anfrage läßt

sich jederzeit auswechseln oder verändern. So kann die gewünschte und korrekte Form einer Anfrage gegebenenfalls auch experimentell gefunden werden. (S. 331) So ist eine schnelle Bewertung des mentalen Modells über die Datenbankstruktur und die intendierte Abfrage möglich.

Beispiel 3: Chemieunterricht

Das dritte Beispiel ist ein Lehrsystem für den Chemieunterricht, über das Strothotte und Böcke (1989) berichten. Das Lehrsystem soll den Prozeß des Problemlösens für Schüler erleichtern. Dazu können die Schüler Anfragen an das System richten: z. B., wie man eine bestimmte Substanz herstellt. Anhand chemischer Formeln rekonstruiert das Programm die Synthese dieses Stoffes und gibt dem Schüler eine Antwort. Interessant ist, daß die Antwort nicht nur aus der Herstellungsformel besteht, sondern zusätzlich aus einem Bild, in dem der zentrale Vorgang abgebildet ist. Zum Beispiel ist ein Gefäß zu sehen, in dem sich eine Säure befindet (die mit ihrem Namen bezeichnet ist) und ein Löffel, mit dem ein bestimmter Stoff in die Säure gegeben wird. Bei komplizierteren Vorgängen sind auch Rohrleitungen, Kühler oder Brenner zu sehen. Besteht der Vorgang aus mehreren Schritten, kann auch eine ganze Bildfolge ausgegeben werden. Diese Methode bietet eine direkte Rückkopplung der einzelnen Problemlöseschritte in einer visuell-räumlichen Darstellung: "Eine bildhafte Darstellung wird beim Problemlösen inkrementell aufgebaut und ergibt schließlich die Darstellung der Lösung" (Strothotte & Böcke, 1989, S. 345). Der Aufbau eines mentalen Modells vom Syntheseprozess wird schrittweise unterstützt, indem die jeweils erreichten Zwischenergebnisse der kognitiven Simulation in anschaulicher Form widergespiegelt und festgehalten werden.

Die Beispiele zeigen, daß eine visuell-räumliche Externalisierung von Entwicklungsphasen mentaler Modelle mehrere Vorteile aufweist. Neben der bereits genannten Gedächtnisentlastung kann eine Konsistenzprüfung der kognitiv simulierten Problemlöseschritte durchgeführt werden. Merkmale des mentalen Modells, die in Widerspruch zur logischen Struktur des Systems treten, können nicht in der erwarteten Weise abgebildet werden. Diese Diskrepanz kann den Benutzer zum erneuten Überdenken und Korrigieren veranlassen. Außerdem kann nicht verfügbares Wissen ergänzt werden, so daß eine korrigierende Wirkung sowohl in bezug auf fehlerhafte Simulationsschritte als auch im Hinblick auf lückenhaftes Wissen über den Gegenstandsbereich zu erwarten ist. Eine Unterstützung der Entwicklung mentaler Modelle ist nicht zuletzt deshalb zu erwarten, weil visuell-räumliche Darstellungen auf dem Bildschirm ebenso Konkretisierungen abstrakter, systeminterner Prozesse sind, wie mentale Modelle Konkretisierungen schematischen Wissens sind (vgl. 3.4.3). Eine direkte empirische Evaluierung der obigen Beispiele wurde bisher jedoch nicht berichtet.

6.4 Zur Darstellung von "Räumen" und Relationen

6.4.1 "Traditionelle" graphische Darstellungsmittel

Zwei Gründe, einem Softwaresystem eine räumliche Metapher oder ein räumliches konzeptuelles Modell zugrunde zu legen, wurden genannt:

- Sind die Arbeitsobjekte nicht in Gänze auf dem Bildschirm darstellbar, muß eine räumliche Konzeption gefunden werden, die es dem Benutzer erlaubt, ein ganzheitliches mentales Modell vom Arbeitsobjekt zu erwerben, obwohl immer nur Teilansichten möglich sind.
- Mentale Modelle sind zumindest teilweise auch dann anschaulicher Art, wenn sie der Lösung abstrakter Probleme dienen. Visuell-räumliche Darstellungen können Systemzusammenhänge verdeutlichen und so die Entwicklung mentaler Modelle unterstützen.

Für die graphische Gestaltung von Bedienungsoberflächen ergaben sich hieraus zwei Herausforderungen:

- In der symbolisch-räumlichen Umgebung eines Softwaresystems benötigt der Benutzer Orientierungshilfen wie in tatsächlichen Räumen.
- Die graphische Gestaltung sollte sich darauf konzentrieren, die funktionalen Zusammenhänge zwischen Systemkomponenten zu verdeutlichen²⁵.

In den vorangegangenen Abschnitten wurden Beispiele dafür genannt, wie diesen Herausforderungen begegnet werden kann. Auch eine Anzahl graphischer Mittel zur Darstellung von Räumen und Relationen wurden in diesem Zusammenhang bereits implizit behandelt:

- Die Verwendung von Fenstern ermöglicht die künstliche Vergrößerung der zur Verfügung stehenden Bildschirmfläche. Voraussetzung ist, daß sich die Fenster überlappen können, ohne verwechselt zu werden. Umrahmungen oder Schattierungen helfen dabei.
- Überlappende Fenster lassen den Eindruck räumlicher Tiefe ebenso entstehen wie "hintereinander" gestaffelte Flächen zur Ablage von Icons. Neben der Verdeckung "hinten" oder "unten" liegender Fenster dienen Schattierungen oder Größenabstufungen als Tiefenreize²⁶.
- Farben helfen, symbolische Räume zu unterscheiden: Zum Beispiel könnte im Online-Handbuch die Hintergrundfarbe anders als im Anwendungsprogramm selbst sein.
- Schattierungen erwecken den Eindruck dreidimensionaler Räume: "Boxen" entstehen auf dem Bildschirm, die Daten aufnehmen können oder die einen in sich abgeschlossenen Informationsaustausch zwischen Programm und Benutzer ermöglichen.
- Die räumliche Gruppierung von Daten oder Objekten erweckt den Eindruck von Zusammengehörigkeit. Die Wirkung von Nähe und Ferne kann durch Linien und Rahmen unterstützt werden.
- Graphen symbolisieren Relationen zwischen Daten, Objekten oder Systemkomponenten.
- Hervorhebungen von Bildschirmanzeigen dienen als Orientierungspunkte: Hervorgehobene Einträge in einer Menühierarchie können beispielsweise die bisher getroffenen Entscheidungen, also einen Teil des bisher zurückgelegten Handlungswegs, abbilden.
- Manipulierbare Symbole wie Pfeile, Druckknöpfe, Schalter o. ä. signalisieren Handlungsmöglichkeiten und haben damit "Wegweiser"-Funktion.

²⁵ Keil-Slawik (1990, S. 178 ff.) weist zurecht darauf hin, daß oft großer Aufwand bei der graphischen Gestaltung von Objekten getrieben wird, um die Beziehungen zwischen Abbildung und abgebildetem Objekt zu optimieren. Von vorrangiger Bedeutung sei jedoch die Optimierung der Abbildung von Relationen zwischen Objekten.

²⁶ Die Raum-Metapher hat auch dazu angeregt, stereographische Darstellungstechniken für Softwaresysteme zu entwickeln, mit denen Bilder "within a real three dimensional video world" produziert werden könnten (Milgram, Drascic & Grodski, 1990, S. 695).

Dies sind nur einige Beispiele für inzwischen schon beinahe "traditionelle" Gestaltungsmittel graphischer Benutzungsoberflächen. Sie werden in diesem Zusammenhang nicht weiter behandelt, da zahlreiche Gestaltungsregeln und umfangreiche Leitfäden zu diesem Thema existieren (vgl. z. B. Benz, Grob & Haubner, 1981; Spinas, Troy & Ulich, 1983; Frieling, Klein, Schliep & Scholz, 1987; Hoffmann, Klose & Martin, 1989). Wahrnehmungspsychologische Grundlagen wurden bereits in der klassischen Ergonomie gründlich rezipiert (z. B. Foley & Moray, 1987). Zur Kreativität anregende Hinweise findet man jedoch auch im Zusammenhang der "Op Art" wie z. B. in Nicholas Wades Buch "The Art and Science of Visual Illusion" (Wade, 1982).

6.4.2 Raum, Bewegung und Kausalität

Raum wird durch die in ihm mögliche Bewegung erfahrbar. Dies gilt sowohl für tatsächliche als auch für symbolische Räume. In dieser Sichtweise können sich entweder Benutzer selbst durch das System "bewegen" oder aber sie können Objekte durch das System bewegen. Beispiel für den ersten Fall ist das "Navigieren" in einem Menüsystem, das Wechseln zwischen verschiedenen Dateiverzeichnissen oder Anwendungen. Beispielhaft für den zweiten Fall ist etwa das Kopieren einer Datei von einem Verzeichnis in ein anderes oder das "Wegwerfen" einer Datei, z. B. das Verschieben ihres Icons in den viel zitierten "Mac-Mülleimer".

Wenn räumliche Relationen dazu dienen, funktionale Zusammenhänge des Systems darzustellen, dann werden die Bedeutungen dieser Relationen an Bewegungen in diesen Räumen erkennbar. Beispielhaft hierfür sind direkt-manipulierbare Bedienungsoberflächen. Häufig sind die Bildschirme in Bereiche verschiedener Funktionalität aufgeteilt. Ein Bereich in dem die Arbeitsobjekte lokalisiert sind, ein Bereich, unter dem sich Menüs befinden, ein anderer, in dem Sinnbilder für Dateien abgelegt werden können und viele andere. Die Unterscheidbarkeit dieser verschiedenen Räume kann durch graphische Maßnahmen unterstützt werden: Abgrenzung durch Linien oder unterschiedliche Farbgebungen. Die unterschiedlichen Bedeutungen werden jedoch erst durch Operationen in den verschiedenen Räumen erkennbar. Während ein Mausklick im Menübereich zur Öffnung eines Menüs führt, positioniert ein Mausklick im Arbeitsfenster den Cursor und im Datei-Ablagebereich würde er vielleicht eine neue Datei aktivieren. Solche Operationen setzen Bewegung voraus: in diesem Falle ganz direkt die Bewegung des Mauszeigers in den entsprechenden Bildschirmbereich, in anderen Fällen das "Springen" in ein anderes Fenster, das Aufrufen von anderen Programmkomponenten etc.. Wieder sind es graphische Hinweise, die Rückmeldungen über diese Bewegung geben: Das Aussehen des Mauszeigers ändert sich, wenn er in einen anderen Funktionsbereich gerät, das neu aktivierte Fenster wird hervorgehoben oder es wechselt seine relative Position gegenüber den anderen geöffneten Fenstern; man "sieht", daß man sich nicht mehr in der Textverarbeitungs-komponente, sondern z. B. in der Datenbank befindet.

In diesem Sinne vermitteln Bewegungen als Abbildungen von Prozessen Informationen über die kausalen Beziehungen in einem System. Besonders trifft dies für das Ursache-Wirkungsverhältnis zwischen Benutzeroperation und Systemreaktion zu: Der Ef-

fekt einer Benutzeroperation kann durch eine anschauliche Abbildung des Verarbeitungsprozesses am Bildschirm rückgemeldet werden. Das Abbild des Verarbeitungsprozesses kann die Simulation einer Bewegung sein. Das Auswählen eines anderen Eingabefeldes mit Hilfe der Tabulatortaste kann beispielsweise am Bildschirm dadurch rückgemeldet werden, daß eine Feldmarkierung von einem Feld in das nächste "springt". Der Eindruck des "Springens" wird auch durch die Einsicht nicht geschmälert, daß es sich nicht um eine "richtige" Bewegung handelt: Tatsächlich wird ja nur die Hervorhebung eines Feldes aus- und die eines anderen eingeschaltet. Die Bedeutung dieser Operation bedarf keiner Erklärung, sie ist der wahrgenommenen Bewegung unmittelbar zu entnehmen. Im Kontext einer Raum-Metapher sind viele Systemzusammenhänge durch Bewegungen prozeßhaft darstellbar.

Während jedoch statische visuell-räumliche Darstellungen in vielen Bedienungsflächen bereits Anwendung finden, werden Bewegungsrepräsentationen selten eingesetzt, obwohl sie sich - wie oben gezeigt - unmittelbar aus der Raum-Metapher ergeben. Häufig wird dagegen die Darstellung von Verarbeitungsprozessen auf deren Start- und Endzustände reduziert (vgl. Norman, Weldon & Shneiderman, 1986). Beim Kopieren einer Datei in ein anderes Verzeichnis beispielsweise ist das Sinnbild der zu kopierenden Datei im Ablagebereich des Quellverzeichnisses zu sehen. Unmittelbar nach dem Kopierbefehl ist es auch im Ablagebereich des Zielverzeichnisses zu sehen. Der dazwischenliegende Vorgang der Kopie-Erstellung und der Ablage dieser Kopie im Zielverzeichnis bleibt verborgen, nur das Ergebnis des Prozesses wird zurückgemeldet. Auch neuerdings verwendete Analoganzeigen (z. B. über den Fortgang eines längeren Kopierprozesses) geben zwar Auskunft darüber, daß ein Prozeß aktiv ist und wie weit er fortgeschritten ist, sagen jedoch nichts über die Art dieses Prozesses aus. Dabei ließe sich z. B. gerade dieser Prozeß hervorragend als echter Prozeß, in diesem Falle als Bewegung eines Icons abbilden: Das Ablösen eines zweiten Icons vom Original und das "Hinüberwandern" der Kopie würde nicht nur den Vorgang an sich signalisieren, sondern ihn direkt abbilden.

Die Sichtbarkeit des Vorgangs würde die Bildung eines adäquaten mentalen Modells erheblich unterstützen: Mentale Modelle sind als kognitive Konstruktionen gekennzeichnet worden, in denen Vorgänge in dynamischer Weise simuliert werden können. Die Bewegungsdarstellung als Abbild des Verarbeitungsprozesses erleichtert diese Simulation, weil sie einzelne Verarbeitungsschritte direkt abbildet. Bei der alleinigen graphischen Abbildung des Start- und Endzustands müssen solche Zwischenschritte erschlossen werden. Dabei geht es nicht um das Erschließen der Bewegung, sondern um das Erschließen des Prozesses, der aufgrund der Bewegung erkennbar wird. Die Bewegung im Raum kann ein Vehikel zur Vermittlung von Systemzusammenhängen sein, die so schrittweise in ein angemessenes mentales Modell integriert werden können.

Prozeßdarstellungen und der Eindruck von Bewegungen können nun auf unterschiedliche Weise erzeugt werden. Im folgenden werden drei Möglichkeiten genannt:

die zeitliche Gliederung von Prozeßdarstellungen, die statische Abbildung von Prozessen und die Animation von Objekten²⁷.

6.4.2.1 Zeitliche Gliederung von Prozeßdarstellungen

Eine sehr einfache, häufig zu beobachtende und gelegentlich unbeabsichtigte Prozeßdarstellung ist der erneute Bildaufbau nach einem Kommando. Besonders bei vernetzten Systemen mit niedrigen Übertragungsfrequenzen kann beispielsweise beobachtet werden, daß nach dem Aufruf einer Datentabelle diese zeilenweise von oben nach unten auf den Bildschirm geschrieben wird. Ein Vorgang, der den Prozeß anschaulich abbildet. In dem berechtigten Bestreben, Antwortzeiten so weit wie möglich zu reduzieren, ist diese "Schreibbewegung" bei modernen Systemen in der Regel nicht mehr erkennbar. In diesem Beispiel scheint der Verlust ohne negative Wirkung zu sein. Im Kontext komplizierterer Darstellungen gewinnt die zeitliche Erstreckung des Vorgangs jedoch wieder an Bedeutung.

Norman, Weldon und Shneiderman (1986) befassen sich mit der Gestaltung von Bedienungsoberflächen, die mehrere Fenster umfassen (vgl. 6.3.1). Sie stellen fest, daß die zeitliche Gliederung des Bildaufbaus in verschiedenen Fenstern erheblich das Erkennen des zugrundeliegenden konzeptuellen Modells beeinflussen kann. Sollen beispielsweise zwei Fenster fortlaufende Ansichten des gleichen Arbeitsgegenstandes anzeigen (linear array layout), ist ein sequentieller Bildaufbau geeigneter als ein simultaner: Fenster 1 zeigt beispielsweise die erste Seite eines Textes, Fenster 2 die zweite Seite. Wird Fenster 1 zuerst gefüllt, entspricht die Sequenzierung der Anzeige der Struktur des Arbeitsgegenstandes. Bei einer simultanen Anzeige (beide Fenster werden gleichzeitig gefüllt) müßte diese erst erschlossen werden.

Werden andererseits verschiedene Fenster dazu benutzt, unterschiedliche Perspektiven auf den gleichen Arbeitsgegenstand zu zeigen (perspective layout), trägt eine zeitliche Gliederung nicht zum Verständnis bei: Zwei Konstruktionszeichnungen, die ein Objekt aus zwei Perspektiven zeigen, könnten demnach auch simultan in Erscheinung treten. Nützlich ist eine zeitliche Gliederung hingegen wieder, wenn multiple Anzeigen ein Ursache-Wirkungsverhältnis implizieren: Dies ist etwa dann der Fall, wenn benutzerinitiierte Veränderungen in einem Fenster Veränderungen in einem anderen zur Folge haben. Wird beispielsweise in einem Fenster eine Liste von Dateiverzeichnissen angezeigt und in einem zweiten Fenster die Dateien des im ersten Fenster aktivierten Verzeichnisses, sollte die Anzeigeänderung im zweiten Fenster einer im ersten mit wahrnehmbarer Verzögerung folgen: "In the case of triggered changes, the cognitive layout of levels can be induced by delaying changes on other screens slightly so that a cause-effect schema is suggested" (Norman, Weldon & Shneiderman, 1986, S. 246).

²⁷ Alle drei Methoden werden bei der Gestaltung von Computerspielen äußerst erfolgreich angewandt. Die "Selbsterklärungsfähigkeit" von Computerspielen ist nicht zuletzt deshalb häufig höher eingeschätzt worden als die "seriöser" Datenverarbeitungsprogramme (vgl. Rauterberg & Paul, 1990; Rivers, 1990).

6.4.2.2 Statische Abbildung von Prozessen

Eine zweite Möglichkeit, Prozesse und Bewegungen abzubilden, besteht darin, statische Abbildung mit Merkmalen zu versehen, die Bewegungsabläufe symbolisieren. Kindborg und Kollerbaur (1987) weisen darauf hin, daß die heute bei der Gestaltung von Bedienungsoberflächen verwendeten graphischen Mittel nicht geeignet seien, dynamische Vorgänge, wie zum Beispiel Prozeßsimulationen, darzustellen: "A central problem in graphical programming is the lack of user-understandable static representations for dynamic models" (S. 631).

Kindborg und Kollerbaur machen darauf aufmerksam, daß andere Disziplinen bewährte Vorbilder für dieses Darstellungsproblem liefern: Fotografen, Zeichner, Designer, Filmregisseure sind damit vertraut, die Illusion von Bewegung zu erzeugen. Besonders eindrucksvolle Beispiele stellen jedoch Comic-Zeichnungen dar, in denen Bewegungen ganz gezielt in statischen Bildern dargestellt werden. Einige Mittel hierzu zeigen die Szenen in Abbildung 11, aus der der Text entfernt werden konnte, ohne daß die Verständlichkeit wesentlich leidet:

- Die Bewegungsbahn wird durch Linien dargestellt.
- Ursache-Wirkungsverhältnisse sind an der Bewegungsrichtung ablesbar.
- Nicht-ballistische Bewegungen (hier: Schwingungen) werden durch die mehrfache Abbildung des bewegten Körpers in den unterschiedlichen Bewegungsphasen dargestellt.
- Sich aus der Bewegung ergebende Entfernungsdifferenzen werden dadurch abgebildet, daß weiter entfernte Objekte weniger detailliert erscheinen.

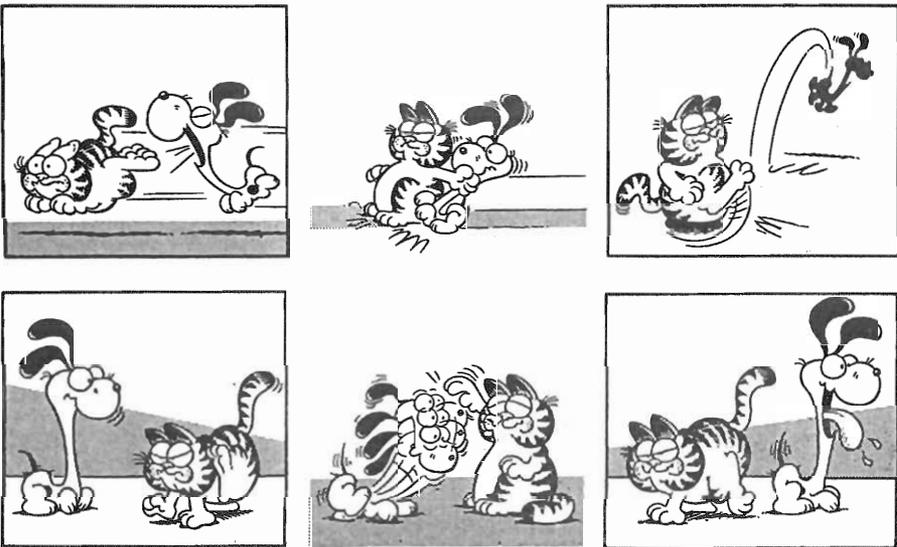


Abbildung 11: Mittel zur Darstellung von Bewegungen in statischen Abbildungen. Nach J. Davis.

Kindborg und Kollerbaur sehen zahlreiche Anwendungen bei der Gestaltung von Bedienungsoberflächen, insbesondere bei der graphischen Programmierung oder bei Systemen, die Prozesse, z. B. zu Explorations- oder Lehrzwecken, simulieren. Wie oben ausgeführt, gibt es jedoch auch in zahlreichen anderen Softwareanwendungen Vorgänge, die leichter verständlich wären, wenn durch ihre Dynamik dem Benutzer kausale Zusammenhänge vermittelt werden könnten.

6.4.2.3 Animation von Objekten

Die dritte Möglichkeit, Systemzusammenhänge durch die Abbildung von Verarbeitungsprozessen transparent zu machen, ist die offensichtlichste: die Animation von Objekten der Bedienungsoberfläche. "Animation" kann bedeuten, die Bewegungen von Objekten zu zeigen (z. B. beim Wechseln von einem symbolischen Raum in einen anderen) oder die Transformation eines Objekts. Beispielsweise könnte sich das Icon einer Datei nach einem Druckbefehl verdoppeln und dann im Druckersymbol verschwinden. Zuerst wird die Transformation dargestellt (Verdoppelung), dann die Bewegung zum Druckersymbol. Eine schon häufiger zu beobachtende Objektanimation besteht darin, daß nach der Aktivierung eines Dateisymbols das Symbol zu "wachsen" beginnt, bis es den gesamten Bildschirm füllt und dann den Inhalt der aufgerufenen Datei zeigt. Umgekehrt, beim "Schließen eines Fensters", verkleinert sich das Fenster stetig, bis es inklusive seines Inhalts in einem Symbol verschwindet.

Bewegungen von Objekten findet man häufig bei direktmanipulierbaren Systemen. Dort sind sie jedoch direkt abhängig von Operationen des Benutzers: Das Vergrößern oder Verkleinern eines Fensters beispielsweise kann direkt mit der Mausbewegung gesteuert werden: Eine Ecke eines Fensters wird mit der Maus "angefaßt" und z. B. nach außen "gezogen" - das Fenster vergrößert sich. Auch hierbei handelt es sich um eine Bewegungsdarstellung, die eine unmißverständliche Rückmeldung über die Wirkung einer Operation gibt. Mit der hier angesprochenen Animation sind hierüber hinaus jedoch Prozesse und Transformationen angesprochen, die in dem Sinne nicht direkt manipulierbar sind, als sie zwar auf Veranlassung des Benutzers in Gang gesetzt werden, ihr Ablauf jedoch systemgesteuert ist: Das Einfügen einer leeren Spalte in einer Kalkulationstabelle kann zwar mit einer Mausbewegung ausgelöst werden, das Versetzen aller Einträge und das Schaffen leerer Felder wird jedoch vom System gesteuert. Eine Prozeßabbildung in Form eines Bewegungsablaufs würde das Ursache-Wirkungsverhältnis unmittelbar veranschaulichen. In direktmanipulierbaren Systemen werden zwar benutzergesteuerte Bewegungen realisiert, systemgesteuerte Bewegungen jedoch, die Einblicke in Verarbeitungsprozesse gewähren könnten, werden weitgehend vernachlässigt. Die von Altmann (1987, S. 109) beschriebene "Direktheit der Information" könnte auf diese Weise intensiviert werden. Oder um es in den Worten von Hutchins, Hollan und Norman (1986, S. 94) auszudrücken: Die "Bewertungskluft" zwischen Systemreaktion und Verstehen der Reaktion durch den Benutzer könnte durch Objektanimationen verringert werden. Von besonderem Nutzen wären Animationen aber natürlich in Systemen mit einem symbolisch-sprachlichen Interaktionsmodus. Anwendungen in der Prozeßsteuerung sind ebenfalls offensichtlich.

Ein psychologischer Forschungsbereich, der vielfältige Anregungen für die bewegte Darstellung von Prozessen bietet, ist der in jüngerer Zeit selten zitierte Bereich der "phänomenalen Kausalität" (vgl. jedoch Heller & Lohr, 1982a). Diese Forschungsarbeiten gehen vor allem auf den Gestaltpsychologen Albert Michotte (z. B. 1954) zurück, der in zahlreichen Experimenten untersuchte, welche Randbedingungen für die Wahrnehmung von Kausalität gegeben sein müssen. Der Grundaufbau seiner Untersuchungen war einfach: Auf einer rotierenden Scheibe wird ein Linienzug aufgetragen, der eine ungleichmäßige Kreisform beschreibt. Wird die rotierende Scheibe nun durch eine Sichtblende verdeckt, die nur einen schmalen Schlitz offenläßt, entsteht der Eindruck eines kleinen, sich in der Erstreckung des Schlitzes bewegenden Quadrats (Abbildung 12). Wird auf der Scheibe eine zweite Linie aufgetragen, sieht der Beobachter zwei Quadrate, die sich je nach Linienführung einander annähern oder sich von

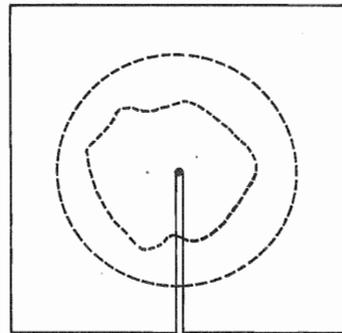
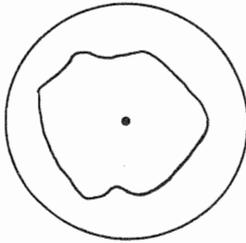
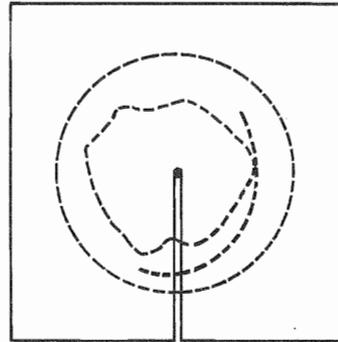


Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Versuchsanordnung zur Erzeugung von Kausalitätseindrücken nach Michotte. Oben links: rotierende Scheibe mit einem ungleichmäßigen Linienzug. Oben rechts: Die Scheibe wird von einer Schablone verdeckt. Die Linie auf der Scheibe ist nur durch einen Schlitz in der Schablone zu sehen. Wird die Scheibe gedreht, entsteht der Eindruck, ein kleines Rechteck bewege sich in der Horizontalen entlang des Schlitzes. Rechts: Wird die Scheibe im Uhrzeigersinn gedreht, entsteht der Eindruck, das untere Rechteck "verfolge" das obere, bis beide nach einem Zusammenstoß voneinander abprallen.



Bei geschickter Linienführung und richtiger Drehgeschwindigkeit kann der Betrachter den Eindruck gewinnen, daß sich die Quadrate "berühren". Darüber hinaus ist es sogar gelungen, den Eindruck zu erzeugen, ein Quadrat "stoße", "schiebe" oder "ziehe" das andere weg. Viele Versuchspersonen berichteten ihr Erlebnis in solchen Worten. Ihre Aussagen implizieren ganz deutlich kausale Zusammenhänge: Sie konnten klar angeben, welches Quadrat die Bewegung des anderen beeinflusst. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer "phänomenalen" Kausalität, da der zugrundeliegende physikalische Vorgang nicht die gleichen kausalen Beziehungen enthält, wie die, die von den Versuchspersonen wahrgenommen wurden: Tatsächlich beeinflussen sich die

Bewegungen der beiden Quadrate nicht, denn genau genommen gibt es ja gar keine sich bewegenden Quadrate, sondern vorher festgelegte Linien²⁸. Wichtig ist an Michottes Argumentation, daß diese kausalen Zusammenhänge nicht etwa kognitiv erschlossen werden, sondern direkt wahrgenommen werden. Dem Eindruck der Kausalität liegt also kein Schlußfolgerungsprozeß und keine kognitive Ursachenzuschreibung zugrunde²⁹. Dies steht im Einklang mit den theoretischen Grundlagen mentaler Modelle: Auch hier wurde angenommen, daß mentale Modelle eine zutreffende Beurteilung der Realität und adäquate Handlungen zulassen, obwohl die im physikalischen Sinne korrekten Zusammenhänge gar nicht repräsentiert sein müssen (vgl. 3.2). Gerade auf die physikalischen Verhältnisse der alltäglichen Umgebung bezogen, schreiben Heller und Lohr (1982b):

Der Mensch wird mit den dynamischen Ereignissen im Alltag - als Akteur und als Beobachter - auch ohne die Kenntnis der dynamischen Gesetze der Physik fertig. Deshalb ist anzunehmen, daß ihm in den Bewegungskonfigurationen dynamische Vorgänge anschaulich unmittelbar gegeben sind. Kurz gesagt, die wirkenden Kräfte werden gesehen. (S. 28)

Die Kausalitätswahrnehmung ist in diesen Fällen also Folge einer außerhalb des Subjekts vorgefundenen kinetischen Struktur. Dies betrifft nicht nur die Wahrnehmung von Stoß- oder Ziehbewegungen: Houssiadas (1964) gelang es beispielsweise, phänomenale Verursachung mit dem Eindruck elastischer Verformungen zu erzeugen. Versuchspersonen berichteten angesichts von Verformungen visueller Objekte, die "Ausübung von Druck" zu sehen. Heller und Lohr (1982b) zählen weiter auf: "Michotte untersuchte ferner die animalische Bewegung, das Ausstoßen, Spureziehen, Wegwischen, Dehnen, Schrumpfen, Komprimieren usw." (S. 29).

Die Anzahl phänomenal verschiedener Erlebnisse, die so erzeugt werden können, läßt sich steigern. Bedenkt man, daß der Erzeugung dieser Kausalerlebnisse keine Verursachung im physikalischen Sinne zugrundeliegt, ist eine technologische Anwendung offensichtlich: Wie gut müssen solche Darstellungstechniken dazu verwendet werden können, um Prozesse zu veranschaulichen, die nicht nur den Eindruck von Kausalität hinterlassen sollen, sondern deren tatsächliche Zusammenhänge kausaler Art sind? Gäbe es irgendeinen Zweifel an der Art des rechnerinternen ablaufenden Prozesses, wenn es gelänge, beim Benutzer eines Datei-Handling-Programms etwa folgenden Eindruck zu erzeugen?

Auf dem Bildschirm ist ein Icon zu sehen, das den Drucker symbolisiert und ein Icon, das für eine Datei steht. Das Datei-Icon setzt sich in Bewegung und beschleunigt in Richtung auf das Druckersymbol. Bei diesem angelangt, "prallt" es mit unverminderter Geschwindigkeit auf das Drucker-Icon. Beim Aufprall verformt es sich, scheint in Richtung seines Startortes abzuprallen und gewinnt in elastischer Weise seine alte Form wieder. Die Rückprallbewegung verzögert sich jedoch, bevor das Datei-Icon an seinem Startort angekommen ist, die Bewegung kehrt sich um, das Icon beschleunigt wieder in Richtung auf das Druckersymbol um erneut abzuprallen. Der Vorgang wiederholt sich.

²⁸ Auf die wahrnehmungspsychologischen Implikationen dieser Sichtweise kann in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen werden (siehe hierzu Stadler, Seeger & Raeithel, 1977 oder Heller & Lohr, 1982b).

²⁹ Für eine methodische Kritik siehe jedoch Joynson (1971).

Zum Kontrast eine andere Variante: Angenommen, das Datei-Icon prallt nur ein einziges Mal ab, seine Rückbewegung verzögert sich und es kommt exakt an seinem Ursprungsort wieder zum Stehen, ohne eine weitere Bewegung auszuführen. Würde der Benutzer die Unterschiedlichkeit beider Prozesse erkennen? Schließlich ein dritter Ausgang der Szene: Das Datei-Icon bewegt sich mit zunehmender Geschwindigkeit auf das Druckersymbol zu. Beim Aufprall verformt sich nicht das Datei-Icon, sondern das Drucker-Icon. Nachdem der "Drucker" seine alte Form wiedergefunden hat, bleibt das Dateisymbol am Drucker "kleben" und verlischt nach einiger Zeit.

Die Beispiele sollten gezeigt haben, wie Animationen dazu benutzt werden können, interne Prozesse des Systems transparenter zu machen, vorausgesetzt, es gelingt, angemessene Kausaleindrücke zu erzeugen. Die Studien zur phänomenalen Kausalität bieten hierzu hervorragende Anregungen. Sie dokumentieren detailliert die Randbedingungen zur Erzeugung phänomenal unterschiedlicher Eindrücke, beispielsweise bezüglich der Fortbewegungsgeschwindigkeit, der Bewegungsbahnen, der Objektgrößen und -distanzen, der Art der Verformungen, der Verzögerungen und Beschleunigungen. Es handelt sich um einen Bereich experimenteller Psychologie, der, bei aller Umstrittenheit seiner theoretischen Bedeutung, technische Anwendungen geradezu herausfordert.

6.5 Zur Orientierung: Visualisierungen und die Veranschaulichung von Systemzusammenhängen

6.5.1 Verstehen fördern

Die Diskussion der vorangegangenen Abschnitte soll verdeutlicht haben, daß Visualisierungen nicht nur der häufig zitierten Unterstützung des Gedächtnisses dienen. Tatsächlich zeigen diesbezügliche experimentelle Befunde, daß Visualisierungen nur unter zahlreichen Randbedingungen gedächtnisentlastend wirken. Darüber hinaus können Visualisierungen jedoch die Transparenz des Systems erhöhen und so das Verstehen von Systemzusammenhängen fördern. Dieser Aspekt ist bei der Systemgestaltung stärker in den Vordergrund zu rücken.

Beispiel:

Das Verstehen von Zusammenhängen ist unabhängig davon, ob Icons (wie auch immer gestaltet) leichter oder schwieriger wiederzuerkennen sind, oder ob ihre Bedeutung unter größeren oder geringeren Schwierigkeiten erinnert werden kann. Dagegen kann die Tatsache, daß die Existenz von Dateien oder Programmen überhaupt visualisiert wird, das Verstehen von Systemzusammenhängen unterstützen. So veranschaulicht beispielsweise das Verschwinden eines Datei-Icons nach einem Löschvorgang den Zusammenhang zwischen einem bestimmten Kommando und dem aktuellen Datenbestand unmittelbar. Die Unmittelbarkeit der Rückmeldung ist hilfreich für das Verständnis, und zwar unabhängig von der Frage, ob die spezifische Gestaltung dieses Icons das Gedächtnis entlastet oder nicht.

Zur Orientierung:

Bei der Konstruktion einer Bedienungsoberfläche sind Visualisierungen nicht nur unter dem Aspekt der Gedächtnisunterstützung einzusetzen. Ihre Funktion, das Verstehen von Systemzusammenhängen zu erleichtern, sollte stärker berücksichtigt werden. Als Kriterium dient die Frage, ob Visualisierungen allein in bezug auf ihre Erinnerbarkeit optimiert werden, oder ob sie darüber hinaus auch etwas über die internen, benutzerrelevanten Zusammenhänge des Systems aussagen.

6.5.2 Visualisierung systeminterner Zusammenhänge

Soll die Förderung des Verstehens von Systemzusammenhängen im Mittelpunkt der Gestaltung von Visualisierungen stehen, sind diese auch in bezug auf Zusammenhangsdarstellungen zu optimieren. Häufig werden Visualisierungen mit dem Ziel optimiert, die auf dem Bildschirm abgebildeten Objekte und Umgebungen denen der nicht-computerisierten Außenwelt anzugleichen. Das mentale Modell vom System bedarf aber nicht nur der Beziehungen zwischen Abgebildetem und Abbildung. Die Nützlichkeit eines mentalen Modells hängt davon ab, wie gut die tatsächlichen Beziehungen zwischen abgebildeten Objekten repräsentiert sind. Dazu müssen diese Beziehungen in den Abbildungen selbst repräsentiert sein.

Beispiel:

Wie hilfreich eine Visualisierung für das Verstehen eines Systems ist, hängt nicht davon ab, wie gut sie z. B. ein Objekt abbildet: Wie deutlich auch immer ein Icon einen Drucker abbildet, die funktionalen Beziehungen sind dadurch nicht leichter erkennbar. Auch eine erstklassige Original-Abbild-Beziehung macht eine graphische Systemoberfläche nur in begrenztem Ausmaß transparenter. Visualisierungen hingegen, die die Beziehungen zwischen Systemkomponenten abbilden, tragen zur Entwicklung eines mentalen Modells bei, das zum Lösen von Problemen geeignet ist: Kann man dem Drucker-Icon beispielsweise ansehen, daß der Drucker gerade nicht angesteuert werden kann, daß eine Reihe von Dokumenten sich in der Warteschlange befinden, oder aus welchen Systemkomponenten heraus der Drucker überhaupt angesprochen werden kann, erhöht dies die Transparenz des Systems beträchtlich.

Zur Orientierung:

Für die Gestaltung von Visualisierungen gibt es unterschiedliche Ziele: Erkennbarkeit, Unterscheidbarkeit oder Erinnerbarkeit tragen zur Gedächtnisentlastung bei. Zur Unterstützung des Verstehens systeminterner Zusammenhänge muß jedoch nicht nur die Frage berücksichtigt werden, wie etwas visualisiert wird, sondern was visualisiert wird. Die Entwicklung eines problemlöseorientierten mentalen Modells bedarf der Information über Relationen innerhalb des Systems und weniger der Relation zwischen Abgebildetem und Abbildung. Verstehensförderliche Visualisierungen sind solche, die systeminterne Zusammenhänge und ihre Veränderungen sichtbar machen.

6.5.3 Geringer Dekodierungsaufwand

Sollen Visualisierungen Systemzusammenhänge abbilden, ist darauf zu achten, daß diese Zusammenhänge möglichst direkt abgebildet werden. Der Aufwand zur Dekodierung einer Visualisierung soll keinen erhöhten Lernaufwand erfordern. Andernfalls könnten verbale Anzeigen aufgrund ihrer potentiell größeren Detailliertheit geeigneter sein, die Entwicklung eines mentalen Modells zu unterstützen.

Beispiel:

Um an das obige Beispiel des Drucker-Icons anzuknüpfen, könnte man verschiedene Strategien zur Kodierung von Zusammenhangsinformationen verfolgen. So könnte etwa eine Farbkodierung in Erwägung gezogen werden (z. B. rot für "nicht betriebsbereit", u. ä. für andere Zustände, die relevant für die Handlungsplanung des Benutzers sind). Die Zuordnung von Farben und Bedeutungen müßte der Benutzer jedoch erst lernen. Ist dagegen ein Datei-Icon einfach nicht in den Druckerbereich verschiebbar (z. B. erlischt das Datei-Icon immer, wenn es in den Druckerbereich verschoben wird und scheint es wieder auf, wenn die Maus aus diesem Bereich herausgeführt wird), handelt es sich um eine Informationskodierung, die weniger Übersetzungsschritte erfordert: Zwar muß der Benutzer noch lernen, was in einem solchen Falle zu tun ist, doch das Problem selbst ist unmittelbar "sichtbar".

Zur Orientierung:

Auch Visualisierungen können so gestaltet werden, daß die Erschließung ihrer Bedeutung erheblichen Lernaufwand erfordert. Bei der visuellen Kodierung von Informationen ist darauf zu achten, daß Bedeutungen möglichst unmittelbar "ablesbar" sind bzw. ihre Dekodierung möglichst wenige Übersetzungsschritte erfordert.

6.5.4 Der Raum als Metapher

Eine Möglichkeit, systeminterne Zusammenhänge zu visualisieren, bietet die Raum-Metapher. Viele Metaphern, die das Verstehen eines Computersystems erleichtern sollen, beziehen ihren Bedeutungsgehalt aus einer bildlichen und räumlichen Darstellung. Die Raum-Metapher nimmt eine Sonderstellung ein, da sie besonders allgemein ist, aber trotzdem leicht verständlich. Räume sind besonders geeignet, Beziehungen zwischen Objekten auszudrücken. Der Mensch ist bezüglich seiner kognitiven Fertigkeiten phylogenetisch hervorragend für die Orientierung in Räumen ausgestattet. Er kann darüber hinaus mentale Modelle konstruieren, in denen räumliche Relationen zur Veranschaulichung abstrakter Relationen dienen. Deshalb kann die Konzeption eines Softwaresystems als ein System von funktional unterschiedlichen Räumen die Bildung mentaler Modelle unterstützen. Die Raum-Metapher bedarf natürlich in besonderem Maße visueller Darstellungsmittel.

Beispiel:

Räumliche Beziehungen wie Nähe, Ferne, Gruppierung u. ä. können funktionale Ähnlichkeiten oder Unterschiede von Bildschirmobjekten symbolisieren: So sollten Kommandos innerhalb eines Pull-down-Menüs, Datei-Icons innerhalb des gleichen Ablagebereichs u. ä. auch durch funktionale Gemeinsamkeiten gekennzeichnet sein.

Unterschiedliche "Räume" eines Softwaresystems können simultan einsehbar sein (z. B. durch mehrere geöffnete Fenster) oder nur sequentiell (z. B. beim Wechseln zwischen verschiedenen Anwendungskomponenten, die nicht in Fenstern simultan dargestellt werden können). Dabei können verschiedene Räume unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten eröffnen: In einem Fenster, das Dateisymbole enthält, sind andere Operationen möglich als in einem Fenster, das den Inhalt einer geöffneten Datei anzeigt. Sogenannte "Modus-Fehler" (Monk, 1986; Sellen, Kurtenbach & Buxton, 1990) werden unwahrscheinlicher, wenn der Benutzer mit dem visuellen Erkennen unterschiedlicher Räume eindeutig unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten verbindet.

Zur Orientierung:

Zur Visualisierung systeminterner Zusammenhänge bietet sich die Raum-Metapher als ein generelles konzeptuelles Modell an, weil einerseits räumliche Beziehungen abstrakte funktionale Beziehungen veranschaulichen können, andererseits weil es zahlreiche graphische Mittel gibt, räumliche Relationen auch auf Bildschirmen darzustellen.

6.5.5 Orientierung geben

Soll ein Softwaresystem auf einer Raum-Metapher beruhen, gelten ähnliche Anforderungen an die Orientierung wie in natürlichen Räumen. Der Benutzer benötigt ein mentales Modell, das Wissen über Orte, Routen und Überblickswissen enthält. Erst mit der Entwicklung aller drei Formen "räumlichen Wissens" entsteht ein mentales Modell, das selbständiges "Finden von Wegen", also Problemlösungen ermöglicht. Alle drei Orientierungsbedürfnisse können durch visuell-räumliche Gestaltungsmittel unterstützt werden.

Beispiel:

Die wichtigste Information zur Orientierung betrifft die Frage, "wo" sich der Benutzer befindet. Hierzu trägt das Wiedererkennen von "Orten" bei. Hierbei helfen hervorsteckende visuelle Merkmale, die eindeutig bestimmten Räumen zugeordnet werden können: deutlich unterscheidbare Hintergrundfarben bei verschiedenen Anwendungskomponenten oder die Sichtbarkeit der unterschiedlichen Handlungsmöglichkeiten sind Beispiele. Die zweite Art benötigter Informationen sind "Wegweiser": Hinweise, welche Handlungsmöglichkeiten am jeweiligen Standort gegeben sind und welche Handlungsziele damit erreichbar sind. Ebenso wie ein "richtiger" Wegweiser sollte er die "Richtung" angeben, also zu erkennen geben, wie andere Zustände erreichbar sind. Re-

alisierungsmöglichkeiten sind Meldefenster oder Menüs aber z. B. auch Übersichtsdarstellungen der Dialogstruktur. Besonders nützlich wären dynamische Darstellungen, aus denen der eigene aktuelle Standort, Standortveränderungen und die möglichen Verbindungen zu anderen Systemzuständen ersichtlich sind.

Zur Orientierung:

Die Verwendung von Raum-Metaphern impliziert eine Bedienungsfläche, die Orientierungshilfen über den aktuellen Standort, mögliche weitere Handlungsmöglichkeiten und gegebenenfalls eine Darstellung des zurückgelegten Wegs anbietet. Weiterhin erfordert dies eine graphische oder gemischt verbal/graphische Darstellung von Orientierungshinweisen.

6.5.6 Visuell-räumliche Widerspiegelung individueller mentaler Modelle

Das mentale Modell ist Grundlage der Regulation von Handlungen, die den Arbeitsgegenstand verändern. Der Zustand des Arbeitsgegenstandes spiegelt also den Zustand des mentalen Modells wider. Diese Widerspiegelung kann Anlaß für Handlungen zur weiteren Veränderung des Arbeitsgegenstandes sein oder aber für Revisionen des mentalen Modells. Beides hängt davon ab, wie leicht der Zustand des Arbeitsgegenstandes auf die Beschaffenheit des mentalen Modells bezogen werden kann. Eine Widerspiegelung in visuell-räumlicher Form ist eine direkte und leicht interpretierbare Rückmeldung.

Beispiel:

Das bekannteste Beispiel dürfte die Textverarbeitung sein: Je umfassender das What-you-see-is-what-you-get-Prinzip realisiert ist, desto leichter werden Diskrepanzen zwischen dem mentalen Modell des Textes und seinem durch das System mit determinierten tatsächlichen Zustand entdeckt und in die erforderlichen Handlungen umgesetzt. Bei komplexeren Arbeitsgegenständen ist dies nicht trivial. Mehrere Beispiele wurden bereits diskutiert: Eines betraf die Formulierung von Datenbankabfragen, die dem Benutzer vor der tatsächlichen Ausführung in Form eines zweidimensionalen Graphen angezeigt wird. Da die Anfrage in diesem Graphen direkt verändert werden kann, ist eine unmittelbare Form der Rückmeldung möglich. Der Benutzer erfährt direkt, wie sich sein mentales Modell der Abfrageinhalte und ihrer logischen Beziehungen in der Datenbankstruktur auswirken wird. Veränderungen der Abfrage basieren auf dem Erkennen dieser Auswirkungen, je nach dem, wie gut das Ergebnis den Erwartungen des Akteurs entspricht. Eine direkte Widerspiegelung des mentalen Modells in Begriffen des Systems ermöglicht eine schnelle Anpassung desselben an die Systemstruktur (hier an die Struktur der gespeicherten Daten). Prinzipiell ist dies auch ohne Visualisierungen möglich. In der Tat geschieht dies z. B. beim Verabreichen von Fehlermeldungen oder Ausführungsbestätigungen. Visualisierungen können jedoch ganzheitliche Rückmeldungen geben, die je nach Art des Problems oder der Arbeitsaufgabe weniger Transformationsaufwand erfordern.

Zur Orientierung:

Anwendungssysteme sollten Möglichkeiten zur Widerspiegelung individueller mentaler Modelle vom System oder vom Arbeitsgegenstand anbieten. In Abhängigkeit vom Arbeitsgegenstand können graphische oder bildliche Rückmeldungen über den Entwicklungsstand des mentalen Modells hilfreich sein.

6.5.7 Kognitive Simulation, Prozeßdarstellungen und Bewegungen

Zum Verstehen äußerer Sachverhalte können Vorgänge in einem mentalen Modell simuliert werden. So werden auch Bearbeitungs- und Transformationsprozesse des Systems (soweit aus Benutzersicht handlungsrelevant) kognitiv "durchgespielt". Dieses interne Simulieren von Systemvorgängen kann erheblich unterstützt werden, wenn diese Vorgänge beim Ablauf im System auch an der Bedienungs Oberfläche als Prozesse dargestellt werden. In einer symbolisch räumlichen Umgebung können Prozesse häufig als Bewegungen dargestellt werden. Bewegungen können kausale Beziehungen beim Ablauf systeminterner Prozesse symbolisieren.

Beispiel:

Das Bewegen von Icons infolge von Benutzereingaben, das Auf- und Abblenden von symbolischen Räumen, Größenveränderungen und viele andere Darstellungsmittel können Prozesse veranschaulichen, die sich der Benutzer andernfalls vorstellen müßte. Denn in der Regel werden ihm nur Anfangs- und Endzustände eines Prozesses visualisiert. Auch in Fällen, in denen keine tatsächlichen Bewegungen dargestellt werden können, gibt es zahlreiche graphische Gestaltungsmittel, die auch in statischen Abbildungen Bewegungen und damit Prozesse abbilden können: Bewegungslinien, Farb- oder Schwarz-Weiß-Schattierungen, mehrfache Abbildung eines Objekts in unterschiedlichen Bewegungsphasen sind Beispiele hierfür.

Zur Orientierung:

Systeminterne Verarbeitungsprozesse sollen zur Erhöhung der Transparenz auch als Prozesse dargestellt werden. In vielen Fällen sind Bewegungen geeignet, kausale Zusammenhänge darzustellen. Diese Zusammenhänge sind die Grundlage kognitiver Simulation in mentalen Modellen. Eine Unterstützung der kognitiven Simulationsfähigkeit erhöht die Wahrscheinlichkeit, daß Benutzer Bedienungs- oder Nutzungsprobleme eigenständig lösen können.

7 Systemexploration zum Aufbau mentaler Modelle

7.1 Der theoretische Ausgangspunkt

7.1.1 Explorierendes Lernen in der Mensch-Computer-Interaktion

The easiest way to teach someone something is, after all, to tell them. However, what we see in the learning to use a word processor situation is that people are so busy trying things out, thinking things through, and trying to relate what they already know (or believe to know) to what is going on that they often do not notice the small voice of structured guidance crying out to them from behind the manual and the system interface. (Carroll & Mack, 1983, S. 263)

Was Carroll und Mack nach ausgiebigem Studium des Lernverhaltens von Computeranfängern in diesem Zitat schildern, betrifft eine grundlegende Unterscheidung von Lernprozessen. Der Begriff des Lernens ist im Alltagssprachlichen Gebrauch eng mit "unterrichten" und "lehren" verbunden. Vor allem in Assoziation zu "Schule" wird Lernen als ein von außen gesteuerter Prozeß der Wissensaneignung betrachtet (Grell & Pallasch, 1978). Mit welchen Inhalten sich Lernende befassen, auf welche Art und Weise und in welcher zeitlichen Abfolge sie dies tun, ist oft ohne ihre Mitwirkung oder bestenfalls durch eine sehr indirekte Teilnahme festgelegt: in Curricula, durch Entscheidungen des Lehrenden, durch Leistungsanforderungen. Briggs (1990) bezeichnet ein solches Lernverhalten als "external gesteuert". Dabei kann die Tatsache, daß ein großer Teil unserer Fähigkeiten und unseres Wissens auf internal gesteuertem, also vom Lernenden selbst gelenktem Lernen beruht (Neber, 1978), aus dem Blickfeld geraten. So erwirbt z. B. ein Kind grundlegende Einsichten in die Objektstruktur dieser Welt nicht durch Unterrichtung, sondern durch den tätigen Umgang mit den Objekten in seiner Umgebung (Gibson, 1988). Auch in der Arbeitswelt haben Methoden selbstgesteuerten Lernens an Bedeutung gewonnen (Greif & Kurtz, 1989; Zimmermann & Schunk, 1989). Streng genommen, gibt es natürlich gar kein "external gesteuertes" Lernen, weil Lernen letztendlich immer ein innerer, individueller Akt ist. Die Frage ist jedoch, in welchem Ausmaß diesem inneren Akt externe Bedingungen vorgeordnet werden, die Einfluß auf den Lernverlauf nehmen sollen. Solche "externalen Bedingungen" waren Thema der Kapitel 5 und 6: Die Verwendung von Metaphern und der Einsatz visuell-räumlicher Gestaltungsmittel sind Versuche, Einfluß auf den Lernprozeß zu nehmen. Es sind instruktionspsychologische Konsequenzen aus Theorien über die Entwicklung mentaler Modelle. Doch "Instruieren" im weitesten Sinne ist nur ein Aspekt der gesamten Lernsituation. Das Lernen "durch Erfahrung", also das Lernen durch eigenständiges Handeln am System wurde in den vorangegangenen Kapiteln kaum berührt. Dies ist Gegenstand des vorliegenden 7. Kapitels.

Die Beobachtungen Carrolls und Macks³⁰ sprechen sehr dafür, daß sich Computerbenutzer stark in diesem selbstgesteuerten Lernprozeß engagieren, wenn ihnen die Freiheit dafür geboten wird: Ihre Versuchspersonen erhielten zwar Anregungen aus den Handbüchern, die sie benutzen durften, aber sie hielten sich kaum an die dort gegebenen Übungsanweisungen (vgl. auch Carroll & Mack, 1984). Viel lieber gingen sie ihren ei-

³⁰ Besonders anschaulich sind die Verbalprotokolle von Versuchspersonen, die während ihrer Erkundungen am System "laut gedacht" haben (Carroll & Mack, 1984).

genen Interessen nach, probierten Kommandos und Funktionen aus. Sie waren bemüht, Zusammenhänge zwischen ihrem Wissen und dem, was das System ihnen mitteilte, herzustellen. Die Autoren legen Wert darauf, daß dieses Verhalten nicht als pure Ungeduld ihrer Versuchspersonen fehlinterpretiert werden dürfe. Es sei eher eine Nicht-Passung zwischen den in den Handbüchern vorgegebenen und den von den Lernenden präferierten Lernzielen gewesen, die zur eigenständigen Exploration des Systems führte.

7.1.2 Mentale Modelle und explorierendes Handeln

Explorierendes Handeln und mentale Modelle stehen in einer sich gegenseitig bedingenden Beziehung. Als ein bestimmendes Merkmal mentaler Modelle ist die kognitive Simulationsfähigkeit beschrieben worden (vgl. 3.6). Probleme können in einem bestimmten Zustand des mentalen Modells abgebildet werden und mögliche Problemlösungen an diesem inneren Modell durchgespielt werden. Dabei müssen weder die Schlußfolgerungsprozesse formallogischen Kriterien entsprechen (vgl. 3.5), noch muß die Struktur des mentalen Modells exakt mit der Struktur des abgebildeten Originals übereinstimmen (vgl. 3.2). Somit ist nicht sicher, daß eine durch kognitive Simulation gefundene Problemlösung in der Realität, also im Originalsystem, zum vorhergesehenen Ergebnis führen würde. Dies kann häufig nur durch einen Test im Originalsystem herausgefunden werden, also durch die tatsächliche Handlungsausführung (vgl. 3.8). So kann das auf der Grundlage des mentalen Modells vorhergesagte Systemverhalten mit den tatsächlichen Handlungsergebnissen in Beziehung gesetzt werden. Die Entwicklung kognitiver Simulationsfähigkeit erfordert also den Realitätstest. Dieses Testen der Simulationsgüte in der Realität ist explorierendes Handeln - ein Wechselspiel von Hypothesengenerierung im mentalen Modell und Hypothesenprüfung am Original, also am zu erlernenden EDV-System. Die Entwicklung eines realitätsangemessenen und effektiven mentalen Modells erfordert also die Möglichkeit zum explorierenden Handeln am System selbst. Andererseits erfordert die Planung und Durchführung von Handlungen die Existenz eines wenigstens bruchstückhaften mentalen Modells vom System (vgl. 3.8). Deshalb bedingen sich die Entwicklung eines adäquaten mentalen Modells und explorierendes Handeln gegenseitig.

In diesem Zusammenhang hat das mentale Modell eine weitere Funktion, nämlich die der Auswahl von Lernzielen. Explorierendes Lernen ist durch ein hohes Maß an Selbststeuerung durch den Lernenden gekennzeichnet, nicht durch die äußere Vorgabe von Lerninhalten oder Aneignungsmethoden. Damit lernwirksame Explorationsziele gewählt werden können, muß der Lernende Informationen über den eigenen Kenntnisstand, über die Sicherheit eigenen Wissens und eigener Fähigkeiten haben. Das Wissen über eigenes Wissen (Weinert & Kluwe, 1984; Forrest-Pressley, McKinnon & Waller, 1985; Glaser & Bassok, 1989, S. 641) resultiert aus dem Vergleich der Vorhersagen aus dem mentalen Modell und der Bewährung dieser Vorhersagen beim Test im System. Das bedeutet, daß eine effektive Selbststeuerung des explorierenden Handelns ohne mentales Modell und die subjektive Beurteilung desselben nicht möglich wäre (vgl. Briggs, 1990). Explorierendes Handeln erfordert also ein - wenn auch anfänglich unzureichendes - mentales Modell vom zu erlernenden System.

Das Zusammenwirken von mentalem Modell und explorierendem Handeln am System bestimmt den Lernprozeß: Auf der Grundlage eines zu Beginn sehr unvollständigen mentalen Modells entwickeln die Lernenden Hypothesen über mögliche Systemzusammenhänge (Shrager & Klahr, 1983; vgl. auch Spada, Reimann & Häusler, 1983; Reimann, 1991). Die hierzu erforderlichen Schlußfolgerungsprozesse werden jedoch nicht immer systematisch und formallogisch korrekt sein, da sie auf einer unsicheren Informationsbasis operieren (vgl. 3.5). Die Richtigkeit einer Hypothese muß am System getestet werden (Robert, 1987). Die beobachteten Handlungsergebnisse werden mit den erwarteten verglichen. Als Folge kann die ursprüngliche Hypothese bestätigt oder verworfen werden, das mentale Modell erweitert oder modifiziert werden. Das Erkennen allgemeiner Prinzipien der Bedienung und grundlegender Systemzusammenhänge erfolgt also erst im Verlaufe des Lernprozesses, basierend auf der Interpretation selbst herbeigeführter Handlungsergebnisse (Shrager & Klahr, 1983). Explorierendes Lernen kann deshalb auch als "induktives Lernen aus einer selbstgenerierten Sequenz von Beispielen beschrieben werden" (Kühn & Schmalhofer, 1987, S. 388). In diesem Sinne ist explorierendes Handeln keineswegs ziellos (Robert, 1987; Greif, 1989), aber die jeweiligen Handlungsziele bzw. ihre Abfolge sind individuell sehr unterschiedlich und hängen von den jeweils selbst wahrgenommenen Inkompatibilitäten im mentalen Modell ab, von Erkenntnisinteressen und Strategien des einzelnen (Kluwe, Misiak, Ringelband und Haider, 1986). Der Weg hin zur Integration neuen Wissens ist also individuell unterschiedlich und somit schwer vorhersehbar, denn die Lernenden können auch gerade bemerkten Handlungsmöglichkeiten spontan nachgehen oder in nicht vorhergesehene Situationen geraten, die neue Anregungen bieten, aber auch überraschende Anforderungen stellen. In diesem Sinne ist Explorieren durchaus in begrifflicher Nähe zum "Spiel" zu sehen: Wie das Spiel ist Explorieren ein Mittel der Wissens- oder Fähigkeitsaneignung, jedoch selbstbezogener und prozeßorientierter als Arbeit (Leontjew, 1973)³¹.

Die wechselseitige Beziehung zwischen mentalem Modell und Exploration ist der theoretische Ausgangspunkt für empirische Untersuchungen, die im folgenden zu schildern sind. Dabei wird zunächst in Abschnitt 7.2 die Frage im Mittelpunkt stehen, wie wirksam explorierendes Lernen für Benutzer von interaktiven Anwendungssystemen überhaupt ist und worauf diese Wirkung beruht. Ackermann und Greutmann (1990) vermuten beispielsweise, daß ein nicht von außen gesteuertes Lernen Freiraum läßt, genau den Zweifeln nachzugehen, die sich aus dem mentalen Modell vom System ergeben. Dies sollte zu einem größeren Lernerfolg führen als die externe Vorgabe von Lernzielen, die nicht unbedingt auf den Entwicklungsstand des individuellen mentalen Modells abgestimmt sein muß. Wenn explorierendes Lernen zur Entwicklung eines adäquaten mentalen Modells beiträgt, ist als nächstes die Frage zu beantworten, durch welche Gestaltungsmerkmale des Systems aktives Explorieren unterstützt und angeregt werden kann (vgl. 7.3).

³¹ Das interessante Verhältnis von Explorieren, Spiel, Arbeit und instruktionsbasiertem Lernen (z. B. Rautenberg & Paul, 1990) kann hier nicht näher ausgeführt werden, obwohl in Abschnitt 7.3.2 noch einmal auf das Thema "Spiel" zurückgegriffen wird.

7.2 Zur Wirksamkeit explorierenden Lernens in der Mensch-Computer-Interaktion

7.2.1 Einige Trainingsstudien

Die von Carroll und Mack (1983, 1984) mitgeteilten Beobachtungen, Versuchspersonen würden beim Erlernen eines Texteditors lieber ihren eigenen Lerninteressen nachgehen als den strukturierten Anweisungen in ihren Handbüchern zu folgen, waren Fallstudien. Im folgenden sind jedoch eine Reihe von kontrollierten Gruppenuntersuchungen durchgeführt worden, die systematische Hinweise auf die Validität dieser Beobachtungen lieferten.

Ein solcher Hinweis findet sich auch in einer Untersuchung des Autors (Dutke, 1988). In dieser Untersuchung lernten 12 weibliche Büroangestellte mit mehrjähriger Berufserfahrung die Bedienung eines Textkommunikationsgeräts. Die Untersuchung erstreckte sich insgesamt über 10 Sitzungen von je ca. 2 Stunden. In den ersten neun Sitzungen erhielten die Versuchspersonen jeweils eine Aufgabe, deren Lösung ihnen bis dahin unbekannt war. Sie sollten mit Hilfe des Handbuchs und durch selbständiges Üben herausfinden, wie man das vorgegebene Problem löst. Dazu hatte jede Versuchsperson beliebig viel Zeit. Geling es ihr trotz wiederholter Versuche nicht, eine Lösung zu finden, gab der Versuchsleiter Hinweise darauf, wo im Handbuch die relevanten Informationen stehen und gegebenenfalls, wie sie anzuwenden seien. In der zweiten bis neunten Sitzung erhielten die Teilnehmer zusätzlich eine "bekannte" Aufgabe: Diese war vom gleichen Typ wie die im jeweils vorangegangenen Termin, jedoch in einen anderen Kontext eingebettet. In der zehnten Sitzung mußte eine dritte Version aller vorher aufgetretenen Aufgabentypen bearbeitet werden. Jeder der neun Aufgabentypen mußte im Gesamtverlauf also dreimal bearbeitet werden. So war es möglich, den Lernfortschritt sowohl über verschiedene Aufgabentypen als auch über die wiederholte Bearbeitung vergleichbarer Aufgaben zu beobachten. In jeder Sitzung wurden zusätzlich Fragen zu bereits behandelten Funktionen und Kommandos gestellt.

Die Ergebnisse zeigen einen interessanten Unterschied zwischen dem verbalen Wissen über die Bedienung des Systems und den tatsächlichen Handlungsverläufen bei der Bearbeitung der Aufgaben: Während sich das verbale Wissen über die Bedeutung von Kommandos und die Abfolge von Bedienungsschritten zur Erreichung von Zielen kontinuierlich verbessert, treten jeweils bei der dritten Bearbeitung des gleichen Aufgabentyps vermehrt Fehler auf. Beispielsweise werden viele zur Aufgabenlösung unnötige Handlungsschritte ausgeführt oder umständlichere Lösungswege beschritten als bei vorherigen Lösungsversuchen. Auch häufen sich Wiederholungen bereits begangener Fehler innerhalb der gleichen Aufgabe. Dies alles würde eigentlich auf eine Leistungseinbuße hindeuten, die allerdings nicht recht erklärlich wäre. Denn das Wissen über die Funktionszusammenhänge hat sich konsolidiert und die Belastung der Versuchspersonen eher verringert. Tatsächlich werden die Aufgaben am Ende so gut wie vorher oder sogar besser gelöst: Bei allen Fehlern und Umständlichkeiten haben die Benutzerinnen nämlich auch gelernt, sich selbst helfen zu können, wenn sie in unbekannte Systemzustände oder Fehlersituationen geraten. Das Verhalten bei der jeweils letzten Bearbeitung eines Aufgabentyps ist zwar oberflächlich betrachtet umständlicher und fehlerhafter geworden, dennoch zeugt es von erhöhter Kompetenz. Es liegt die Interpretation nahe,

daß diese Versuchspersonen mit zunehmender Erfahrung immer mehr danach drängten, die Grenzen ihres Wissens und ihrer Fähigkeiten zu testen. Dabei wurden Eigenschaften des Systems erkundet, über die aus dem mentalen Modell nur vage Vorhersagen abgeleitet werden konnten. So haben sie die "Testphase" dieser Untersuchung allmählich zu einer Verlängerung der Explorationsphase umgewandelt.

In der beschriebenen Untersuchung von Dutke (1988) lernten alle Versuchspersonen unter den gleichen Bedingungen. Einen Vergleich unterschiedlicher Trainingsmethoden ermöglicht dagegen die Untersuchung von Frese und Mitarbeitern (1988). Sie ließen insgesamt 15 Versuchspersonen unter drei verschiedenen Bedingungen die Bedienung eines Textverarbeitungssystems erlernen:

- Die erste Gruppe (als "passiv/sequentiell" bezeichnet) erhielt schriftliche Materialien, in denen die Bedienung Schritt für Schritt auf Tastendruckebene geschildert wurde und die Lernenden aufgefordert waren, diesen Anweisungen zu folgen. Es gab keine Erklärung übergeordneter Funktionsprinzipien, ein Abweichen von der vorgegebenen Sequenz war nicht möglich, die Wahrscheinlichkeit eines Bedienungsfehlers war gering.
- Die zweite Gruppe wird ebenfalls als "passiv" bezeichnet, da ihre Teilnehmer keinen Einfluß auf die Art und Abfolge der Lerninhalte hatten. Jedoch erhielt diese Gruppe nicht nur "Schritt-für-Schritt-Anweisungen", sondern auch Erklärungen und Merkhilfen, sowie ein hierarchisch gegliedertes Diagramm, das die Beziehungen zwischen den gelernten Kommandos darstellte.
- Die dritte Gruppe erhielt überhaupt kein schriftliches Material, sondern lediglich die Aufgabe, einen Text nach bestimmten Vorgaben zu korrigieren. Die Teilnehmer sollten zunächst Hypothesen darüber entwickeln, mit welchen Kommandos, welche Wirkungen im Text erzielt werden könnten. Mit Hilfe des Versuchsleiters sollten sie dann versuchen, diese Hypothesen zu prüfen und Lösungswege direkt am Computer auszuprobieren.

Zu Beginn der zweiten und dritten Sitzung (von insgesamt drei Terminen) sollten die Versuchspersonen die bisher gelernten Kommandos frei reproduzieren. Dabei ergaben sich keine Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen. Eine andere Aufgabe bestand darin, einen Text abzuschreiben und dabei auftretende Fehler so schnell wie möglich zu korrigieren. Hier benötigte die "Hypothesen-Gruppe" (Gruppe 3) durchschnittlich die geringste Korrekturzeit, auch wenn der Unterschied zur ersten Gruppe deutlicher als zur zweiten war. Als eine weitere Leistung wurde von den Teilnehmern verlangt, Korrekturen in einem vorgegebenen Text ohne Zeitdruck durchzuführen. Bei schwierigen Problemen benötigte die dritte Gruppe weniger Tastendrucke zur Lösung als die erste. Die Unterschiede zur zweiten Gruppe waren wiederum nicht statistisch zu sichern, bei leichten und mittelschweren Problemen ergaben sich keine Gruppenunterschiede. Bei einer leichten Transferaufgabe - die Lernenden sollten ein bisher unbekanntes Kommando für eine bestimmte Funktion herausfinden - war die dritte Gruppe wieder der ersten überlegen.

Obwohl die Ergebnisse nicht alle drei Gruppen eindeutig differenzieren, zeigen sie eine klare Unterlegenheit der rein sequentiell und passiv Lernenden. Eine Abgrenzung der zweiten Gruppe von den übrigen beiden ist dagegen häufig nicht möglich. Die Autoren schließen daraus, daß die Möglichkeit zum aktiven Explorieren, die nur in der Hypothesen-Gruppe gegeben war, den Ausschlag gab:

While we cannot say much about the hierarchical information group, the results suggest that the sequential training programme with its emphasis on rote learning of commands is inferior to the programme used for the hypotheses group. This speaks for a training programme that demands an active development of an integrated mental model. (Frese et al., 1988, S. 302)

Eine weitere Untersuchung, in der explorierendes Lernen einem instruktionsbasierten Training gegenübergestellt wurde, legten Greif und Janikowski (1987) vor. Sie bildeten zwei Gruppen mit je sechs Personen, die alle keine Computerefahrung hatten. Beide Gruppen wurden vier mal vier Stunden lang in der Benutzung des Textverarbeitungsprogramms "Wordstar" (Version 3.4) trainiert. Dazu erhielt die "Explorationsgruppe" ein Arbeitsheft mit Aufgaben und Erklärungen der Menüs, sowie ein "Orientierungsplakat", das als Gedächtnishilfe dienen sollte. Im Mittelpunkt stand bei dieser Gruppe das aktive und selbstgesteuerte Handeln. Das Trainerverhalten sollte dieses selbständige Explorieren fördern: keine langen Lehrervorträge, kein "In-die-Tastatur-Greifen". Bedienungsfehler wurden vom Trainer begrüßt und deren Wert für das weitere Lernen herausgestellt. Die Kontrollgruppe dagegen lernte mit Hilfe eines gängigen On-line-Tutorials: Die Reihenfolge der Lernschritte war festgelegt. Es konnte nicht vom vorgegebenen Lernstoff abgewichen werden. Fehler waren nicht zugelassen, nicht vorgesehene Eingaben der Benutzer wurden nicht angenommen und mit einem akustischen Signal quittiert. Die einzelnen Lektionen konnten jedoch beliebig oft durchgeführt werden.

Am Ende der Trainingszeit wurden Fragen zum Wissen der Lernenden gestellt und Testaufgaben bearbeitet. Einfache (multiple-choice) Wissensfragen wurden in beiden Gruppen gleich gut beantwortet. Erforderten die Fragen jedoch eine freie Antwort, zeigten die Teilnehmer der Explorationsgruppe die bessere Leistung. Das gleiche trifft für die Bearbeitung der Testaufgaben zu. Insgesamt sprechen die Ergebnisse also für eine hohe Wirksamkeit explorierenden Vorgehens, auch wenn Greif und Janikowski (1987) zu Recht warnend vermerken:

Worauf die nachgewiesenen Unterschiede im einzelnen aber zurückgeführt werden können, läßt sich bei der einfachen zugrundeliegenden Versuchsanordnung und bei den vielen nichtkontrollierten Unterschieden zwischen den beiden Gruppen allerdings experimentell nicht klären. Die Ergebnisse unserer Evaluationsstudie sollten deshalb nicht als Nachweis der 'Überlegenheit' unseres Trainingskonzepts überbewertet werden. (S. 99)

Ähnliche kritische Anmerkungen äußern auch Frese und Mitarbeiter (1988, S. 302) bezüglich ihrer eigenen Untersuchung. In der Tat sind Trainingsstudien, die der betrieblichen Praxis hinreichend ähnlich sein sollen, methodisch nur sehr schwer zu kontrollieren. Die Unterschiede zwischen verschiedenen Trainingsgruppen sind häufig so vielfältig, daß Leistungsvor- oder Leistungs Nachteile nur schwer auf einzelne Faktoren zurückgeführt werden können. Zum Beispiel erfahren wohl in den beiden oben berichteten Vergleichsuntersuchungen die explorierenden Versuchspersonen mehr Zuwendung durch den Trainer, obwohl dieser nicht direkt eingreift. Die Einbeziehung solcher vielfältigen Einflüsse muß keinesfalls den Wert dieser Studien für praktische Entscheidungen der Trainingsgestaltung schmälern. Zur Beantwortung der hier aufgeworfenen

Frage des Zusammenhangs zwischen aktivem, explorierendem Lernen und Entwicklung eines wirksamen mentalen Modells sind sie jedoch nur bedingt nützlich. Zwar zeigen sie trotz aller methodischen Probleme Vorteile explorierendes Vorgehens, doch können komplexe und realitätsnahe Trainingstudien wie diese keine Anhaltspunkte über die Ursachen dieser Vorteile geben. Im folgenden wird einer Hypothese hierzu genauer nachgegangen.

7.2.2 Eine Ursache erhöhten Lernerfolgs beim explorierenden Lernen: Verbesserte Nutzung von Analogien?

In den bisher berichteten Studien wurde der Lernerfolg jeweils direkt am Ende des Trainings bewertet. Dabei ist zwischen Aufgaben zu unterscheiden, die die unmittelbare Anwendung von Trainings- und Ausbildungsinhalten erfordern und Aufgaben, die die Übertragung dieser Inhalte in andere Bereiche erfordern (Cormier & Hagman, 1987). Die wichtigste Transferanforderung besteht darin, das im Training erworbene Wissen auch in der praktischen Arbeit außerhalb von Aus- und Weiterbildungszeiten erfolgreich anwenden zu können (Dutke & Schönplum, 1987; Papstein & Frese, 1988). Bezüglich der Transferierbarkeit von Wissen und Fähigkeiten, die durch explorierendes Lernen erworben wurden, liegen keine Untersuchungen im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion vor³².

Der Transfer von Wissen zwischen verschiedenen Aufgabenbereichen wurde jedoch auch in der Mensch-Computer-Interaktion untersucht. So wurde z. B. auch in der Untersuchung von Frese et al. (1988) am Ende eine Aufgabe gestellt, deren Lösungsweg im Training nicht vorkam. Für die Beurteilung der Nützlichkeit von Trainingsformen ist die Frage des Wissenstransfers von großer Bedeutung: Häufig sind die konkreten Arbeitsaufgaben der Lernenden im Training nicht vorhersehbar. Sie müssen daher die Fähigkeit erwerben, dieses Wissen selbständig auf neue Situationen anwenden zu können. Auch erhöht sich so die Flexibilität bei der Veränderung von Arbeitsaufgaben. Systematisches Explorieren sollte bessere Voraussetzungen hierfür schaffen, wenn eine aktive Entwicklung eines mentalen Modells hierdurch gefördert wird (Gick & Holyoak, 1987; Brooks & Dansereau, 1987). Ausführlich haben sich dieser Frage Kamouri, Kamouri und Smith (1986) gewidmet. Sie gingen davon aus, daß explorierendes Lernen das Entdecken und Benutzen von Analogien begünstigt. Die Analogiehaftigkeit war als ein zentrales Merkmal mentaler Modelle (vgl. 3.3) herausgearbeitet worden. Ein solcherart elaboriertes mentales Modell erleichtert also Transferleistungen. Würden hingegen beispielsweise nur "rezeptartige" Handlungsketten gelernt, ohne daß das mentale Modell ein hinreichendes Maß an Systemzusammenhängen abbildet, wären Transferleistungen unwahrscheinlicher.

In ihrer Untersuchung ließen Kamouri, Kamouri und Smith (1986) fünfzig Studenten die Bedienung von drei einfachen elektronischen Geräten erlernen: eine programmierbare Weckuhr, ein elektronisches Scheckbuch und ein digitales Radio. Da alle

³² Empirische Bewertungen des sogenannten "Entdeckungslehrens" sprechen jedoch für eine Erleichterung von Transferleistungen, insbesondere bei schwierigeren Transferanforderungen (für eine Zusammenfassung vgl. Hermann, 1973).

drei Geräte von vergleichbarer Komplexität sein sollten, wurden ihre Funktionen nach dieser Maßgabe auf einem Rechner simuliert. Die Bedienungsoberflächen waren bei allen drei Geräten identisch. Sie wurden durch Sequenzen von Knopfdrücken bedient, wobei die Anzahl der verschiedenen Systemzustände und die zu ihrer Erreichung erforderlichen Eingaben bei allen Geräten vergleichbar waren. So konnte z. B. die "Weckzeit" der Uhr mit einer syntaktisch gleichen Eingabesequenz verändert werden wie die "Sendereinstellung" beim Radio. Alle Versuchspersonen lernten die Bedienung dieser drei Geräte, bis sie sie fehlerfrei beherrschten. Eine Hälfte der Versuchspersonen tat dies mit Hilfe schriftlicher Anweisungen, in denen die Eingabesequenzen mit Beispielen beschrieben waren. Diese "Instruktionsgruppe" durfte von den Anweisungen nicht abweichen, aber die Beispiele beliebig oft durchspielen. Die "Explorationsgruppe" dagegen erhielt gar keine Anweisungen, sondern sollte die Eingabesequenzen für die verschiedenen Zustände selbst herausfinden.

Zwei Tage später wurden die Versuchspersonen mit einer weiteren Gerätesimulation konfrontiert. Diesmal handelte es sich um ein elektronisches Notizbuch, das eine ganz andere Bedienungsoberfläche hatte. Bei jeweils der Hälfte der Explorations- bzw. Instruktionsgruppe war dieses neue Gerät analog zur Bedienung der Trainingsgeräte gestaltet, bei der anderen Hälfte funktionierte das neue Gerät nach eigenen, ganz anderen Prinzipien. Die Frage war nun, ob die explorativ Lernenden diese Analogie entdecken und nutzen können. Zunächst also zur Explorationsgruppe: Die Versuchspersonen, die das analoge Gerät erhielten, hatten die Lösung viel schneller gefunden als diejenigen, die das disanaloge Gerät bedienen sollten. Einen solchen Unterschied gab es innerhalb der Instruktionsgruppe jedoch nicht: Auch wenn das Testgerät analog zu den Trainingsgeräten konstruiert war, profitierten diese Versuchspersonen nicht von der Analogie. Die Analogie erleichterte den Transfer nur bei den Personen, die durch Exploration gelernt hatten. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit einem anderen Befund: Alle Teilnehmer wurden nämlich gefragt, für wie ähnlich sie das Testgerät im Vergleich zu den Trainingsgeräten fanden. Die explorierenden Personen mit dem analogen Testgerät sahen die größte Ähnlichkeit, die drei anderen Gruppen unterschieden sich nicht. Das erhärtet die Interpretation, daß der Lernvorteil durch die Ausnutzung der Analogie entstanden ist. Eine mögliche Alternativinterpretation, daß sich diese Personen einfach nur besser an das Training erinnerten, scheidet jedenfalls aus: In einem Gedächtnistest erreichten alle vier Gruppen vergleichbare Ergebnisse. Das explorierende Vorgehen führte offenbar zu mentalen Modellen dieser Systeme, die eine wirksamere Nutzung der Analogie ermöglichten.

7.2.3 Bedienungsfehler beim Explorieren

Fehlerhaftes Handeln ist in vielfacher Hinsicht problematisch: Im alltäglichen Bewußtsein überwiegt es als Störendes, Lästiges, eben als humane Unvollkommenheit zu Ertragendes. Bestreben und Aufmerksamkeit gelten der Vermeidung. Die Negation eines eigenständigen Wertes des Fehlers ist daher umfassend: In Sprichwörtern wie 'aus Fehlern lernt man' wird die Negation durch vermeintliches Annehmen der Unausweichlichkeit noch betont. Es liegt keine selbstbewußte Bejahung, sondern eine versteckte Resignation darin. (Wehner & Reuter, 1986, S. 51)

Diese Charakterisierung trifft auch auf Fehler bei der Arbeit mit Computern zu. Vielleicht sogar in besonderem Maße, bedenkt man, welcher Aufwand in technische Präzision und Zuverlässigkeit investiert wird und mit welchem Unterton "menschliches Versagen" im Umgang mit technischen Systemen konstatiert wird. "Fehler" sind in diesem Zusammenhang mit einer Schuldzuweisung verbunden (Wehner & Reuter, 1986). Dabei wird kaum beachtet, daß Bedienungsfehler technischer Systeme zunächst nur Regelverstöße darstellen, Verstöße gegen artifizielle, von Menschen mehr oder weniger willkürlich konstruierte Regeln. So gesehen, kann die "Schuld" an einem Fehler auf beiden Seiten, des menschlichen Benutzers und des technischen Regelsystems, liegen. Rasmussen (1987) spricht von einer "Nicht-Passung" beider Systemkomponenten und lenkt so die Aufmerksamkeit auf Strategien, die diese gegenseitige Passung verbessern und die nicht auf die einseitige Anpassung der menschlichen Komponente begrenzt sind. Fehler, in diesem Sinne verstanden, sind ein wichtiger Bestandteil explorierenden Lernens am Computer. Sie haben mehrere Funktionen (Frese & Zapf, 1991):

Zum einen sind Fehler und Irrtümer Ereignisse, die dem Lernenden die Grenzen seines Wissens aufzeigen. Sie geben zu erkennen, in welchen Fällen das mentale Modell zu unzutreffenden Vorhersagen Anlaß gibt und worin die Abweichung besteht. Das Nicht-mehr-Auftreten eines Fehlers dagegen ist ein Hinweis auf einen Lernfortschritt. In diesem Sinne haben Fehler eine diagnostische Funktion für den Lernenden: Sie geben Auskunft über seine eigene Kompetenz und deren Veränderung. Bezüglich der oben berichteten Trainingsstudien könnte dies sicherlich einer der leistungsfördernden Faktoren gewesen sein (Greif, 1989), denn die der Exploration gegenübergestellten instruktionsbasierten Trainingsformen waren auf die Verhinderung von Fehlern und damit auf die Unterbindung dieser Art der Rückmeldung ausgerichtet.

Zum zweiten haben Bedienungsfehler jedoch auch eine diagnostische Funktion bezüglich der Systemgestaltung. Das Auftreten von Fehlern ist nicht zufällig. Es spiegelt auch Eigenschaften des Systems wider, die für Situationen der Nicht-Passung verantwortlich sind (z. B. Frese & Peters, 1988). Es handelt sich dabei um Eigenschaften, denen das mentale Modell nur unter Schwierigkeiten angepaßt werden kann. Solche Eigenschaften zu erkennen, ist Zweck von Evaluationsstudien bestehender Systeme oder von Prototypen. Diese Eigenschaften sind einer systematischen Fehleranalyse jedoch nur dann zugänglich, wenn die Lernenden Freiräume in der Gestaltung ihres Lernprozesses haben. Bestimmte Fehler können nicht auftreten, solange unter gezielten Instruktionen gearbeitet wird. Dies kann sich jedoch schlagartig ändern, wenn die Trainierten in die berufliche Praxis zurückkehren und nun ihre Handlungen selbst planen und lenken müssen.

Natürlich gibt es zahlreiche Anwendungsbereiche, in denen unter realistischen Bedingungen keine Fehler (auch nicht in Trainingssituationen) auftreten dürfen. In vielen Ausbildungssituationen ist jedoch der durch Fehlerexploration entstehende Schaden zu vernachlässigen. Dies gilt z. B. bei Anwendungssoftware, für die Echtzeitsituationen simuliert werden können (z. B. die Simulationen eines Fertigungsprozesses). Besonders einfach lassen sich solche Trainingssituationen auch dann herstellen, wenn Anwendungsprogramme mit wertlosen Übungsdaten betrieben werden (vgl. Paul, 1991). Aus Sicht der betrieblichen Praxis werden explorierende Trainingsformen aber auch deshalb

oft skeptisch betrachtet, weil die auftretenden Fehlersituationen soviel Zeit in Anspruch nehmen. Häufig wird es als effizienter erachtet, dem Lernenden lieber gleich "das Richtige" mitzuteilen, als viel Zeit darauf zu verwenden, es selbst herausfinden zu lassen. In diesem Zusammenhang ist jedoch daran zu erinnern, daß in den berichteten Trainingsstudien die Lernzeiten konstant gehalten wurden (vgl. auch Greif, 1989). Die Hypothese des höheren Zeitbedarfs wird durch sie also noch nicht erhärtet³³. Außerdem ist das Argument von Kamouri et al. (1986) zu bedenken, daß tatsächlich längere Lernzeiten möglicherweise durch einen erleichterten Wissenstransfer nach dem Training zumindest wieder ausgeglichen werden könnten.

Bezüglich des Transfers vom Training auf die Arbeitssituation sind Bedienungsfehler unter einem vierten Aspekt zu betrachten: Problematisch sind während der Arbeit nicht die Bedienungsfehler selbst, sondern ihre Folgen: Verlust von Arbeitsergebnissen, Zeitaufwand zur Korrektur, Störung organisatorischer Abläufe, Beeinträchtigung von Freiheitsgraden in der Arbeitsgestaltung. Von entscheidender Bedeutung ist somit die Kenntnis von Methoden und Heuristiken zur Behandlung von Fehlern. Um die Ratlosigkeit nach dem Auftreten von Fehlern zu verringern, erscheinen explorierende Trainingsformen besser geeignet, da sie eine ungezwungene Konfrontation der Lernenden mit solchen Situationen bereits im Training mit sich bringen (vgl. auch Frese und Brodbeck, 1989, S. 81 ff.). In einem Lernexperiment stellte Dutke (1990) beispielsweise fest, daß intensiver explorierende Personen Planungsfehler bei der Bearbeitung von Textverarbeitungsproblemen häufiger korrigierten als weniger intensiv explorierende Benutzer. Das so entstandene mentale Modell vom System begünstigte offenbar die Ableitung von Korrekturstrategien.

Im Zusammenhang mit der Fehlerbewältigung sind jedoch nicht nur Fragen des Wissens von Bedeutung, sondern auch emotionale Aspekte: Fehlersituationen während der Arbeit sind auch potentielle Quellen von Belastung und Streß. Greif (1986) setzte ein exploratives Trainingsverfahren dazu ein, die Teilnehmer gegen Streß durch Bedienungsfehler zu "immunisieren". Die Lernenden erwarben in der geschützten und "ungefährlichen" Trainingssituation nicht nur Kenntnisse, sondern auch das Vertrauen, daß diese Kenntnisse ihnen helfen werden, die Folgen von Bedienungsfehlern zu beherrschen. Es wird angenommen, daß Personen mit diesen Erfahrungen, sich auch unter Leistungsdruck weniger leicht aus der Ruhe bringen lassen und Fehlersituationen als weniger belastend empfinden.

7.2.4 Vorwissen und Zielgerichtetheit

Trotz der Vorteile explorierendes Lernens birgt eine solche Methode auch Schwächen und Gefahren. Schon Scandura und Mitarbeiter (1976) haben bei ihren Untersuchungen mit Grundschulern darauf hingewiesen, daß Verwirrungen und Fehlinterpretationen auftreten können, wenn ein komplexeres System (hier nur ein Taschenrechner) ohne Instruktionen gelernt werden soll. "Innocent in the extreme", so beschreiben Carroll und Mack (1983, S. 263) den ungeübten Benutzer in einer explorativen Situa-

³³ Kühn und Schmalhofer (1987) berichten allerdings, daß explorierend lernende LISP-Anfänger mehr Lernzeit benötigten als Personen, die mit Hilfe vorgegebener Beispiele lernten.

tion. Darum neigen die Lernenden dazu, viele Oberflächenmerkmale, die dem Benutzer Informationen vermitteln sollen, nicht wahrzunehmen. Andererseits wird Ereignissen eine Bedeutung zugemessen, die vom Entwickler gar nicht beabsichtigt war (vgl. Briggs, 1990). Der Lernfortschritt hängt u. a. von der zutreffenden Interpretation der Handlungsergebnisse ab. Die hieran beteiligten Schlußfolgerungsprozesse sind aber nicht unbedingt an formallogischen Gütekriterien zu messen (vgl. 3.5). Häufig basieren die Folgerungen auf Einzelbeobachtungen und unvollständigen Wirkungsketten (Carroll & Mack, 1983).

Briggs (1988, 1990) berichtet aufgrund ihrer Beobachtungen in Computerkursen, daß es Neulingen in den frühen Phasen des Lernens an einem anfänglichen mentalen Modell mangelt (vgl. auch Brehmer, 1987). Dies verhindere eine wirksame Informationssuche (vgl. Miyake & Norman, 1979): Briggs' Versuchspersonen konnten beispielsweise keine Fragen stellen, die einen tatsächlichen Informationswert für die Lernenden gehabt hätten. Das Informationssuchverhalten sei von oberflächlichen Merkmalen des Systems gesteuert gewesen, nicht von einer Einsicht in die Struktur des eigenen mentalen Modells. Dies sei zu Beginn des Lernprozesses gar nicht existent, wenn nicht Lernhilfen in Form von Metaphern, konzeptuellen Modellen, Handlungsbeispielen o. ä. gegeben werden.

Explorierendes Verhalten erfordert also offenbar ein Mindestmaß an Vorwissen. Dies bestätigen auch die Untersuchungen von Schindler (1987) und Schindler und Schuster (1990). Sie bedienten sich ebenfalls der "Fragenmethode" und stellten fest, daß die sich in den gestellten Fragen widerspiegelnde Zielsetzung häufig nicht sinnvoll war. Die Wahl eines geeigneten Explorationsziels erfordert ein zumindest bruchstückhaftes mentales Modell vom zu erlernenden System³⁴. In der bereits oben erwähnten Untersuchung von Dutke (1987a, 1988) wurde dieses Problem so behandelt, daß den Versuchspersonen zu Beginn einer Sitzung eine sehr unscharf formulierte Aufgabe gegeben wurde, die als "Leitfaden" für die folgende Explorationsphase dienen sollte. So wurde den Teilnehmern z. B. gesagt, daß man mit dem Gerät Texte als TELEX versenden könne, sie mögen bitte etwas über diese Funktion herausfinden. Auf diese Weise wurde der Suchraum eingeschränkt und ein wenigstens vages Explorationsziel vorgegeben. Diese Explorationsvorschläge waren in den einzelnen Sitzungen so gewählt worden, daß sie aufeinander aufbauten. So wird einerseits vermieden, daß die Teilnehmer Ziele wählen, deren Verfolgung in der gegebenen Lernphase wenig hilfreich wäre. Andererseits wird den Lernenden größtmögliche Freiheit bei der Definition des individuellen Explorationsziels und der Wege zur Erreichung desselben gelassen.

Neben der Abhängigkeit vom Vorwissen scheint eine weitere Relativierung der Wirksamkeit explorierenden Lernens erforderlich zu sein: die Art der abhängigen Variablen. Verschiedene Formen des Lernens wirken sich nicht unbedingt in gleicher Weise

³⁴ Anzumerken ist jedoch, daß in den Studien von Briggs und Schindler die Versuchspersonen gar nicht explorierend tätig werden durften, sondern sich laut denkend und Fragen stellend den Lernzielen annäherten. Sie hatten somit zwar großen Einfluß auf die Wahl der Lerninhalte, jedoch war dies nicht mit einer unmittelbaren Handlungserfahrung verbunden. Statt dessen sahen sich die Versuchspersonen der zusätzlichen Aufgabe gegenüber, ihre Hypothesen sprachlich darstellen zu müssen. Deshalb ist die Methode des Fragenstellens nicht unmittelbar vergleichbar mit einer aktiven Explorationstätigkeit.

auf unterschiedliche Komponenten der Leistung aus. Beispielsweise war in den Untersuchungen von Frese et al. (1988) sowie von Greif und Janikowski (1987) aufgefallen, daß explorierendes Lernen vor allem bei schwierigeren Aufgaben Vorteile bot. Ein weiteres interessantes Beispiel hierfür stellt die Untersuchung von Kühn und Schmalhofer (1987) dar: Insgesamt 80 Personen lernten die Struktur von zwei verschiedenen LISP-Funktionen. Eine Hälfte waren Neulinge ohne jede Computererfahrung, die andere Hälfte der Stichprobe hatte geringe Computererfahrung. Jeweils die Hälfte der Neulinge und der Computerbenutzer lernte durch eigenständige Exploration, die andere Hälfte durch vorgegebene Beispiele. Zur Überprüfung des Lernerfolgs sollten die Teilnehmer drei Arten von Aufgaben lösen:

- Bei den Programmieraufgaben sollten Eingaben entworfen werden, die ein vorgegebenes Ergebnis erzielen.
- Bei den Evaluationsaufgaben wurden Eingaben vorgegeben und die Lernenden sollten vorhersagen, wie diese Eingaben durch den LISP-Interpreter bewertet würden.
- Außerdem wurden Aussagen über Eigenschaften des LISP-Systems vorgegeben, die bezüglich ihrer Korrektheit beurteilt werden sollten.

Die Ergebnisse unterscheiden sich sowohl in den verschiedenen Leistungsvariablen als auch bezüglich der Vorkenntnisse: Bei den Programmieraufgaben erzielten die explorierenden Computerbenutzer mit Erfahrung mehr richtige Lösungen als die instruierten, erfahrenen Benutzer. Bei Neulingen kehrt sich das Bild um: Sie bearbeiteten die Programmieraufgaben mit größerem Erfolg, wenn sie durch Beispiele instruiert wurden. Bei den übrigen Aufgaben (Evaluation von Eingaben und Aussagenverifikation) verändert sich das Bild noch einmal: Zwar war wieder die Instruktion für die Neulinge besser geeignet, doch auch bei den erfahrenen Computerbenutzern sind nun diejenigen, die durch Instruktion lernten, bevorteilt. Eine Überlegenheit explorierenden Lernens zeigte sich also lediglich bei den Benutzern, die schon über Erfahrung verfügten und dies auch nur bei der Bearbeitung der Programmieraufgaben³⁵. Diese Personen profitierten also davon, daß sie beim eigenständigen Generieren von Beispielen übten, Eingaben zu konzipieren. Die Stabilisierung dieses spezifischen Wissens kam ihnen bei den Programmieraufgaben zugute. Zur Bewältigung der anderen Aufgaben stellte dies jedoch keinen Vorteil dar. Die Neulinge dagegen profitierten offenbar mangels Vorwissen von dieser spezifischen Erfahrung gar nicht (vgl. Duff & Barnard, 1990).

7.3 Zur Förderung explorierenden Lernens: Gestaltung von Systemen und Lernumgebungen

7.3.1 Kognitive Bedingungen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden Vor- und Nachteile explorierenden Lernens sowie Randbedingungen für eine effektive Entwicklung eines mentalen Mo-

³⁵ Hierzu muß angemerkt werden, daß diese Studie einen strengen Test der Wirksamkeit explorierenden Lernens darstellt: Die Hälfte der Beispielsequenzen in der Instruktionsbedingung war nämlich nach einem hierfür entwickelten theoretischen Modell (Schmalhofer, 1986) so optimiert worden, daß die Aufeinanderfolge positiver und negativer Beispiele eine optimale Abfolge von Generalisierungs- und Differenzierungsprozessen ermöglicht. In der Praxis ist eine solche Optimierung nur selten anzutreffen.

dells dargestellt. Daraus ergeben sich Konsequenzen für die Gestaltung von Systemen und Lernumgebungen (z. B. Carroll & Mack, 1984; Robert, 1987). Nicht jedes Programm eignet sich dazu, selbständig exploriert zu werden: Es muß dem Lernenden hinreichend viel Freiheit bei der Umsetzung individueller Explorationsziele lassen und doch die Gefahr des totalen Orientierungsverlusts mindern. Es muß so informativ sein, daß die Ergebnisse zu erkundender Handlungen auch im Sinne der tatsächlichen Systemzusammenhänge interpretiert werden können. Andererseits darf der Lernende nicht mit Informationen überhäuft werden, so daß die Anforderungen bei der Selektion relevanter Informationen den Wissenshorizont nicht übersteigen.

Eine Möglichkeit der in diesem Zusammenhang erforderlichen Unterstützung des Benutzers war bereits Gegenstand des vorangegangenen Kapitels: Metaphern und konzeptuelle Modelle fördern anfängliche Vorstellungen über die Funktionen des zu erlernenden Systems. Ein solches anfängliches mentales Modell ist die Grundvoraussetzung für die weitergehende aktive Exploration (Kamouri et al., 1986; Greif, 1989; Paul, 1991). In den nun folgenden Abschnitten werden jedoch einige darüber hinausgehende Ansätze zur explorationsförderlichen Systemgestaltung dargestellt. Das Ziel dieser Gestaltungsmaßnahmen besteht darin, Lernbedingungen zu schaffen, die zu einer raschen, aktiven Elaboration des mentalen Modells vom System führen.

7.3.1.1 Das "Stützräder-Prinzip": Vermeidung des Orientierungsverlusts

Eines der schwersten Hindernisse explorierenden Handelns ist der drohende Verlust von Orientierung und Kontrolle. Damit sind Situationen gemeint, in denen der Benutzer keine begründeten Hypothesen mehr darüber generieren kann, wie ein gegebener unbekannter Systemzustand zugunsten eines bekannten wieder verlassen werden kann. Dies ist der Aspekt des Orientierungsverlusts. Hinzu kann die Meinung treten, daß das System auf Eingriffe anders reagiert als aufgrund vorheriger Erfahrungen erwartet wird. Damit kann der Eindruck entstehen, das System würde unsystematisch und unkontrollierbar arbeiten. Die subjektive Wahrnehmung von Orientierungs- und Kontrollverlust verhindert eine wirksame Exploration des Systems (z. B. Frese, 1987a). Eine Systemgestaltung, die exploratives Lernen unterstützen will, muß beides zu mindern versuchen.

Zur Erreichung dieses Ziels sind prinzipiell zwei Ansätze möglich: Zum einen kann versucht werden, die Bedienungsoberfläche so zu gestalten, daß kein Orientierungsverlust eintreten kann, obwohl dem Lernenden die volle Funktionalität des Systems zur Verfügung gestellt wird. Dies ist etwa der Ansatz der direkten Manipulierbarkeit, in dem Objekte, Funktionen oder Modi durch graphische Darstellung an der Oberfläche sichtbar gemacht werden und durch direkte Manipulation mit einem Zeigegerät jederzeit erreichbar sein sollen. Unter welchen Bedingungen dies realistisch und nützlich ist, wurde u. a. in Kapitel 6 untersucht. Der zweite Ansatz besteht darin, den Handlungsspielraum der Lernenden dadurch einzuschränken, daß Systemzustände, die vor dem Hintergrund des jeweiligen Erfahrungsstandes zu einem Orientierungsverlust führen könnten, versperrt sind. Dies ist nicht gleichbedeutend mit einer Design-Philosophie, die dem Benutzer prinzipiell jede Möglichkeit eines Bedienungsfehlers nehmen will und dazu die Dialogstruktur radikal restringiert. Das Ziel besteht vielmehr darin,

ganze Funktionsbereiche, die ein Grundwissen erfordern, über das die Lernenden noch nicht verfügen, zu sperren und erst schrittweise der Exploration zugänglich zu machen³⁶.

Ein solcher Ansatz geht auf Carroll und Carrithers (1984; auch Carroli, 1985) zurück. In ihrem Artikel von 1984 "Training wheels in a user interface" erläutern sie ihre Beweggründe: Grundsätzlich sei es günstiger, sich zunächst mit den einfachen Funktionen eines Systems vertraut zu machen. "Einfach" kann in diesem Zusammenhang unterschiedliche Bedeutungen haben: Es können Funktionen gemeint sein, die Vorgängen in der nicht-computerisierten Welt ähneln, Funktionen, die syntaktisch einfach sind, aber auch Funktionen, deren Ausführbarkeit an keine oder nur wenige Vorbedingungen geknüpft sind. Das Beherrschen einfacher Funktionen erleichtert das Erlernen komplexer Funktionen, vorausgesetzt, das System ist hinreichend konsistent (vgl. Barnard et al., 1981). Beim explorierenden Lernen sei aber äußerst ungewiß, ob diese "Reihenfolge" von den Lernenden eingehalten wird: Sie haben ja noch keine Vorstellung davon, was "schwierig" und was "leicht" zu erlernen ist. Carroll und Mitarbeiter schließen daraus, man müsse komplexere Funktionsbereiche in frühen Lernphasen sperren.

Ein zweiter Aspekt neben diesem positiven Transfer durch Staffelung der Schwierigkeitsgrade ist bereits erläutert worden: die Vermeidung von Fehlersituationen, aus denen sich Explorierende ohne Hilfe häufig nicht mehr befreien können. Das bedeutet nicht, daß man damit bestimmte Fehler prinzipiell vermeidet, sondern nur, daß sie in frühen Lernphasen eintreten können. Das unterscheidet den "Stützräder-Ansatz" von vielen Lernprogrammen und On-line-Tutorials, die die Übungsmöglichkeiten so gestalten, daß überhaupt keine Bedienungsfehler möglich sind.

Von entscheidender Bedeutung ist jedoch, daß sich die Lernenden bewußt sind, daß sie mit einer reduzierten Programmversion arbeiten. Carroll (1985) schlägt daher vor, alle gesperrten Funktionsbereiche auch als solche kenntlich zu machen. Würde ein naiver Benutzer nämlich in der reduzierten Version lernen, in der Annahme, es handle sich um das später zu verwendende Original, wäre die Verwirrung bei der tatsächlichen Konfrontation mit dem vollständigen System groß. Ähnliches wäre zu erwarten, wenn der Lernende zwar wüßte, daß er mit einer reduzierten Version lernt, aber nicht weiß, welchen Inhalts die nicht zugänglichen Funktionsbereiche sind. Nach Carrolls Konzeption sollen die Benutzer also beispielsweise Menüpunkte sehen, die nicht zugänglich sind, damit sie eine Vorstellung davon erwerben, was sie zur Zeit noch nicht ausprobieren können, ihnen aber prinzipiell zur Verfügung steht.

Gewisse Ähnlichkeit mit diesem Ansatz hat das Konzept des "individuellen Systems" (Greif, 1989). Anwendungssysteme (hier besonders Bürosoftware) sollten nach Greif entsprechend dem Lernfortschritt der Benutzer "genetisch mitwachsen" (S. 210). Dabei ist an eine Stufenarchitektur gedacht, in der Menüs und Kommandos an den Wissensstand der Lernenden angepaßt werden können. Explorierendes Lernen wird dadurch gefördert, daß das Anforderungsniveau durch die Komplexität des Systems weder zu hoch noch zu niedrig im Verhältnis zur Kompetenz des Benutzers ist. So ergeben sich,

³⁶ Systeme, in denen spezielle Zugangsberechtigungen für bestimmte Funktionsbereiche vergeben werden können, bieten diese Möglichkeit, auch wenn sie häufig nicht zu Explorationszwecken gedacht sind.

jeweils dem Entwicklungsstand des mentalen Modells entsprechend, optimale Explorationsmöglichkeiten. Zu beachten ist, daß die "Stufen" des Systems nicht unterschiedliche "Hilfestufen" bei gleicher Funktionalität darstellen, sondern ähnlich wie beim Training-Wheels-Ansatz als eine Anpassung der Funktionalität zu verstehen sind. Diese Anpassung ist jedoch keine, die außerhalb der Entscheidung des Lernenden liegt, wie bei adaptiven Systemen (Benyon, 1985, Karger & Oppermann, 1991). Im Sinne der Selbstverantwortung für den Lernprozeß obliegt die Entscheidung, auf welcher Stufe mit dem System gelernt und gearbeitet wird, dem Benutzer.

7.3.1.2 "Ausflüge" und der "Konjunktiv-Modus": Gefahrloses Ausprobieren

Eine weitere Befürchtung im Zusammenhang explorierenden Lernens besteht darin, der Benutzer könne "Schaden anrichten". Es wurde bereits erläutert, daß diesem Problem während des Trainings durch die Verwendung wertloser Übungsdaten oder Simulationen begegnet werden kann. Ein beträchtlicher Teil des Lernens findet jedoch nicht im Training, sondern während der Arbeitstätigkeit statt (Dutke & Schönflug, 1987). Auch hierbei sollten die Benutzer die Möglichkeit haben, das System weiter explorieren zu können. Dies käme einer Ausnutzung der Funktionalität zugute, also auch einer effizienten Arbeitsplanung. Doch gerade unter Leistungsanforderungen während der Arbeit neigen viele Benutzer dazu, "sichere", also wohlbekannte Strategien anzuwenden, um bisherige Arbeitsergebnisse nicht zu gefährden und die fristgerechte Aufgabenerfüllung nicht aufs Spiel zu setzen (Dutke & Schönflug, 1987).

Um auch in Leistungssituationen explorierendes Vorgehen unterstützen zu können, schlagen Darlington, Dzida und Herda (1983) eine Dialogform vor, die sie "excursion tours" nennen. Sie soll "Ausflüge" durch das System erlauben, die dem Benutzer Erfahrungen über das Systemverhalten vermitteln, andererseits aber keine tatsächlichen Änderungen am Datenbestand vornehmen. Nach Darlington et al. (1983) ist ein Dialogzustand durch drei Teilkomponenten bestimmt:

- Der Datenzustand bezeichnet die Werte von Datenobjekten wie Texte, Zahlen, Graphiken etc..
- Der Kommandozustand bezeichnet die Menge der in diesem Dialogzustand ausführbaren Kommandos.
- Der Anzeigezustand bezeichnet den Bildschirminhalt eines gegebenen Dialogzustands.

Nach Darlington et al. (1983) beeinflussen Kommandos normalerweise wenigstens den Datenzustand, wahrscheinlich auch den Anzeigezustand und u. U. den Kommandozustand. Exkursionskommandos sind nun dadurch gekennzeichnet, daß sie ausschließlich den Kommandozustand und bzw. oder den Anzeigezustand verändern, aber auf keinen Fall den Datenzustand. So können Kommandos und Handlungswege ausprobiert werden, ohne daß tatsächliche Veränderungen am Arbeitsobjekt eintreten. Erst wenn sich der Benutzer sicher ist, das angestrebte Ziel auch erreichen zu können, wird der vorher explorierte Handlungsweg mit Hilfe von "Direct-way"-Kommandos, also mit einer Veränderung des Datenzustands, durchgeführt.

Diese Idee wurde von Paul (1991, 1992) aufgegriffen und in ein experimentelles Anwendungssystem praktisch umgesetzt. Paul konstruierte ein Adressenverwaltungsprogramm, das mehrere "Explorationswerkzeuge" bereithält. Eines davon ist der Neutral-Modus, "... der als 'Konjunktivbetrieb' zu verstehen ist. Bei diesem So-Tun-Als-Ob ist keine Veränderung der Objekte der Applikation möglich, was somit einem permanenten UNDO entspricht" (S. 144). Dies ist allerdings nicht das einzige Merkmal des Systems, das explorierendes Handeln unterstützt. Ein weiteres besteht in der graphischen Darstellung der Dialoggeschichte. In einem gesonderten Fenster kann der zurückgelegte Handlungsweg mit allen "Zwischenstationen" graphisch veranschaulicht werden. Dies erhöht die Orientierung und gibt vor allem Auskunft darüber, wie man in einen bestimmten Zustand gelangt ist (vgl. auch den "History Tracer" bei Dzida, Freitag, Hoffmann & Valder, 1989 oder das "Task-Action-Trace"-Werkzeug von Howes & Payne, 1990). Explorativ Lernende berichten nämlich häufig, daß die Suche nach einer bestimmten Lösung u. U. soviel Aufmerksamkeit absorbiert, daß sie nach gelungener Lösung häufig nicht mehr nachvollziehen können, auf welchem Wege sie dorthin gelangt sind. Die nachträgliche Betrachtung des zurückgelegten Handlungsweges erlaubt eine integrierende Reflexion der Einzelschritte³⁷. Dies kommt der Bildung eines mentalen Modells zugute, das auch komplexere Handlungszusammenhänge repräsentiert.

7.3.1.3 Undo und Systemmeldungen: Rückkehrmöglichkeiten

Fast unvermeidbar ist beim Explorieren das Auftreten von "Sackgassen". Dabei kann es sich um Sackgassen im Sinne der Systemkonstruktion handeln (vgl. Darlington, Dzida & Herda, 1983, S. 102 f.) oder um aufgabenbezogene Sackgassen. In diesem Falle stellt das System zwar weitere Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung, doch keine der bekannten Möglichkeiten bringt den Benutzer seinem selbstgewählten Aufgaben- oder Explorationsziel näher. Im Gegensatz zu den erstgenannten Sackgassen sind letztere nicht durch konstruktive Maßnahmen vermeidbar. In solchen Fällen hilft es dem Explorierer, in einen Dialogzustand zurückkehren zu können, der ihm erstens vertraut ist und der zweitens eine geeignete Ausgangsbasis für weitere Erkundungen darstellt (Robert, 1987). Für die Rückkehr gibt es aus Benutzersicht zwei Möglichkeiten: Die Stornierung vorheriger Handlungsschritte oder die Kompensierung der Folgen vorheriger Handlungsschritte.

Mit Stornierung ist das "Ungeschehen-Machen" von Handlungen gemeint. Sogenannte Undo-Funktionen beispielsweise stellen den Dialogzustand her, der herrschte, bevor die stornierte Handlung ausgeführt wurde. Theoretisch gibt es eine Anzahl unterschiedlicher Konzeptionen für Undo-Funktionen (Yang, 1988, 1990), die sich vor allem in ihrer Reichweite und in der Art rückgängig zu machender Dialogschritte unterscheiden (Dutke & Schönplflug, 1988). In den meisten existierenden Standard-Anwendungssystemen herrschen jedoch einfache Undo-Funktionen vor, die in der Regel die letzte Kommando-Ausführung stornieren. Mit einer solchen Funktion kann man also nur zwischen dem letzten und vorletzten Dialogzustand hin- und herschalten, denn das jeweils

³⁷ Auch Thomas Herrmann (1987) argumentiert ausführlich für den Nutzen der Konfrontation der Benutzer mit Dialogsequenzen, die Sie selbst durchlaufen haben (vgl. auch die Methode der Videokonfrontation: Moll, 1987).

letzte Kommando ist der Undo-Befehl selbst. Wird er rückgängig gemacht, wird damit seine stornierende Wirkung aufgehoben und der Zustand nach dem vorletzten Handlungsschritt (also vor dem ersten Undo) ist wieder erreicht. Deshalb ist es mit einer solchen Undo-Funktion nicht möglich, mehrere Handlungsschritte aufzuheben, man kann also nicht weiter als einen Handlungsschritt "rückwärts" gehen.

Anders ist dies bei einem weiteren Explorationswerkzeug in Pauls (1991, 1992) experimentellem Datenbanksystem: Hier haben Benutzer nicht nur die Möglichkeit, schrittweise beliebig weit in der Handlungskette zurückzugehen, sondern es gibt darüber hinaus auch noch eine Abkürzungsmöglichkeit. Will der Lernende ihm vertraute Funktionsbereiche verlassen, um unbekannte Handlungsmöglichkeiten zu erkunden, kann sie oder er den momentanen Zustand "einfrieren". Ein solcher "freezing point" kann von nun an jederzeit direkt angesprungen werden. Möchte der Lernende also seine Exploration abbrechen, kann er direkt in einen vorher festgehaltenen Zustand zurückkehren. Bei längeren Handlungssequenzen bereitet dies natürlich ein zusätzliches Orientierungsproblem: Worin bestand der eingefrorene Dialogzustand? Welche inzwischen ausgeführten Handlungsschritte werden bei der Rückkehr zum "freezing point" storniert? Zur Beantwortung dieser Fragen dient wiederum die graphische Darstellung der Dialoggeschichte (vgl. 7.3.1.2). In ihr sind eingefrorene Dialogzustände gesondert gekennzeichnet, so daß die Inspektion der inzwischen getätigten Handlungsschritte Klarheit über die Folgen einer Stornierung schafft.

In der nicht-computerisierten Welt ist eine echte Stornierung von Handlungen in der Regel nicht möglich. Fast alle Versuche etwas "ungeschehen" zu machen, sind wiederherstellende Maßnahmen. Sie beseitigen oder kompensieren die unerwünschten Folgen von Handlungen. Diese wiederherstellenden Handlungen sind aber keine Umkehrungen der rückgängig zu machenden Handlungen, sondern häufig vollkommen andersartige Handlungen, die jedoch geeignet sind - gleichsam auf Umwegen - den angestrebten früheren Zustand wieder zu erreichen³⁸. Dieser Fall trifft auf die Arbeit mit Computern dann zu, wenn keine komfortable Undo-Funktion zur Verfügung steht. Das Problem besteht darin, daß der Handlungsweg zur Wiederherstellung eines bereits durchlaufenen Zustands vom Benutzer selbst geplant werden muß. Der erste Schritt hierzu besteht in der Diagnose des momentanen Dialogzustands (Nievergelt, 1982). Hierzu sind in erster Linie informative Rückmeldungen erforderlich (Robert, 1987), die das Handlungsergebnis in einer Weise darstellen, die den Bezug zu den vorangegangenen Handlungsschritten erkennen lassen (vgl. Arend, 1989). Dies gilt in gleicher Weise für die Rückmeldung "gelungener" wie fehlerhafter Handlungsausgänge. Da zu diesem Thema eine große Menge an Fachbeiträgen vorliegt (z. B. Du Boulay & Matthew, 1984; v. Benda, 1985; P. J. Brown, 1983; C. M. Brown, 1988; Efe, 1987; Ledgard, Singer & Whiteside, 1981; Williges & Williges, 1984), wird die Gestaltung von Systemmeldungen im Detail hier nicht weiter verfolgt. Festzuhalten ist jedoch, daß sie eine der kognitiven Voraussetzungen für die Wiederherstellung früherer Dialogzustände darstellen, also "Wegweiser" für die Rückkehr in bekannte Zustände sind.

³⁸ Die Unterscheidung zwischen Stornierung und Wiederherstellung bezieht sich nicht auf die tatsächlichen systeminternen Prozesse, sondern auf die subjektive Wahrnehmung derselben durch die Benutzer.

7.3.1.4 Handbücher, Hilfe- und Tutorkomponenten: Unterstützung beim Explorieren?

Darlington et al. (1983) haben die zwischenzeitliche Benutzung eines Hilfesystems oder eines On-line-Tutorials ebenfalls als eine "excursion-tour" bezeichnet, bei der der Datenzustand unverändert bleibt, sich jedoch der Kommando- und Anzeigezustand ändert. Tatsächlich ist die Möglichkeit, Informationen über das System aus einem externen Medium einzuholen, in zweifacher Hinsicht ein wichtiges Element explorierenden Handelns.

Zum einen können so Informationen bereitgestellt werden, die entweder nicht ohne weiteres durch das Experimentieren mit dem System herausgefunden werden können, oder die der Lernende auf direktem Wege in Erfahrung bringen möchte. Dies ist etwa dann von Bedeutung, wenn eine Information bereits schon einmal durch Experimentieren gefunden wurde, danach aber wieder in Vergessenheit geriet. Hier besitzt der Lernende in der Regel bereits genug Hintergrundwissen, um gezielt in einem Manual (online oder papieren) suchen zu können. Der gezielte Rückgriff auf externe Informationsquellen kann so das systematische Explorieren unterstützen.

Häufig erst in zweiter Hinsicht wird beachtet, daß die Nutzung dieser Informationsquellen selbst eine Lernaufgabe darstellt (Dutke & Schönplflug, 1987). Das Lernen und Üben ihrer Benutzung wird jedoch in vielen Trainingsprogrammen eher beiläufig behandelt. Beim explorierenden Handeln werden die Lernenden mit den Bedienungsproblemen eines Hilfesystems und den Nutzungsproblemen der dargebotenen Informationen jedoch hinreichend konfrontiert.

Entscheidend für die Nützlichkeit solcher Hilfeeinrichtungen für das explorierende Lernen ist der Typ der angebotenen Informationen. Dies veranschaulicht eine Studie von Moll und Sauter (1987). Sie untersuchten den Gebrauch verschiedener Unterstützungsmöglichkeiten in einem CAM-System für Werkzeugmacher:

- Die sogenannte "Viewer"-Komponente gibt bei jeder erforderlichen Eingabe an, welche Antworten möglich sind. Diese Informationsmöglichkeit wurde am häufigsten benutzt - teils, um Unsicherheiten über die richtige Eingabe zu beseitigen, teils, um vorgegebene Antworten zu übernehmen und so die Eingabe syntaktisch fehlerfrei und ökonomisch zu gestalten. Exploratives Vorgehen wird in der Weise unterstützt, daß kein "Experiment" abgebrochen werden muß, nur weil eine zum Fortfahren erforderliche Eingabe nicht getätigt werden kann.

- Kontextspezifische Hilfetexte zur Erklärung von Menü-Einträgen und Eingabeaufforderungen wurden wesentlich seltener benutzt. Sie waren nur für Benutzer hilfreich, die sich orientiert über den momentanen Systemzustand zeigten. Benutzer, die die Orientierung verloren hatten, wurden durch die Bezugnahme der Hilfetexte auf den spezifischen Systemzustand (der ihnen ja nicht klar war) noch mehr verwirrt. Deshalb stellte sich diese Komponente als ungeeignet für Neulinge heraus.

Nicht gut unterstützt wird im System von Moll und Sauter das zielgerichtete Handeln. Die Benutzer konnten nicht bei der Frage unterstützt werden, wie sie ein vorgegebenes Ziel erreichen können. Deshalb haben Moll und Fischbacher (1989) das gleiche CAM-System um eine Tutorkomponente ergänzt, die auch den Aufgabenkontext

berücksichtigt: Das System verfügt über ein Regelsystem, das aus möglichen Aufgabenzielen und dorthin führenden Handlungen besteht. Immer wenn der Benutzer eine Handlung ausführt, wird diese mit den intern repräsentierten Handlungen abgeglichen und festgestellt, welche Ziele damit erreicht wurden und welche Ziele aus diesem Zustand heraus nun erreichbar sind. Deshalb ist der Tutor in der Lage, Meldungen zu geben, die auf die Aufgabe des Bedieners Bezug nehmen:

Damit beim Erodieren einer Matrize das Werkstück nicht durchfällt, muß die Maschine an einem Stoppunkt angehalten werden. Dann kann das Ausfallteil befestigt werden. (Moll & Fischbacher, 1989, S. 228)

Diese Meldung bezieht sich nicht auf die konkrete Ebene der Bedienung des CAM-Systems. Sie ist vielmehr auf das praktische, gegenständliche Problem der Aufgabenbewältigung bezogen. Die Information, warum die Maschine angehalten werden muß, stellt einen wertvollen Hinweis darauf dar, wie die Maschine programmiert werden muß, oder warum bestimmte Operationen an dieser Stelle nicht verfügbar oder unsinnig sind.

Dadurch, daß das System mögliche Handlungsziele "kennt", kann es aber auch konkrete Maßnahmen vorschlagen, wie ein bestimmtes Ziel zu erreichen ist. Beispielsweise wird angegeben, an welcher Stelle des Programms welcher Befehl einzufügen ist. Diese Information kann der Lernende einfach hinnehmen oder aber auch nach einer Begründung verlangen. Der Tutor begründet in diesem Falle seinen Vorschlag:

Die Bohrung befindet sich am Startpunkt im Innern der Kontur. Nur dort kann der Draht eingefädelt werden. (Moll & Fischbacher, 1989, S. 229)

Das Verfolgen des Handlungsweges des Benutzers ermöglicht auch, in Problemsituationen nicht nur Fehlermeldungen auszugeben oder die richtige, also zielführende Handlung vorzuschlagen, sondern auch Anregungen für eine vom Benutzer selbst zu findende Lösung zu geben. So gibt der Tutor vor der Angabe einer konkreten Lösung erst einmal einen Hinweis auf das Problem:

Denken Sie nochmal nach: Wo soll der Draht eingefädelt werden?

Ändern Sie ihr Programm, so dass der Draht an der richtigen Stelle eingefädelt wird. (Moll & Fischbacher, 1989, S. 229)

Zunächst erscheint eine solche Meldung, jedenfalls wenn sie von einer Maschine ausgegeben wird, befremdlich. Doch sie regt zum aktiven Lernen an, und lenkt vor allem die Aufmerksamkeit in die erforderliche Richtung. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit einer eigenen Lösung.

Ein weiterer Vorteil dieses Tutors besteht darin, daß er nicht nur die Verfolgung vorgenommener Ziele unterstützt, sondern auch beim Finden geeigneter Ziele hilft: Auf Anforderung wird dem Benutzer ein Unterziel angeboten, dessen Verfolgung sinnvoll wäre. Das Problem des Findens informativer Explorationsziele haben neben Schindler (1987), Schindler und Schuster (1990) auch Kühn und Schmalhofer (1987) herausgestellt. Sie fanden in ihrer Untersuchung mit LISP-Anfängern (vgl. 7.2.4), daß beim freien Explorieren zu häufig Beispiele generiert wurden, die einen geringen Informationswert hatten: Entweder stellten sie Wiederholungen bereits explorierter Beispiele dar oder sie wichen so stark von den bekannten Beispielen ab, daß die Ursachen ihres Miß-

lingens nicht diagnostiziert werden konnten. Kühn und Schmalhofer schlagen daher eine Systemkomponente vor, die die Explorationstätigkeit der Lernenden überwacht:

Das explorierte System sollte jedoch einen Monitor haben, der auf das Lernermodell zurückgreift und so Indikatoren für den Lernfortschritt hat. ... Stellt der Monitor fest, daß der Lernende wiederholt alte Eingaben übernimmt oder nur 'far misses' produziert, die ihm keine neuen Informationen über das System vermitteln, so wird durch gezielt sequenzierte Instruktion der Kreislauf uninformativer Beispiele unterbrochen. (Kühn & Schmalhofer, 1987, S. 395)

Die geschilderten Beispiele verdeutlichen ein Dilemma: Einerseits bedarf gerade der frei Explorierende einer wirksamen Unterstützung, weil sie oder er sich eher in Situationen begeben, die oft nur unzureichend überschaut werden. Da der Verlauf explorierenden Handelns jedoch nur schwer vorhersehbar ist, kann auch die Art der erforderlichen Unterstützung nicht so leicht antizipiert werden. Dies stellt hohe Anforderungen an die Flexibilität und Adaptivität dieser Unterstützungskomponenten. Solche Anforderungen führen zwangsläufig zu "wissensbasierten" tutoriellen Systemen, wobei die Wissensbasis zum einen Wissen über die Lernfortschritte des Benutzers bedeutet, zum anderen Wissen über seine Aufgaben, Intentionen und Ziele. Auch wenn die Fortschritte der KI-Forschung auf diesem Gebiet beeindruckend sind, stoßen sie hier oft noch an die Grenzen der Praktikabilität. Ein Grund hierfür ist die u. U. enorme Komplexität der Anwendungssysteme, deren Erlernbarkeit es zu unterstützen gilt. Gerade wenn man die Funktionalität zu Lernzwecken nicht einschränken will, wie von Carroll und Carrithers (1984) vorgeschlagen, sind diese Grenzen spürbar. Als Beispiel kann wiederum das System gelten, über das Moll und Fischbacher (1989) berichten: Die hohe Flexibilität der Tutorkomponente und ihre Fähigkeit, unterschiedliche Typen von Informationen situationsabhängig darzubieten, wurde durch eine Einschränkung des Anwendungsbereichs erkauft: Das Konzept kann nur auf eine wohldefinierte Übungsaufgabe angewendet werden. Die Lernenden sind also in ihrer Explorationsbreite eingeschränkt, nicht durch eine Sperrung von Funktionsbereichen, wie im Training-Wheels-Ansatz, sondern durch die mangelnde Flexibilität der Tutorkomponente. Innerhalb der Übungsaufgabe ist der Handlungsspielraum jedoch immer noch wesentlich größer als bei vielen anderen Tutor-systemen.

Einen anderen Weg haben Howes und Payne (1990) eingeschlagen: Sie entwickeln einen "Buddy Learner", ein Programm, das aus der Interaktion des Lernenden mit dem System selbst lernen soll. Mit Hilfe heuristischer Regeln generiert es Wissen über die Systembedienung - auf der Grundlage der registrierten Lerner-System-Interaktion. Der Lernende wird dann mit diesem extern generierten Wissen konfrontiert, so daß es mit den eigenen Hypothesen über Systemzusammenhänge verglichen werden kann. Der Buddy Learner soll vor allem helfen, gültige Generalisierungen aus der Vielzahl durchgespielter Handlungswege abzuleiten.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, daß Hilfe- und Tutorkomponenten zwei Funktionen erfüllen: Zum einen können sie den Prozeß der Exploration fördern, indem sie beispielsweise Auswege aus Problemsituationen oder mögliche Explorationsziele anbieten. Die Unterstützung der Explorationstätigkeit fördert die Entwicklung eines angemessenen mentalen Modells vom System. Andererseits kann die Entstehung des

mentalen Modells direkt beeinflußt werden, indem die Tutorkomponente beispielsweise Erklärungen gibt, die der Lernende der Systemreaktion allein nicht hätte entnehmen können.

Externe Hilfefunktionen für die Unterstützung explorierenden Handelns müssen jedoch nicht zwangsläufig aus Software bestehen. Nach wie vor hat die "Paperware" ihre feste Rolle in der Benutzerunterstützung (Dutke & Streitz, 1987). Dies ist nicht der Ort, an dem die umfangreiche Literatur zur Gestaltung von Handbüchern betrachtet werden soll (z. B. Boedicker, 1989; Browning, 1984; Clement, 1985; Dutke, 1987b; Dutke & Streitz, 1987; Limanowski, 1987; Peters & Bichler, 1989; Rupietta, 1987; Streitz, 1986; Wright, 1984). Statt dessen soll wiederum nur ein Ansatz dargestellt werden, der sich explizit mit der Unterstützung explorierenden Handelns befaßt.

Carroll (1985) schloß aus seinen Beobachtungen explorierend lernender Personen, daß die herkömmliche Gestaltung von Benutzerhandbüchern hierbei wenig hilfreich sei. Das Gestaltungsziel der Vollständigkeit führe zu einer Überladung der Darstellung mit Details, die nicht auf einmal verarbeitet werden könne. Andererseits ist es gerade für den Anfänger außerordentlich schwierig, ein Handbuch selektiv zu benutzen, also beispielsweise Detailinformationen zu überspringen, um zunächst ein grundlegendes Lernziel zu erreichen. Hierzu fehlt häufig die Übersicht in einem so komplexen und umfangreichen Werk. In den Übungsabschnitten kommt ein anderes, bereits diskutiertes Problem hinzu: Die Möglichkeiten für Bedienungsfehler sind so vielfältig, daß sie vom Handbuchautor kaum vorhergesehen werden können. In einem solchen Falle ist der Übungsfortgang schnell blockiert, weil der im Handbuch vorhergesagte Systemzustand nicht mehr mit dem tatsächlich erreichten übereinstimmt. Alle folgenden Anweisungen kann der Lernende nicht mehr nachvollziehen. Dies ist häufig der Zeitpunkt, an dem der Lernende ohnehin die Führung des Handbuchs verläßt und eigene Experimente anstellt.

Aus diesen Gründen schlägt Carroll (1985) die Konstruktion "minimaler Handbücher" vor. Sie sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet (vgl. auch Wendel & Frese, 1987):

- Geringer Umfang: Gegenüber einem traditionellen Handbuch sind minimale Handbücher drastisch gekürzt. Alle Wiederholungen, Zusammenfassungen, Rückblicke, Übungen, Anhänge und Indizes werden eliminiert. Erhalten bleiben alle Inhalte, die Handlungsabläufe beschreiben und Systemzusammenhänge erklären.
- Aufgabenorientierung: Die Darstellung richtet sich primär nach den Aufgaben des Benutzers, nicht nach den funktionalen Möglichkeiten des Systems. Auf diese Weise soll der Transfer zwischen Training und Arbeit erleichtert werden. Der Text ist in kurze Abschnitte gegliedert, die auf typische Aufgaben Bezug nehmen. Übungen bestehen nur aus offenen Explorationsanregungen. Sie sollen den Benutzer ermutigen, das System so schnell wie möglich auf seine alltäglichen Arbeitsaufgaben anzuwenden.
- Erhöhung der Lerneraktivität: Es werden nicht alle wissenswerten Details über das System ausgeführt. Der Lernende wird z. B. aufgefordert, nach Darstellung eines bestimmten Prinzips andere Anwendungen desselben Prinzips auszuprobieren. Es treten keine Wiederholungen auf. Statt dessen wird der Benutzer aufgefordert, die entsprechende Information selbst im Handbuch nachzuschlagen oder zu erinnern.

- Fehlerbehandlung: Das Handbuch enthält verstärkt Informationen über die Behandlung von Bedienungsfehlern. Die Vermittlung allgemeiner Strategien zur Beseitigung von Fehlerfolgen sollen helfen, Situationen der Hilflosigkeit zu vermeiden.
- Nachschlagewerk: Das minimale Handbuch soll Trainingsmaterial und gleichzeitig Nachschlagewerk für die spätere Arbeit sein. Damit soll die im Training erworbene Vertrautheit mit dem Handbuch für die spätere Arbeit nutzbar gemacht werden.

Empirische Untersuchungen (Carroll, 1985) belegen die Wirksamkeit minimaler Handbücher durch verringerte Lernzeiten und erhöhte Leistungsniveaus, verglichen mit Personen, die mit einem "state-of-the-art commercial manual" (S. 41) lernten. Obwohl die Gestaltung eines Handbuchs nach solchen Prinzipien zweifelsfrei dazu geeignet sein kann, explorierendes Lernen zu fördern, lassen die von Carroll (1985) berichteten Untersuchungen offen, ob der erhöhte Lernerfolg auf die größere Klarheit und Verständlichkeit des minimalen Handbuchs zurückgeht oder tatsächlich auf eine Steigerung explorativen Handelns.

7.3.2 Motivationale Bedingungen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden Ansätze dargestellt, die dazu dienen, die kognitiven Prozesse zum Aufbau eines mentalen Modells beim explorierenden Lernen zu unterstützen. Der motivationale Aspekt wurde - wie es dem Thema dieser Arbeit auch angemessen ist - zunächst nicht weiter berücksichtigt. Doch gerade die praktische Umsetzbarkeit von Erkenntnissen über exploratives Lernen erfordert die Beschäftigung mit motivationalen Fragen: Was bewegt Benutzer dazu, sich auf diese Weise mit einem Programm vertraut zu machen oder was hält sie davon ab? Wollte man sich dem Thema der Motivation zum aktiven Explorieren in einer Weise widmen, wie es die Relevanz dieses Themas erfordert, wäre eine ähnlich umfangreiche Darlegung der motivationstheoretischen Grundlagen erforderlich, wie sie für die kognitiven Grundlagen der mentalen Modellbildung in den ersten Kapiteln vorgenommen wurde. Da dies im vorliegenden Zusammenhang nicht möglich ist, muß die kurze Erklärung weniger Konstrukte genügen.

Motivation im Zusammenhang mit Lernen ist extensiv in Begriffen von Belohnung und Bestrafung untersucht worden. Die Motivation, etwas zu tun, angeregt durch die Aussicht auf eine Belohnung, wird häufig als ein prototypisches Beispiel extrinsischer Motivation gesehen. Der Wert der Belohnung kann dabei unabhängig von der Art der Tätigkeit sein, er ist kein inhärenter Bestandteil dieser Tätigkeit. Eine dagegen aufgrund intrinsischer Motivation ausgeführte Tätigkeit trägt ihren Wert in sich selbst. Die Ausführung der Tätigkeit selbst stellt den Anreiz dar, nicht der Wert der so erreichten Handlungsergebnisse³⁹. Explorierendes Lernen kann sowohl extrinsisch als auch intrinsisch motiviert sein: Exploration kann z. B. vom Benutzer als ein geeignetes Mittel aufgefaßt werden, eine Problemlösung möglichst sicher zu erreichen. Exploration und der damit verbundene Gewinn an Wissen und Übung kann aber auch "an sich" einen Anreiz

³⁹ Die Unterscheidung zwischen extrinsischer und intrinsischer Motivation wird hier aus Gründen einer einfachen Darstellung nicht weiter diskutiert, obwohl Analysen vorliegen, die zeigen, daß eine klare Unterscheidung u. U. nicht haltbar ist (z. B. Krieger, 1981).

darstellen, obwohl es kein anderes, externes Ziel zu erreichen gilt. Im Wirkungsbereich der Systemgestaltung liegt vor allem der zuletzt genannte Fall: Soll aktives, explorierendes Handeln gefördert werden, sind Maßnahmen zu ergreifen, die das aktive Erkunden eines Systems selbst zu einem Wert machen. Dies schließt nicht aus, daß auf einer höheren Ebene die Beherrschung des Systems zur Erlangung externer Ziele dienen kann. Entscheidend ist jedoch, daß die unterschiedlichen Wege zur Erlangung dieser Expertise selbst unterschiedlich interessant, unterhaltsam, befriedigend oder informativ sein können. Der Weg explorierenden Vorgehens sollte in diesem Sinne intrinsisch motivierend gestaltet sein ⁴⁰. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist, daß das System Exploration ermöglicht, bzw. Merkmale aufweist, die zum Ausprobieren "auffordern" ⁴¹.

Extrinsische Anreize und intrinsische Motivation sind keine völlig unabhängigen Kategorien, sondern stehen gerade in der Praxis in einem außerordentlich kritischen, gegenseitigen Verhältnis. In Untersuchungen mit Kindern (z. B. Lepper, Greene & Nisbett, 1973) wurde z. B. nachgewiesen, daß zusätzlich zu einer intrinsischen Motivation gegebene extrinsische Anreize die Motivation zur Beschäftigung mit sonst beliebten Spielzeugen vermindert hat (auch Lepper & Greene, 1978): Nachdem Kinder eine versprochene Belohnung dafür erhielten, daß sie sich mit Spielzeugen beschäftigten, die sie sowieso schon präferierten, sank die Spielzeit mit diesen Gegenständen. Malone (1981) führt dieses Beispiel als ein Argument für seine These an, Lernumgebungen in erster Linie intrinsisch motivierend zu gestalten. Im Zusammenhang mit dem Erlernen der Computerbedienung hat dieses Argument übrigens eine ganz direkte Anwendung, auf die Carroll (1987) anspielt:

They (die Lernenden, Anmerkung des Autors) resent rigidly structured exercises that often compel them to copy text character for character then subject them to insincere praise for these forced accomplishments: "Excellent!". (S. 261)

Daß eine solche "Belohnung" für etwas, das auch bei niedrigem Anspruchsniveau kaum als eine eigene Leistung betrachtet werden kann, die intrinsische Motivation nicht erhöht, sondern eher Verunsicherung und Ärger nach sich zieht, haben die meisten Benutzer solcher Tutorials wohl schon an sich selbst erfahren. Im folgenden sollen Ansätze geschildert werden, die dem Gestaltungsziel der intrinsischen Motivation zu explorierendem Handeln eher gerecht werden und damit zur selbstgesteuerten Elaboration des mentalen Modells beitragen.

7.3.2.1 Computerspiele und Exploration

Unglücklicherweise gibt es fast keine empirischen Untersuchungen über motivierende Faktoren im Bereich der Software-Ergonomie (vgl. Carroll, 1987). Eine sehr interessante Untersuchung hat jedoch Malone bereits 1981 vorgelegt: Der Autor unter-

⁴⁰ Befürworter explorierendes Lernens kehren diese Auffassung um: Die Möglichkeit, eigenständig explorieren zu dürfen, erhöhe die intrinsische Motivation, sich überhaupt mit dem System zu befassen.

⁴¹ Gelegentlich wird den Dingen selbst ein Aufforderungscharakter in bezug auf menschliches Handeln zugesprochen, der leicht wahrnehmbar ist und ganz bestimmte Handlungen herausfordert (z. B. Gibson, 1988). In der Ergonomie wird der Aufforderungscharakter von Gegenständen systematisch gestaltet und ausgenutzt: So kann beispielsweise allein mit der Form eines Schalters bereits kommuniziert werden, daß er zum Herausziehen, Drücken oder zum Kippen konstruiert ist. Dieses Prinzip gilt es, auf die Informationsgestaltung am Bildschirm zu übertragen.

suchte die Neigung von Kindern, sich längere Zeit mit Computerspielen zu beschäftigen. Die Präferenzen, die die Spieler für bestimmte Spiele entwickeln, können als Indikatoren dafür gewertet werden, wie intrinsisch motivierend diese Spiele sind. Malone verglich beliebte mit unbeliebten Spielen und versuchte Merkmale zu identifizieren, die geeignet waren, diese Unterschiede in der Bevorzugung zu erklären. Zur Prüfung spezieller Hypothesen wurden unterschiedliche Versionen des gleichen Spiels entworfen und wieder Kindern zur Verfügung gestellt. Nach insgesamt drei empirischen Untersuchungen des geschilderten Typs kommt Malone (1981) zu drei grundlegenden Merkmalskategorien von Computerspielen, die die intrinsische Motivation, sich mit ihnen zu beschäftigen, beeinflussen: Merkmale, die Leistung herausfordern, die Phantasien anregen und die Neugier erwecken. Diese Kategorisierung steht im Einklang mit traditionellen psychologischen Theorien intrinsischer Motivation (White, 1959; Piaget, 1975b; Csikszentmihalyi, 1975; Berlyne, 1960; Voss & Keller, 1981), auf die im folgenden nicht weiter verwiesen wird. Aus diesen Merkmalen sollen Anregungen gewonnen werden, die auch im Zusammenhang mit anderen Softwaresystemen zu einer Erhöhung intrinsischer Motivation, sich mit dem System aus eigenem Antrieb zu beschäftigen, führen könnten.

Herausfordernd ist nach Malone (1981) ein Computerspiel, wenn es offensichtliche, konkrete und für die Person bedeutsame Handlungsziele bereitstellt. Das Spiel sollte so direkt wie möglich darüber informieren, inwieweit sich der Spieler diesem Ziel schon genähert hat, bzw. worin die Differenz zur Zielerreichung besteht. Ein zweiter wichtiger Faktor der Herausforderung ist die Ungewißheit des Handlungsergebnisses. Das Spiel ist nicht sehr attraktiv, wenn ein Handlungsergebnis mit zu hoher Sicherheit erreicht werden kann. Die Unsicherheit kann durch unterschiedliche Maßnahmen gesteuert werden: Variabler Schwierigkeitsgrad, Spielziele auf unterschiedlich anspruchsvollen Ebenen, "Verstecken" relevanter Informationen oder Zufallseinflüsse werden als Möglichkeiten genannt.

Die Anregung von Phantasien kann zum einen dadurch erreicht werden, daß der Spielverlauf in einen Kontext eingebettet wird, von dem man kognitive oder emotionale Anregungen erwartet. Wichtig ist hierbei, zwischen Kontexten zu unterscheiden, die sich unmittelbar aus der Art der spielerischen Tätigkeit ergeben und solchen, die unabhängig hiervon sind. Ein Beispiel für den ersten Fall wäre ein Geschicklichkeitsspiel, bei dem ein Lichtpunkt wie beim Squash gegen eine "Wand" (oberer Bildschirmrand) gespielt werden muß. Dazu hat der Spieler einen "Schläger" (einen mausgesteuerten Lichtbalken) von dem der "Ball", bestimmten physikalischen Gesetzen folgend, abprallt. Ein solcher Kontext gibt Anlaß zum Aufbau einer das Spiel umgebenden Phantasie, die mehr oder weniger durch die Oberflächengestaltung unterstützt werden kann (z. B. durch die Zählweise der Punkte oder durch für Squash typische graphische Veranschaulichungen). Dieser Kontext - ein intrinsischer Kontext - steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Spieltätigkeit. Dies ist nicht bei allen Spielen so: "Speedway" ist ein Spiel, bei dem sich Autosymbole über eine Rennpiste bewegen, und zwar in Abhängigkeit davon, wie schnell die Spieler Rechenaufgaben lösen. Dieser Kontext könnte auf alle anderen lösungszeitabhängigen Spielthemen angewandt werden. Es handelt sich um einen extrinsischen Kontext, da die aufzubauende Phantasie in keinem zwingenden Zu-

sammenhang mit der Aufgabe steht. Malone (1981) schließt aus seinen Untersuchungen, daß intrinsische Phantasien in der Regel als die interessanteren aufgefaßt werden.

Zur Erzeugung von Neugier ist ein optimaler Grad "informationeller Komplexität" oder auch "Inkongruität" (z. B. Rauterberg, 1989) erforderlich. Sind die wahrgenommenen Informationen zu einfach, zu eindeutig, zu sicher oder zu bekannt, resultiert Langeweile. Bei einer zu hohen Komplexität des Wahrnehmungsfeldes kann Überforderung eintreten, die Aversion verursacht. Ein (interindividuell unterschiedliches) mittleres Maß an informationeller Komplexität motiviert am ehesten zur Beschäftigung mit einem Computerspiel. Die wahrgenommene Komplexität kann sich sowohl auf sensorische Reize beziehen (z. B. audio-visuelle Effekte) als auch auf Informationen, die nicht im Einklang mit dem Wissen des Spielers stehen oder die ihn auf eigene Wissenslücken hinweisen.

Eine Übertragung der Ergebnisse Malones (1981) in die Gestaltung von Anwendungssoftware ist nicht unmittelbar offensichtlich. Malone selbst thematisiert den Unterschied zwischen Spielzeugen und Werkzeugen, den er vor allem darin sieht, daß die Herausforderungskomponente bei Spielzeugen explizit gestaltet werden muß, während bei Werkzeugen ein externes Handlungsziel vorliegt, das selbst herausfordernd sein kann. Da die Erreichung dieses externen Ziels selbst bereits unsicher ist, sollte ein gutes Werkzeug sich nicht in einer Verstärkung der Unsicherheit äußern, sondern in Zuverlässigkeit und Wirksamkeit. Trotzdem hat der Ansatz Implikationen für die Gestaltung von Softwaresystemen (vgl. auch Neal, 1990), insbesondere in bezug auf Systemmerkmale, die zur aktiven und eigenständigen Exploration motivieren. Einige Anregungen hierzu sollen die folgenden drei Abschnitte bieten.

7.3.2.2 Szenarien und das Angebot von Explorationszielen

Carroll (1987) beschreibt ein Tutorkonzept, das auf das Angebot von Explorationszielen gerichtet ist. In seiner Arbeitsgruppe wurden sogenannte "Szenarien" konstruiert. Diese beinhalten keine strikt zu befolgenden Übungsaufgaben, sondern tätigkeitsbezogene Anregungen, die bestimmte Aufgaben nahelegen. Carroll erläutert ein solches Szenario für ein Bürosystem: Nach dem Einschalten erhält der Benutzer eine Meldung, daß eine Nachricht für ihn eingetroffen sei. Das könnte einen Anreiz darstellen, den Inhalt der Mailbox zu untersuchen. Dies muß aber nicht geschehen, zumindest nicht zu einem vorgeschriebenen Zeitpunkt. Sollte der Benutzer jedoch die Nachricht finden, könnte sie sich als die Mitteilung eines Kollegen herausstellen, der auf ein interessantes Rundschreiben hinweist, das an diesem Tage versandt wurde. Damit ist ein neues Explorationsziel angeregt. Diese Technik hat mehrere Vorteile: Zum einen können Hinweise auf die zur Verfügung stehenden Funktionen des Systems gegeben werden, ohne daß der Benutzer ausführliche Texte hierüber lesen muß. Durch die Einkleidung dieser Hinweise in (zukünftig) alltägliche Arbeitsvorgänge werden Anreize zur Exploration und Nutzung dieser Funktionen gesetzt. Trotz dieser Anreize bleibt dem Lernenden ein

bedeutender Teil seiner Entscheidungsfreiheit bezüglich des Fortgangs des Lernprozesses erhalten⁴².

Howes und Payne (1990) schlagen vor, Benutzer mit der Möglichkeit zu versehen, sich Anwendungsmöglichkeiten eines Programms vorführen zu lassen (vgl. auch Pauls (1991) Begriff der "scenario machine"). Nach dem Vorbild von Computerspielen könnten typische Handlungsabläufe vorgespielt werden, ohne daß der oder die Lernende eingreifen kann. Eine solche "Animation Machine" (Howes & Payne, 1990) kann zur Generierung von Explorationszielen anregen.

7.3.2.3 Menge und semantischer Gehalt von Bedienungsinformationen

In einem Experiment des Autors (Dutke, 1990) wurde untersucht, wie sich die Visualisierung von Bedienungsinformationen auf die Explorationstätigkeit auswirkt. Dazu wurde sowohl der semantische Gehalt als auch die Menge an Bedienungsinformationen, in diesem Falle Überschriften und Inhalte von Pull-down-Menüs eines Textverarbeitungsprogramms, variiert. Eine Hälfte der Versuchspersonen erhielt ein sogenanntes Menübild, das die Zuordnung aller Kommandos zu den einzelnen Menüs zeigte. Dieser Abbildung konnte entnommen werden, welche Kommandos es überhaupt gibt und unter welchen Überschriften diese zu finden sind. Wiederum bei der Hälfte der beiden Gruppen bestanden die Überschriften der Menüs aus hierfür gebräuchlichen Begriffen wie "Datei", "Zeichen", "Suchen" usw. Bei der jeweils anderen Hälfte wurden diese semantisch passenden Begriffe gegen semantisch neutrale Überschriften (Ziffern 1-6) ausgetauscht. In fünf aufeinander folgenden Sitzungen bearbeiteten die insgesamt 29 Versuchspersonen Instruktionen über neue Funktionen und Testaufgaben. Nach jeder Instruktionsphase gab es jedoch auch eine Explorationsphase, in der Versuchspersonen sich nach eigenen Interessen mit dem System befassen konnten.

Das in diesem Zusammenhang wichtigste Ergebnis⁴³ besteht darin, daß die Versuchspersonen, die ohne das Menübild auskommen mußten, intensiver explorierten: Sie öffneten jedoch nicht nur häufiger Menüs, sondern sie probierten auch mehr unterschiedliche Funktionen aus. Bei einem Test des verbalen Wissens über die Bedienung des Programms zeigten sich die intensiv explorierenden Personen besser informiert über die Bedeutung von Kommandos und über Handlungsabläufe als diejenigen, die zwar ausführlicher mit Bedienungsinformationen (Menübild) versorgt wurden, aber dafür weniger intensiv die Explorationsphase nutzten⁴⁴. Offenbar wurde mit der Einführung des Menübildes die informationelle Inkongruität im Sinne Malones (1981) oder Rauterbergs (1989) in einem Maße gesenkt, daß die Motivation, sich mit diesem Menü-

⁴² Ein weiterer Vorteil wurde bereits in Abschnitt 7.3.1.4 diskutiert: Die Vorgabe solcher Szenarien macht den Verlauf der Exploration trotz der Entscheidungsfreiheit der Benutzer vorhersehbarer. Dadurch fällt es leichter, "intelligente" Rückmeldungen zu geben, ohne ein künstlich intelligentes Modell des Benutzerwissens implementiert zu haben (Carroll, 1987, S. 266; Moll & Fischbacher, 1989).

⁴³ Dieses Ergebnis wurde inzwischen in einer weiteren (noch nicht veröffentlichten) Untersuchung zur Motivierung explorierendes Handelns am Computer repliziert.

⁴⁴ Ähnliche Ergebnisse berichten Duff und Barnard (1990) bezüglich der Trainingsgestaltung: Werden zusätzlich zu explorativem Training auch Sequenzen von Operationen vorgegeben, verschlechterte dies die Problemlöseleistung der Probanden.

system aktiv auseinanderzusetzen, verringert wurde. Die Tendenz der Lernenden, sich nicht mit Kommandos und Menüs zu beschäftigen, die ohnehin vollständig sichtbar zur Verfügung stehen, ist zwar verhaltensökonomisch plausibel, aber für die Benutzer trügerisch: Das Unterlassen einer aktiven Exploration hatte nämlich, wie die Ergebnisse zeigen, negative Folgen für die Entwicklung eines adäquaten mentalen Modells. Die schlichte visuelle Darbietung dieser Bedienungsinformationen im Menübild konnte die Erfahrung aus eigenem Handeln nicht ersetzen⁴⁵.

7.3.2.4 Handbücher, unvollständige Informationen und Zufälligkeit

Wendel und Frese (1987) führten eine Untersuchung durch, für die sie ein Handbuch nach den Prinzipien des "minimalen Handbuchs" (vgl. 7.3.1.4) für das Textverarbeitungsprogramm "Wordstar" entwickelten. In diesem waren jedoch zwei zusätzliche Merkmale verwirklicht, die in noch deutlicherem Maße explorierendes Lernen anregen und zum Teil sogar erzwingen sollten. Zum einen wurden die einzelnen Module des Handbuchs in eine Zufallsreihenfolge gebracht, zum anderen waren die darin gegebenen Informationen zu unvollständig, um das System sofort nach Anleitung bedienen zu können. Beide Merkmale korrespondieren mit der Maloneschen (1981) Kategorie der informatorischen Komplexität: Das Handbuch ist informativ genug, um Explorationsziele und Anhaltspunkte für ihre Erreichung zu bieten, aber unvollständig genug, um Neugier zu erzeugen. Informatorische Lücken sind offensichtlich und fordern dazu heraus, geschlossen zu werden.

Während eine Gruppe von Versuchspersonen mit diesem speziellen Handbuch lernte, benutzte eine zweite Gruppe ein kommerzielles Handbuch, das auf Vollständigkeit und Sequentialität hin konzipiert war. Eine dritte Gruppe erhielt ein minimales Handbuch, in dem jedoch nicht die zwei zusätzlichen Merkmale der zufälligen Reihenfolge und der Unvollständigkeit verwirklicht waren. Als Versuchspersonen lernten je 7 Schülerinnen einer Sekretärinnen-Schule zwei mal zwei Stunden mit diesen Materialien. Sie waren dabei weitestgehend auf sich selbst gestellt. Die Ergebnisse bestätigen die Erwartungen: Das "Explorations-Handbuch" bewirkte eine wesentlich größere Anzahl von selbständig explorierten Kommandos. Diese Gruppe und diejenige, die mit dem minimalen Handbuch lernte, zeigten bessere Ergebnisse bei der Bewältigung von Editieraufgaben. Die Gruppe mit dem kommerziellen Handbuch forderte fast doppelt so oft Versuchsleiterhilfe an, wie die beiden anderen Gruppen. Auch war diese Gruppe beim Erinnern der gelernten Kommandos den anderen beiden Gruppen unterlegen. Leider konnten kaum Unterschiede zwischen dem traditionellen minimalen Handbuch und dem exploratorischen minimalen Handbuch belegt werden: Einzige Ausnahme ist die Anzahl der explorierten Kommandos. Trotzdem zeigt diese Studie, wie durch eine gezielte Gestaltung der Instruktionsmaterialien explorierendes Handeln gefördert und damit die Entwicklung individueller mentaler Modelle vom System begünstigt werden kann.

⁴⁵ Aus diesem Ergebnis darf nicht geschlossen werden, daß eine Vermehrung von visualisierten Bedienungsinformationen grundsätzlich zu einem Verlust an Explorationsmotivation führt. Das vorgestellte Ergebnis ist Ausdruck eines spezifischen Verhältnisses zwischen den Lernanforderungen durch das hier verwendete Programm (MS-WRITE) und den Lernkapazitäten der Personenstichprobe.

7.4 Zur Orientierung: Voraussetzungen für aktives Lernen schaffen

7.4.1 Nutzen

Auch wenn die Wirkungsweisen nicht vollständig geklärt sind, kann grundsätzlich festgestellt werden, daß aktives Explorieren eines Anwendungsprogramms die Entwicklung eines wirksamen mentalen Modells fördert. Explorierendes Lernen ist nicht die "einzig richtige" Form der Qualifizierung, aber eine, die zumindest in Kombination mit anderen Trainingsformen positive Effekte zeigt bezüglich

- der Elaboration des mentalen Modells,
- der Transferierbarkeit von Wissen, d. h. der Erweiterbarkeit des mentalen Modells um neue Anwendungsbereiche,
- der Behandlung von Bedienungsfehlern,
- der Verarbeitung aufgabenbezogener Belastung und
- der Lernmotivation.

Zur Orientierung:

Bei Entscheidungen über Gestaltungsmaßnahmen sollte als ein Kriterium berücksichtigt werden, ob die betreffende Maßnahme zu explorierendem Handeln herausfordert, es fördert oder wenigstens ermöglicht.

7.4.2 Vorwissen

Für wirksames explorierendes Lernen ist Vorwissen, also ein anfängliches, unvollständiges mentales Modell über das System, erforderlich. Dies umfaßt mindestens Wissen über den Zweck des Anwendungssystems und Wissen über die grundlegenden Interaktionstechniken und -prinzipien. Dieses Vorwissen kann u. a. durch konzeptuelle Modelle, Metaphern, Minimalhandbücher, andere kurze Instruktionen, jeweils in Verbindung mit einer Beispielaufgabe vermittelt werden.

Beispiel:

In den Untersuchungen des Autors zu diesem Thema wurde den Computeranfängern beispielsweise mitgeteilt, daß es sich um ein Textverarbeitungssystem handelt, mit dem Texte aller Art geschrieben, gestaltet, gespeichert, weiterverwendet, verändert und gedruckt werden können. Für jeden dieser Zwecke wurde eine kurze praktische Aufgabe erläutert. Als zweites wurde das Programm vorgeführt und mitgeteilt, welches die Hauptbestandteile der Bedienungsoberfläche sind: Menüleiste, Menüs und Schreibfläche. Es wurde kurz die Funktion dieser drei Hauptbestandteile erklärt sowie die Funktion der Maus vorgeführt und erklärt. In einer der Untersuchungen stand den Versuchspersonen ein Spielprogramm zur Verfügung, mit dem die Feinmotorik beim Umgang mit der Maus für ca. 5 Minuten geübt werden konnte. Danach erhielten die Teilnehmer eine kurze Beispielaufgabe (neuen Text schreiben, Tippfehler korrigieren, speichern). Die Bearbeitung dieser Aufgabe war schriftlich dargestellt und jeder Bedienungsschritt war explizit aufgeführt, sein Zweck erklärt. Die Lernenden sollten diesen Anweisungen fol-

gen und bei Verständnisproblemen den Versuchsleiter fragen. Die ganze Prozedur dauerte ca. 10-15 Minuten. Alle Instruktionen waren sprachlich so einfach wie möglich formuliert. Fachausdrücke (z. B. "Menü") wurden sparsam eingeführt und jeweils mit einer "Übersetzung" versehen. Nach diesem Einführungsteil waren alle Versuchspersonen in der Lage, selbständig explorierend mit dem Programm umzugehen.

Zur Orientierung:

Soll ein Anwendungsprogramm teilweise durch Exploration gelernt werden, muß den Lernenden vorher Grundlagenwissen vermittelt werden. Dabei sollen die Lernenden den oder die Zwecke des Systems kennenlernen und Wissen über die grundlegende Interaktionstechnik erwerben. Dieses Wissen ist am leichtesten durch persönliche Instruktion zu vermitteln. Diese Instruktion soll so sparsam wie möglich sein.

7.4.3 Selbststeuerung

Explorierendes Lernen erfordert die Selbststeuerung des Lernprozesses durch den Lernenden. Immer dort, wo Vorschriften, Anweisungen u. ä. den Benutzer in seinem Lernverhalten lenken sollen, wird explorierendes Lernen unwahrscheinlicher. In dem Falle, daß grundlegendes Wissen als Voraussetzung für eine aktive Explorationstätigkeit vermittelt werden soll, kann dies erwünscht sein. Im weiteren Lernverlauf jedoch sollte der Lernende selbst wieder Kontrolle über den Lernprozeß erlangen können.

Beispiel:

Anweisungen, die eine von den Entwicklern oder Lehrenden vorgesehene Sequentialität des Lernprozesses nahelegen oder zu erzwingen versuchen, treten in der Organisation von Trainingskursen selbst, aber auch in allen Komponenten auf, die zur Unterstützung des Lernprozesses gedacht sind: On-Line-Tutorials, die schrittweise Eingaben vorschreiben, On-Line-Handbücher, die zu wenig modularisiert sind, Hilfesysteme, die kein Springen zwischen verschiedenen Themen erlauben, sind Beispiele hierfür.

Zur Orientierung:

Trainingsabläufe und alle Komponenten eines Systems, die den Lernprozeß unterstützen, sollen so konstruiert sein, daß sie eine Sequentialität des Lernprozesses nur dort erzwingen, wo es zum Erwerb von Grundkenntnissen unbedingt geboten erscheint. In den Fällen, in denen eine Sequentialisierung von Lerninhalten nicht dadurch gerechtfertigt ist, daß ein Lernschritt die Voraussetzung zum Erlernen eines weiteren darstellt, sollte sie auch nicht erzwungen werden.

7.4.4 Zielgenerierung

Explorieren ist eine zumindest teilweise zielgerichtete Tätigkeit. Die Lernenden generieren selbst Explorationsziele. Von der Wahl dieser Ziele hängt u. a. ab, wie umfassend sich die Lernenden über das System informieren. Da ihnen die Funktionen des zu erlernenden Systems im einzelnen nicht bekannt sein können, benötigen sie für die Wahl von Explorationszielen Hinweise. Solche Hinweise auf die zu erwartende Funktionalität können Bestandteil der Bedienungsfläche sein, in Unterstützungskomponenten auftreten oder im Training angeboten werden.

Beispiel:

Die wichtigsten Hinweise auf Funktionen eines Programms bietet die Bedienungsfläche selbst: sichtbare Kommandos, Menüs, Buttons oder andere Bedienelemente zeigen die Verfügbarkeit von Funktionen direkt an. Auch wenn der Explorierende ihren Zweck und ihre Wirkungsweise noch nicht kennt, weiß er doch um ihre Existenz. Auf mögliche Explorationsziele höherer Ebene kann in Tutorials, (On-Line-) Handbüchern, Szenarien oder während der Unterweisung durch den Trainer hingewiesen werden. Hierzu gehören Hinweise, "wie man etwas auf eine andere Weise machen kann" oder wie typische Probleme eines praktischen Aufgabenbereichs mit diesem Programm gelöst werden können. Wichtig ist hierbei, daß auf den Wissensbereich Bezug genommen wird, der den Lernenden bekannt ist. In der Regel ist dies der Bereich des Wissens über Arbeitsaufgaben.

Zur Orientierung:

Die Bedienungsfläche sowie alle weiteren Systemkomponenten zur Unterstützung der Lernenden sollten auf mögliche Explorationsziele hinweisen, ohne diese vorzuschreiben. Dabei sollte auf das Wissen der Benutzer über Arbeitsaufgaben Bezug genommen werden.

7.4.5 Anpassung der Lernumgebung

Um einem Orientierungsverlust während der Exploration vorzubeugen, kann die Einschränkung des Suchraums nützlich sein. Dies bedeutet, Funktionsbereiche für den Benutzer zeitweilig zu sperren und die zugängliche Funktionalität mit den Erfahrungen der Benutzer "mitwachsen" zu lassen. Solche Maßnahmen müssen jedoch für den Lernenden transparent sein, da sie sonst zu Verwirrungen über den Leistungsumfang des Systems führen. In Hinsicht auf die Lernmotivation sollte die Kontrolle über diese Maßnahmen beim Benutzer liegen. Beim Sperren von Funktionsbereichen ist jedoch darauf zu achten, daß die verbleibenden Funktionen trotzdem die vollständige Bearbeitung von Arbeitsaufgaben zulassen.

Beispiel:

In einem multifunktionalen Bürosystem kann es für Explorationszwecke z. B. nützlich sein, den Zugang zur Kalkulations- und zur Datenbankkomponente zu sperren, während die Textverarbeitungs-komponente exploriert wird. Dem Benutzer sollte jedoch klar sein, daß es diese anderen Komponenten gibt, daß ein Datenaustausch zwischen ihnen möglich ist und daß (hoffentlich) ähnliche Interaktionsprinzipien in diesen z. Z. gesperrten Komponenten herrschen. Es sollten also beispielsweise Menüpunkte oder Dateien dieser Komponenten sichtbar sein. Handbücher oder Tutorssysteme sollten Explorationshinweise auf diese Komponenten auch dann enthalten, wenn diese gerade gesperrt sind. Die Kontrolle über Zugang oder Sperrung soll beim Lernenden liegen und nicht Gegenstand einer möglichen Selbstadaptivität des Systems sein. Zur Identifikation solcher abtrennbaren Funktionsbereiche sollte die Struktur der Arbeitsaufgaben beachtet werden, die das betreffende System unterstützt. Dabei sollen keine Funktionen abgetrennt werden, die zur Bewältigung zusammengehöriger Arbeitsaufgaben benötigt werden. So würden Explorationsmöglichkeiten in nicht dienlicher Weise eingeschränkt werden, wenn beispielsweise alle Löschmöglichkeiten gesperrt würden, dafür aber alle Funktionskomponenten zugänglich wären. Dann könnten typische Arbeitsaufgaben weder in der Textverarbeitungs- noch in den anderen Komponenten exploriert werden. Sinnvoll wäre es dagegen, solche Funktionen abzutrennen, die für die vollständige Bearbeitung einer Aufgabe entbehrlich sind: Man kann in der Tabellenkalkulation ungehindert explorieren, auch wenn das Drucken von Serienbriefen gesperrt ist.

Zur Orientierung:

Einzelne Funktionsbereiche sollten für Explorationszwecke sperrbar sein, wenn die Kontrolle darüber beim Lernenden liegt und die Sperrung für den Lernenden transparent ist. Was in diesem Zusammenhang als ein Funktionsbereich anzusehen ist, sollte sich an der Struktur der Arbeitsaufgaben der Benutzer orientieren. Funktionen, die zur Bewältigung zusammengehöriger Aufgaben benötigt werden, sollten nicht getrennt sperrbar sein.

7.4.6 Reflexion der Exploration

Explorierendes Handeln trägt dann zur Elaboration des mentalen Modells bei, wenn die im System ausgeführten Handlungsschritte mit dem mentalen Modell in Beziehung gesetzt werden können und Veränderungen des Systemzustands im mentalen Modell "mitverfolgt" und wiedererkannt werden können. Voraussetzung hierzu ist, daß der Lernende im System orientiert ist und den Handlungsverlauf nachträglich zum Gegenstand gedanklicher Auseinandersetzung machen kann. Dabei helfen ihm alle Hinweise, denen er Informationen über den momentanen Dialogzustand und darüber entnehmen kann, wie sie oder er in diesen Zustand gekommen ist.

Beispiel:

Nützlich sind in diesem Zusammenhang alle Erscheinungen auf dem Bildschirm, die die Konsequenzen von Handlungsschritten explizit angeben. Dies können direkte Hinweise sein: Nach dem Löschen eines Datensatzes beispielsweise ist ein leeres Datenformular zu sehen und die Anzeige der Datensatzanzahl verringert sich um 1. Ist eine direkte Anzeige der Handlungskonsequenzen nicht möglich, kann dies durch eine sprachliche Meldung ersetzt werden. Diese sollte den vorherigen Handlungsschritt, das gegenwärtige Ergebnis desselben und die nun offenstehenden Handlungsmöglichkeiten in Beziehung setzen. Dies gilt auch für Fehlermeldungen.

Also nicht:

Fehler: Zugriff auf nicht existierendes Objekt, sondern:

Sie haben versucht, einen Datensatz zu löschen, dessen Nummer unbekannt ist. Es wurde kein Datensatz gelöscht. Vergewissern Sie sich, ob die Datensatznummer richtig ist.

Hilfreich sind in diesem Zusammenhang vor allem Einrichtungen, die die nachträgliche Betrachtung und Analyse des Handlungsverlaufs erlauben. Die Inspektion der Dialoggeschichte kann Klarheit über das Zustandekommen des momentanen Dialogzustands schaffen.

Zur Orientierung:

Explorierendes Lernen wird durch Maßnahmen, die die Orientierung des Benutzers erhöhen, wirksamer. Hierzu gehören alle Dialoginformationen, die das Einordnen und Wiedererkennen von Dialogzuständen erleichtern und die die Dialoggeschichte nachvollziehbar werden lassen.

7.4.7 Wiederherstellung und Stornierung

Die systematische Exploration von Funktionen erfordert oft die variierte Wiederholung von Handlungen. Dabei ist es hilfreich, immer wieder vom gleichen Dialogzustand auszugehen, damit die Wirkung von Variationen (z. B. bei der Angabe von Parametern) beobachtet werden kann. Auch bei der Exploration unbekannter Funktionen mit nicht absehbaren Handlungsfolgen soll der Lernende die Möglichkeit haben, direkt in einen bekannten Systemzustand zurückkehren zu können.

Beispiel:

Ein bereits durchlaufener Systemzustand ist am einfachsten zu erreichen, wenn entweder eine Undo-Funktion erlaubt, schrittweise beliebig weit auf dem Handlungsweg zurückzugehen oder wenn gezielt zu einem zuvor definierten Dialogzustand (freezing point) zurückgekehrt werden kann. Eine solche Möglichkeit ist auch dann von Nutzen, wenn der Lernende die Orientierung verloren hat oder unbeabsichtigte Ergebnisse hergestellt hat, die nur unter Schwierigkeiten korrigiert werden können.

Zur Orientierung:

Ein explorationsfreundliches Anwendungssystem sollte Undo-Möglichkeiten bieten, die es erlauben, mehr als einen Handlungsschritt zurückzugehen. Die Möglichkeiten, vorher Rückkehrpunkte zu definieren, die direkt angesprungen werden können, ist wünschenswert. Unter Umständen muß eine solche Funktion durch eine graphische Veranschaulichung der Dialoggeschichte unterstützt werden. Das Überschauen der Folgen weitreichender Stornierungsmöglichkeiten kann andernfalls selbst mit der Gefahr eines Orientierungsverlusts verbunden sein.

7.4.8 Kontrolle der Exploration

Es liegen Arbeiten vor, in denen vorgeschlagen wird, den Explorationsprozeß durch einen künstlich intelligenten Tutor "beobachten" zu lassen. So könnte in den Lernprozeß eingegriffen werden, wenn wiederholt ineffiziente Explorationsstrategien verfolgt werden. Dies wäre z. B. dann der Fall, wenn die oder der Lernende Handlungsabläufe durchspielt, die bereits gut geübt sind und die uninformativ bezogen auf den individuellen Wissensstand sind.

Beispiel:

Praktische Beispiele solcher Tutorsysteme liegen für komplexere Anwendungssysteme nach Wissen des Autors bisher nicht vor. Allerdings ist in Abschnitt 7.3.1.4 über Tutoren berichtet worden, die sich auch in komplexeren Systemen scheinbar intelligent verhalten, weil der Benutzer nur im eingeschränkten Rahmen von definierten Übungsaufgaben oder Szenarien handeln kann. Das Problem besteht darin, daß ein solches Tutor-system sowohl über ein Modell des mentalen Modells des Lernenden verfügen müßte als auch über ein konzeptuelles Modell des Systems.

Zur Orientierung:

Es sollte die Entwicklung von künstlich intelligenten Tutorsystemen angestrebt werden, die den Lernenden frei explorieren lassen, die Explorationstätigkeit jedoch überwachen und dann hinweisend eingreifen, wenn überdauernd ineffiziente Strategien zur Anwendung kommen.

7.4.9 Dichte von Bedienungsinformationen

Je intensiver die Bedienungsfläche den Eindruck erweckt, daß alle relevanten Bedienungsinformationen oder Bedienungselemente auf ihr abgebildet seien, umso weniger fordert sie zur Exploration von Handlungsmöglichkeiten heraus. Der Eindruck von Vollständigkeit und totaler Verfügbarkeit kann die intrinsische Motivation, sich näher mit dem Programm zu beschäftigen, senken.

Beispiel:

Ein solcher Effekt wurde wiederholt festgestellt, wenn beispielsweise Menüinhalte, die normalerweise "unter der Oberfläche versteckt" sind und nur durch Operationen der Benutzer sichtbar zu machen sind, offen angezeigt werden. Die Untersucher haben daraus geschlossen (Schönpflug & Dutke, 1989), daß die Bedienungsfläche Informationen enthalten soll, die der Orientierung dienen und die auf das Vorhandensein von Kommandos oder Bedienelementen hinweisen. Alle Bedienelemente und Kommandos, mit denen das System aber tatsächlich manipuliert werden kann, sollten nicht permanent sichtbar sein. So nähme die Dichte der permanent sichtbaren Bedienungsinformationen ab. Die Lernenden nehmen wahr, daß "es noch etwas zu entdecken gibt", ohne daß der Interaktionsaufwand ungebührlich steigt. Die oberste Ebene der Bedienungsfläche wird übersichtlicher. Dieses Prinzip ist z. B. bei Pull-down-Menüsystemen verwirklicht, in denen die Existenz von Kommandos nur durch die Menütitel permanent angezeigt wird. Die Kommandos, mit denen eine tatsächliche Veränderung des Dialogzustands herbeigeführt werden kann, sind jedoch nur nach Benutzeroperationen zugänglich.

Zur Orientierung:

Zur Erhöhung der Explorationsmotivation sollte die Bedienungsfläche permanent nur solche Informationen anzeigen, die der Orientierung der Benutzer dienen. Kommandos, Icons, Buttons und andere Bedienelemente, mit denen das Programm gesteuert wird, sollten nicht permanent sichtbar sein, aber durch Hinweise an der permanent sichtbaren Bedienungsfläche erkennbar und erreichbar sein.

7.4.10 Angstmindernde Lernsituation

Am Ende dieses Kapitels soll eine Empfehlung stehen, die erneut darauf hinweist, daß die Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion nicht mit der Gestaltung von Hard- und Software endet. Eine fördernde Bedingung für die Wirksamkeit aller in Kapitel 7 erwähnten Orientierungshilfen für die Systemgestaltung ist eine möglichst entspannte Lernsituation. Diese wird auch durch Eigenschaften des Systems moderiert. So kann z. B. die Möglichkeit einer transparenten und zuverlässigen Undo-Funktion Befürchtungen bei der Benutzung des Systems verringern. Wie angstausslösend die Lernsituation insgesamt jedoch wirkt, hängt auch von anderen Faktoren wie beispielsweise dem ausgeübten Leistungsdruck, den sozialen Beziehungen innerhalb der Lernergruppe bzw. zwischen Lernenden und Lehrenden ab.

8 Rückblick

Scientists hope that, uncovering knowledge about the underlying nature of phenomena, they will be able to hand engineers conceptual tools of wider predictive power which allow them to go beyond the specific evidence at hand. (Hammond, Gardiner, Christie & Marshall, 1987, S. 19)

Die vorliegende Arbeit ist diesem Ziel gewidmet. Die Darstellung begann mit der weit verbreiteten, aber zunächst nicht näher begründeten Feststellung, daß die Kenntnis von Eigenschaften und Funktionen mentaler Modelle nützlich für die Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion sei (z. B. Norman, 1983a; Streitz, 1985; Tauber, 1985; Dzida, 1986; Lang, 1987; Manktelow & Jones, 1987; Waern, 1987; Frese & Brodbeck, 1989; Eberleh, 1989a,b; Lloyd, 1990). Im ersten Teil der Arbeit wurden Eigenschaften und Funktionen mentaler Modelle aus der Sicht der psychologischen Grundlagenforschung dargestellt. Im zweiten Teil schlossen sich drei Kapitel mit Anwendungsbeispielen an, deren theoretische Grundlage Gegenstand des ersten Teils war. Die gemeinsame Darstellung theoretischer Ausgangspunkte und praktischer Konsequenzen sollte zur Orientierung derer beitragen, die an der Gestaltung von Mensch-Computer-Interaktionen mitwirken.

Doch mag die Leserin oder der Leser bemerkt haben, daß der Weg von den theoretischen Ansätzen zur Anwendung problematisch sein kann. In einigen Fällen drängen sich einem Anwendungen nahezu auf, in anderen Fällen deuten sie sich vielleicht nur vage an. Die Nähe von Theorie und Anwendung könnte hinter den Erwartungen zurückgeblieben sein. Dies kann zum einen an der Auswahl des Stoffs liegen: Zwar haben alle Anwendungsbeispiele ihre theoretische Grundlage in den geschilderten Mentalen-Modell-Theorien, doch ihre Auswahl war nicht zwingend, sondern durch drei Kriterien bestimmt: Die in den Kapiteln 5, 6 und 7 dargestellten Ansätze gehören größtenteils in eine Schnittmenge von Arbeiten, die mentale Modelle als theoretische Grundlage beanspruchen und die gleichzeitig einen software-ergonomischen Gegenstandsbereich haben. Zum zweiten wurden Arbeiten bevorzugt, die Gegenstand einer empirischen Untersuchung waren oder zumindest einer solchen zugänglich wären. Schließlich ist die Auswahl natürlich auch durch Kenntnisse und Interessen des Autors subjektiv geprägt.

Die wechselnde Nähe und Ferne von Theorie und Anwendung kann jedoch auch Ausdruck des grundsätzlich schwierigen Verhältnisses zwischen kognitionspsychologischen Theorien und der Gestaltung und Bewertung von Software und computerisierter Arbeit sein. Zunächst scheint das Selbstverständnis der Software-Ergonomie, oder auch der "Kognitiven Ergonomie" (Dzida, 1980) hier klare Vorgaben zu machen:

Die Software-Ergonomie beschäftigt sich auf der Basis des Grundverständnisses von Ergonomie im einzelnen mit der Anpassung von Technik an den Menschen, mit dem besonderen Verhältnis von Softwaresystemen und ihren Benutzern. ... Die Tatsache, daß in dieser Sichtweise der Mensch ... als der zentrale Ausgangspunkt für die Gestaltung von Softwaresystemen angesehen wird, macht die Bedeutung der Psychologie für den hier betrachteten Gegenstandsbereich unmittelbar deutlich. (Streitz, 1987, S. 43)

Grundlage einer solchen Anpassung technischer Artefakte sind Theorien zur Beschreibung und Erklärung menschlichen Verhaltens, hier: Theorien mentaler Modelle. Nun wird der Stand der Theoriebildung in der Kognitionspsychologie nicht immer eindeutig positiv beurteilt: Zahlreiche theoretische Ansätze sind sehr detailliert, damit aber voraussetzungsreich und häufig bezogen auf mikroskopische Gegenstandsbereiche. Andere, zu denen sicherlich auch Mentale-Modell-Theorien zählen, weisen z. T. recht unscharfe Begriffe auf, die erst noch stärker mit empirischem Gehalt zu füllen sind. In beiden Fällen ist es nicht möglich, streng deduktiv Gestaltungsfolgerungen abzuleiten (z. B. Hoppe & Schmalhofer, 1987; Carroll, 1989; Keil-Slawik, 1990). Das Fortschreiten software-ergonomischer Bemühungen auf der Basis der Grundlagenwissenschaften erscheint gehemmt. Es entsteht ein Dilemma (vgl. auch Karat, 1988), das Green (1990), bezogen auf das Konzept mentaler Modelle, so beschreibt:

... if we HCI workers wait for the purer disciplines, cognitive science and cognitive psychology, to resolve the issues raised by mental models, we shall wait literally for years. During that time, the designers and evaluators of computer-based devices will have no option but to continue their present practice, which is to design devices with little or no reference to the mental models created by the user. (S. 4)

Als Lösung dieses Dilemmas schlägt Green (1990) die Entwicklung "begrenzter Theorien" (limited theories) vor (vgl. Carroll, 1989). Eine auf software-ergonomische Fragestellungen begrenzte Theorie kann zwar keinen allgemeinen Gültigkeitsanspruch für das jeweils übergeordnete Thema psychologischer Grundlagenforschung beanspruchen, dafür aber einen engeren Bezug zur spezifischen Anwendung entwickeln. Als Beispiel nennt Green etwa das Problem, wie der Benutzer eines bestimmten Software-systems den Handlungsweg zur Erreichung eines Arbeitsziels plant. Eine Theorie, die dieses und nur dieses erklären kann, wäre eine im genannten Sinne begrenzte Theorie. Sie hätte den Vorteil, direkt auf den in Frage stehenden Gegenstandsbereich bezogen zu sein, ohne zwangsläufig am Fehlen von Grundlagenkenntnissen scheitern zu müssen. So ist zwar z. B. das Arbeitsgedächtnis eine wichtige Ressource dieses Planungsprozesses, aber nicht alle Aspekte des Arbeitsgedächtnisses sind zur Erklärung dieses spezifischen Prozesses erforderlich. Die Entwicklung einer solchen begrenzten Theorie braucht also nicht auf die umfassende Erforschung des Konstrukts "Arbeitsgedächtnis" zu "warten". Darüber hinaus wäre eine so umfassende Theorie, selbst wenn es sie gäbe, noch keine anwendungsreife software-ergonomische Theorie.

Der Nachteil solcherart begrenzter Theorien liegt in ihrer potentiellen Zusammenhangslosigkeit. Die Bedingungen ihrer Gültigkeit und Anwendbarkeit, die Explikation ihrer gegenseitigen Beziehungen erfordern einen übergreifenden Zusammenhang. Das Fehlen eines solchen Zusammenhangs wirkt sich negativ auf die Entwicklung einer wissenschaftlichen Disziplin aus, die somit leicht einen Eindruck vermittelt, wie ihn Green (1990) selbst beschreibt:

The present scrappy and unsatisfactory state of the field is largely created by doing research on 'any familiar topic within HCI' while ignoring the relationships between topics and the fact that different topics may be drawn from fundamentally differing categories. (S. 21)

Zentrales Kennzeichen eines solchen Ansatzes ist seine vorrangige Orientierung an den zu lösenden praktischen Problemen:

A potential danger of this approach is that it can lead to parochial conclusions; the researcher fails to see the links with other problems or the wider cognitive issues, and small-scale data repositories or local mini-theories of dubious generality proliferate. (Hammond, Gardiner, Christie & Marshall, 1987, S. 21)

Solche Einschätzungen wurden nicht nur bezüglich des Zustandes der Theorieentwicklung in der Software-Ergonomie geäußert, sondern (als Folge) auch bezüglich bereits bestehender Kataloge von Gestaltungskriterien und -empfehlungen. Nach der Diskussion verschiedener Ansätze dieser Art (DIN, 1988, 1990; Murchner et al., 1987; Triebe, Wittstock & Schiele, 1987; Balzert, 1987) kommt Keil-Slawik (1990) zu dem Schluß: "Zusammenfassend läßt sich sagen, daß es bisher keinen Kriterienkatalog gibt, der die Entwickler in ihrer Gestaltungsarbeit angemessen unterstützt" (Keil-Slawik, 1990, S. 83). Ein zentraler Kritikpunkt betrifft den mangelnden internen Zusammenhang: "..., denn hier geht es ... um das Zusammentragen wünschenswerter Aspekte, die alle irgendwo ihre Berechtigung haben mögen, deren struktureller Zusammenhang jedoch offen bleibt und nicht empirisch abgesichert ist" (a. a. O.).

So ist Carroll und Green durchaus zuzustimmen, wenn sie die schnelle Entwicklung begrenzter Theorien vorschlagen: Doch muß dies durch die Explikation übergreifender, theoretischer Zusammenhänge ergänzt werden. Es ist ein Anliegen dieser Arbeit, eine solche integrierende Darstellung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Ansätzen herzustellen. Mit Perrig (1988) könnte man ein solches Anliegen als die weitere Ausarbeitung eines Rahmenkonstrukts bezeichnen:

Das Rahmenkonstrukt formuliert Annahmen, die die Untersuchung und das Verstehen eines weiten Spektrums von Phänomenen erleichtern soll. Es ist in seinen Vorhersagemöglichkeiten beschränkt und darf deshalb nicht mit einer falsifizierbaren Theorie verwechselt werden. Die Güte des Rahmenkonstrukts wird durch den Erfolg der Theorien definiert, die es generiert. (S. 15).

Deshalb sind häufig Anknüpfungspunkte mit weiteren Themen der Kognitionspsychologie gesucht worden. Damit wurde sicherlich nicht so sehr zur Präzisierung eines bestimmten Ansatzes beigetragen, sondern versucht, die Gemeinsamkeiten Mentaler-Modell-Theorien im Kontext allgemeinpsychologischer Forschung herauszuarbeiten. In der Terminologie Greens ausgedrückt, besteht das Ziel der vorliegenden Arbeit also nicht in einer "limited theory", sondern eher in der Darstellung eines theoretischen Bezugsrahmens für Theorien mit software-ergonomisch begrenztem Gültigkeitsbereich. Es ist zu hoffen, daß der Nutzen eines solchen Unternehmens die Hauptgefahr, nämlich die ungerechtfertigte Extrapolation von Einzelbefunden auf den gesamten Ansatz, überwiegen möge.

Ein weiteres Problem auf dem Weg von der Theorie zur software-ergonomischen Anwendung ist dieses: Aus der Beschreibung und Erklärung kognitiver Prozesse sind direkt noch gar keine Gestaltungskonsequenzen abzuleiten. Hierzu bedarf die Theorie einer evaluativen Komponente, die bestimmt, welche der theoretisch möglichen Konsequenzen überhaupt wünschenswert sind. Aus theoretischen Ansätzen, die beispielsweise das Auftreten von Handlungsfehlern erklären (z. B. Reason, 1987), können Gestaltungs-

empfehlungen darüber abgeleitet werden, wie bestimmte Typen von Handlungsfehlern vermieden werden können. Für praktische Entscheidungen muß dem jedoch ein bewertender Schritt vorausgehen, in dem entschieden wird, ob bestimmte Handlungsfehler überhaupt vermieden werden sollen (z. B. wegen der Irreversibilität ihrer Folgen) oder ob solche Fehler ruhig auftreten dürfen, solange ihre Folgen leicht korrigierbar sind (z. B. Frese & Brodbeck 1989, S. 84 ff.). Diese evaluative Komponente entsteht erst, wenn die Theorie eine Konkretisierung in einem bestimmbareren Setting erfährt. In diesem Beispiel kann die Entscheidung etwa davon abhängen, ob es um Handlungsfehler im Umgang mit einem Tabellenkalkulationsprogramm geht oder um die Arbeit in der Kontrollwarte eines Chemiewerks. Auch einer präzisen kognitionspsychologischen Theorie kann es in diesem Sinne an ökologischer Validität mangeln (Keil-Slawik, 1990). Um dies vermeiden zu können, muß bekannt sein, mit welchem Softwaresystem ein Benutzer welche Aufgaben in welcher Arbeitsumgebung erfüllen soll. Ohne diesen konkreten Anwendungskontext können Gestaltungskonsequenzen nur auf einer abstrakten Ebene abgeleitet werden. Sie werden Gegebenheiten der Arbeitsumgebung nur indirekt berücksichtigen können oder ganz offen lassen müssen.

Hieraus folgt, daß eine Arbeit, wie die vorliegende, keine fertigen Lösung für aktuelle Designprobleme bieten kann. Zum einen ist die technische Entwicklung hierfür zu schnelllebig. Gemessen an deren Geschwindigkeit, muß jedes näher untersuchte Beispiel bei seiner Veröffentlichung "veraltet" sein. Zum anderen kann der konkrete Anwendungskontext, der hierzu erforderlich wäre, nur unzureichend antizipiert werden. Das Ziel muß vielmehr darin bestehen, kognitionsspsychologisches Grundlagenwissen zu vermitteln, welches hoffentlich nutzbringend von denjenigen angewendet werden kann, die selbst bereits Experten des jeweiligen Anwendungskontextes sind.

Literaturverzeichnis

- Ackermann, D. & Greutmann, T. (1990). Experimental reconstruction and simulation of mental models. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 133-150). Amsterdam: North-Holland.
- Ackermann, D. & Stelovsky, J. (1987). The role of mental models in programming: From experiments to requirements for an interactive system. In P. Gorny & M. Tauber (Eds.), *Visualization in programming* (pp. 53-69). Berlin: Springer.
- Aebli, H. (1980). *Denken: Das Ordnen des Tuns*. (Bd. I: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Alba, J. W. & Hasher, L. (1983). Is memory schematic? *Psychological Bulletin*, 93, 203-231.
- Altenkrüger, D. E. (1987). *Wissensdarstellung für Expertensysteme*. Mannheim: B.I. Wissenschaftsverlag.
- Altmann, A. (1987). Direkte Manipulation: Empirische Befunde zum Einfluß der Benutzeroberfläche auf die Erlernbarkeit von Textsystemen. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 31, 108-114.
- Anderson, C. C. (1964). The psychology of the metaphor. *Journal of Genetic Psychology*, 105, 53-73.
- Anderson, J. R. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review*, 85, 249-277.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1985). *Cognitive psychology and its implications* (2. Ed.). San Francisco, CA: Freeman.
- Anderson, J. R. & Bower, G. H. (1973). *Human associative memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, R. C. (1977). The notion of schemata and the educational enterprise: General discussion of the conference. In R. C. Anderson, R. J. Spiro & W. E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 415-431). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Appleyard, D. (1970). Styles and methods of structuring a city. *Environment and Behavior*, 2, 100-118.
- Arend, U. (1989). Einfluß von Visualisierung und Kommandostruktur auf das Problemlösen an einer Prototypendatenbank. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 355-364). Stuttgart: Teubner.
- Arend, U. (1990). *Wissenserwerb und Problemlösen bei der Mensch-Computer-Interaktion*. Regensburg: Roderer.
- Bäumker, C. (1913). *Anschaung und Denken*. Paderborn: Schöningh.
- Ballstaedt, S.-P., Molitor, S. & Mandl, G. (1987). Wissen aus Text und Bild. *Forschungsbericht 40 des Deutschen Instituts für Fernstudien*. Tübingen: Universität Tübingen.
- Balzert, H. (1987). Gestaltungsziele der Software-Ergonomie. Versuch eines neuen, umfassenden Ansatzes. In W. Schönplflug & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nutzen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 477-488). Stuttgart: Teubner.
- Barnard, P. J., Hammond, N. V., Morton, J. & Long, J. B. (1981). Consistency and compatibility in human-computer dialogue. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, 87-134.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering. A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Battmann, W. (1989). *Verhaltensökonomie: Grundannahmen und eine Anwendung am Fall des kooperativen Handelns*. Frankfurt/M.: Lang.
- Bayman, P. & Mayer, R. E. (1984). Instructional manipulations of users' mental models of electronic calculators. *International Journal of Man-Machine Studies*, 20, 189-199.
- Benda, H. von (1985). Aspekte der Dialoggestaltung für Bildschirmarbeitsplätze in der Verwaltung. In H.-J. Bullinger (Hrsg.), *Software-Ergonomie '85. Mensch-Computer-Interaktion* (S. 198-205). Stuttgart: Teubner.
- Benest, J. D. & Potok, M. H. N. (1984). Wayfinding: An approach using signposting techniques. *Behaviour and Information Technology*, 3, 99-107.
- Benyon, D. (1985). Monitor. A self-adaptive user interface. In B. Shackel (Ed.), *Human-computer interaction - INTERACT '84* (pp. 325-341). Amsterdam: North-Holland.
- Benz, C., Grob, R. & Haubner, P. (1981). *Gestaltung von Bildschirm-Arbeitsplätzen*. Köln: TÜV Rheinland.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw Hill.
- Black, M. (1962). *Models and metaphors*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

- Black, M. (1979). More about metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought* (pp. 19-43). Cambridge: Cambridge University Press.
- Boedicker, D. (1989). *Handbuchknigge. Software-Handbücher schreiben und beurteilen*. Mannheim: B. I. Wissenschaftsverlag.
- Boles, D. B. & Wickens, C. D. (1987). Display formatting in information integration and noninterpretation tasks. *Human Factors*, 29, 395-406.
- Bower, G. H., Black, J. B. & Turner, T. J. (1979). Scripts in memory for texts. *Cognitive Psychology*, 11, 177-220.
- Bransford, J. D., Barclay, J. R. & Franks, J. J. (1972). Sentence memory: A construction versus interpretation approach. *Cognitive Psychology*, 3, 193-207.
- Brehmer, B. (1987). Development of mental models for decision in technological systems. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 111-120). Chichester: Wiley.
- Brewer, W. F. (1987). Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris (Ed.), *Modelling cognition* (pp. 187-197). New York: Wiley.
- Briggs, P. (1988). What we know and what we need to know: The user model versus the user's model in human-computer interaction. *Behaviour and Information Technology*, 7, 431-442.
- Briggs, P. (1990). The role of the user model in learning as an internally and externally directed activity. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 195-208). Amsterdam: North-Holland.
- Brooks, L. W. & Dansereau, D. F. (1987). Transfer of information: An instructional perspective. In S. M. Cormier & J. D. Hagman (Eds.), *Transfer of learning. Contemporary research and applications* (pp. 121-150). New York: Academic Press.
- Brown, C. M. (1988). *Human-computer interface design guidelines*. Norwood, NJ: Ablex.
- Brown, J. S. & Burton, R. R. (1975). Multiple representations of knowledge for tutorial reasoning. In D. G. Bobrow & A. M. Collins (Eds.), *Representation and meaning: Studies in cognitive science* (pp. 311-349). New York: Academic Press.
- Brown, P. J. (1983). Error messages: The neglected area of the man-machine interface? *Communications of the ACM*, 26, 246-249.
- Browning, C. (1984). *Guide to effective software technical writing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bruner, J. S. (1957). Beyond the information given. In H. E. Gruber, K. R. Hammond & R. Jessor (Eds.), *Contemporary approaches to cognition* (pp. 41-69). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1966a). On cognitive growth I. In J. S. Bruner, R. R. Olver, P. M. Greenfield et al. (Eds.), *Studies in cognitive growth* (pp. 1-29). New York: Wiley.
- Bruner, J. S. (1966b). *Toward a theory of instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1973). The growth of representational processes in childhood. In J. M. Anglin (Ed.), *Beyond the information given. Studies in the psychology of knowing* (pp. 313-324). London: George Allen & Unwin.
- Bryant, D. J., Tversky, B. & Franklin, N. (1992). Internal and external spatial frameworks for representing described scenes. *Journal of Memory and Language*, 31, 74-98.
- Budde, R. & Züllighoven, H. (1992). Software tools in a programming workshop. In C. Floyd, H. Züllighoven, R. Budde & R. Keil-Slawik (Eds.), *Software development and reality construction* (pp. 252-268). Berlin: Springer.
- Canter, D., Powell, J., Wishart, J. & Roderick, C. (1986). User navigation in complex database systems. *Behaviour and Information Technology*, 5, 249-257.
- Canter, D., Rivers, R. & Storrs, G. (1985). Characterizing user navigation through complex data structures. *Behaviour and Information Technology*, 4, 93-102.
- Card, S. K. & Henderson, A. J. (1987). A multiple, virtual-workspace interface to support user task switching. In J. M. Carroll & P. P. Tanner (Eds.), *Proceedings of the CHI + GI '87: Human factors in computing systems and graphics interface*. ACM.
- Card, S. K., Moran, T. P. & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Card, S. K., Pavel, M. & Farrell, J. E. (1985). Window-based computer dialogues. In B. Shackel (Ed.), *Human-computer interaction - INTERACT '84* (pp. 239-243). Amsterdam: North-Holland.
- Carroll, J. M. (1985). Minimalist design for active users. In B. Shackel (Ed.), *Human-computer interaction INTERACT '84* (pp. 39-41). Amsterdam: North-Holland.

- Carroll, J. M. (1987). Five gambits for the advisory interface dilemma. In M. Frese, E. Ulich & W. Dzida (Eds.), *Psychological issues of human-computer interaction in the work place* (pp. 257-274). Amsterdam: North-Holland.
- Carroll, J. M. (1989). Taking artifacts seriously. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 36-50). Stuttgart: Teubner.
- Carroll, J. M. & Carrithers, C. (1984). Training wheels in the user interface. *Communications of the ACM*, 27, 800-806.
- Carroll, J. M., Herder, R. E. & Sawtelle, D. (1987). Task mapper. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction INTERACT '87* (pp. 973-978). Amsterdam: North-Holland.
- Carroll, J. M. & Mack, R. L. (1983). Actively learning to use a word processor. In W. E. Cooper (Ed.), *Cognitive aspects of skilled typewriting* (pp. 259-281). New York: Springer.
- Carroll, J. M. & Mack, R. L. (1984). Learning to use a word processor by doing, by thinking, by knowing. In J. C. Thomas & M. L. Schneider (Eds.), *Human factors in computer systems* (pp. 13-51). Norwood, NJ: Ablex.
- Carroll, J. M. & Mack, R. L. (1985). Metaphor, computing systems, and active learning. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, 39-57.
- Carroll, J. M. & Thomas, J. C. (1982). Metaphor and the cognitive representation of computing systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 12, 107-116.
- Carswell, C. M. & Wickens, C. D. (1987). Objections to objects: Limitations of human performance in the use of iconic graphics. In L. S. Mark, J. S. Warm & R. L. Huston (Eds.), *Ergonomics and human factors* (pp. 235-240). New York: Springer.
- Chase, W. G. & Chi, M. T. H. (1981). Cognitive skill: Implications for spatial skill in large-scale environments. In J. H. Harvey (Ed.), *Cognition, social behavior, and the environment* (pp. 111-130). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Clayton, K. & Woodyard, M. (1981). The acquisition and utilisation of spatial knowledge. In J. H. Harvey (Ed.), *Cognition, social behavior, and the environment* (pp. 151-161). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Clement, D. (1985). Empirical guidelines and a model for writing computer documentation. In B. Shackel (Ed.), *Human-computer interaction - INTERACT '84* (pp. 667-671). Amsterdam: North-Holland.
- Clement, J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 325-339). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Collins, A. & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Holland & N. Quinn (Eds.), *Cultural models in thought and language* (pp. 243-265). Cambridge: Cambridge University Press.
- Conant, R. C. & Ashby, W. R. (1970). Every good regulator of a system must be a model of that system. *International Journal of Systems Science*, 1, 89-97.
- Cooper, L. A. & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 75-175). New York: Academic Press.
- Cormier, S. M. & Hagman, J. D. (Eds.). (1987). *Transfer of learning. Contemporary research and applications*. New York: Academic Press.
- Craik, K. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Cunniff, N. & Taylor, R. P. (1987). Graphics and learning: A study of learner characteristics and comprehension of programming languages. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 317-322). Amsterdam: North-Holland.
- Darlington, J., Dzida, W. & Herda, S. (1983). The role of excursions in interactive systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18, 101-112.
- De Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 155-190). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- DIN (1988). *DIN 66234 Bildschirmarbeitsplätze. Teil 8: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- DIN (1990). *DIN 66285 Anwendungssoftware: Gütebedingungen und Prüfbestimmungen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- Dijk, T. A. van & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- DiSessa, A. A. (1982). Unlearning Aristotelian physics: A study of knowledge based learning. *Cognitive Science*, 6, 37-45.

- DiSessa, A. A. (1987). Reference and data construction in Boxer. In P. Gorny & M. Tauber (Eds.), *Visualization in programming* (pp. 151-163). Berlin: Springer.
- Dixon, P. (1987). The structure of mental plans for following directions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13, 18-26.
- Dörner, D. (1974). *Die kognitive Organisation beim Problemlösen*. Bern: Huber.
- Dörr, G., Seel, N. & Strittmatter, P. (1986). Mentale Modelle: Alter Wein in neuen Schläuchen. *Unterrichtswissenschaft*, 14, 168-189.
- Douglas, S. A. & Moran, T. P. (1984). Learning text editor semantics by analogy. In A. Janda (Ed.), *Human factors in computing systems. Proceedings of the CHI '83 Conference, Boston* (pp. 207-211). Amsterdam: North-Holland.
- Downs, R. M. & Stea, D. (1973). *Image and environment*. Chicago: Aldine.
- Du Boulay, B. & Matthew, I. (1984). Fatal error in pass zero: How not to confuse novices. In G. C. van der Veer, M. J. Tauber, T. R. G. Green & P. Gorny (Eds.), *Readings in cognitive ergonomics - mind and computers*. (pp. 132-141). Berlin: Springer.
- Duff, S. C. & Barnard, P. J. (1990). Influencing behavior via device representation: Decreasing performance by increasing instruction. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 61-66). Amsterdam: North-Holland.
- Dumais, S. T. & Jones, W. P. (1985). A comparison of symbolic and spatial filing. In L. Borman & B. Curtis (Eds.), *Human factors in computing systems - II. Proceedings of the CHI '85 Conference, San Francisco*, (pp. 127-130). Amsterdam: North-Holland.
- Duncan, K. D. (1987). Reflections of fault diagnostic expertise. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 261-269). Chichester: Wiley.
- Dunckel, H. (1989). Arbeitspsychologische Kriterien zur Beurteilung und Gestaltung von Arbeitsaufgaben im Zusammenhang mit EDV-Systemen. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 69-79). Stuttgart: Teubner.
- Duncker, K. (1935). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin: Jul. Springer.
- Dutke, S. (1987a). Lernen an einem Textkommunikationsgerät: Wissenserwerb und Handlungsfehler. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 31, 100-107.
- Dutke, S. (1987b). Wann nützt ein Handbuch? Eine handlungsorientierte, empirische Analyse und ihre Ergebnisse. In W. Schönplflug & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87: Nützen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 398-407). Stuttgart: Teubner.
- Dutke, S. (1988). *Lernvorgänge bei der Bedienung eines Textkommunikationssystems. Eine Untersuchung über den Zusammenhang von Vorwissen, Wissenserwerb und Handeln*. Frankfurt/M.: Lang.
- Dutke, S. (1990). Visualizing user information in the interface: Effects on exploratory learning and performance. In Technische Universität Dresden (Ed.), *Mental work and automation*. (pp. 100-105). Dresden: Technische Universität Dresden.
- Dutke, S. & Schönplflug, W. (1987). When the introductory period is over: Learning while doing one's job. In M. Frese, E. Ulich & W. Dzida (Eds.), *Psychological issues of human-computer interaction in the work place* (pp. 295-310). Amsterdam: North-Holland.
- Dutke, S. & Schönplflug, W. (1988). Die Handlungspsychologie als Grundlage der Software-Ergonomie: Die Beschreibung von Dialogen als Beispiel. In W. Schönplflug (Hrsg.), *Bericht über den 36. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Berlin, 1988* (Bd. 1, S. 277). Göttingen: Hogrefe.
- Dutke, S. & Streitz, N. A. (1987). Arbeitsgruppe 3 auf der 7. MMK-Arbeitstagung (1987). Handbücher und Dokumentationen als Gegenstand der Kognitiven Ergonomie: Nicht mehr oder wieder aktuell? In M. Frese (Hrsg.), *Abschlußbericht der 7. Mensch-Maschine Kommunikation Tagung vom 15.-18. November in Peiting bei München*.
- Dzida, W. (1980). Kognitive Ergonomie für Bildschirmarbeitsplätze. *Humane Produktion/Humane Arbeitsplätze*, 10, 18-19.
- Dzida, W. (1986). Computer assisted knowledge acquisition. Towards a laboratory for protocol analysis of user dialogues. In F. Klix & H. Wandke (Eds.), *Man-computer interaction research. MACINTER-I* (pp. 139-150). Amsterdam: North-Holland.
- Dzida, W., Freitag, R., Hoffmann, C. & Valder, W. (1989). Individuelle Arbeitsvorbereitung am System UNIX. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 407-417). Stuttgart: Teubner.

- Eberleh, E. (1989a). Anpassung der Funktionalität an die Wissensstruktur geübter Benutzer/innen. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 194-203). Stuttgart: Teubner.
- Eberleh, E. (1989b). *Beschreibung, Klassifikation und mentale Repräsentation komplexer Mensch-Computer-Interaktion*. Regensburg: Roderer.
- Efe, K. (1987). A proposed solution to the problem of levels in error-message generation. *Communications of the ACM*, 30, 948-955.
- Engelkamp, J. (1987). Modalitätsspezifische Gedächtnissysteme im Kontext sprachlicher Informationsverarbeitung. *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 1-28.
- Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Engelkamp, J. & Pechmann, T. (1988). Kritische Anmerkungen zum Begriff der mentalen Repräsentation. *Sprache und Kognition*, 7, 1-11.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (1983). Zum Einfluß von Wahrnehmen und Tun auf das Behalten in Verb-Objekt-Phrasen. *Sprache und Kognition*, 2, 117-127.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215-251.
- Finke, R. (1985). Theories relating mental imagery to perception. *Psychological Bulletin*, 98, 236-259.
- Fitzgibbon, L. & Patrick, J. (1987). The use of structural displays to facilitate learning. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 611-616). Amsterdam: North-Holland.
- Foley, P. & Moray, N. (1987). Sensations, perception and system design. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors* (pp. 45-71). New York: Wiley.
- Forbus, K. D. (1983). Qualitative reasoning about space and motion. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 53-73). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Forrest-Pressley, D. L., MacKinnon, G. E. & Waller, T. G. (Eds.). (1985). *Metacognition, cognition, and performance* (Vol. 1: Theoretical perspectives). Orlando, FL: Academic Press.
- Frege, G. (1892). Über Sinn und Bedeutung. *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 100, gesamte Ausgabe.
- Frese, M. (1987a). A theory of control and complexity: Implications for software design and integration of computer systems into the work place. In M. Frese, E. Ulich & W. Dzida (Eds.), *Psychological issues of human-computer interaction in the work place* (pp. 313-337). Amsterdam: North-Holland.
- Frese, M. (1987b). Human-computer interaction in the office. In C. L. Cooper & I. T. Robertson (Eds.), *International review of industrial organizational psychology* (pp. 117-165). London: Wiley.
- Frese, M. & Brodbeck, F. C. (1989). *Computer in Büro und Verwaltung*. Berlin: Springer.
- Frese, M. et al. (1988). The effects of an active development of the mental model in the training process: Experimental results in a word processing system. *Behaviour and Information Technology*, 7, 295-304.
- Frese, M. & Peters, H. (1988). Zur Fehlerbehandlung in der Software-Ergonomie: Theoretische und praktische Überlegungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 42, 9-17.
- Frese, M. & Zapf, D. (Hrsg.). (1991). *Fehler bei der Arbeit mit dem Computer. Ergebnisse von Beobachtungen und Befragungen im Bürobereich*. Bern: Huber.
- Frieling, E., Klein, H., Schliep, W. & Scholz, R. (1987). *Gestaltung von CAD-Arbeitsplätzen und ihrer Umgebung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz*. Bremerhafen: Verlag für neue Wissenschaften.
- Funt, B. V. (1980). Problem solving with diagrammatic representations. *Artificial Intelligence*, 13, 201-230.
- Galotti, K. M., Baron, J. & Sabini, J. P. (1986). Individual differences in syllogistic reasoning: Deduction rules or mental models? *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 16-25.
- Gentner, D. (1983). Structure mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gentner, D. & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters and teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 99-129). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (Eds.). (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gerstendörfer, M. & Rohr, G. (1987). Which task in which representation on what kind of interface? In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human computer interaction - INTERACT '87* (pp. 513-518). Amsterdam: North-Holland.
- Gibson, E. J. (1988). Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the acquiring of knowledge. *Annual Review of Psychology*, 39, 1-41.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.

- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1987). The cognitive basis of knowledge transfer. In S. M. Cormier & J. D. Hagman (Eds.), *Transfer of learning. Contemporary research and applications* (pp. 9-46). New York: Academic Press.
- Gigerenzer, G. (1991a). From tools to theories. A heuristic of discovery in cognitive psychology. *Psychological Review*, 98, 254-267.
- Gigerenzer, G. (1991b). How to make cognitive illusions disappear: Beyond "heuristics and biases". In W. Stroebe & M. Hewstone (Eds.), *European review of social psychology* (pp. 84-115). London: Wiley.
- Gigerenzer, G., Hoffrage, U. & Kleinbölting, H. (1991). Probabilistic mental models: A Brunswikian theory of confidence. *Psychological Review*, 98, 506-528.
- Gigerenzer, G. & Murray, D. J. (1987). *Cognition as intuitive statistics*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gittins, D. (1986). Icon-based human-computer interaction. *Journal of Man-Machine Studies*, 24, 519-543.
- Glaser, R. & Bassok, M. (1989). Learning theory and the study of instruction. *Annual Review of Psychology*, 40, 631-666.
- Glensberg, A. & Langston, W. (1992). Comprehension of illustrated text: Pictures help to build mental models. *Journal of Memory and Language*, 31, 129-151.
- Glensberg, A., Meyer, M. & Lindem, K. (1987). Mental models contribute to foregrounding during text comprehension. *Journal of Memory and Language*, 26, 69-83.
- Glucksberg, S. (1984). Commentary: The functional equivalence of common and multiple codes. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 100-104.
- Görner, R. (1976). Zur Entwicklung räumlicher Vorstellungen als Operieren an internen Repräsentationen. In W. Hacker (Hrsg.), *Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten* (S. 72-77). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Gomez, L. M., Egan, D. E. & Bowers, C. (1986). Learning to use a text editor: Some learner characteristics that predict success. *Human Computer Interaction*, 2, 1-23.
- Gorny, P. & Tauber, M. J. (Eds.). (1987). *Visualization in programming*. Berlin: Springer.
- Graesser, A. C. (1981). *Prose comprehension beyond the word*. Berlin: Springer.
- Green, A. J. K. & Barnard, P. J. (1990). Iconic interfacing: The role of icon distinctiveness and fixed or variable screen locations. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 457-462). Amsterdam: North-Holland.
- Green, T. R. G. (1990). Limited theories as a framework for human-computer interaction. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 3-39). Amsterdam: North-Holland.
- Greif, S. (1986). Neue Kommunikationstechnologien - Entlastung oder mehr Streß? Beschreibung eines "Computer-Trainings zur Streßimmunisierung". In K.-H. Pullig, U. Schäkel & J. Scholz (Hrsg.), *Streß im Unternehmen* (S. 178-200). Hamburg: Windmühle.
- Greif, S. (1989). Exploratorisches Lernen durch Fehler und qualifikationsorientiertes Software-Design. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 204-212). Stuttgart: Teubner.
- Greif, S. & Janikowski, A. (1987). Aktives Lernen durch systematische Fehlerexploration oder programmiertes Lernen durch Tutorials? *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 31, 94-99.
- Greif, S. & Kurtz, H.-J. (1989). Ausbildung, Training, Qualifizierung. In S. Greif, H. Holling & N. Nicholson (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie* (S. 149-161). München: Psychologie Verlags Union.
- Grell, J. & Pallasch, W. (1978). Selbstgesteuertes Lernen in einer Kultur der Fremdsteuerung. In H. Neber, A. C. Wagner & W. Einsiedler (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen* (S. 88-108). Weinheim: Beltz.
- Griggs, R. A. (1983). The role of problem content in the selection task and THOG problem. In J. StB. T. Evans (Ed.), *Thinking and reasoning: Psychological approaches* (pp. 16-43). London: Routledge & Kegan Paul.
- Griggs, R. A. & Cox, J. R. (1982). The elusive thematic-materials effect in Wason's selection task. *British Journal of Psychology*, 73, 407-420.
- Gumm, U. & Hagendorf, H. (1990). Problem solving research and human-computer interaction. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 95-112). Amsterdam: North-Holland.
- Haarslev, V. & Möller, R. (1989). Visualisierungen beim Entwicklungsprozeß experimenteller Programmsysteme. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 427-436). Stuttgart: Teubner.
- Hacker, W. (1978). *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie* (2. Aufl.). Bern: Huber.

- Hacker, W. (1986). *Arbeitspsychologie*. Bern: Huber.
- Hacker, W. (1987a). Software-Ergonomie: Gestalten rechnergestützter geistiger Arbeit?!. In W. Schönplugg & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nützen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 31-54). Stuttgart: Teubner.
- Hacker, W. (1987b). Software-Gestaltung als Arbeitsgestaltung. In K.-P. Fähnrich (Hrsg.), *Software-Ergonomie* (S. 29-42). München: Oldenbourg.
- Hacker, W. & Clauss, A. (1976). Kognitive Operationen, inneres Modell und Leistung bei der Montagetätigkeit. In W. Hacker (Hrsg.), *Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten* (S. 88-102). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Halasz, F. G. & Moran, T. P. (1982). Metaphor considered harmful. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computer Systems, Gaithersburg, USA*, 383-386.
- Halasz, F. G. & Moran, T. P. (1983). Mental models and problem solving in using a calculator. In A. Janda (Ed.), *Human factors in computing systems. Proceedings of the CHI '83 Conference, Boston* (pp. 212-216). Amsterdam: North-Holland.
- Hammond, N., Gardiner, M. M., Christie, B. & Marshall, C. (1987). The role of cognitive psychology in user-interface design. In M. M. Gardiner & B. Christie (Eds.), *Applying cognitive psychology to user-interface design* (pp. 13-53). Chichester: Wiley.
- Hayes, P. J. (1978). The naive physics manifesto. In D. Michie (Ed.), *Expert systems in the microelectronics age* (pp. 242-270). Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Head, H. (1920). *Studies in neurology* (Vol. II). London: Hodder & Stoughton.
- Heinecke, A. & Koschel, M. (1989). Benutzeroberflächen von CAD-Systemen: Ist weniger mehr? In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 457-465). Stuttgart: Teubner.
- Heller, O. & Lohr, W. (Hrsg.). (1982a). *Albert Michotte. Gesammelte Werke* (Bd. 1: Die phänomenale Kausalität). Bern: Huber.
- Heller, O. & Lohr, W. (1982b). Das Werk Michottes und seiner Mitarbeiter: Eine Einführung in den Gegenstand. In O. Heller & W. Lohr (Hrsg.), *Albert Michotte. Gesammelte Werke* (Bd. 1: Die phänomenale Kausalität, S. 15-41). Bern: Huber.
- Hermann, G. (1973). Lernen durch Entdeckung: Eine kritische Erörterung von Forschungsarbeiten. In H. Neber (Hrsg.), *Entdeckendes Lernen* (S. 166-189). Weinheim: Beltz.
- Herot, C. F. (1984). Graphical user interfaces. In Y. Vassiliou (Ed.), *Human factors and interactive computer systems* (pp. 83-103). Norwood, NJ: Ablex.
- Herrmann, Theo (1988). Mentale Repräsentation - ein erläuterungsbedürftiger Begriff. *Sprache und Kognition*, 7, 162-175.
- Herrmann, Thomas (1987). Die Darstellung stattgefundenener Dialogsequenzen als Hilfsmittel in der Mensch-Computer-Interaktion. In W. Schönplugg & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nützen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 340-349). Stuttgart: Teubner.
- Herry, N. (1987). Errors in the execution of prescribed instructions. Design of process control work aids. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 239-245). Chichester: Wiley.
- Hesse, F. W. (1991). Wissenserwerb durch die Nutzung von Analogien. In D. Frey (Hrsg.), *Bericht über den 37. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel 1990* (Bd. 2, S. 240-247). Göttingen: Hogrefe.
- Heuer, H. (1985). Wie wirkt mentale Übung? *Psychologische Rundschau*, 36, 191-200.
- Hönigswald, M. J. (1913). *Studien zur Theorie pädagogischer Grundbegriffe*. Stuttgart: Speman.
- Hoffmann, J. (1988). Wird Wissen in Begriffen repräsentiert? *Sprache und Kognition*, 7, 193-204.
- Hoffmann, J. & Klimesch, W. (1984). Die semantische Codierung von Wörtern und Bildern. *Sprache und Kognition*, 3, 1-25.
- Hoffmann, T., Klose, H. G. & Martin, H. (1989). *Handbuch zur software-ergonomischen Gestaltung von Bildschirmmasken*. Düsseldorf: VDI.
- Holley, C. D. & Dansereau, D. F. (Eds.). (1984). *Spatial learning strategies. Techniques, applications and related issues*. Orlando, FL: Academic Press.
- Holyoak, K. J. (1984a). Analogical thinking and human intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 2, pp. 199-230). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Holyoak, K. J. (1984b). Mental models in problem solving. In J. R. Anderson & S. M. Kosslyn (Eds.), *Tutorials in learning and memory. Essays in honor of Gordon Bower* (pp. 193-218). San Francisco, CA: Freeman.
- Hoppe, H. U. & Schmalhofer, F. (1987). Software-Ergonomie und "Cognitive Science": Die Bedeutung von Experimenten und Modellen. In W. Schönplüg & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nutzen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 507-509). Stuttgart: Teubner.
- Houssiadas, L. (1964). An exploratory study of the perception of causality. *The British Journal of Psychology. Monograph Supplements*, 36, 1-88.
- Howes, A. & Payne, S. J. (1990). Supporting exploratory learning. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 881-885). Amsterdam: North-Holland.
- Hutchins, E. (1983). Understanding micronesian navigation. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 191-225). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hutchins, E. L., Hollan, J. D. & Norman, D. A. (1985). Direct manipulation interfaces. *Human Computer Interaction*, 1, 311-338.
- Hutchins, E. L., Hollan, J. D. & Norman, D. A. (1986). Direct manipulation interfaces. In D. A. Norman & S. Draper (Eds.), *User centered system design* (pp. 87-124). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Ilg, R. & Ziegler, J. E. (1987). Interaktionstechniken. In K.-P. Fähnrich (Hrsg.), *Software-Ergonomie* (S. 106-117). München: Oldenbourg.
- Jagacinski, R. J. & Miller, R. A. (1978). Describing the human operator's internal model of a dynamic system. *Human Factors*, 20, 425-433.
- Jansen, K.-D., Schwitalla, U. & Wicken, W. (Hrsg.). (1989). *Beteiligungsorientierte Systementwicklung. Beiträge zu Methoden der Partizipation bei der Entwicklung computerunterstützender Arbeitssysteme*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4, 71-115.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inferences, and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. & Bara, B. G. (1984). Syllogistic inference. *Cognition*, 16, 1-61.
- Johnson-Laird, P. N., Herrmann, D. J. & Chaffin, R. (1984). Only connections: A critique of semantic networks. *Psychological Bulletin*, 96, 292-315.
- Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P. & Legrenzi, M. S. (1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, 63, 395-400.
- Johnson-Laird, P. N. & Steedman, M. J. (1978). The psychology of syllogisms. *Cognitive Psychology*, 10, 64-99.
- Johnson-Laird, P. N. & Wason, P. C. (1977). A theoretical analysis of insight into a reasoning task: Postscript. In P. N. Johnson-Laird & P. C. Wason (Eds.), *Thinking: Readings in cognitive science* (pp. 143-157). London: Cambridge University Press.
- Joynson, R. B. (1971). Michotte's experimental methods. *British Journal of Psychology*, 62, 293-302.
- Kahneman, D., Slovic, P. & Tversky, A. (1982). *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1982). The simulation heuristic. In D. Kahneman, P. Slovic & A. Tversky (Eds.), *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 201-208). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kamouri, A. L., Kamouri, J. & Smith, K. H. (1986). Training by exploration: Facilitating the transfer of procedural knowledge through analogical reasoning. *Journal of Man-Machine Studies*, 24, 171-192.
- Karat, J. (1988). Approximate modeling as an aid to software design. *Bulletin of the Human Factors Society*, 31, 1-3.
- Karger, C. & Oppermann, R. (1991). Empirische Nutzungsuntersuchung adaptierbarer Schnittstelleneigenschaften. In D. Ackermann & E. Ulich (Hrsg.), *Software-Ergonomie '91. Benutzerorientierte Software-Entwicklung* (S. 272-280). Stuttgart: Teubner.
- Keil-Slawik, R. (1990). *Konstruktives Design. Ein ökologischer Ansatz zur Gestaltung interaktiver Systeme* (Forschungsberichte des Fachbereichs Informatik, Bericht 90-14, Habilitationsschrift). Berlin: Technische Universität Berlin.
- Kempton, W. (1986). Two theories of home heat control. *Cognitive Science*, 16, 75-90.
- Kieras, D. E. & Bovair, S. (1984). The role of a mental model in learning to operate a device. *Cognitive Science*, 8, 255-273.

- Kiger, J. I. (1984). The depth-breadth trade-off in the design of menu-driven user interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, 20, 201-213.
- Kindborg, M. & Kollerbaur, A. (1987). Graphical tools for description of dynamic models - problems and prospects. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 631-636). Amsterdam: North-Holland.
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Klix, F. (1984). Über Wissensrepräsentation im menschlichen Gedächtnis. In F. Klix (Hrsg.), *Gedächtnis, Wissen, Wissensnutzung* (S. 9-73). Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (1988). Gedächtnis und Wissen. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 19-54). München: Psychologie Verlags Union.
- Klix, F., Meer, E. van der, Preuß, M. & Wolf, M. (1987). Über Prozeß- und Strukturkomponenten der Wissensrepräsentation. *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 39-61.
- Kluwe, R. H. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache & Kognition*, 9, 173-192.
- Kluwe, R. H., Misiak, C., Ringelband, O. J. & Haider, H. (1986). Lernen durch Tun: Eine Methode zur Konstruktion von simulierten Systemen mit spezifischen Eigenschaften und Ergebnissen einer Einzelfallstudie. In M. Amelang (Hrsg.), *Bericht über den 35. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Heidelberg 1986* (Bd. I, S. 208). Göttingen: Hogrefe.
- Köhler, D. H. (1987). The space-concept and the control of space. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 223-227). Amsterdam: North-Holland.
- Kolers, P. A. & Brison, S. J. (1984). Commentary: On pictures, words, and their mental representation. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 105-113.
- Kommers, P. A. M. (1988). Textvision: Elicitation and acquisition of conceptual knowledge by graphic representation and multiwindowing. In G. C. van der Veer & G. Mulder (Eds.), *Human-computer interaction: Psychonomic aspects* (pp. 237-249). Berlin: Springer.
- Koriat, A., Lichtenstein, S. & Fischhoff, B. (1980). Reasons for confidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 107-118.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M., Ball, T. M. & Reiser, B. J. (1978). Visual images preserve metric spatial information: Evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 47-60.
- Kotovsky, K., Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17, 248-294.
- Krieger, R. (1981). Ungewißheit und Wißbegier. Von der reizinduzierten Motivation zu einer Wert-Erwartungstheorie. In H.-G. Voss & H. Keller (Hrsg.), *Neugierforschung* (S. 80-108). Weinheim: Beltz.
- Kühn, O. & Schmalhofer, F. (1987). Erlernen der Computerbenutzung: durch gezielt sequenzierte Instruktion oder durch Explorieren. In W. Schönplflug & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nützen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 387-397). Stuttgart: Teubner.
- Kuipers, B. J. (1978). Modeling spatial knowledge. *Cognitive Science*, 2, 129-153.
- Kuntz, M. & Melchert, R. (1989). PASTA - 3. Eine Schnittstelle zur "direkten Manipulation" von Wissensbanken. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung* (S. 324-333). Stuttgart: Teubner.
- Lakoff, G. (1986). *Women, fire and dangerous things: What categories tell us about the nature of thought*. Chicago: Chicago University Press.
- Lakoff, G. (1987). Cognitive models and prototype theory. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorization* (pp. 63-100). Cambridge: Cambridge University Press.
- Landsdale, M. W. (1988). On the memorability of icons in an information retrieval task. *Behaviour and Information Technology*, 7, 131-151.
- Landsdale, M. W., Simpson, M. & Stroud, T. R. M. (1987). Comparing words and icons as cue enrichers in an information retrieval task. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 911-916). Amsterdam: North-Holland.
- Lang, J. (1987). Mentale Modelle bei Experten. Eine empirische Untersuchung zur elektronischen Ablage eines Bürosystems. In W. Schönplflug & M. Wittstock (Eds.), *Software-Ergonomie '87. Nützen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 98-107). Stuttgart: Teubner.

- Larkin, J. H. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 75-98). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Larson, J. A. (1986). Visual languages for database users. In S.-K. Chang, T. Ichikawa & P. A. Ligomenides (Eds.), *Visual languages* (pp. 127-147). New York: Plenum Press.
- Ledgard, H., Singer, A. & Whiteside, J. (1981). *Directions in human factors for interactive systems*. Berlin: Springer.
- Leontjew, A. N. (1982). *Tätigkeit, Bewußtsein, Persönlichkeit*. Berlin: Volk und Wissen.
- Leontjew, A. N. (1973). *Probleme der Entwicklung des Psychischen*. Frankfurt/M.: Fischer.
- Lepper, M. R. & Greene, D. (Eds.). (1978). *The hidden costs of reward: New perspectives on the psychology of human motivation*. New York: Erlbaum.
- Lepper, M. R., Greene, D. & Nisbett, R. E. (1973). Undermining children's intrinsic interest with extrinsic rewards: A test of the "overjustification" hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 28, 129-137.
- Levesque, H. J. (1984). Foundations of a functional approach to knowledge representation. *Artificial Intelligence*, 23, 155-212.
- Lichtenstein, S., Fischhoff, B. & Phillips, L. D. (1982). Calibration of probabilities: State of the art to 1980. In D. Kahneman, P. Slovic & A. Tversky (Eds.), *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 306-334). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lieser, A., Streitz, N. A. & Wolters, A. (1987). Dialogformen und Metaphernwelten als Determinanten der Erlernbarkeit interaktiver Computersysteme. *Arbeitsbericht Nr. 42 des Instituts für Psychologie der RWTH Aachen*.
- Limanowski, I. I. (1987). Office systems documentation. In L. S. Mark, J. S. Warm & R. L. Huston (Eds.), *Ergonomics and human factors* (pp. 241-245). New York: Springer.
- Linde, L. & Bergström, M. (1990). An experimental study on mental models in database search. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 165-176). Amsterdam: North-Holland.
- Lloyd, E. J. (1990). How learner characteristics can mediate the effects of giving conceptual details during training. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 55-60). Amsterdam: North-Holland.
- Lodding, K. N. (1983). Iconic interfacing. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 3 (2), 11-20.
- Lucas, D. A. (1987). Mental models and new technology. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 321-325). Chichester: Wiley.
- Maaß, S. & Oberquelle, H. (1992). Perspectives and metaphors for human-computer interaction. In C. Floyd, H. Züllighoven, R. Budde & R. Keil-Slawik (Eds.), *Software development and reality construction* (pp. 233-251). Berlin: Springer.
- Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 5, 333-369.
- Malone, T. W. (1983). How do people organize their desks? Implications for the design of office information systems. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 1, 99-112.
- Mandl, H., Friedrich, H. F. & Hron, A. (1988). Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 123-160). München: Psychologie Verlags Union.
- Mandl, H. & Spada, H. (Hrsg.). (1988). *Wissenspsychologie*. München: Psychologie Verlags Union.
- Mandler, J. M., Seegmiller, D. & Day, J. (1977). On the coding of spatial information. *Memory and Cognition*, 5, 10-16.
- Mani, K. & Johnson-Laird, P. N. (1982). The mental representation of spatial descriptions. *Memory and Cognition*, 10, 181-187.
- Manktelow, K. I. & Evans, J. StB. T. (1979). Facilitation of reasoning by realism: Effect or non-effect? *British Journal of Psychology*, 70, 477-488.
- Manktelow, K. I. & Jones, J. (1987). Principles from the psychology of thinking and mental models. In M. M. Gardiner & B. Christie (Eds.), *Applying cognitive psychology to user-interface design* (pp. 83-117). Chichester: Wiley.
- Marks, D. F. (1990). On the relationship between imagery, body, and mind. In P. J. Hampson, D. F. Marks & J. T. E. Richardson (Eds.), *Imagery. Current developments* (pp. 1-38). London: Routledge.
- Marshall, C., Nelson, B. & Gardiner, M. M. (1987). Design guidelines. In M. M. Gardiner & B. Christie (Eds.), *Applying cognitive psychology to user-interface design* (pp. 221-278). Chichester: Wiley.

- Mayer, R. E. & Bayman, P. (1981). Psychology of calculator languages: A framework for describing differences in users' knowledge. *Communications of the ACM*, 24, 511-520.
- McCleary, G. F. (1983). An effective graphic "vocabulary". *IEEE Computer Graphics and Applications*, 3 (2), 46-52.
- McCloskey, M. (1983a). Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 122-130.
- McCloskey, M. (1983b). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299-324). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCloskey, M., Caramazza, A. & Green, B. (1980). Curvilinear motions in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141.
- McKellar, P. (1957). *Imagination and thinking*. London: Cohen & West.
- Meehl, P. E. & MacCorquodale, K. (1948). On a distinction between hypothetical constructs and intervening variables. *Psychological Review*, 55, 95-107.
- Metzler, J. & Shepard, R. N. (1974). Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects. In R. L. Solso (Ed.), *Theories in cognitive psychology: The Loyola Symposium* (pp. 147-201). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Meumann, E. (1914). *Vorlesungen III*. Leipzig: Engelmann.
- Michotte, A. (1954). *La perception de la causalité*. Paris: Erasmé.
- Milgram, P., Drascic, D. & Grodski, J. (1990). A virtual stereographic pointer for a real three dimensional video world. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 695-700). Amsterdam: North-Holland.
- Miller, D. P. (1981). The depth-breadth trade-off in hierarchical computer menus. *Proceedings of the Human Factors Society*, 296-300.
- Miller, G. A. (1979). Images and models, similes and metaphors. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought* (pp. 202-250). Cambridge: Cambridge University Press.
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt.
- Minsky, M. A. (1975). A theoretical framework for representing knowledge. In P. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision*. New York: McGraw Hill.
- Miyake, N. & Norman, D. A. (1979). To ask a question, one must know enough to know what is not known. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 357-364.
- Moll, T. (1987). On methods of analysis of mental models and the evaluation of interactive computer systems. In M. Frese, E. Ulich & W. Dzida (Eds.), *Psychological issues of human-computer interaction in the work place* (pp. 403-417). Amsterdam: North-Holland.
- Moll, T. & Fischbacher, U. (1989). Über die Verbesserung der Benutzerunterstützung durch ein Online-Tutorial. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie' 89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 223-232). Stuttgart: Teubner.
- Moll, T. & Sauter, R. (1987). Über den Gebrauch eines kontext-spezifischen Helpsystems. In W. Schönplüg & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nutzen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 408-416). Stuttgart: Teubner.
- Monk, A. (1986). Mode errors: A user centered analysis and some presentation measures using keying-contingent sound. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24, 313 - 327.
- Moran, T. P. (1984). Getting into a system: External-internal task mapping analysis. In A. Janda (Ed.), *Human factors in computing systems. Proceedings of the CHI '83 Conference, Boston* (pp. 45-49). Amsterdam: North-Holland.
- Murchner, B., Oppermann, R., Paetau, M., Piper, M., Simm, H. & Stellmacher, I. (1987). EVADIS - Ein Leitfaden zur software-ergonomischen Evaluation von Dialogschnittstellen. In W. Schönplüg & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nutzen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 307-316). Stuttgart: Teubner.
- Neal, L. (1990). Implications of computer games for system design. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 93-99). Amsterdam: North-Holland.
- Neber, H. (1978). Selbstgesteuertes Lernen (lern- und handlungspsychologische Aspekte). In H. Neber, A. C. Wagner & W. Einsiedler (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen* (S. 33-44). Weinheim: Beltz.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Meredith.
- Neisser, U. (1982). Memory: What are the important questions. In U. Neisser (Ed.), *Memory observed* (pp. 3-19). San Francisco, CA: Freeman.
- Newell, A. & Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Nievergelt, J. (1982). Errors in dialog design and how to avoid them. In J. Nievergelt, G. Coray, J. D. Nicoud & A. C. Shaw (Eds.), *Document preparation systems: A collection of survey articles* (pp. 265-274). Amsterdam: North-Holland.
- Nisbett, R. E. & Ross, L. (1980). *Human inference: Strategies and shortcomings of social judgement*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Nisbett, R. E. & Wilson, T. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Norman, D. A. (1983a). Design rules based on analyses of human error. *Communications of the ACM*, 26, 254 - 258.
- Norman, D. A. (1983b). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 7-14). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Norman, D. A. (1986). Cognitive engineering. In D. A. Norman & S. W. Draper (Eds.), *User centered system design. New perspectives on human computer interaction* (pp. 31-61). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Norman, D. A. & Bobrow, D. G. (1976). On the role of active memory processes in perception and cognition. In C. N. Cofer (Ed.), *The structure of human memory* (pp. 114-132). San Francisco, CA: Freeman.
- Norman, D. A. & Rumelhart, D. E. (1975). Memory and knowledge. In D. A. Norman, D. E. Rumelhart and the LNR Research Group (Eds.), *Explorations in cognition* (pp. 3-32). San Francisco, CA: Freeman.
- Norman, K. L., Weldon, L. J. & Shneiderman, B. (1986). Cognitive layouts of windows and multiple screens for user interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, 25, 229-248.
- Oberquelle, H. (1984). On models and modelling in human-computer co-operation. In G. C. van der Veer, M. J. Tauber, T. R. G. Green & P. Gorny (Eds.), *Readings on cognitive ergonomics - mind and computers* (pp. 26-43). Berlin: Springer.
- Oberquelle, H. (1987a). Benutzerorientierte Beschreibung von interaktiven Systemen mit RFA-Netzen. In W. Schönplflug & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nützen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 271-284). Stuttgart: Teubner.
- Oberquelle, H. (1987b). *Sprachkonzepte für benutzergerechte Systeme*. Berlin: Springer.
- Oden, G. C. (1987). Concept, knowledge, and thought. *Annual Review of Psychology*, 38, 203-227.
- Oesterreich, R. (1981). *Handlungsregulation und Kontrolle*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Olson, D. R. & Bialystok, E. (1983). *Spatial cognition. The structure and development of mental representations of spatial relations*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Opwis, K. (1987). Mentale Modelle dynamischer Systeme. In M. Amelang (Hrsg.), *Bericht über den 35. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Heidelberg 1986* (Bd. 2, S. 265-270). Göttingen: Hogrefe.
- Opwis, K. (1988). Produktionssysteme. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 74-98). München: Psychologie Verlags Union.
- Ortony, A. (1975). Why metaphors are necessary and not just nice. *Educational Theory*, 25, 45-53.
- Ortony, A. (1979). Metaphor: A multidimensional problem. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought* (pp. 1-16). London: Cambridge University Press.
- Oschanin, D. A. (1976). Dynamisches operatives Abbild und konzeptionelles Modell. *Probleme und Ergebnisse der Psychologie*, 59, 37-48.
- Oswald, M. & Gadenne, V. (1984). Wissen, Können und Künstliche Intelligenz. Eine Analyse der Konzeption des deklarativen und prozeduralen Wissens. *Sprache und Kognition*, 3, 173-184.
- Owen, D. (1986). Naive theories of computation. In D. A. Norman & S. W. Draper (Eds.), *User centered system design. New perspectives on human-computer interaction* (pp. 187-200). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehardt, & Winston.
- Paivio, A. (1978). Dual coding: Theoretical issues and empirical evidence. In J. M. Scandura & C. J. Brainerd (Eds.), *Structural process models of complex human behavior* (pp. 527-549). Alphen aan den Rijn: Sijthoff & Nordhoff.
- Paivio, A. (1979). Psychological processes in the comprehension of metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought* (pp. 150-171). London: Cambridge University Press.
- Palmer, S. E. (1978). Fundamental aspects of cognitive representation. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 259-303). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Papstein, P. von & Frese, M. (1988). Training und Transfer im Mensch-Computer-Bereich - ein arbeitspsychologischer Ansatz. In F. Ruppert & E. Frieling (Hrsg.), *Psychologisches Handeln in Betrieben und Organisationen. Aktuelle Aufgaben in Fallbeispielen* (S. 69-80). Bern: Huber.

- Paris, S. G. & Carter, A. Y. (1973). Semantic and constructive aspects of sentence memory in children. *Developmental Psychology*, 9, 109-113.
- Parkinson, S. R., Hill, M. D., Sisson, N. & Viera, C. (1988). Effects of breadth, depth and number of responses on computer menu search performance. *Journal of Man-Machine Studies*, 28, 683-692.
- Parton, D., Huffman, K., Pridgen, P., Norman, K. & Shneiderman, B. (1985). Learning a menu selection tree: Training methods compared. *Behaviour and Information Technology*, 4, 81-91.
- Patrick, J. & Fitzgibbon, L. (1988). Structural displays as learning aids. *International Journal of Man-Machine Studies*, 28, 625-635.
- Paul, H. (1991). EXPLORE - Eine Fallstudie zum explorativen Modell. In M. Rauterberg & E. Ulich (Hrsg.), *Posterband zur Software-Ergonomie '91. Benutzerorientierte Software-Entwicklung* (S. 141-150). Zürich: Institut für Arbeitspsychologie der ETH Zürich.
- Paul, H. (1992). EXPLORE - Interface building beyond the interface. In P. Brödner & W. Karwowski (Eds.), *Ergonomics of hybrid automated systems - III. Proceedings of the 3rd International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing and Hybrid Automation* (pp. 295-300). Amsterdam: Elsevier.
- Perrig, W. J. (1988). *Vorstellungen und Gedächtnis*. Berlin: Springer.
- Peschke, H. & Wittstock, M. (1987). Benutzerbeteiligung im Software-Entwicklungsprozeß. In K.-P. Fähnrich (Hrsg.), *Software-Ergonomie* (S. 81-91). München: Oldenbourg.
- Peters, H. & Bichler, S. (1989). Benutzerfehler und Nutzungsprobleme bei der Arbeit mit Software: Welchen Beitrag leisten die Handbücher? In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 233-243). Stuttgart: Teubner.
- Petri, C. A. (1980). Introduction to general net theory. In W. Brauer (Eds.), *Net theory and applications* (pp. 1-19). Berlin: Springer.
- Piaget, J. (1975a). *Der Aufbau der Wirklichkeit beim Kinde* (Original: La construction du réel chez l'enfant. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé (1950)). Stuttgart: Klett.
- Piaget, J. (1975b). *Nachahmung, Spiel und Traum* (Original: La formation du symbole chez l'enfant. Imitation, jeu et rêve - Image et représentation. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé (1959)). Stuttgart: Klett.
- Piaget, J. (1978). *The development of thought. Equilibration of cognitive structures* (Original: L'Équilibration des structures cognitives. Presses Universitaires de France (1975)). Oxford: Blackwell.
- Pinker, S. & Kosslyn, S. M. (1983). Theories of mental imagery. In A. A. Sheikh (Ed.), *Imagery. Current theory and application* (pp. 43-71). New York: Wiley.
- Podgorny, P. & Shepard, R. N. (1978). Functional representations common to visual perception and imaginations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 21-35.
- Proffitt, D. R., Kaiser, M. K. & Whelan, S. M. (1990). Understanding wheel dynamics. *Cognitive Psychology*, 3, 342-373.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What tells the mind's eye the mind's brain? A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88, 16-45.
- Quaas, W. (1976). Unterschiede in der kognitiven Aufgabenbewältigung als Ursache für interindividuelle Leistungsdifferenzen bei Arbeitstätigkeiten. In W. Hacker (Hrsg.), *Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten* (S. 142-151). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Quinn, N. & Holland, D. (1987). Culture and cognition. In D. Holland & N. Quinn (Eds.), *Cultural models in language and thought* (pp. 3-40). Cambridge: Cambridge University Press.
- Rasmussen, J. (1987). Cognitive control and human error mechanisms. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 53-61). Chichester: Wiley.
- Rasmussen, J. (1990). Mental models and the control of action in complex environments. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction I* (pp. 41-69). Amsterdam: North-Holland.
- Rauterberg, M. (1989). Über das Phänomen: "Information". In B. Becker (Hrsg.), *Zur Terminologie der Kognitionsforschung. Arbeitspapiere der GMD* (Bd. 385, S. 219-241). Sankt Augustin: GMD.
- Rauterberg, M. & Paul, H. (1990). Computerspiele - Computerarbeit: Spielerische Momente in der Arbeit. Abschlußbericht der Arbeitsgruppe 1. In F. Nake (Hrsg.), *Ergebnisse der 9. Arbeitstagung "Mensch-Maschine-Kommunikation". Forschungsberichte des Studiengangs Informatik der Universität Bremen* (Bd. 8/90, S. 13-49). Bremen: Universität Bremen.

- Reason, J. (1987). Generic error-modelling system (GEMS): A cognitive framework for locating common human error forms. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 63-83). Chichester: Wiley.
- Reimann, P. (1991). Detecting functional relations in a computerized discovery environment. *Learning and Instruction, 1*, 45-65.
- Resch, M. G. & Oesterreich, R. (1987). Bildung von Zwischenzielen in Entscheidungsnetzen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 34*, 301-317.
- Ringelband, O. J., Misiak, C. & Kluwe, R. H. (1990). Mental models and strategies in the control of a complex system. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 151-164). Amsterdam: North-Holland.
- Rips, L. J. (1986). Mental muddles. In M. Brand & R. M. Harnish (Eds.), *Problems in the representation of knowledge and belief* (pp. 258-286). Tucson: The University of Arizona Press.
- Rivers, R. (1990). The role of games and cognitive models in the understanding of complex dynamic systems. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 87-92). Amsterdam: North-Holland.
- Robert, J.-M. (1987). Learning a computer system by unassisted exploration. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 651-656). Amsterdam: North-Holland.
- Roberts, T. L. & Moran, T. P. (1983). The evaluation of text editors: Methodology and empirical results. *Communications of the ACM, 26*, 265-283.
- Rohr, G. (1986). Using visual concepts. In S.-K. Chang, T. Ichikawa & P. A. Ligomenides (Eds.), *Visual languages* (pp. 325-348). New York: Plenum Press.
- Rohr, G. (1987). How people comprehend unknown system structures: conceptual primitives in systems' surface representations. In P. Gorny & M. Tauber (Eds.), *Visualization in programming* (pp. 89-105). Berlin: Springer.
- Rohr, G. (1990). Mental concepts and direct manipulation: Drafting a direct manipulation query language. In D. Ackermann & M. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 305-319). Amsterdam: North-Holland.
- Ross, D. T. (1977). Structured analysis (SA): A language for communicating ideas. *IEEE Transactions on Software Engineering, 3*, 16-34.
- Rouse, W. B. & Morris, N. M. (1986). On looking into the blackbox: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin, 100*, 349-363.
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R. Spiro, B. Bruce & W. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension* (pp. 33-58). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rumelhart, D. E. & Norman, D. A. (1981). Analogical processes in learning. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rumelhart, D. E. & Norman, D. A. (1988). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey & R. D. Luce (Eds.), *Steven's handbook of experimental psychology* (Sec. Ed.). (Vol. 2, pp. 511-587). New York: Wiley.
- Rumelhart, D. E. & Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R. C. Anderson, R. J. Spiro & W. E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 99-135). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rupietta, W. (1987). *Benutzerdokumentation für Software-Produkte*. Mannheim: B.I. Wissenschaftsverlag.
- Ryle, G. (1949). *The concept of mind*. London: Hutchinson.
- Sanford, A. J. (1987). *The mind of man. Models of human understanding*. Brighton: The Harvester Press.
- Scandura, A. M., Lowerre, G. P., Veneski, J. & Scandura, J. M. (1976). Using electronic calculators with elementary school children. *Educational Technology, 16*, 14-18.
- Scane, R. (1987). A historical perspective. In M. M. Gardiner & B. Christie (Eds.), *Applying cognitive psychology to user interface design* (pp. 57-82). Chichester: Wiley.
- Schank, R. C. & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding. An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schindler, R. (1987). Preknowledge and the efficiency of self-guided user's learning. *Zeitschrift für Psychologie, Supplement 9*, 74-81.
- Schindler, R. & Schuster, A. (1990). On the relationship between a user's self-teaching and his knowledge. In D. Ackermann & M. J. Tauber (Eds.), *Mental models and human-computer interaction 1* (pp. 209-228). Amsterdam: North-Holland.

- Schmalhofer, F. (1986). The construction of programming knowledge from system explorations and explanatory text: a cognitive model. In C.-R. Rollinger & W. Horn (Hrsg.), *GWAI-86 und 2. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung*. Heidelberg: Springer.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schnotz, W. (1988). Textverstehen als Aufbau mentaler Modelle. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 299-330). München: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. & Mikkilä, M. (1990). Symbolische und analoge Repräsentationen beim Verstehen eines technischen Geräts (Vortragsmanuskript, Kurzfassung: Mentale Repräsentation beim Verstehen technischer Geräte). In D. Frey (Hrsg.), *Bericht über den 37. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel 1990* (Bd. 1, S. 128). Göttingen: Hogrefe.
- Schönpflug, W. & Dutke, S. (1989). *Projekt "Psychologische Bewertung von Dialogstrukturen in der Mensch-Rechner-Interaktion". Vierter Zwischenbericht*. Forschungsbericht: Freie Universität Berlin.
- Schönpflug, W. & Schönplflug U. (1983). *Psychologie: Allgemeine Psychologie und ihre Verzweigungen in die Entwicklungs-, Persönlichkeits- und Sozialpsychologie*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Seel, N. (1986). Wissenserwerb durch Medien und "mentale Modelle". *Unterrichtswissenschaft*, 14, 384-401.
- Segal, S. & Fusella, V. (1970). Influence of imaged pictures and sounds on detection of auditory and visual signals. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 458-464.
- Sein, M. K., Bostrom, R. P. & Olfman, L. (1987). Conceptual models in training novice users. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 861-867). Amsterdam: North-Holland.
- Sellen, A. J., Kurtenbach, G. P. & Buxton, W. A. S. (1990). The role of visual and kinesthetic feedback in the prevention of mode errors. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 667-673). Amsterdam: North-Holland.
- Selz, O. (1913). *Über die Gesetze des geordneten Denkverlaufs*. Stuttgart: Spemann.
- Shepard, R. N. & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Shepard, R. N. & Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology*, 3, 228-243.
- Shneiderman, B. (1980). *Software psychology: Human factors in computer and information systems*. Boston, MA: Little, Brown & Co.
- Shneiderman, B. (1982). The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. *Behaviour and Information Technology*, 1, 237-256.
- Shrager, J. & Klahr, D. (1983). Learning in an instructionless environment: Observation and analysis. In A. Janda (Ed.), *Human factors in computing systems. Proceedings of the CHI '83 Conference, Boston* (pp. 226-229). Amsterdam: North-Holland.
- Shu, N. C. (1986). Visual programming languages: A perspective and a dimensional analysis. In S.-K. Chang, T. Ichikawa & P. A. Ligomenides (Eds.), *Visual languages* (pp. 11-34). New York: Plenum Press.
- Siegel, A. W. & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 10, pp. 10-55). New York: Academic Press.
- Snodgrass, J. G. (1984). Concepts and their surface representations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 3-22.
- Snowberry, K., Parkinson, S. & Sisson, N. (1985). Effects of help fields on navigating through hierarchical menu structures. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, 479-491.
- Spada, H. & Opwis, K. (1987). Wissenspsychologie: Erwerb, Repräsentation und Nutzung von Wissen. In M. Amelang (Hrsg.), *Bericht über den 35. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Heidelberg 1986* (Bd. 2, S. 253-264). Göttingen: Hogrefe.
- Spada, H., Reimann, P. & Häusler, B. (1983). Hypothesenerarbeitung und Wissensaufbau beim Schüler. In L. Kötter & H. Mandl (Hrsg.), *Kognitive Prozesse und Unterricht (Jahrbuch für Empirische Erziehungswissenschaften)* (S. 139-167). Düsseldorf: Schwann.
- Spieß, M. (1989). Kombination und Verkettung von Evidenz über unscharfe Quantoren und Plausibilitäten. In W. Schönplflug (Hrsg.), *Bericht über den 36. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Berlin 1988* (Bd. 2, S. 136-143). Göttingen: Hogrefe.
- Spinass, P., Troy, N. & Ulich, E. (1983). *Leitfaden zur Einführung und Gestaltung von Arbeit mit Bildschirmsystemen*. München: CW Publikationen.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer.

- Stadler, M., Seeger, F. & Raeithel, A. (1977). *Psychologie der Wahrnehmung*. München: Juventa.
- Steiner, G. (1988). Analoge Repräsentationen. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 99-119). München: Psychologie Verlags Union.
- Stelovsky, J., Ackermann, D. & Conti, P. (1987). Visualization of program structures: Support concepts and implementation. In P. Gorny & M. Tauber (Eds.), *Visualization in programming* (pp. 37-52). Berlin: Springer.
- Stevens, A. L. & Collins, A. (1980). Multiple conceptual models of a complex system. In R. E. Snow, P. Federico & W. E. Montague (Eds.), *Aptitude, learning, and instruction* (Vol. 2, pp. 177-198). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Streitz, N. A. (1985). Die Rolle von mentalen und konzeptuellen Modellen in der Mensch-Computer-Interaktion: Konsequenzen für die Software-Ergonomie? In H.-J. Bullinger (Hrsg.), *Software-Ergonomie '85. Mensch-Computer-Interaktion* (S. 281-292). Stuttgart: Teubner.
- Streitz, N. A. (1986). Konzeption und Gestaltung von Benutzerhandbüchern. *Software-Ergonomie Herbstschule (SEH '86)* (S. 151-180). Berlin: Deutsche Informatik Akademie.
- Streitz, N. A. (1987). Cognitive compatibility as a central issue in human-computer interaction: Theoretical framework and empirical findings. In G. Salvendy (Ed.), *Cognitive engineering in the design of human-computer interaction and expert systems* (pp. 75-82). Amsterdam: North-Holland.
- Streitz, N. A. (1990). Psychologische Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion. In C. Graf Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D: Praxisgebiete. Serie III: Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 2: Ingenieurpsychologie* (S. 240-284). Göttingen: Hogrefe.
- Strothotte, T. & Böcke, D. (1989). Informationsvermittlung in interaktiven wissensbasierten Systemen durch bildhafte Darstellungen. In S. Maaß & H. Oberquelle (Hrsg.), *Software-Ergonomie '89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität* (S. 345-354). Stuttgart: Teubner.
- Tauber, M. J. (1985). Mentale Modelle als zentrale Fragestellung der kognitiven Ergonomie. Theoretische Überlegungen und einige empirische Ergebnisse. In H.-J. Bullinger (Hrsg.), *Software-Ergonomie '85* (S. 293-302). Stuttgart: Teubner.
- Tauber, M. J. (1987). On visual interfaces and their conceptual analysis. In P. Gorny & M. Tauber (Eds.), *Visualization in programming* (pp. 106-123). Berlin: Springer.
- Tergan, S.-O. (1986). *Strukturen der Wissensrepräsentation. Grundlagen qualitativer Wissensdiagnostik*. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Thorndyke, P. W. (1981). Spatial cognition and reasoning. In J. H. Harvey (Ed.), *Cognition, social behavior, and the environment* (pp. 137-149). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Thorndyke, P. W. (1984). Applications of schema theory in cognitive research. In J. R. Anderson & S. M. Kosslyn (Eds.), *Tutorials in learning and memory. Essays in honor of Gordon Bower* (pp. 167-191). San Francisco, CA: Freeman.
- Thorndyke, P. W. & Hayes-Roth, B. (1979). The use of schemata in the acquisition and transfer of knowledge. *Cognitive Psychology*, 11, 82-116.
- Thorndyke, P. W. & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, 14, 560-589.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189-208.
- Tourangeau, R. & Sternberg, R. J. (1981). Aptness in metaphor. *Cognitive Psychology*, 19, 27-55.
- Trabasso, T. & Riley, C. A. (1975). The construction and use of representations involving linear order. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola Symposium* (pp. 381-410). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Trabasso, T., Riley, C. A. & Wilson, E. G. (1975). The representation of linear order and spatial strategies in reasoning: A developmental study. In R. Falmagne (Ed.), *Reasoning: Representation and process in children and adults* (pp. 201-229). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Triebe, J. K., Wittstock, M. & Schiele, F. (1987). Arbeitswissenschaftliche Grundlagen der Software-Ergonomie. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Sonderschrift S 24*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- Trowbridge, C. C. (1913). On fundamental methods of orientation and imaginary maps. *Science*, 38, 888-897.
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1974). Judgement under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185, 1124 - 1131.

- Veer, G. C. van der & Felt, M. A. M. (1988). Development of mental models of an office system: A field study on an introductory course. In G. C. van der Veer & G. Mulder (Eds.), *Human-computer interaction: Psychonomic aspects* (pp. 250-272). Berlin: Springer.
- Veer, G. C. van der, Felt, M. A. M., Muylwijk, B. van & Biene, R. J. van (1987). Learning an office system - a field study on the development of mental models. *Zeitschrift für Psychologie, Supplement*, 9, 46-58.
- Veldhuyzen, W. & Stassen, H. G. (1976). The internal model: What does it mean in human control? In T. B. Sheridan & G. Johansson (Eds.), *Monitoring behavior and supervisory control* (pp. 139-157). New York: Plenum Press.
- Veldhuyzen, W. & Stassen, H. G. (1977). The internal model concept: An application to modeling human control of large ships. *Human Factors*, 19, 367-380.
- Volpert, W. (1976). *Optimierung von Trainingsprogrammen. Untersuchungen über den Einsatz des mentalen Trainings beim Erwerb einer sensumotorischen Fertigkeit* (2. Aufl.). Lollar/Lahn: Achenbach.
- Volpert, W. (Hrsg.). (1980). *Beiträge zur Psychologischen Handlungstheorie*. Bern: Huber.
- Voss, H.-G. & Keller, H. (Hrsg.). (1981). *Neugierforschung. Grundlagen, Theorien, Anwendungen*. Weinheim: Beltz.
- Wade, N. (1982). *The art and science of visual illusions*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Waern, Y. (1987). Mental models in learning computerized tasks. In M. Frese, E. Ulich & W. Dzida (Eds.), *Psychological issues of human-computer interaction in the work place* (pp. 275-294). Amsterdam: North-Holland.
- Waern, Y. & Rabenius, L. (1987). On the role of models in the instruction of novice users of a word processing system. *Zeitschrift für Psychologie, Supplement*, 9, 59-73.
- Wandmacher, J. & Müller, U. (1987). On the usability of verbal and iconic command representations. *Zeitschrift für Psychologie, Supplement*, 9, 35-45.
- Wason, P. C. (1968). Reasoning about a rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 273-281.
- Weber, R. J. & Kosslyn, S. M. (1986). Computer graphics and mental imagery. In S.-K. Chang, T. Ichikawa & P. A. Ligonides (Eds.), *Visual languages* (pp. 305-324). New York: Plenum Press.
- Wehner, T. & Reuter, H. (1986). Über die potentielle Vitalität fehlerhaften Handelns im Erkenntnisinteresse einer humaneren Gestaltung von Mensch-Computer Interaktionen. In F. Nake (Hrsg.), *Graphik in Dokumenten. Zweites Fachgespräch der GI-Fachgruppe "Graphische Systeme"* (S. 50-62). Berlin: Springer.
- Weidenmann, B. (1988). *Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern*. Bern: Huber.
- Weinert, F. E. & Kluwe, R. H. (Hrsg.). (1984). *Metakognition, Motivation und Lernen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Wendel, R. & Frese M. (1987). Developing exploratory strategies in training: The general approach and a specific example for manual use. In H.-J. Bullinger & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '87* (pp. 943-948). Amsterdam: North-Holland.
- West, R. L., Morris, C. W. & Nicholl, G. T. (1985). Spatial cognition on nonspatial tasks: Finding spatial knowledge when you are not looking for it. In R. Cohen (Ed.), *The development of spatial cognition* (pp. 13-40). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Whitaker, L. A. (1982). Stimulus-response compatibility for left-right discriminations as a function of stimulus position. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 865-874.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66, 297-333.
- Wickelgren, W. A. (1979). *Cognitive psychology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Wickens, C. D. (1984). *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill.
- Widdel, H. & Kaster, J. (1987). Wirkungen visuell präsentierter Dialog-Strukturen auf die Interaktion ungeübter Benutzer mit dem Rechner. In W. Schönplüg & M. Wittstock (Hrsg.), *Software-Ergonomie '87. Nutzen Informationssysteme dem Benutzer?* (S. 329-339). Stuttgart: Teubner.
- Williges, B. & Williges, R. (1984). Dialogue design considerations for interactive systems. In F. A. Muckler (Ed.), *Human factors review* (pp. 167-208). Santa Monica, CA.: The Human Factors Society.
- Wimmer, H. & Perner, J. (1979). *Kognitionspsychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Winograd, T. (1975). Frame representations and the declarative/procedural controversy. In D. G. Bobrow & A. M. Collins (Eds.), *Representation and understanding: Studies in cognitive science* (pp. 185-210). New York: Academic Press.
- Winston, P. H. (1980). Learning and reasoning by analogy. *Communication of the ACM*, 23, 68-703.
- Wippich, W. (1984). *Lehrbuch der angewandten Gedächtnispsychologie* (Bd. 1). Stuttgart: Kohlhammer.

- Wright, P. (1984). Manual dexterity: A user-oriented approach to creating computer documentation. In A. Janda (Ed.), *Human factors in computing systems. Proceedings of the CHI '83 Conference, Boston* (pp. 11-18). Amsterdam: North-Holland.
- Yang, Y. (1988). Undo support models. *International Journal of Man-Machine Studies*, 28, 457-481.
- Yang, Y. (1990). Current approaches & new guidelines for undo support design. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton & B. Shackel (Eds.), *Human-computer interaction - INTERACT '90* (pp. 543-548). Amsterdam: North-Holland.
- Young, R. M. (1981). The machine inside the machine: Users' models of pocket calculators. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, 51-85.
- Young, R. M. (1983). Surrogates and mappings: Two kinds of conceptual models for interactive devices. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 35-52). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Ziegler, A. (1990). Deduktives Schließen mit mentalen Modellen. *Sprache und Kognition*, 9, 82-91.
- Ziegler, J. E. & Fähnrich, K.-P. (1988). Direct manipulation. In M. Helander (Ed.), *Handbook of human-computer interaction* (pp. 123-133). Amsterdam: North-Holland.
- Zimbardo, P. G. (1983). *Psychologie*. Berlin: Springer.
- Zimmermann, B. J. & Schunk, D. H. (Eds.). (1989). *Self-regulated learning and academic achievement*. New York: Springer.

Personenregister

- Abelson 27
Ackermann 110, 148
Aebli 23
Alba 27
Altenkrüger 68
Altmann 137
Anderson, C. C. 22
Anderson, J. R. 10, 11, 24, 64, 66-68
Anderson, R. C. 24, 26, 28, 45, 59
Appleyard 113
Arend 109, 162
Ashby 55
- Ball 51
Ballstaedt 58, 74, 110
Balzert 182
Bara 42
Barclay 45
Barnard 91, 116, 157, 159
Baron 42
Bartlett 11, 23-25
Bassok 147
Battmann 13
Bäumker 49
Bayman 87-90, 98, 110
Benda, v. 162
Benest 116, 117
Benyon 160
Benz 133
Bergström 53, 111
Berlyne 22, 169
Bialystok 112
Bichler 166
Biene, van 85
Black, M. 19, 20
Black, J. B. 27
Bobrow 24
Böcke 131
Boedicker 166
Boles 108
Bostrom 53, 96
Bovair 90, 91, 97, 98
Bower 27, 67
Bowers 53, 111
Bransford 45
Brehmer 156
Brewer 28, 75
Briggs 85, 87, 147, 156
Brison 74
Brodbeck 7, 155, 180, 183
Brooks 152
Brown, C. M. 162
- Brown, J. S. 37, 38, 48, 68
Brown, P. J. 162
Browning 166
Bruner 68, 129
Bryant 53
Budde 112
Burton 37, 68
Buxton 143
- Canter 111, 114, 118
Caramazza 12
Card 9, 110, 114
Carrithers 159, 165
Carroll 21, 22, 82, 83, 97, 119, 120, 146, 149, 155,
156, 158, 159, 165-168, 170, 171, 181, 182
Carswell 108
Carter 52
Chaffin 69, 70, 71
Chase 112
Chi 112
Christie 9, 180, 182
Claus 56-58, 74
Clayton 112
Clement, D. 166
Clement, J. 12
Collins 18, 37, 38
Conant 55
Conti 110
Cooper 39, 66
Cormier 152
Cox 32
Craik 60
Csikszentmihalyi 169
Cunniff 53, 111, 127
- Dansereau 110, 152
Darlington 160, 161, 163
Davis 136
Day 115
De Kleer 37, 38, 48
Dijk, van 71
DiSessa 12, 112
Dixon 112
Dörner 11
Dörr 12, 18, 28, 49
Douglas 84
Downs 112
Drascic 132
Du Boulay 162
Duff 91, 157, 171
Dumais 115
Duncan 8

- Dunkel 7
 Duncker 17, 18, 27, 46, 47, 49
 Dutke 118, 120, 149, 150, 152, 155, 156, 160, 161,
 163, 166, 171, 179
 Dzida 160, 161, 180
- Eberleh 180
 Efe 162
 Egan 53, 111
 Engelkamp 61, 68
 Ericsson 66
 Evans 32
- Fährnich 112
 Farrell 114
 Felt 85, 86, 95, 103, 110, 118
 Feng 40
 Finke 50
 Fischbacher 163-165, 171
 Fischhoff 34
 Fitzgibbon 112, 113, 119
 Foley 133
 Forbus 69
 Forrest-Pressley 147
 Franks 45
 Frege 62
 Freitag 161
 Frese 7, 9, 150-152, 154, 155, 157, 158, 166, 172,
 180, 183
 Friedrich 23, 24
 Frieling 133
 Funt 69
 Fusella 50
- Gadenne 66, 67
 Galotti 42
 Gardiner 9, 82, 180, 182
 Gentner, D. 1, 3, 6, 15, 16, 18, 38, 48, 69
 Gentner, D. R. 1, 3, 6, 15, 18, 69
 Gerstendörfer 109
 Gibson 146, 168
 Gick 16, 17, 20, 23, 27, 152
 Gigerenzer 28, 29, 33-36
 Gittins 87, 108
 Glaser 147
 Glenberg 44, 45, 53, 71, 74, 75
 Glucksberg 68
 Golding 32
 Gomez 53, 111
 Görner 39
 Gorny 108
 Graesser 24
 Green, A. J. K. 116
 Green, B. 12
 Green, T. R. G. 181, 182
- Greene 168
 Greif 118, 146, 148, 151, 154, 155, 157-159
 Grell 146
 Greutmann 148
 Griggs 30, 32
 Grob 133
 Grodski 132
 Gumm 75
- Haarslev 130
 Hacker 9, 38, 40, 56, 57, 58, 59, 60, 74
 Hagendorf 75
 Hagman 152
 Haider 148
 Halasz 84, 87
 Hammond 9, 80, 180, 182
 Hasher 27
 Haubner 133
 Häusler 148
 Hayes 15, 129
 Hayes-Roth 24, 118
 Head 23
 Heinecke 108
 Heller 138, 139
 Henderson 110
 Herda 160, 161
 Herder 119
 Herot 114, 115
 Hermann 152
 Herrmann, D. J. 69-71
 Herrmann, Theo 12, 60, 61
 Herrmann, Thomas 161
 Herry 9
 Hesse 16
 Heuer 59
 Hill 117
 Hoffmann, C. 161
 Hoffmann, J. 50, 66, 74
 Hoffmann, T. 133
 Hoffrage 29, 34
 Hollan 111, 137
 Holland 12
 Holley 110
 Holyoak 6, 16-18, 20, 23, 27, 152
 Hönigswald 49
 Hoppe 181
 Houssiadas 139
 Howes 84, 161, 165, 171
 Hron 23, 24
 Huffman 118
 Hutchins 69, 111, 137
- Ilg 108
- Jagacinski 28, 55

- Janikowski 118, 151, 157
 Jansen 7
 Johnson-Laird 29-32, 38, 41, 42, 43-45, 49, 53, 69,
 70-74, 109
 Jones 27, 29, 30, 31, 32, 45, 115, 180
 Joynson 139
- Kahneman 33, 40, 75, 78
 Kaiser 13
 Kamouri, A. L. 152, 155, 158
 Kamouri, J. 152, 155, 158
 Kant 23, 49
 Karat 181
 Karger 160
 Kaster 118
 Keil-Slawik 80, 112, 125, 132, 181-183
 Keller 169
 Kempton 12, 14
 Kieras 90, 91, 97, 98
 Kiger 117
 Kindborg 136, 137
 Kintsch 64, 71
 Klahr 148
 Klein 133
 Kleinböling 29, 34
 Klimesch 66
 Klix 27, 69
 Klose 133
 Kluwe 14, 55, 147, 148
 Köhler 125
 Kolers 74
 Kollerbaur 136, 137
 Kommers 118, 129
 Koschel 108
 Kosslyn 51, 65, 66, 68, 69, 129
 Kotovsky 129
 Krieger 167
 Kühn 148, 157, 164, 165
 Kuipers 112
 Kuntz 130
 Kurtenbach 143
 Kurtz 146
- Lakoff 12
 Landsdale 116
 Lang 180
 Langston 53, 74, 75
 Larkin 12
 Larson 114
 Ledgard 162
 Legrenzi 32
 Leontjew 55, 148
 Lepper 168
 Levesque 67
 Lichtenstein 34
- Lieser 92, 93, 94, 97
 Limanowski 166
 Linde 53, 111
 Lindem 44, 71
 Lloyd 99, 180
 Lodding 108
 Lohr 138, 139
 Lucas 9
- Maaß 94, 95, 112
 MacCorquodale 12
 Mack 22, 83, 97, 146, 149, 155, 156, 158
 Malone 92, 168-172
 Mandl 23, 24, 58, 62, 74, 110
 Mandler 115
 Mani 71-73
 Manktelow 27, 29-32, 45, 180
 Marks 28, 37, 53, 54, 59, 110
 Marshall 9, 82, 180, 182
 Martin 133
 Matthew 162
 Mayer 87-89, 90, 98, 110
 McCleary 108
 McCloskey 12, 69
 McKinnon 147
 Meehl 12
 Meer, van der 69
 Melchert 130
 Metzler 39
 Meumann 49
 Meyer 44, 45, 71
 Michotte 138, 139
 Mikkilä 44
 Milgram 132
 Miller, D. P. 28, 117
 Miller, G. A. 15
 Miller, R. A. 55
 Minsky 27
 Misiak 14, 55, 148
 Miyake 156
 Möller 130
 Molitor 58, 74, 110
 Moll 163-165, 171
 Monk 143
 Montigel 121
 Moran 7, 9, 84, 87
 Moray 133
 Morris 53, 54
 Müller 108
 Murchner 182
 Murray 28
 Muylwijk, van 85
- Neal 170
 Neber 146

- Neisser 10, 11, 27, 55, 61
 Nelson 82
 Newell 9, 66, 67
 Nicholl 53
 Nievergelt 112, 162
 Nisbett 33, 66, 168
 Norman, D. A. 7, 9, 13, 24, 48, 60, 68, 69, 83, 87
 111, 137, 156, 180
 Norman, K. L. 108, 118, 126, 127, 134, 135
- Oberquelle 6, 94, 95, 112, 128
 Oden 15
 Oesterreich 40, 41, 58
 Olfman 53, 96
 Olson 112
 Oppermann 160
 Opwis 37, 66, 68
 Ortony 20, 22-24
 Oschanin 55, 57, 59
 Oswald 66, 67
 Owen 12
- Paivio 22, 65, 68
 Pallasch 146
 Palmer 64
 Palmers 65
 Papstein 152
 Paris 52
 Parkinson 117
 Parton 118
 Patrick 112, 113, 119
 Paul 135, 148, 154, 158, 161, 162, 171
 Pavel 114
 Payne 84, 161, 165, 171
 Pechmann 61
 Perner 10
 Perrig 78, 182
 Peschke 7
 Peters 154, 166
 Petri 128
 Phillips 34
 Piaget 11, 26, 67, 169
 Pinker 65
 Podgorny 50
 Potok 116, 117
 Powell 111
 Preuß 69
 Pridgen 118
 Proffitt 13
 Pylyshyn 66, 71
- Quaas 59
 Quinn 12
- Rabenius 85
- Raeithel 139
 Rasmussen 59, 154
 Rauterberg 112, 135, 148, 170, 171
 Reason 182
 Reimann 129, 148
 Reiser 51
 Resch 41
 Reuter 153, 154
 Riley 51
 Ringelband 14, 55, 148
 Rips 32, 47, 48, 69, 71
 Rivers 114, 135
 Robert 148, 158, 161, 162
 Roberts 84
 Roderick 111
 Rohr 108, 109, 111
 Ross 33, 128
 Rouse 54
 Rumelhart 11, 23, 24, 27, 60, 68, 69, 83
 Rupietta 166
 Ryle 66
- Sabini 42
 Sanford 44, 45
 Sauter 163
 Sawtelle 119
 Scandura 155
 Scane 10, 11
 Schank 27
 Schiele 182
 Schindler 156, 164
 Schliep 133
 Schmalhofer 148, 155, 157, 164, 165, 181
 Schmidt 27
 Schnotz 38, 44, 49, 73
 Schönpflug, U. 11
 Schönpflug, W. 11, 152, 160, 161, 163, 179
 Scholz 133
 Schunk 146
 Schuster 156, 164
 Schwitalla 7
 Seeger 139
 Seegmiller 115
 Seel 4, 11, 12, 18, 28, 37, 38, 49, 110
 Segal 50
 Sein 53, 96
 Sellen 143
 Selz 23
 Shepard 39, 40, 50, 66
 Shneiderman 108, 112, 118, 126, 127, 134, 135
 Shrager 148
 Shu 127
 Siegel 113
 Simon 66, 67, 129
 Simpson 116

- Singer 162
Sisson 117
Slovic 33
Smith 152
Snodgrass 67, 68
Snowberry 117
Spada 62, 68, 148
Spieß 29
Spinas 133
Stachowiak 4, 5, 6, 13, 38
Stadler 139
Stassen 54, 55, 59
Stea 112
Steedman 42
Steiner 50, 64, 65, 129
Stelovsky 110
Sternberg 15, 21
Stevens 37
Storrs 114
Streitz 7, 92-94, 97, 166, 180
Strittmatter 12, 18, 28, 49
Strothotte 131
Stroud 116
- Tauber 108, 111, 180
Taylor 53, 111, 127
Tergan 11, 15, 54, 65, 74
Thomas 21, 82
Thorndyke 10, 24, 113, 114, 118
Tolman 112, 118
Tourangeau 15, 21
Trabasso 51, 52
Triebe 182
Trowbridge 112
Troy 133
Turner 27
Tversky 33, 40, 53, 75, 78
- Ulich 133
- Valder 161
Veer van der 85, 86, 95, 103, 110, 118
Veldhuyzen 54, 55, 59
Viera 117
Volpert 37, 41, 59
Voss 169
- Wade 133
Waern 82, 85, 180
Waller 147
Wandmacher 108
Wason 29, 30, 31, 32
Weber 129
Wehner 153, 154
Weidenmann 11, 15, 18, 28, 37, 44, 45, 49, 50, 75
- Weinert 147
Weldon 108, 118, 126, 127, 134, 135
Wendel 166, 172
West 53
Whelan 13
Whitaker 108
White 113, 169
Whiteside 162
Wicke 7
Wickelgren 11
Wickens 12, 33, 108
Widdel 118
Williges 162
Wilson 51, 66
Wimmer 10
Winograd 11, 66
Winston 23
Wippich 65
Wishart 111
Wittstock 7, 182
Wolf 69
Wolter 93
Wolters 92, 94, 97
Woodyard 112
Wright 166
- Yang 161
Young 87, 97, 98
- Ziegler, A. 32, 33
Ziegler, J. E. 108, 112
Zimbaro 44
Zimmermann 146
Züllighoven 112

Sachregister

- Abbildungs-
 - merkmal 4
 - treue 6, 106
- Ablesung
 - analytische 46
 - synthetische 46 f.
- ACT 68
- Adaptives System 160
- Ähnlichkeit (zwischen Basis- und Zielbereich)
 - 15 ff., 20 f., 28, 77, 99 f.
- Änderungsresistenz (mentaler Modelle) 13 ff.
- Aktives Lernen 97, 107, 173 ff.
- Allgemeine Modelltheorie 4 f.
- Allgemeiner Modellbegriff 4 ff.
- Analoge Repräsentation 62 ff., 68 ff., 77, 109 f.
- Analogie 5 f., 15 ff., 27 f., 38, 47, 49, 76 f., 81 ff., 152 f.
- Analytisches Ablesen 46
- Angstmindernde Lernsituation 179
- Animation 135, 137 ff.
- Anpassung
 - der Lernumgebung 175 f.
 - der Systemfunktionalität 105, 158 ff.
 - der Technik an den Menschen 180 f.
- Anschauung 46, 49
- Argument 62 f.
- Ausführung von Handlungen 55 ff., 67, 81, 120, 147 ff.
- Basisbereich 6, 15 ff., 22 f., 27, 76 f., 84, 100 ff.
- Bedienungs-
 - element 178 f.
 - fehler 84, 150 f., 153 ff., 158 f., 166, 167, 173
 - informationen 114, 124, 171 f., 178 f.
- Beeinflußbarkeit von Stimmungen und Einstellungen 101 f.
- Begrenzung der Systementwicklung 104 f.
- Beispiele für mentale Modelle 1 ff.
- Bewegung 133 ff., 145
- Bildliche Repräsentation 53 f., 71, 120 ff.
- Cognitive layout 126 f., 135
- Computer-
 - metapher 93 f.
 - spiele 168 ff.
- Confidence-Frequency-Effekt 35 ff.
- Cue enrichment 116
- Daten-
 - bank 104, 109, 110, 111, 114 ff., 131, 133, 144, 162, 176
 - management, räumliches 115 f.
 - organisation, räumliche 115, 130
- Deduktives Schließen 78
- Deklarative Repräsentation 66 ff.
- Dekodierungsaufwand 142
- Designorientierung 80
- Designorientierungen
 - Anwendungen von Metaphern und konzeptuellen Modellen 99 ff.
 - Visualisierungen und die Veranschaulichung von Systemzusammenhängen 140 ff.
 - Voraussetzungen aktiven Lernens 173 ff.
- Device topology 38
- Diagnose von Fehlern 8
- Dialoggeschichte 161 f., 177 f.
- Didaktische Vereinfachung 6, 106
- Einsicht 30, 44 ff., 156
- Einstellung 82 f.
- Elaboration (des mentalen Modells) 158, 168, 173, 176
- Elaborationsannahme 11
- Elaboration und Reduktion (beim Erinnern) 25
- Emotionale Wirkung von Metaphern 21 f.
- Erinnerungshilfe 96, 103
- Erkennbarkeit einer Metapher 20 f., 99 f.
- Erkennen von Fehlern 99
- Exploration
 - selbstgesteuerte 97, 146 ff.
 - Reflexion der Exploration 161, 176 f.
- Explorations-
 - werkzeuge 161
 - ziel 147, 156, 158, 161, 164 f., 170 ff., 175
- Explorierendes
 - Handeln 97
 - Lernen 146 ff.
- Externalisierung mentaler Modelle 129 ff.
- Extrinsische
 - Motivation 167 f.
 - Repräsentation 69 f.
- Extrinsischer
 - Anreiz 168
 - Kontext 169 f.
- Eye-Mover 117
- Faktenwissen 66 f., 98
- Fehler
 - Bedienungs- 84, 150 f., 153 ff., 158 f., 166, 167, 173
 - Erkennen von Fehlern 99
 - Modus-Fehler 143

- Fehler-
 -behandlung 90, 167
 -diagnose 8
 -folgen 167
 -meldung 144, 164 ff., 177
 -suche 2
- Fenster 108, 114, 118, 12 ff., 132 f., 135, 137, 143, 161
- Folk theory 12
- FPL 127 f.
- Freezing point 162, 177
- Funktionalität der Repräsentationsform 74 f.
- Gedächtnis-
 -schema 22 ff., 32 f., 44 f., 58 f., 75, 77, 102
 -unterstützung 108 f., 140 f.
- Gedankenexperiment 82
- Gestaltungs-
 -regeln 80, 133
 -richtlinien 80
- Graphische
 Bedienungselemente 108
 Darstellungsmittel 131 f.
 Programmierung 127 ff., 137
 Rückmeldung 145
- Grenzen der Anwendung von Metaphern und konzeptuellen Modellen 99 ff.
- Grundlagen der Wissensrepräsentation 60 ff.
- Handbuch 82, 146 f., 149, 163 ff., 172, 175 f.
 minimales 166 f., 172
- Handlung, wiederherstellende 162
- Handlungs-
 -ausführung 55 ff., 67, 81, 120, 147 ff.
 -kontrolle 57 f.
 -orientiertes mentales Modell 2, 98
 -planung 58 ff., 142
 -regulationstheorie 40 f., 58 ff.
 -relevanz 122 ff.
 -steuerung 2, 39, 54 ff. 76, 81
 -wissen 66 f., 98, 106 f.
 hypothetisches 67
 präskriptives 67
- Herausforderung 169 f.
- Heuristik 2, 33 ff., 75, 78, 155
- History Tracer 161
- Hilfe
 Erinnerungs- 96, 103
 kontextspezifische 163 ff.
 Orientierungs- 132
- Hilfesystem 82, 163, 174
- How-it-works-knowledge 91 f.
- Hypothetisches
 Konstrukt 12, 23, 76
 Handlungswissen 67
- Icon 93, 108, 116, 132 ff., 137, 139 ff., 145, 179
- Ikonische Repräsentation 68
- Individuenbezug 6
- Induktives Lernen 148
- Informationelle
 Inkongruität 170 f.
 Komplexität 170
- Information integration layout 126
- Inhaltsgebundenheit schlußfolgernden Denkens 28 ff., 46 f.
- Instabilität des mentalen Modells 13 ff.
- Instantiierung 26 ff., 33, 77
- Interaktionistische Konzeption der Metapher 19 f.
- Interaktions-
 -form 93 f., 97, 119
 -technik 115, 173 f.
- Interferenz 108
 selektive 50
- Interne Simulation (s. a. kognitive Simulation) 109 f., 129 ff.
- Intrinsische
 Motivation 167 ff., 178
 Repräsentation 65, 69 f.
- Intuitive Theorie 12
- Intuitives Modell 12
- Isomorphie (von Modell und Original) 5
- Kausalität 133 ff.
- Kausalitätswahrnehmung 139 f.
- Kausalmodell 38
- Kognitives Modell 38
- Kognition 10 ff.
- Kognitionspsychologie 10 ff., 24, 54, 60, 181 f.
- Kognitive Simulation 37 ff., 53 f., 77, 91, 98, 130 f., 145
- Kognitive Simulationsfähigkeit 60, 81, 147 f.
- Kognitives Modell 12
- Kommandoeingabe 93
- Kommunikations-
 -Metapher 111 f.
 -Perspektive 95
- Kongruenz (zwischen Basis- und Zielbereich) 21 f., 100 f., 103 f.
- Konjunktiv-Modus 160 f.
- Konstruktionsannahme 11
- Kontextspezifische Hilfe 163 ff.
- Kontrolle 95, 158, 174 ff., 178
- Kontrollverlust 158
- Konzeptuelles Modell 8 f., 15, 18 f., 46, 80 ff., 110 ff., 125 ff., 131 f., 135, 143, 156, 158, 173, 178
- Grenzen der Anwendung 99 ff.
- Gütekriterien 90
- Zweck 106 f.

- Landmark knowledge 113
 Leitfäden (zur Systemgestaltung) 133
 Lernen
 aktives 97, 107, 173 ff.
 durch Metaphern 19 f.
 external gesteuertes 146
 induktives 148
 selbstgesteuertes 22, 81, 97, 107, 146 ff., 174
 Lernermodell 165 f.
 Lerninhalte, Sequentialisierung 174
 Lernsituation, angstmindernde 179
 Linear array layout 126, 135
 Line-model 87 ff.
 LISP 157, 164
 Logisches Schließen 29 ff., 52 f.
 Lokales mentales Modell 95 f.
- Maschinen-Perspektive 95
 Material-inhaltliche Angleichung 5 f.
 Medien-Perspektive 95
 Mensch-Technik-Verhältnis 95, 105
 Mentale Rotation 39 f.
 Mentales Modell
 Änderungsresistenz 13 ff.
 Beispiele 1 ff.
 Eigenschaften und Funktionen 10 ff., 76
 Elaboration 158, 168, 173, 176
 Externalisierung 129 ff.
 handlungsorientiertes 2, 98
 Instabilität 13 ff.
 lokales 35 ff.
 probabilistisches 33 ff.
 verstehensorientiertes 2, 98
 Widerspiegelung 144 f. (s. a. Externalisierung)
 Wissensrepräsentation 69 ff.
- Menü 92 ff., 108, 114, 117 ff., 122 ff., 133, 144, 159, 163, 171, 173, 175, 179
- Menü-
 -auswahl 93 f.
 -bild 121 ff., 171 f.
 -gestaltung 8 f.
 -hierarchie 132
 -steuerung 94, 97
 -titel 121 ff., 179
- Merkmale von Modellen 4 f.
 Metapher 18 ff., 80 ff., 110 ff., 131, 146, 156, 158, 173
 emotionale Wirkung 21 f.
 Erkennbarkeit 20 f., 99 f.
 Grenzen der Anwendung 99 ff.
 interaktionistische Konzeption 19 f.
 Lernen durch Metaphern 19 f.
 Metaphernwelt 93 f., 103 f.
 motivationale Wirkung 21 f.
 Nützlichkeit 20 f., 100, 102 f.
- Metaphern
 Modellwelt 111 f.
 Papierblatt 125
 Raum 110 ff., 142 ff.
 Schreibmaschine 84 f.
 Schreibtisch 92 ff., 119 f.
 zusammengesetzte 103 f.
- Mimicry-Theorem 68
 Minimales Handbuch 166 f., 172 f.
 Modalitätsspezifische Repräsentationen 68
 Modell-Original-Angleichungen
 strukturell-formale 5 f.
 material-inhaltliche 5 f.
 Modellwelt-Metapher 111 f.
 Modus-Fehler 143
 Motivation 82 f., 97, 101 f., 167 ff., 175, 179
 extrinsische 167 f.
 intrinsische 167 ff., 178
 Motivationale Wirkung von Metaphern 21 f.
 Multiple Repräsentation 67 ff.
- Naive
 Physik 15, 69
 Problemrepräsentation 12
 Theorie 12
 Navigation 111 f., 114 ff.
 Netzdarstellung 128 (s. a. semantisches Netz)
 Neugier 22, 107, 169 f., 172
 Nützlichkeit einer Metapher 20 f., 100, 102 f.
- OAS (s. a. operatives Abbildssystem) 58
 Op Art 133
 Operatives Abbildsystem (s. a. OAS) 38, 55 ff.
 Orientierung 112, 143 f., 161 ff., 177, 179
 im System 113 ff.
 in Räumen 142
 "Zur Orientierung" (Designorientierungen) 99 ff., 140 ff., 173 ff.
- Orientierungs-
 -hilfen 132
 -plakat 151
 -punkte 132
 -verlust 158 ff., 175 f., 178
- Overconfidence 33 ff.
- Papierblatt-Metapher 125
 Paradigmatischer Sachverhalt 46 f.
 Partialmodell 6
 Partizipation 7
 PASCAL 127
 Perspective layout 127, 135
 Phänomenale Kausalität 138 ff.
 Phantasie 40, 91 f., 169 f.
 Planen 40 f.

- Planung 2, 55, 58 ff., 76, 116, 120, 142, 147
 Planungsfehler 155
 Plan (Überblicksplan) 118 ff.
 Prädikat 62 f., 65, 70 f.
 Prädikatenkalkül 62
 Präskriptives Handlungswissen 67
 Pragmatisches Merkmal 4 f.
 Primäres Subjekt 19 f., 99 f.
 Probabilistisches mentales Modell 33 ff.
 Problemlösen 17 f., 57 ff., 75, 109 f., 131, 141
 Problemlösendes
 Denken 78
 Lernen 98
 Problemrepräsentation 33, 52
 naive 12
 Produktionssystem 66 ff.
 Programmier-
 -aufgaben 157
 -Umgebung 95
 Propositionale Repräsentation 62 ff., 67 ff.
 Prozedurale Repräsentation 66 f.
 Prozedurales Wissen 66 f., 75, 113
 Prozeß-
 -darstellung 135 ff., 145
 -kontrolle 54 f., 58 ff.
 -steuerung 8, 59 f., 137
- Qualitative Simulation 37 ff.
- Räumliche Datenorganisation 115, 130
 Räumliches
 Datenmanagement 115 f.
 Wissen 112 ff., 143
 Raum-Metapher 110 ff., 142 ff.
 Reduktion und Elaboration (beim Erinnern) 25
 Referenzklasse 36 f.
 Reflexion (der Exploration) 161, 176 f.
 Rekontextualisierung 59
 Repräsentandum 60 ff.
 Repräsentat 60 ff.
 Repräsentation (s. a. Wissensrepräsentation) 11, 77
 analoge 62 ff., 68 ff., 77, 109 f.
 bildliche 53, 71, 123 f.
 deklarative 66 ff.
 extrinsische 69 f.
 ikonische 68
 intrinsische 65, 69 f.
 modalitätsspezifische 68
 multiple 67 ff.
 propositionale 62 ff., 67 ff.
 prozedurale 66 f.
 sprachliche 81
 Verzerrung 122 ff.
 visuelle 119 f.
 von Handlungszielen 40 f.
- Repräsentationsform, Funktionalität 74 f.
 RFA-Netze 128 f.
 Routenwissen 113, 116 ff., 120
 Rückmeldung 81, 140 f., 162
 graphische 145
 visuelle 130 f., 144 f.
- SADT 128
 Scenario machine 171
 Schema (siehe Gedächtnisschema)
 Schematisches Wissen 23 ff., 82
 Schlussfolgern 28 ff.
 analoges (s. a. Analogie) 80 f.
 deduktives 78
 logisches 28 ff., 52
 syllogistisches 39, 41 ff., 49
 Inhaltsgebundenheit 28 ff., 46 f.
- Schreibmaschinen-Metapher 84 f.
 Schreibtisch-Metapher 92 ff., 119 f.
 Sekundäres Subjekt 19 ff., 99 ff.
 Selbstgesteuerte Exploration 97, 146 ff.
 Selbstgesteuertes Lernen 22, 81, 97, 107, 146 ff.,
 174
 Selektive Interferenz 50
 Semantisches Netz 62 ff., 66, 68, 70
 Sequentialisierung von Lerninhalten 174
 Sichtweisen auf die Mensch-Computer-Interaktion
 94 f., 105
 Signposting techniques 116 ff.
 Simulation
 kognitive 37 ff., 53 f., 77, 91, 98, 130 f., 145
 qualitative 37 ff.
- Simulations-
 -fähigkeit, kognitive 60, 81, 147 f.
 -heuristik 75
- Spatial data management 114 ff.
 Spiel 148, 168 ff., 173
 Sprachliche Repräsentation 81
 Stack-model 87 ff., 98
 Statusanzeige 108
 Steuerung von Handlungen 2, 39, 54 ff., 76, 81
 Stimmung 22, 83
 Stormierung 161 f., 177 f.
 Strahlenproblem 16 ff., 23, 27 f.
 Structure mapping 16
 Strukturell-formale Angleichung 5 f.
 Strukturübertragung 16
 Stützräder-Prinzip 158 ff.
 Surface layout 126
 Surrogate model 98 f.
 Syllogistisches Schließen 39, 41 ff., 49
 Symbolic fallacy 70, 71
 Synthetische Ablesung 46 f.

- System-
 - annahme 11
 - entwicklung 80 f., 104 f.
 - Perspektive 95
- Szenarien 86, 170 f., 175, 178
- Tätigkeitspsychologie 55 ff.
- Taschenrechner 13, 87 ff., 98, 101
- Task/action mapping 98 f.
- Task-Action-Trace 161
- Task Mapper 119 f.
- Textverarbeitung 83 ff., 88, 93 f., 111, 119 ff., 144, 150 ff., 155, 171 ff., 176
- Trainingsstudien 149 ff., 154 f.
- Training wheels 159 ff. 165
- Transfer (von Wissen) 5, 16, 84 f., 94, 100 f., 103, 107, 152 f., 155, 159, 166
- Transfer-
 - anforderung 152
 - aufgabe 150
- Transferierbarkeit von Wissen 152, 173
- Transformationsannahme 11, 60
- Transitivität 46, 48, 51 ff.
- Transitivitätsschluß 46, 51 ff.
- Transparenz 118, 140 f., 145
- Tutor 163 ff., 170, 176, 178
- Tutorial 151, 159, 163, 168, 174 f.
- Überblickswissen 113, 118 ff., 143 f.
- Überwachungstätigkeit 54 f.
- Undo 161 f., 177 ff.
- Unsicherheit 33 ff., 78, 83, 101, 163, 169 f.
- Unterstützungskomponenten 165 f.
- Unvollständigkeit 13 ff.
- Urheber (von Modellen) 2, 6 ff.
- Ursache-Wirkungsverhältnis 133 ff.
- Urteilen unter Unsicherheit 33 ff., 78
- Urteils-
 - fehler 34 f.
 - sicherheit 34 ff.
 - verzerrung 33 f.
- Verhältnis von Mensch und Technik 95, 105
- Verkürzungsmerkmal 4, 6
- Verstehen 2, 39, 44 ff., 49, 51 ff., 74 ff., 81, 84, 93, 97, 99, 106, 108 ff., 120, 125, 137, 140 ff., 145
- Verstehensorientiertes mentales Modell 2, 98
- Verzerrung der kognitiven Repräsentation 122 ff.
- Visualisierung 108 ff., 124, 140 ff.
- Visuell-räumliche
 - Gestaltungsmittel 146
 - Informationsgestaltung 81, 108 ff.
- Visuelle
 - Darstellungsmittel 142 f.
 - Programmierung 127 ff., 137
 - Repräsentation 119 f.
 - Rückmeldung 130 f., 144f.
 - Vorstellung 2 f., 18, 28 f., 32, 37 ff., 49 ff. 58 f., 65, 68 f., 71, 75, 78, 81, 109 f.
 - Vorstellungsfähigkeit 111
 - Vorwissen 76, 88, 97, 155 ff., 173 f.
 - Wahrnehmung 11 f., 26 f., 38, 49 ff., 60, 68, 133, 138 ff.
 - von Kausalität 138 ff.
 - Wahrnehmungsfeld 170
 - Wegweiser 116 ff., 132, 143 f., 162
 - Werkstatt-Perspektive 95
 - What-you-see-is-what-you-get-Prinzip 144
 - Widerspiegelung mentaler Modelle 144 f. (s. a. Externalisierung)
 - Wiederherstellende Handlung 162
 - Wiederherstellung 162, 177 f.
 - Wissen
 - Fakten- 66 f., 98
 - Handlungs- 66 f., 98, 106 f.
 - prozedurales 66 f., 75, 113
 - räumliches 112 ff., 143
 - Routen- 113, 116 ff., 120
 - schematisches (s. a. Gedächtnisschema) 23 ff., 82
 - Überblicks- 113, 118 ff., 143 f.
 - Vor- 76, 88, 97, 155 ff., 173 f.
 - Wissens-
 - bank 130 f.
 - repräsentation (siehe auch Repräsentation) 60 ff.
 - Formen 62 ff.
 - Grundlagen 60 ff.
 - in mentalen Modellen 69 ff.
 - transfer 5, 16, 84 f., 94, 100 f., 103, 107, 152 f., 155, 159, 166
 - Zielbereich 6, 15 ff., 21 ff., 27, 45, 76 f., 88, 99 ff., 103
 - Zielgenerierung 175
 - Zoom-Funktion 115
 - Zusammengesetzte Metaphern 103 f.
 - Zweckbezug 5 f.
 - Zweck des konzeptuellen Modells 106 f.