Standards Psychologie
Herausgegeben von Herbert Heuer,
Frank Rösler, Werner H. Tack

Joachim Funke

Problemlösendes Denken

Kohlhammer

Kohlhammer
Standards Psychologie

Begründet von
Theo W. Herrmann
Werner H. Tack
Franz E. Weinert (†)

Herausgegeben von
Herbert Heuer
Frank Rösler
Werner H. Tack

Joachim Funke

Problemlösendes Denken

Verlag W. Kohlhammer

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind.

Homepage zum Buch: http://pld.uni-hd.de

1. Auflage 2003

Alle Rechte vorbehalten
© 2003 W. Kohlhammer GmbH Stuttgart
Umschlag: Gestaltungskonzept Peter Horlacher
Gesamtherstellung:
W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. Stuttgart

ISBN 978-3-17-022830-6

Vorwort

Jedes Buch hat eine Vorgeschichte. Schon seit längerem hat mich der Gedanke gereizt, die Forschung zum komplexen Problemlösen, eingebunden in den größeren Kontext der Denkpsychologie, darzustellen. Als Werner Tack im Februar 2000 bei mir anfragte, ob ich nicht den Stand der Forschung einmal zusammenschreiben könnte, wusste er sicher nicht, auf wie großes Interesse er bei mir stoßen würde. Aber obwohl meine Zusage fast postwendend erfolgte, musste das Vorhaben zunächst ruhen, weil anderen, weniger angenehmen Arbeiten Tribut gezollt werden musste. Erst mit dem Forschungssemester, das mir die Universität Heidelberg im Wintersemester 2001/02 gewährte, ergaben sich günstige Rahmenbedingungen, die die Entstehung dieses Buch ermöglichten.

Ich bin vielen zu Dank verpflichtet, die direkt oder indirekt am Zustandekommen mitgewirkt haben: den Mitgliedern im Heidelberger Professorium, die sich allesamt für eine sehr angenehme Institutsatmosphäre stark machen, in der Arbeit Spass macht; den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern meiner Arbeitseinheit, Ursula Christmann, Lisa Irmen, Bärbel Maier-Schicht, Bernd Reuschenbach und Miriam Spering, die mir manche lästige Verwaltungsarbeit abgenommen haben; meiner Sekretärin Frau Heß, die einiges an Schreibarbeit übernommen und mir den Rücken freigehalten hat; den studentischen Hilfskräften Unni Aadland, Katrin Classen und Judith Troost, die Grafiken erstellten und alle meine Literaturwünsche so wunderbar schnell und leise abwickelten, als hätten sie schon geahnt, was ich als Nächstes lesen wollte; den Studierenden meiner Hauptseminare, mit denen ich viele anregende Diskussionen führen konnte. Dem Lektor des Kohlhammer-Verlags, Ruprecht Poensgen, gebührt Dank für seine Geduld mit mir.

Wertvolle extensive Kommentare und Verbesserungsvorschläge zu Vorfassungen des Manuskripts verdanke ich meiner Schwester Vita Funke (Freiburg), Günther Knoblich (München), Wolfram Rollett (Braunschweig) sowie Miriam Spering (Heidelberg & Chicago). Auch die Anregungen meiner Studierenden Katrin Classen und Carsten Schulz waren sehr hilfreich. Alle verbliebenen Fehler gehen zu meinen Lasten. Korrekturen nach Drucklegung, Links zu einzelnen Kapiteln sowie weitere Informationen zum Thema finden sich auf der Homepage zu diesem Buch unter http://pld.uni-hd.de.

Last but not least ein Dank an alle Freunde in Heidelberg, Bonn, Freiburg und andernorts, die viel zu meinem Wohlbefinden beigetragen haben, und natürlich an Marlene, die viel Verständnis für meine Schreibarbeit gezeigt hat und ohne deren physische wie psychische Unterstützung das alles nicht möglich gewesen wäre!

Heidelberg-Handschuhsheim, im September 2003 Joachim Funke

Inhalt

Vorwort 5

1 Einführung 13

1.1 Inhalt und Aufbau dieses Buches 16
1.2 Begriffsklärung und Arbeitsdefinition 17
1.2.1 Wie entstehen eigentlich Probleme? 18
1.2.2 Verschiedene Definitionsvorschläge 20
1.2.3 Integration der Definitionsversuche 21
1.2.4 Zum Verhältnis von Denken und Problemlösen 21
1.2.5 Zum Verhältnis von Problemlösen und Entscheiden 22
1.2.6 Zur Phänomenologie des Denkens 23
1.2.7 Eine Arbeitsdefinition 25
1.3 Geschichtliche Entwicklung 26
1.4 Klassifikation von Problemen 29
1.4.1 Taxonomie von Arlin 29
1.4.2 Klassifikation von Dörner 30
1.4.3 Taxonomie von Lüer und Spada 31
1.4.4 Taxonomien komplexer Probleme 32
1.5 Zur Einordnung problemlösenden Denkens in die Architektur psychischer Funktionen 35
1.6 Zusammenfassung 38

2 Theorien des problemlösenden Denkens 39

2.1 Anforderungen an eine Theorie des problemlösenden Denkens . . . 41
2.2 Assoziationismus: Problemlösen als Umschichtung von Reaktionshierarchien 44
2.3 Gestalttheorie: Problemlösen als Suche nach einer guten Gestalt 45
2.3.1 Produktives Denken nach Wertheimer 49
2.3.2 Produktives Denken nach Duncker 50
2.3.3 Die Konzepte »Fixation« und »Einsicht«: Wirklich brauchbar? 56
2.3.4 Phänomenologie und Gestaltpsychologie 57
2.4 Psychoanalyse: Problemlösen als Bewusstmachung unbewusster Inhalte 57
2.5 Funktionalismus: Problemlösen als Informationsverarbeitung 60

2.5.1 Der »General Problem Solver« (GPS) von Newell, Shaw und Simon 61
2.5.2 Theorie des Problemlösens von Newell und Simon 63
2.5.3 Zwei-Räume-Theorie 67
2.5.4 Theorie kognitiver Belastung von Sweller 70
2.5.5 Theorie des Problemlösens als Informationsverarbeitung von Dörner 72
2.5.6 Psi-Theorie von Dörner 74
2.5.7 Theorie des deklarativen Vereinfachens von Klauer 76
2.5.8 Theorie der Kognition für dynamische Umgebungen von Hammond 82
2.5.9 Kritik an Informationsverarbeitungsmodellen 84
2.6 Problemlösendes Denken auf Maschinen: Kognitive Modellierung 88
2.6.1 Regelbasierte Modelle 88
2.6.2 Konnektionistische Modelle 90
2.6.3 Kritik des Modellierungsansatzes 94
2.7 Handlungstheoretische Ansätze 95
2.7.1 Konstituierende Merkmale von Handlungen 95
2.7.2 Handlungsphasen 96
2.7.3 Kritik an handlungstheoretischen Ansätzen 98
2.8 Evolutionspsychologische Ansätze 99
2.8.1 Das »heuristics and biases«-Programm von Kahneman und Tversky 100
2.8.2 Pragmatische Urteilsregeln und Betrüger-Entdeck-Mechanismus 103
2.8.3 Gigerenzer und die ABC Research Group 103
2.8.4 Kritik an evolutionspsychologischen Ansätzen 104
2.9 Zusammenfassung 105

3 Paradigmen und Befunde zum Lösen einfacher Probleme 107

3.1 Paradigmen 107
3.1.1 Kryptarithmetische Probleme 108
3.1.2 Turm von Hanoi 109
3.1.3 Kannibalen und Missionare 111
3.1.4 Einsichtsprobleme 112
3.2 Einstellungseffekte 113
3.3 Bedeutung der Repräsentation 116
3.4 Überblick über robuste Befunde zum einfachen Problemlösen 117
3.5 Methoden zur Erforschung einfachen Problemlösens 120
3.5.1 Methoden zur Datenerhebung 121
3.5.2 Methoden zur Datenauswertung 123
3.6 Zusammenfassung 124

4 Das Lösen komplexer Probleme: Grundlegende Ideen 125

4.1 Kennzeichen komplexer Probleme 126
4.1.1 Komplexität 128
4.1.2 Vernetztheit 129

4.1.3 Dynamik 130
4.1.4 Intransparenz 133
4.1.5 Polytelie 133
4.1.6 Abschließende Überlegungen zu den Kennzeichen 134
4.2 Historische Entwicklung 135
4.3 Kontroverse Standpunkte zur Forschungsmethodik 137
4.3.1 Der »richtige« Gegenstand 138
4.3.2 Die »richtige« Art der Theorie 139
4.3.3 Geeignete Methoden zur Prüfung von Theorien 140
4.3.4 Abschließende Bemerkungen zur Kontroverse 143
4.4 Zusammenfassung 143

5 Das Lösen komplexer Probleme: Paradigmen und Befunde 145

5.1 Realitätsnahe Szenarios 146
5.1.1 Das LOHHAUSEN-SZENARIO oder: Wie Studierende zu Bürgermeistern wurden 146
5.1.2 Das SCHNEIDERWERKSTATT-Szenario oder: Das scheinbare Versagen von IQ-Tests 148
5.1.3 Das Entwicklungshilfe-Szenario MORO oder: Die Blindheit von Experten 150
5.1.4 Befunde aus Untersuchungen mit realitätsnahen Szenarios 151
5.2 Szenarios auf der Basis formaler Modelle 154
5.2.1 Lineare Strukturgleichungsmodelle – DYNAMIS-Ansatz 155
5.2.2 Finite Automaten 159
5.2.3 Befunde aus Untersuchungen mit Szenarios auf der Basis formaler Modelle 162
5.2.4 Über die Beziehung zwischen Wissen und steuerndem Handeln 163
5.3 Befunde zu Personmerkmalen 170
5.3.1 Die Intelligenz-Kontroverse 170
5.3.2 Expertise 177
5.3.3 Übungseffekte 178
5.3.4 Klinische Gruppen 178
5.3.5 Strategien 178
5.4 Befunde zu Situationsmerkmalen 180
5.4.1 Art der Aufgabenstellung 180
5.4.2 Stress 181
5.4.3 Individuelles versus Gruppen-Problemlösen 182
5.4.4 Transparenz 184
5.4.5 Art der Informationsdarbietung 185
5.5 Befunde zu Systemmerkmalen 186
5.5.1 Vernetztheit 186
5.5.2 Eigendynamik 187
5.5.3 Zeitverzögerte Rückmeldungen 188
5.5.4 Semantische Einkleidung 192
5.6 Befunde zu Interaktionseffekten 193
5.6.1 Person und Situation 193

5.6.2 Situation und System 194
5.6.3 Person und System 196
5.7 Offene Fragen 197
5.7.1 Eigenständigkeit des Konstrukts 197
5.7.2 Bereichsspezifität versus Generalisierbarkeit 198
5.7.3 Evaluationskriterien 199
5.8 Zusammenfassung 199

6 Problemlösendes Denken aus Sicht verschiedener Teildisziplinen 201

6.1 Allgemeinpsychologische Befunde: Wechselwirkungen mit verschiedenen psychischen Funktionen 202
6.1.1 Lernen und Gedächtnis 202
6.1.2 Emotion und Motivation 203
6.1.3 Zusammenfassung 205
6.2 Entwicklungspsychologische Befunde: Problemlösen unter dem Aspekt der Lebensspanne 205
6.2.1 Denken und Problemlösen im Kindesalter 205
6.2.2 Denken und Problemlösen im höheren Alter 208
6.2.3 Ein Spezialfall: Weisheit 208
6.2.4 Zusammenfassung 209
6.3 Sozialpsychologische Befunde: Problemlösen in Gruppen 209
6.3.1 Problemlösen in Gruppen 210
6.3.2 Kleingruppenforschung und Interaktion 212
6.3.3 »Soziales Faulenzen« 213
6.3.4 Zusammenfassung 215
6.4 Differenzialpsychologische Befunde: Unterschiede beim Problemlösen zwischen verschiedenen Personen 216
6.4.1 Klassifikation von problemlösenden Personen 216
6.4.2 Testintelligenz 218
6.4.3 Expertise 219
6.4.4 Generalisierte Selbstwirksamkeitserwartungen 221
6.4.5 Testpsychologische Diagnostik des Problemlösens 222
6.4.6 Zusammenfassung 227
6.5 Pädagogisch-psychologische Befunde: Unterrichtung und Training von Denken und Problemlösen 227
6.5.1 Erfolge und Misserfolge von Problemlöse-Trainings 227
6.5.2 Problemlösen als Schlüsselqualifikation in Schulleistungsstudien 230
6.5.3 Training mit ACTOR von Lantermann et al. 235
6.5.4 Zusammenfassung 236
6.6 Arbeits- und organisationspsychologische Befunde: Denken und Problemlösen in der Arbeitswelt 237
6.6.1 Problemlösen bei der Störungsdiagnostik technischer Systeme 237
6.6.2 Strategische Unternehmensentscheidungen 239
6.6.3 Erfassung komplexen Problemlösens bei Führungskräften 240
6.6.4 Zusammenfassung 242

6.7 Klinisch-psychologische Befunde: Pathologie des Denkens und Problemlösens 243
6.7.1 Störungen der exekutiven Funktionen nach Hirnschäden 243
6.7.2 Denkstörungen aus psychiatrischer Sicht 245
6.7.3 Prozessmodell gestörter Handlungskontrolle von Norman und Shallice 246
6.7.4 Zusammenfassung 247
6.8 Denken und Problemlösen im Kulturvergleich 247
6.8.1 Strohschneiders Vergleich deutsch-indischer Denkstile 248
6.8.2 Zusammenfassung 252
6.9 Zusammenfassung 253

7 Ausblick 254

7.1 Was ist der erreichte Stand? 254
7.2 Was sind die wichtigen offenen Fragen? 255

Literatur 259

Abbildungsnachweis 294

Verzeichnis der im Text erwähnten Probleme und Szenarios 295

Sachregister 297

Autorenregister 302

1 Einführung

1.1 Inhalt und Aufbau dieses Buches
1.2 Begriffsklärung und Arbeitsdefinition
  1.2.1 Wie entstehen eigentlich Probleme?
  1.2.2 Verschiedene Definitionsvorschläge
  1.2.3 Integration der Definitionsversuche
  1.2.4 Zum Verhältnis von Denken und Problemlösen
  1.2.5 Zum Verhältnis von Problemlösen und Entscheiden
  1.2.6 Zur Phänomenologie des Denkens
  1.2.7 Eine Arbeitsdefinition
1.3 Geschichtliche Entwicklung
1.4 Klassifikation von Problemen
  1.4.1 Taxonomie von Arlin
  1.4.2 Klassifikation von Dörner
  1.4.3 Taxonomie von Lüer und Spada
  1.4.4 Taxonomien komplexer Probleme
1.5 Zur Einordnung problemlösenden Denkens in die Architektur psychischer Funktionen
1.6 Zusammenfassung

Die Begriffe »Denken« und »Problemlösen« wecken Assoziationen, die positiv besetzt sind. Wer ein guter »Denker« oder eine erfolgreiche »Problemlöserin« ist, genießt im sozialen Umfeld Anerkennung und wird um Rat gefragt. Beide Konzepte, die miteinander verwandt sind, charakterisieren offenbar erstrebenswerte Eigenschaften, die sowohl im schulischen wie beruflichen Umfeld als auch im Privatleben geschätzt werden. Sie dienen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit im kognitiven Bereich und stellen eine der Grundlagen dessen dar, was man herkömmlich »Intelligenz« nennt. Problemlösen zählt im Rahmen groß angelegter internationaler Schulleistungsstudien heute zu den sog. Schlüsselqualifikationen, die im Unterschied zu den bereichsspezifischen Kompetenzen als »crosscurriculare«, d. h. fächerübergreifende Fähigkeit betrachtet werden. Problemlösen gehört aber auch zu den Kernaufgaben von Führungskräften im ökonomischen wie politischen Bereich – kurz: Es gibt eigentlich kaum einen Bereich menschlichen Lebens, in dem Problemlösen *nicht* bedeutsam wäre!

Problemlösendes Denken bezieht sich auf die geistigen Funktionen, die in der Geschichte der Menschheit Gutes wie Schlechtes hervorgebracht haben. Viele nützliche, aber auch viele schreckliche Erfindungen sind durch Nachdenken entstanden – für das Überleben der Spezies Mensch auf unserem Planeten Erde sind wir mehr als je zuvor darauf angewiesen, dass in die Zukunft blickende Vernunft regiert und nicht nur das Hier und Jetzt die Handlungen diktiert. Diese planende Vorausschau ist ebenfalls Teil der psychischen Funktionen, mit denen sich dieses Buch beschäftigt.

Problemlösen könnte so einfach sein: Nimm den gegebenen Ausgangszustand, lege den gewünschten Zielzustand fest und finde die Operatoren, die den Ausgangs- in den Zielzustand überführen. Wo ist also das Problem? Tatsächlich haben alle drei erwähnten Elemente (Ausgangszustand, Zielzustand, Operatoren) ihre Tücken und machen Probleme zu dem, was sie sind.

Der *Ausgangszustand*: Nur in den seltensten Fällen ist der Ausgangszustand eng umgrenzt beschreibbar – eben nur in den Fällen geschlossener Probleme, bei denen alles gut überschaubar ist.

Beispiel (Bsp): Wie kann man die Additionsaufgabe SEND+MORE=MONEY so auflösen, dass jedem Buchstaben eine Zahl korrespondiert (als Starthilfe: E=5), sodass die zwei vierstelligen Zahlen summiert eine fünfstellige Zahl ergeben?[1]

Überschaubar ist dieser Ausgangszustand, weil den 8 vorkommenden Buchstaben genau 8 Ziffern aus dem Gesamtrepertoire aller 10 Ziffern zugeordnet werden müssen und zudem die Zuordnung so gestaltet sein muss, dass eine sinnvolle Addition erfolgt. Kleine, überschaubare und abgeschlossene Ausgangszustände wie diese sog. »kryptarithmetische« Aufgabe kommen leider nur selten vor (meist in denkpsychologischen Laboratorien), komplexe Probleme sind dagegen durch offene Ausgangszustände gekennzeichnet.

Bsp: Wie will man den Ausgangszustand beschreiben, der durch das Ereignis des 11. September 2001 – den fürchterlichen Terroranschlag auf das World Trade Center in New York – charakterisiert ist und ein Problem nicht nur für die unmittelbar Betroffenen darstellte? Wo kann man eine Grenze ziehen, die diesen Ausgangszustand hinreichend kennzeichnet? Wie weit muss man ausholen, wie weit in die Geschichte zurückgehen?

Das Problem des Ausgangszustands ist eng verwandt mit der Frage, welche Voraussetzungen in einer gegebenen Situation stillschweigend als erfüllt angesehen werden dürfen – ein enormes Problem für jede Art von künstlicher Intelligenz, deren Weltwissen meist extrem beschränkt ist. Searle (1992, Chap. 8) gibt für dieses Problem des Ausgangszustands (er nennt es »the Background«) als Beispiel die Situation eines Kunden in einem Restaurant an, der beim Kellner ein »Steak mit Fritten« bestellt. Was mit diesen drei Worten an impliziten Voraussetzungen verbunden ist, macht man sich selten klar; ein paar verborgene Annahmen sollen zur Illustration genannt sein: In der Küche wird eine des Bratens von Fleisch kundige Person erwartet; beim Steak handelt es sich um eine vorbehandelte Form von Fleisch; es wird eine handelsübliche Portion und nicht zwei Kilogramm gebracht; die Fritten kommen gebraten und nicht tiefgefroren; der Plural bei »Fritten« bedeutet: durchaus mehr als zwei, aber sicher nicht 10.000; das Essen wird in vertretbarer Zeit auf einem Teller an den Tisch gebracht und nicht hingeworfen zum Verzehr mit der bloßen Hand; das Gericht darf vom Gast verspeist und nicht nur angeschaut werden; während des Essens kann der Gast ungestört an einem Tisch sitzen und muss das Steak nicht auf der Toilette im Stehen essen usw. Dies ist nur ein Bruchteil all dessen, was wir an »Weltwissen« in Situationen hineintragen – was alles gehört davon zum Ausgangszustand eines Problems?

---

1 Weitere Anregung zum Nachdenken: M muss wegen des Übertrags schon mal 1 sein; wenn M + S und ein eventueller Übertrag 0 ergibt, muss S 8 oder 9 betragen; usw.

Das Problem des undeutlichen Ausgangszustands macht der Forschung zur Künstlichen Intelligenz (KI) schwer zu schaffen: »Verstehende Systeme« verfügen bis heute nicht über die Fähigkeit, das in einem bestimmten Kontext benötigte Weltwissen passend abzurufen. Allenfalls bei überschaubaren, geschlossenen Problemräumen wie z. B. Terminverhandlungen oder Hotelzimmer-Reservierungen (vgl. Wahlster, 2000) können KI-Systeme mit menschlichen Systemen konkurrieren (und auch das nur auf der Ebene abstrakter Informationen – ob das reservierte Zimmer »schön« ist oder im Winter über eine herrliche Aussicht verfügt, gehört schon nicht mehr dazu).

Der *Zielzustand*: Hier verschärft sich das eben beschriebene Problem nochmals – wenn schon der Ausgangszustand keine »scharfen Ränder« hat, wie kann dann ein präziser Zielzustand beschrieben werden? Allenfalls auf einer abstrakten Beschreibungsebene können amerikanische Truppen etwa die Zielvorgabe »Fangt Osama bin Laden!« erhalten. Auch wenn dieses Ziel noch vergleichsweise konkret erscheinen mag, ist das wichtigere Ziel »Bekämpft den internationalen Terrorismus!« derartig unscharf beschrieben, dass man binnen kurzem darüber in Streit geraten kann, ob etwa die Beschränkung grundgesetzlicher Garantien dafür in Kauf genommen werden muss.

Damit befinden wir uns schon mitten in einer Diskussion über die *Mittel* (die Operatoren), die zum Erreichen eines Ziels verwendet werden sollen. Mittel und Ziele hängen wechselseitig voneinander ab: Hat man bestimmte Mittel zur Verfügung, sind bestimmte Ziele leichter denkbar (zur Bestimmung des Blutdrucks brauche ich ein entsprechendes Messgerät – solange es dieses noch nicht gab, war das Ziel Blutdruckmessung unsinnig), umgekehrt geht man von Zielen aus und sucht nach passenden Mitteln (Wie kann eine Strahlentherapie bei Krebs so durchgeführt werden, dass gesundes Gewebe nicht geschädigt wird?).

Sowohl bei Mitteln als auch bei Zielen spielen Werte eine wichtige Rolle, und nicht jeder folgt dem Satz, wonach der Zweck die Mittel heilige. Ob der Bombeneinsatz in Afghanistan dadurch gerechtfertigt wird, dass er gegen einen menschenverachtenden Feind eingesetzt wird, ist eine moralische Frage – auch ein Tyrannenmord bleibt ein Mord. Für übergeordnete Ziele (»Ideologien«) haben in der Geschichte der Menschheit viele ihr Leben lassen müssen, ohne dass die Welt dadurch besser geworden wäre. Das Gegenstück zu den Zielfanatikern, die zur Erreichung ihres Ziels jedes Mittel einsetzen würden, sind die Mittelfetischisten, die ein einziges Instrumentarium für unterschiedlichste Ziele empfehlen (Beispiel: Irisdiagnostik als alleiniges Instrument zur Zustandsbestimmung aller Körperorgane und -systeme).

Bei komplexen Problemen – so werden wir später hören – spricht Dörner von einer »dialektischen Barriere« zwischen Ausgangs- und Zielzustand, um den Entwicklungsprozess zu benennen, der Ziele und Mittel aufeinander abstimmt: Mit bestimmten Mitteln werden einzelne Ziele überhaupt erst erreichbar, umgekehrt wird erst durch bestimmte Ziele die Suche nach entsprechenden Mitteln angestoßen. Dialektische Barrieren erfordern in besonderer Weise eine Bewertungsfunktion, anhand derer die Zielnähe bestimmt werden kann. Hussy (1983) nimmt hierfür sogar eine separate Komponente in sein Struktur- und Prozessmodell der Informationsverarbeitung (SPIV-Modell) auf, die er »evaluative Struktur« nennt.

1.1 Inhalt und Aufbau dieses Buches

Bevor man ein neues Buch schreibt, macht man zunächst eine Bestandsaufnahme und sichtet die vorliegenden Werke zum Gegenstandsbereich. Im deutschsprachigen Bereich sind zum Thema »Denken und Problemlösen« die Bücher von Aebli (1980, 1981), Dörner (1976, 1987, 3. Aufl.), Oerter (1971) und Hussy (1984, 1986) einflussreiche Vorgänger, aber auch die Bücher von Arbinger (1997), Brander, Kompa und Peltzer (1985), Hussy (1993, 1998, 2. Aufl.), Schaefer (1985) oder Seidel (1976) sollen nicht übersehen werden. Das Lehrbuch von Bösel (2001) behandelt Denken in einem sehr allgemeinen Rahmen und geht auf das im vorliegenden Buch ausführlich behandelte Thema des komplexen Problemlösens nur am Rande ein. Der von Graumann (1965b) herausgegebene Reader versammelt ältere Arbeiten. Sowjetische Beiträge zur Denkpsychologie findet man bei Matthäus (1988).

Im englischsprachigen Raum ist die Situation wegen der Größe des Sprachraums schwerer zu überblicken. Neben sehr vielen (Lehr-)Büchern zum Thema »Kognition« befassen sich Gilhooly (1996), Manktelow (1999), Mayer (1992) oder Robertson (2001) schwerpunktmäßig mit dem Thema »Denken« bzw. »Problemlösen«. Speziell zum deduktiven und induktiven Schlussfolgern, auf das hier nicht ausführlich eingegangen wird, lese man die Bücher von Evans (1989), Evans, Newstead und Byrne (1993), Hell, Fiedler und Gigerenzer (1993), Johnson-Laird und Byrne (1991) oder Keane und Gilhooly (1992).

Wer erwartet, konkrete Hinweise zum Lösen von Problemen zu finden, wird wahrscheinlich enttäuscht sein. Hier gibt es einen reichhaltigen Markt an Ratgeber-Literatur, dem es allerdings zumeist an theoretischer Unterfütterung mangelt (z. B. Brauchlin & Heene, 1995; Sell, 1989). Anwendungsaspekte des Problemlösens stehen im Vordergrund des Readers von Neber (1987).

Was unterscheidet das vorliegende Buch von den genannten anderen Werken? Problemlösendes Denken hat in den letzten 25 Jahren ein neues Verständnis erfahren: Mit dem verstärkten Aufkommen von Rechnern in psychologischen Laboratorien hat sich eine Abwendung der Denkpsychologie von Denksportaufgaben und eine Hinwendung zu computersimulierten Szenarios vollzogen, mit denen Realitätsausschnitte modelliert werden können, in die Versuchspersonen dann handelnd eingreifen sollen (Stichwort »Komplexes Problemlösen«). Diese radikale Erweiterung des Gegenstandsbereichs hat in den bislang vorliegenden Lehrbüchern zur Denkpsychologie noch keinen nennenswerten Niederschlag gefunden (wie übrigens auch deren Rezeption auf internationaler Ebene eher schleppend verläuft). Dies soll sich mit dem vorliegenden Buch ändern.

Der *Plan des Buches* ist folgender: Nach einführenden Betrachtungen zum Gegenstandsbereich und seiner historischen Entwicklung wird Kapitel 2 die Theorien und Ansätze zum problemlösenden Denken vorstellen, die sich als wichtig erwiesen haben. Neben dem einflussreichen Konzept des »General Problem Solvers« von Newell, Shaw und Simon (1958) werden die Zwei-Räume-Theorie von Simon und Lea (1974) und deren Weiterentwicklung durch Klahr und Dunbar (1988) vorgestellt, außerdem Dörners (ältere) Theorie des Problemlösens als Informationsverarbeitung (1976), seine neuere Psi-Theorie (Dörner, 1999), die Theorie deklarativer Vereinfachung nach Klauer (1993), Swellers Theorie kognitiver Belastung (1988) und Hammonds Theorie der Kognition für dynamische Umge-

bungen (1988). Neben diesen eher spezifischen Problemlöse-Theorien kommen aber auch allgemeinere Ansätze zur Sprache, die als regelbasierte Produktionssysteme (z. B. Anderson, 1993b), als konnektionistische Modelle (z. B. Elman et al., 1996), als evolutionspsychologische Konzepte (z. B. Gigerenzer, Todd & the ABC Research Group, 1999) oder als handlungstheoretische Ansätze bekannt sind und in der Denk- und Problemlösepsychologie Anwendung finden.

Kapitel 3 schildert Paradigmen und zentrale Befunde des einfachen Problemlösens. Beim einfachen Problemlösen geht es etwa um Einstellungseffekte oder um die Rolle der Problemrepräsentation. Die Untersuchungsparadigmen stellen dabei vergleichsweise einfache Anforderungen wie beim »Turm von Hanoi« oder bei Streichholzproblemen. Aus dem Unbehagen an der Simplizität speist sich die Entwicklung komplexerer Untersuchungsinstrumente, denen sich die nächsten beiden Kapitel unter dem Stichwort des komplexen Problemlösens widmen. Kapitel 4 behandelt zunächst die Kennzeichen komplexer Probleme, bevor dann die historische Entwicklung sowie kontroverse Forschungsstandpunkte dargestellt werden. Kapitel 5 stellt die initialen Befunde aus der »Frühzeit« der Forschung dar, wie sie anhand der Szenarios Lohhausen, Schneiderwerkstatt und Tanaland ermittelt wurden, aber auch die neueren Arbeiten werden detaillierter vorgestellt.

Kapitel 6 sortiert die inzwischen vorliegende Befundvielfalt nach disziplinären Kategorien: Sowohl aus Sicht der grundlagenorientierten Fächer Allgemeine Psychologie, Differenzielle Psychologie, Entwicklungspsychologie und Sozialpsychologie als auch aus Sicht der anwendungsorientierten Fächer Pädagogische Psychologie, Arbeits- und Betriebspsychologie sowie Klinische Psychologie werden jeweils ausgewählte Anwendungsbeispiele des problemlösenden Denkens aufgezeigt.

Kapitel 7 stellt eine Zusammenfassung des erreichten Stands dar, gibt einen Ausblick auf die noch offenen Problemstellungen in Forschung wie Anwendung und versucht damit einen Blick in die Zukunft. Auch wenn derartige Projektionen immer ein Wagnis darstellen, gehört dies zu den Aufgaben einer Positionsbestimmung, wie sie hier vorgenommen wird.

Zur Erhöhung der Lesbarkeit werden in den fortlaufenden Text gelegentlich Textboxen eingestreut, die einzelne Themen und Konzepte aufgreifen und vertiefen. Nach Zusammenfassungen wird im Regelfall auf weiterführende Literatur verwiesen.

Doch zunächst geht es um einige grundlegende Begriffsklärungen und Definitionsvorschläge, die uns zu einer Arbeitsdefinition führen. Eine kurze geschichtliche Betrachtung und ein Abschnitt zur Klassifikation von Problemen beenden das erste Kapitel.

1.2 Begriffsklärung und Arbeitsdefinition

Bsp: Ein hungriger Schimpanse sitzt im Käfig und schaut zu, wie jemand eine leckere Banane an der Decke des Käfigs aufhängt. Nach kurzer Zeit baut der Schimpanse aus herumliegenden Kisten einen kleinen Turm, auf den er steigt, um sich die Banane zu holen.

Diese Situation – von Köhler (1921) bei seinen Schimpansen-Versuchen auf Teneriffa während des Ersten Weltkriegs beobachtet – lässt kaum Zweifel aufkommen: Der intelligente Werkzeuggebrauch ist Resultat von denkerischer Tätigkeit und hat ein Problem des Schimpansen gelöst, nämlich wie er seinen Hunger befriedigen kann.

Aber woher nehmen wir die Gewissheit, dass hier ein Problem vorlag, das es zu lösen galt? Dafür sind zunächst einmal die Begriffe »Denken« und »Problemlösen« genauer zu bestimmen. Dies ist insofern eine paradoxe Absicht, als die Klärung der Begriffe eigentlich erst am Ende unserer Betrachtung erfolgen kann. Diese Paradoxie haben Meyer, Schützwohl und Reisenzein (1993) in ihrer »Einführung in die Emotionspsychologie« sehr treffend beschrieben und daraus die Konsequenz abgeleitet, mit einer *Arbeitsdefinition* zu beginnen, die wichtige, konsensual von der *scientific community* getragene Elemente des Begriffs sowie Beispiele enthält. Dies wird weiter unten erfolgen; wir beginnen zunächst mit einem kurzen Rundgang durch verschiedene Definitionsvorschläge, um uns auf diese Art dem Gegenstand und damit unserer Arbeitsdefinition zu nähern. Doch zunächst muss die Frage gestellt werden, woher denn die Probleme kommen, mit denen wir uns herumplagen müssen.

1.2.1 Wie entstehen eigentlich Probleme?

Wenn man über Problemlösen spricht, wird ganz selbstverständlich davon ausgegangen, dass Probleme existieren. Tatsächlich wirft diese Präsupposition (=implizite Vorannahme) die Frage auf, wie denn Probleme entstehen und wo sie herkommen. Wie die weiter unten aufgeführten Definitionsversuche demonstrieren, werden Probleme erst dadurch zu solchen, dass Organismen bestimmte Ziele verfolgen und diese nicht auf Anhieb erreichen. Die Situationen selbst sind nicht das Problem, sondern eine gegebene Situation zusammen mit einer bestimmten Zielsetzung eines Organismus *machen* ein Problem.

Für die meisten Forschenden auf dem Gebiet des problemlösenden Denkens ist es unausgesprochene Prämisse ihrer Arbeiten, dass die Welt voll von Problemen ist, die es zu lösen gilt. Selten wird allerdings der Frage nachgegangen, woher die zu lösenden Probleme eigentlich kommen – nachfolgend findet sich ein Antwortvorschlag dazu.

Problemlösendes Denken wird notwendig durch die Zielorientiertheit von Organismen. Wenn wir davon sprechen, dass Menschen Handlungen vollziehen, qualifizieren wir damit einen bestimmten Teil des unablässigen Verhaltensstroms, der nicht aufhört, solange ein Mensch lebt. Das Abgrenzungsmerkmal zwischen bloßem Verhalten und einer Handlung ist aber gerade die Intentionalität, die Zielgerichtetheit, die bewusste Zielantizipation (vgl. Boesch, 1980, Kap. II). Menschliche Handlungen verfolgen also Ziele und laufen damit zwangsläufig Gefahr, auf Probleme zu stoßen, denn nicht alles, was man will, ist auch (direkt) erreichbar. Solange Menschen handeln, können Probleme durch diese Handlungen entstehen (wobei auch Unterlassungshandeln zu den Handlungen zählt), ja man kann sagen: Gerade *weil* Menschen handeln, entstehen Probleme.

Die wichtigsten Grundprobleme eines Organismus ergeben sich aus der Notwendigkeit, die Vitalfunktionen des Körpers aufrechtzuerhalten: Sauerstoffzufuhr, Flüssigkeitszufuhr, Nahrungszufuhr stehen hier am Anfang; es folgt der Schutz des

Körpers vor klimatischer Unbill wie auch der Schutz vor Räubern, die sich des Organismus als Beute bedienen könnten. Schließlich kommen soziale Bedürfnisse hinzu, um die Fortpflanzung sicherzustellen.

Diese evolutionsbiologisch inspirierte Betrachtung der Grundprobleme wirft sofort die Frage auf, inwiefern es sich hier tatsächlich um »Probleme« handelt. Es handelt sich ja um Regelsysteme, die zum großen Teil auf natürliche Weise reguliert werden. Allerdings ist der zur Regelung dieser Systeme benötigte »Stoff« (Luft, Wasser, Nahrung etc.) nicht unbegrenzt und überall verfügbar – schon entsteht ein Problem!

Ganz im Unterschied zu diesen »natürlichen« Problemen sind andere Probleme »selbst gemacht« oder »artifiziell«. Sie werden durch menschengeschaffene Produkte (»Artefakte«) erzeugt, sei es *während* ihres Gebrauchs (z. B. die Benutzerschnittstelle einer Software, die ich nicht verstehe), sei es durch die *Folgen* des Gebrauchs (z. B. Umweltverschmutzung durch die Nutzung eines Autos). In der Geschichte der Menschheit scheint sich eine Entwicklung weg von den natürlichen hin zu den selbst gemachten Problemen abzuzeichnen, obwohl das ungebremste Wachstum der Menschheit und die oft gedankenlose Verschwendung von Umweltressourcen die natürlichen Probleme wieder in ihrem Stellenwert wachsen lassen.

Dass man nicht nur das Lösen von Problemen in der Problemlöseforschung untersucht, sondern auch deren *Entstehung*, illustriert eine Arbeit von Nährer (1988), in der seine Versuchspersonen (90 Akademiker und Studierende) gebeten wurden, vier unterschiedlich schwierige Probleme vom Typ »Drehrichtungsaufgabe« konstruktiv zu erzeugen, nicht zu lösen. Bei diesem Aufgabentyp geht es darum, mehrere auf starren Achsen befestigte Räder durch Keilriemen zu verbinden. Am Ende sollen andere Personen vorhersagen, in welche Richtung sich die beteiligten Räder jeweils drehen, wenn man eines davon in Bewegung setzt (Genaueres dazu in Kapitel 6.4.5). Interessant an Nährers Ergebnissen ist übrigens, dass die Problemkonstrukteure die Schwierigkeit z. B. dadurch erhöht haben, dass sie irrelevante Teile eingefügt haben, um die Komplexität zu steigern. Über das Merkmal Komplexität wird an späterer Stelle noch zu reden sein.

Die hier vorgetragene Meinung, dass Probleme gemacht und nicht gegeben sind, hilft auch beim Umgang mit sog. »unlösbaren« Problemen. Diese sind kein Grund, in Depressionen zu verfallen; vielmehr zeigt sich, dass in solchen Fällen eine Debatte über die möglicherweise unrealistischen Ziele zu führen ist: Dass wir es bis heute kaum schafften, aus Blei Gold zu machen (das Alchimistenproblem), zeigt keineswegs die Schwächen menschlichen Denkens auf, sondern weist auf falsch gesetzte Ziele. Zu wissen, wie Probleme entstehen, hilft damit auch, Probleme zum Verschwinden zu bringen. Handlungsziele aufzugeben gehört zu den einfachsten Methoden, ein Problem loszuwerden.

Schließlich ist anzumerken, dass gerade angesichts globaler Menschheitsprobleme wie z. B. Weltfrieden, Weltklima oder Welternährung eine Komplexitätsstufe erreicht wird, bei der einfache und schnelle Problemlösungen nicht erwartet werden können. Anstelle des Konzepts der *Lösung eines Problems* wäre hier wohl sinnvoller von *Annäherungen an gewünschte Zielzustände* oder von *Optimierungen* zu sprechen.

1.2.2 Verschiedene Definitionsvorschläge

Duncker (1935/1974, S. 1) beginnt seine Monografie zum produktiven Denken mit folgender Definition:

> »Ein ›Problem‹ entsteht z. B. dann, wenn ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht ›weiß‹, wie es dieses Ziel erreichen soll. Wo immer der gegebene Zustand sich nicht durch bloßes Handeln (Ausführen selbstverständlicher Operationen) in den erstrebten Zustand überführen lässt, wird das Denken auf den Plan gerufen. Ihm liegt es ob, ein vermittelndes Handeln allererst zu konzipieren.«

In dieser Definition steht das zu erreichende Ziel im Zentrum, und dieses Ziel steuert das Handeln. Problemlösen ist Mittel zum Zweck der Handlungsregulation.

Diese klassische Definition von Duncker hält sich in verschiedenen Varianten bis heute. Klix (1971, S. 640) spricht von einem Problem, wenn drei Dinge gegeben sind: a) ein Anfangszustand, b) ein Zielzustand und c) das nicht unmittelbare Gelingen einer Überführung des Anfangs- in den Zielzustand. Dörner (1976, S. 10) definiert ein Problem wie folgt:

> »Ein Individuum steht einem Problem gegenüber, wenn es sich in einem inneren oder äußeren Zustand befindet, den es aus irgendwelchen Gründen nicht für wünschenswert hält, aber im Moment nicht über die Mittel verfügt, um den unerwünschten Zustand in den wünschenswerten Zielzustand zu überführen.«

In ähnlicher Weise formulieren Lüer und Spada (1990, S. 256) ihre Definition eines Problems:

> »Ein Problem liegt dann vor, wenn ein Subjekt an der Aufgabenumwelt Eigenschaften wahrgenommen hat, sie in einem Problemraum intern repräsentiert und dabei erkennt, dass dieses innere Abbild eine oder mehrere unbefriedigende *Lücken* enthält. Der Problemlöser erlebt eine *Barriere*, die sich zwischen dem ihm bekannten Istzustand und dem angestrebten Ziel befindet.«

Dass es beim Denken um das Füllen von Lücken geht, hat auch Bartlett (1951), dem wir die Schematheorie des Gedächtnisses verdanken, bereits vor 50 Jahren festgestellt. Er betont, mit wie vielen Löchern und Lücken wir beim Denken umgehen, und stellt verwundert fest: »How much can be done with how little.« Je nach der Art der Lücke unterscheidet er zwischen zwei Arten der erforderlichen Aktivität zu ihrer Beseitigung: *Interpolation*, die die Lücke zwischen zwei bekannten Enden schließt, und *Extrapolation*, die von einem gegebenen Ende aus weiter ins Ungewisse gerichtet ist. »It is at least convenient to treat thinking as a special way or ways of filling up gaps or intervals in evidence obtained directly or indirectly from observation« (Bartlett, 1951, S. 38). Wir werden beim Konzept der »Barrieren« zwischen Ausgangs- und Zielzustand von Dörner wieder darauf zu sprechen kommen.

In ihrem einflussreichen Buch »The psychology of thinking« schreiben Bourne, Ekstrand und Dominowski (1971, S. 5), dass man die vorliegenden Definitionsversuche dessen, was Denken sein soll, wie folgt zusammenfassen könnte:

> »Thinking is a complex, multifaceted process. It is essential internal (and possibly nonbehavioral), involving symbolic representations of events and objects not immediately present, but is initiated by some external event (stimulus). Its function is to generate and control overt behavior.«

Aber sie kritisieren diesen Definitionsvorschlag, weil er Denken völlig aus der Sphäre von beobachtbaren Verhaltensphänomenen ausgrenze. An einem von ihnen gegebenen Beispiel soll dies erläutert werden.

Bsp: Stellen wir uns eine Mathematikerin vor, die an einem Tisch sitzt und versucht, ein Theorem zu beweisen. Sie hat vor sich ein Blatt Papier, auf dem sie gelegentlich Notizen macht, ansonsten ist wenig zu sehen. Sie lehnt sich oft zurück, schließt die Augen, stützt ab und zu den Kopf mit ihrer Hand. Nach einiger Zeit schreibt sie etwas auf, das sie als Lösung betrachtet. Sie wendet sich anderen Tätigkeiten zu.

Was braucht man, um das problemlösende Denken dieser Person als Verhaltensphänomen beschreiben zu können? Bourne et al. (1971) sehen mindestens die folgenden vier Differenzierungen: 1. *Wissen*: Unsere vorgestellte Mathematikerin greift auf umfangreiches Vorwissen zurück, ohne das sie keine Ideen über den Theorembeweis entwickeln könnte; 2. *Fähigkeiten*: Sie *weiß* nicht nur etwas, sie *kann* auch eine Term-Umformung erfolgreich durchführen (Wissen garantiert noch kein Können, wie auch umgekehrt Können ohne Wissen möglich scheint – dazu später mehr); 3. *Absichten*: Ohne eine entsprechende Absicht würde das Denken nicht in Gang kommen, es geschieht nicht »einfach so«, sondern steht unter der Kontrolle von Zielen; 4. *Leistung*: Durch den Denkprozess entsteht etwas, in unserem Fall ein spezieller Beweis. Erfüllt das Produkt die in den Absichten festgehaltenen Zielvorstellungen, kann die Episode als abgeschlossen, das Problem als gelöst betrachtet werden.

1.2.3 Integration der Definitionsversuche

Versucht man, die verschiedenen Definitionsversuche zum Problemlösen zu kondensieren, scheint der kleinste gemeinsame Nenner derjenige der *Suche* zu sein, nämlich der Suche nach der Lösung eines Problems, nach dem Weg zum Ziel. Aber wonach genau wird eigentlich gesucht? Die Lösung zu finden, ist gleichbedeutend damit, die Suche nach ihr abzubrechen. Lösungskriterien sind Abbruchkriterien. Die folgende Liste zeigt, dass eine Suche von ganz verschiedenen Abbruchkriterien geleitet werden kann (es können mehrere Kriterien gleichzeitig angelegt werden):

- Nach dem *Ziel*: Was genau ist eigentlich mein Zielzustand?
- Nach den *Mitteln*: Welche Mittel stehen mir zur Verfügung, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen?
- Nach den »*constraints*« (den Beschränkungen): Auf welche Randbedingungen muss ich achten?
- Nach der geeigneten *Abfolge* von Operationen: In welcher Reihenfolge setze ich bestimmte Maßnahmen ein?
- Nach der Art der *Repräsentation* (dem Problemraum): Wird das Problem sprachlich und/oder bildlich (oder noch anders) repräsentiert?
- Nach der »*Eleganz*« der Lösung (z. B. in der Mathematik).

Alle diese Aspekte spielen beim problemlösenden Denken eine Rolle und müssen bedacht werden. Je nach Art des Problems dominieren einzelne dieser Teilaspekte die anderen und machen damit die spezifische Sorte von Problem, den Problemtyp, aus (dazu mehr in Kapitel 1.4).

1.2.4 Zum Verhältnis von Denken und Problemlösen

Was das Verhältnis der beiden Begriffe »Denken« und »Problemlösen« zueinander betrifft, ist die einfachste Möglichkeit diejenige, das Problemlösen als Sonderfall

denkerischer Tätigkeit aufzugreifen und neben kreativem oder logischem Denken aufzuführen. Dann wäre die Besonderheit des problemlösenden im Vergleich zum logisch-analytischen oder produktiven, kreativen Denken zu benennen, ganz nach der scholastischen Vorgehensweise, die jeden Begriff durch Angabe eines Oberbegriffs (*genus proximum*, z. B. Tier) und der Abgrenzungsmerkmale gegenüber gleichrangigen Konzepten (*differentia specifica*, z. B. bellen) eindeutig in einer Begriffshierarchie platziert (»Ein Hund ist ein Tier, das bellt«). Vor diesem Hintergrund könnte man sagen, dass Problemlösen diejenige Art des Denkens beschreibt, durch das Menschen Hindernisse auf dem Weg zu einem Ziel beseitigen.

Eine andere Möglichkeit wäre, alle denkerischen Prozesse als im weitesten Sinne problemlösend anzusehen und damit Denken und Problemlösen gleich zu setzen. Anderson (1985, S. 199) vertritt diesen Standpunkt in radikaler Weise, indem er schreibt:

> »It seems that all cognitive activities are fundamentally problem-solving in nature. The basic argument is that human cognition is always purposeful, directed to achieving goals and to removing obstacles to those goals.«

Damit würde allerdings eine Differenzierungsmöglichkeit verloren gehen, die ich gerne erhalten wissen möchte. Nach Andersons umfassendem Verständnis von Kognition als Problemlösen wären nämlich auch Prozesse der Wahrnehmung, des Lernens oder des Gedächtnisses darunter zu subsumieren. Demgegenüber lege ich eine engere Interpretation des Begriffs »Problemlösen« zugrunde, die diese Funktion des Denkens abgrenzt von der Tätigkeit des Schlussfolgerns oder des Erschaffens neuer Ideen – wobei dies allenfalls als Akzentsetzung verstanden werden kann, da natürlich beim Problemlösen schlussfolgernde Urteile ebenso benötigt werden wie einfallsreiche Ideen zur Problemlösung.

Die Wahl des Begriffs »problemlösendes Denken« hat also mehrere Implikationen, auf die kurz hingewiesen werden soll: Die Auszeichnung des Denkens als »problemlösend« weist auf die Möglichkeit hin, dass das Denken auch noch andere Schwerpunkte als das Lösen von Problemen haben kann (der schlussfolgernde, urteilende, kreative Schwerpunkt). Damit verbunden ist die Annahme, dass der jeweilige Schwerpunkt die *Funktion* der denkerischen Tätigkeit beschreibt, die funktionale Sicht also davon ausgeht, dass das Denken keinen Selbstzweck darstellt, sondern im Dienste des Organismus steht und dessen Überleben sicherstellen soll. Damit wird problemlösendes Denken in den Dienst menschlicher Handlungsregulation eingeordnet und ihm zugleich eine wichtige Schlüsselstellung eingeräumt: nämlich die Kontrolle eben dieses Handelns.

1.2.5 Zum Verhältnis von Problemlösen und Entscheiden

In welchem Verhältnis stehen Problemlösen und Entscheiden zueinander? Wo liegt der Unterschied zwischen Problemlösen und Entscheiden? Mit der handlungstheoretischen Einbettung geht es um die Vorstellung, dass beim Problemlösen unter verschiedenen Handlungsoptionen die beste ausgewählt wird, also eine Entscheidung zu treffen ist. Es mag damit der Eindruck entstanden sein, dass Problemlöse- bzw. Entscheidungsforschung gleiche Gegenstände behandelten, also zwei Etiketten für dasselbe Gebiet verwendet würden. Dies ist allerdings nicht zutreffend.

Entscheidungsforschung befasst sich mit den Prozessen, die zu genau *einer* bestimmten Entscheidung führen (Kaufentscheidung für ein bestimmtes Produkt,

Entscheidung pro oder contra neue Mietwohnung etc.). *Problemlöseforschung* geht darüber hinaus, indem sie sich mit *Serien* von Entscheidungen befasst, die in einem größeren Kontext stehen. Um als Bürgermeister eine simulierte Kleinstadt erfolgreich zu leiten, muss ich mehr als nur eine einzelne Entscheidung treffen – ich muss ganze Bündel von Maßnahmen schnüren, um Probleme zu lösen. Auch wenn sich Problemlösen somit auf einer feineren Ebene durchaus als Sequenz von Entscheidungen darstellen lässt, geht es nicht nur um die isolierten Entscheidungen. Zu Problemlöse-Instanzen werden solche Entscheidungssequenzen, wenn man zusätzlich die Suche nach problemlösenden Mitteln, die Sammlung und Bewertung von Informationen, das Prüfen intendierter Wirkungen getroffener Entscheidungen und das Tragen der Verantwortung für die Konsequenzen von Entscheidungen betrachtet.

1.2.6 Zur Phänomenologie des Denkens

Nach dem eben Gesagten wollen wir Problemlösen als einen Sonderfall des geordneten Denkens betrachten und den Gegenstand dieses Buchs damit einschränken. Um dem übergeordneten Konzept wenigstens in aller Kürze Tribut zu zollen, stellt dieser Abschnitt einige allgemeinere Merkmale dar, die man bei der Behandlung des problemlösenden Denkens im Hinterkopf haben sollte.

Denken stellt eine psychische Funktion dar, mit der jeder Mensch seine eigenen Erfahrungen macht. Diese introspektive Zugänglichkeit ist für die wissenschaftliche Erforschung Vor- und Nachteil zugleich: Vorteil insofern, als zumindest die bewussten Prozesse damit direkt zugänglich sind (wenngleich auch nur dem denkenden Subjekt selbst), Nachteil insofern, als eine intersubjektiv herstellbare Gewissheit über Denkprozesse damit bestritten werden muss. Dies zeigt die Perspektive der ersten Person (»ich denke«) im Unterschied zur dritten Person (»sie oder er denkt«): Während die erstgenannte Aussage »ich denke« aus Sicht des denkenden Subjekts wahrheitsgemäß gemacht werden kann, ist die Aussage in der dritten Person immer nur hypothetisch zu machen. Selbst bei Rodins berühmter Skulptur (vgl. Abbildung 1) können wir uns nach wissenschaftlichen Kriterien betrachtet nicht sicher sein, ob er »denkt« oder nicht.

Die Phänomenologie des Denkens versucht, die wesentlichen Merkmale dieser psychischen Funktion in allgemeiner Weise festzuhalten. Graumann (1964, 1965a, S. 19 f.) hat die wichtigen Aspekte in mehreren Punkten festgehalten, die kurz beschrieben werden sollen:

Vergegenwärtigung. Die denkende Person ist losgelöst von der sinnlichen Erfahrung und kann damit Vergangenes wie Zukünftiges vergegenwärtigen. Vergegenwärtigung bedeutet auch, der Fantasie Platz einzuräumen und nicht nur das Gegebene, sondern auch das Mögliche zu bedenken. Je intensiver an etwas gedacht wird, umso lebendiger tritt es vor das geistige Auge und wird dadurch präsent.

Ordnungsleistung durch Begriffsbildung. Im Vorgang der Abstraktion wird Allgemeines »auf den Begriff gebracht«. Diese Art von bewusster begrifflicher Klassenbildung ist natürlich eine Leistung des Denkens, für einige Autoren sogar *die* zentrale Aufgabe (vgl. Aebli, 1980, 1981, 1988). Begriffsbildung steht daher in vielen Arbeiten im Zentrum der Aufmerksamkeit; betont wird damit die besondere Rolle der Sprache beim Denken.

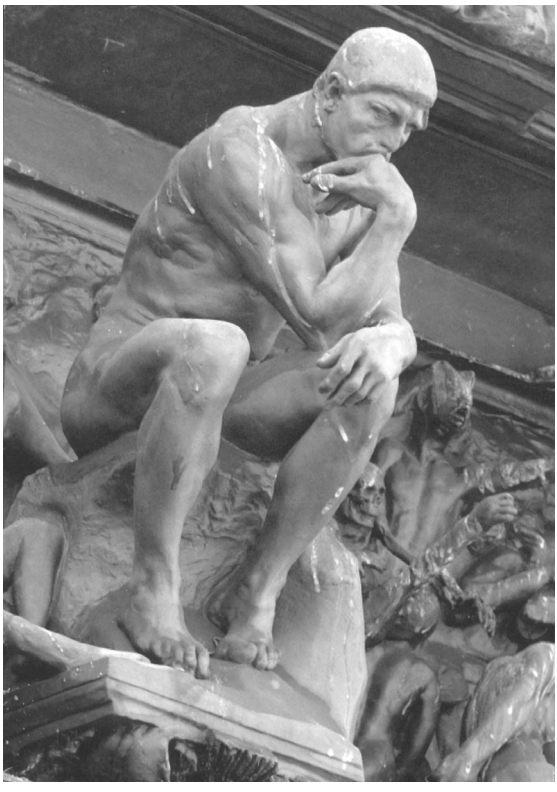


Abbildung 1 Die Skulptur »Der Denker« von Auguste Rodin (Kunsthaus Zürich).

Innerlichkeit. Die denkende Person unterscheidet sich von der handelnden Person durch die Wendung nach innen im Unterschied zur Orientierung nach außen. Die Sinnesreize werden für die Zeit des Denkens nebensächlich, die Umgebungsreize treten hinter den Gegenstand des Denkens zurück.

Selektivität. Die denkende Person ist frei in der Wahl ihres Objekts und kann beliebige Assoziationen stiften. Hier weist Graumann (1965a) auf einen wichtigen Unterschied zur sinnlichen Wahrnehmung hin. Diese kann sich zwar gelegentlich täuschen, wird aber meist durch das Handeln korrigiert – anders beim Denken: Die Freiheit zur beliebigen Assoziation ist natürlich damit auch die Freiheit zum Denkfehler.[2]

Urteil und Entscheidung. Die denkende Person hat im Allgemeinen ein Ziel im Auge – Denken ist somit kein Selbstzweck, sondern steht im Dienst der Handlungsregulation. Seine Aufgabe ist es, aus den verschiedenen Handlungsoptionen die für den Organismus zweckmäßigste auszuwählen. Dieser Akt des Beurteilens

2 Von Denkfehlern zu sprechen, bedeutet natürlich immer auch zu wissen, wie denn »richtig gedacht« werden sollte. Über das Problem dafür benötigter Normen wird noch zu reden sein.

von Alternativen und des Fällens einer Entscheidung charakterisiert die funktionale Seite des Denkens.

Reflexivität. Die denkende Person kann sich selbst zum Gegenstand des Denkens machen – eine Überlegung, die bereits Descartes mit seinem »Cogito ergo sum« (Ich denke, also bin ich) zum zentralen Leitsatz seiner Philosophie gemacht hat. Diese Fähigkeit, die wir auch als Metakognition oder »cognitive monitoring« bezeichnen (z. B. Flavell, 1979; Weinert & Kluwe, 1987), erlaubt es uns etwa, in schwierigen Situationen das erfolglos um ein Thema kreisende Denken abzubrechen und auf einen neuen Gegenstand zu richten, um später erneut zum ungelösten Problem zurückzukehren. Die Fähigkeit zu selbstreflexivem Denken unterscheidet insbesondere die menschliche von der künstlichen Intelligenz, die bestimmte Zustände wie z. B. »Endlosschleifen« nur durch äußeren Eingriff (»reset«) verlassen kann (das »Einfrieren« eines Rechners ist ein Beispiel dafür).

Der zuletzt erwähnte Punkt ist Graumann zufolge auch ein Indiz der *Personalität* des Denkens: Jedes Denken ist Denken einer ganz bestimmten Person, die ihre Gedanken »besitzt« und diese dem fremden Zugriff verweigern kann (»Die Gedanken sind frei«). Sich den Begriff der Freiheit ohne Gedankenfreiheit vorzustellen, erscheint als ein Ding der Unmöglichkeit. Von daher ist Denken essentieller Bestandteil freier Individuen. Denkfreiheit ist insofern ein Aspekt der Willensfreiheit – nicht von ungefähr führen Denkzwänge zu einer reduzierten Willensfreiheit und gelten daher als pathologisch und behandlungsbedürftig.

1.2.7 Eine Arbeitsdefinition

Nach all den abgrenzenden Bemerkungen lässt sich nunmehr (arbeits-)definitorisch festhalten: *Problemlösendes Denken erfolgt, um Lücken in einem Handlungsplan zu füllen, der nicht routinemäßig eingesetzt werden kann. Dazu wird eine gedankliche Repräsentation erstellt, die den Weg vom Ausgangs- zum Zielzustand überbrückt.* Mit dieser Festlegung ist einerseits die funktionale Sichtweise verdeutlicht (wozu dient Problemlösen?), andererseits wird mit dem Bezug zum Handlungsplan auch die Einbettung in eine handlungstheoretische Konzeption vorgenommen. Es geht um Pläne, also um dahinter stehende Absichten, und um Lücken in diesen Plänen (Dörner spricht von »Barrieren«), die durch das problemlösende Denken gefüllt werden sollen. Der Hinweis auf die nicht vorliegende Handlungsroutine betont nochmals die Notwendigkeit zu konstruktiven im Unterschied zu reproduktiven Prozessen. Hierfür dient auch die Abgrenzung der Begriffe »Aufgabe« als einer Anforderung, zu deren Lösung Routinen bereitstehen (reproduktives Verhalten), und »Problem« als derjenigen Anforderung, für die noch keine Routine entwickelt wurde (produktives Verhalten).

Die Betonung konstruktiver Prozesse macht auch deutlich, dass große Teile dieses Denkens (nicht alle!) Bewusstheit voraussetzen. Mit der Verwendung des Begriffs der gedanklichen Repräsentation geht zudem die Annahme einher, dass unser Gedächtnis eine zentrale Rolle beim Problemlösen spielt und dass Sprache – genauer: eine propositionale Repräsentation – ein wichtiges Medium ist, in dem wir (neben der Repräsentation in Form von Bildern und zeitlichen Abläufen) viele Probleme abbilden.

Mit der Schwerpunktsetzung auf den Bereich des problemlösenden Denkens wird auch ein Abgrenzungskriterium definiert, welche Inhalte *nicht* im Zentrum

des vorliegenden Buches stehen: Zu großen Teilen ausgeblendet werden explizit die Psychologie der Entscheidung (eine gute Einführung findet man bei Jungermann, Pfister & Fischer, 1998) sowie die neuere Kreativitätsforschung (z. B. Amabile, 1996; Csikszentmihalyi, 1997; Funke, 2000).

Was ist nun mit unserem Schimpansen aus dem einleitenden Beispiel: War es problemlösendes Denken, was beim Aufbau der Kisten zum Zwecke der Bananenbeschaffung ablief? Ja, denn der Schimpanse hat eine Lücke in seinem Handlungsplan gefüllt, die nicht mit Routineaktivitäten beseitigt werden konnte. Allerdings finden wir keinen direkten Zugang zu den bei ihm intern ablaufenden Prozessen – hier hat man es mit sprechenden Versuchspersonen leichter.

1.3 Geschichtliche Entwicklung

In diesem Abschnitt soll die neuere geschichtliche Entwicklung der Psychologie wenigstens in groben Umrissen nachgezeichnet werden, um die heutigen Positionen verständlich zu machen. Dabei ist der Blickwinkel, unter dem hier die Geschichte betrachtet wird, natürlich auf den Bereich des Denkens und Problemlösens eingeschränkt.

Die Hauptströmungen der modernen Psychologie, die ihren formalen Beginn im Jahre 1871 mit der Einrichtung des ersten Psychologischen Instituts an der Universität Leipzig durch Wundt datiert, haben auch ihren Niederschlag im Bereich des problemlösenden Denkens gefunden. Während Wundt in seinem Leipziger Laboratorium die experimentelle Untersuchung von Denkprozessen aus methodischen Gründen ablehnte, war es Külpe in Würzburg, der dies anders sah und die »systematische experimentelle Introspektion« erfand. Boring (1929, S. 643) sieht hierin einen wesentlichen Impuls für die Denkpsychologie, auch wenn er die zentrale Annahme von Külpe, Gedanken seien unanschaulich, für widerlegt hält. Die unanschaulichen Bewusstseinsinhalte wurden von Bühler (1907) »Gedanken« genannt, Ach (1910) sprach von »Bewusstheiten«. So ist zwar ein Objekt »Kaffeetasse« anschaulich, aber deren Bedeutung nicht: Was eine Kaffeetasse bedeutet, lässt sich nicht in anschauliche Vorstellungen fassen.

Auf die Würzburger Schule um Külpe, die Leipziger Schule um Wundt sowie auf weitere historische Vorläufer soll hier kurz eingegangen werden. Mit der Darstellung von gestalttheoretischen, assoziationistischen, psychoanalytischen und funktionalistischen Theorien in Kapitel 2 wird ebenfalls ein Stück Geschichte der Denk- und Problemlösepsychologie im Detail behandelt.

Würzburger Schule. In seinem psychologiegeschichtlichen Überblick markiert Schönpflug (2000, S. 304) den Beginn denkpsychologischer Studien in der modernen (deutschen) Psychologie mit der Berufung von Külpe an die Universität Würzburg im Jahre 1894. Külpe, der bei Wundt gelernt hatte, stellte Beobachtungen bei Versuchspersonen an, die über ihre Einfälle und Erlebnisse berichteten. Seine Mitarbeiter Bühler und Marbe ließen Übersetzungen aus dem Lateinischen anfertigen und sich im Nachhinein die dabei ablaufenden Vorgänge erläutern; in anderen Untersuchungen ließen sie sich den Sinn von Aphorismen erklären. Natürlich bedurfte es hierzu qualifizierter Versuchspersonen – Bühler ließ für diese Tätigkeiten nur Doktoren und Professoren der Philosophie zu.

Leipziger Schule. Natürlich hat sich auch Wundt des Themas angenommen, wobei er den Würzburger Forschern mit ihrer Vorliebe für introspektive Methoden widersprach und darauf hinwies, dass deren sog. »Experimente ohne Instrumente« (die Ausfragemethode der Würzburger) nach seinem Dafürhalten Scheinexperimente seien, da zentrale Merkmale eines Experiments wie willkürliche Bedingungsvariation oder Replikation nicht erfüllt seien (Wundt, 1907). Auch Erinnerungslücken würden zu Verzerrungen führen. Die von Bühler (1908) zur Verteidigung der Selbstbeobachtung angeführten Argumente (beliebige Wiederholbarkeit; Notwendigkeit der Selbstbeobachtung selbst im Experiment; keine »Verdoppelung« der Aufmerksamkeit, da erst im Nachhinein der Denkprozess analysiert werden soll) lässt er nicht gelten und bricht die Diskussion über die »Selbstbeobachtung mit Hindernissen« ziemlich schroff ab (Wundt, 1908).

Gestaltpsychologie. Die Gestaltpsychologie hat ihre Wurzeln in der Ganzheitspsychologie des 19. Jahrhunderts (vgl. Herrmann, 1957). Diese ging nach dem Motto »Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile« von der Übersummativität bestimmter Phänomene aus. Eine Melodie ist eben mehr als nur eine Ansammlung von Tönen, sie ist eine bestimmte »Gestalt«. Einzelne Elemente, die der assoziationistischen Elementenpsychologie als Untersuchungsgegenstand ausreichten, wurden hier ganzheitlich betrachtet. Die Gestaltprinzipien, die in der Wahrnehmungspsychologie erfolgreich zur Erklärung von (Selbst-)Organisationsprozessen verwendet wurden, fanden auch in der Denkpsychologie ihre Anwendung. Problemlösen bedeutete die Umstrukturierung einer defekten in eine gute Gestalt aufgrund von Einsicht (»Aha-Effekt«). Dies wird weiter unten (Kapitel 2.3, Gestalttheorie: Problemlösen als Suche nach einer guten Gestalt) ausführlich dargestellt und soll daher hier nicht vertieft werden.

Radikaler Behaviorismus. Die Abkehr von einer am Bewusstsein orientierten, introspektiv vorgehenden »Lehnstuhl«-Psychologie hat wohl am radikalsten Watson formuliert. Sein Manifest »Psychology as the behaviorist views it« (1913, S. 158) beginnt mit folgender Einleitung:

> »Psychology as the behaviorist views it is a purely objective experimental branch of natural science. Its theoretical goal is the prediction and control of behavior. Introspection forms no essential part of its methods, nor is the scientific value of its data dependent upon the readiness with which they lend themselves to interpretation in terms of consciousness. The behaviorist, in his efforts to get a unitary scheme of animal response, recognizes no dividing line between man and brute. The behavior of man, with all of its refinement and complexity, forms only a part of the behaviorist's total scheme of investigation.[3]

Der Verzicht auf Bewusstsein, die Konzentration auf Verhalten, die Gleichsetzung von Tier und Mensch, die Betrachtung von Psychologie als Naturwissenschaft mit dem Ziel der Vorhersage und Kontrolle und nicht dem des Verstehens: All dies stellt einen Bruch mit der traditionellen Psychologie dar, wie er vehementer kaum formuliert werden konnte. Für beinahe 50 Jahre wurde dies zum Credo nicht nur amerikanischer Psychologie und zu einem Triumph der assoziationistischen Lernpsychologie, die in großen Teilen Tierpsychologie war. Dass hier allerdings für Denkprozesse wenig Platz blieb, verwundert kaum.

---

3 Der komplette Text des Manifests findet sich unter http://psychclassics.yorku.ca/Watson/views.htm

Kognitive Wende. In den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts kam durch eine Reihe glücklicher Umstände das zustande, was wir heute als »kognitive Wende« bezeichnen – manche sprechen gar von einer »kognitiven Revolution«, wie z. B. Gardner (1985), der in seinem Buch die Geschichte dieser Revolution spannend nachzeichnet. Was war der wichtige Punkt bei dieser Wende? Ein neues Verständnis menschlicher Kognition wurde entworfen, das von der prinzipiellen Mechanisierbarkeit von Wahrnehmungs- und Denkprozessen ausging: Algorithmen[4] des erkennenden, kognitiven Systems rückten in greifbare Nähe. Dies bedeutete nicht nur, dass interne Prozesse, die dem Bann des Behaviorismus ausgesetzt waren, plötzlich wieder zugelassene (und sogar favorisierte) Gegenstände wissenschaftlicher Forschung waren, zusätzlich gab es auch für das Geschehen in dieser »*black box*« namens Gehirn ein neues Modell, nämlich das der Informationsverarbeitung. Information selbst wurde mit der Informationstheorie zu einer messbaren Größe (vgl. dazu ausführlicher den Exkurs Informationstheorie, Kapitel 2.5.9), die Verarbeitungsprozesse konnten formal mit symbolischen Programmiersprachen (wie z. B. LISP, das als eine der ersten Programmiersprachen in den 1950er Jahren entwickelt wurde) abgebildet werden, die strukturellen Komponenten wurden analog zu Computern als Eingabe-, Speicher-, Verarbeitungs- und Ausgabemodule konzipiert (vgl. zu dieser Metaphorik Gigerenzer, 1991a). Ausführlicher wird dieser Ansatz in Kapitel 2.5 (Funktionalismus: Problemlösen als Informationsverarbeitung) dargestellt.

Dass von diesem Ansatz – gerade im Zusammenwirken verschiedener Disziplinen wie Philosophie, Psychologie, Sprachwissenschaft, Neurologie oder Informatik, die unter dem Dach der Kognitionsforschung versammelt wurden – eine ungeheuere Faszination ausging, ist nicht zu bestreiten. Allerdings ist heute – aus der Rückschau – auch besser zu erkennen, wo die Beschränkungen dieses Ansatzes liegen (vgl. dazu Kapitel 2.5.9, Kritik an Informationsverarbeitungsmodellen).

Abschließendes zur Geschichte. Aus historischer Sicht stellt die deutsche Denkforschung einen tragischen Bereich dar: Nach dem Aufleuchten erster Arbeiten zu Beginn des 20. Jahrhunderts und einer Blütezeit in den 1920er Jahren kam es durch den Zweiten Weltkrieg zu einem (vorläufigen?) traurigen Ende der Forschungstätigkeit. Die besten deutschen Wissenschaftler mussten damals vorzeitig in den Ruhestand treten bzw. emigrieren (Köhler, Wertheimer), wurden im KZ ermordet (Selz) oder begingen Selbstmord (Duncker). Das gleichzeitige Aufblühen des amerikanischen Behaviorismus tat ein Übriges: Watsons Konzeption vom Denken als subvokalem Sprechen (so auch Skinner später) schloss jede kognitive Betrachtung aus. Erst mit der kognitiven Wende in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde Denken wieder zum Thema, diesmal aber unter dem Blickwinkel der Informationsverarbeitung. Diesen neuzeitlichen Standpunkt haben Newell und Simon (1972) mit der Unterscheidung von »*task environment*« (behavioristische Tradition: das objektiv Feststellbare) und »*problem space*« (kognitivistische Tradition: Anerkennung der Perspektive der ersten Person) integrativ fortgeführt und ihm

4 Was ist ein Algorithmus? Ein Algorithmus (benannt nach dem arabischen Mathematiker Al Chwarazmi, ca. 800 n. Chr.) ist ein mehrschrittiger, eindeutig festgelegter Lösungsweg für ein Problem bzw. eine ganze Klasse gleichartiger Probleme; *mehrschrittig* bedeutet eine (endliche) Folge von elementaren Einzelschritten, *eindeutig* bedeutet eine bis ins Detail streng festgelegte Vorgehensweise ohne Freiheitsgrade.

durch die Einführung der Konzeption begrenzter menschlicher Rationalität (Simon, 1947) einen wichtigen Aspekt hinzugefügt. Dass dabei zunächst das deduktive und induktive Schließen mehr, das Problemlösen dagegen weniger Aufmerksamkeit erfuhr, hat sicher nicht nur mit den zufälligen Schwerpunktsetzungen einzelner Forschender zu tun. Wie das noch ausführlicher abzuhandelnde Problemfeld des komplexen Problemlösens zeigt, gibt es sowohl fachimmanente als auch gesellschaftliche Entwicklungen, die das Interesse an bestimmten Forschungsgegenständen weckten (vgl. Kapitel 4.2).

1.4 Klassifikation von Problemen

Die Klassifikation von Problemen und die damit verbundene Suche nach relevanten Unterscheidungsdimensionen besitzt eine lange Tradition und hat gute Gründe:

> »Die Einteilung von Problemen in Problemtypen stellt einen Versuch dar, Ordnung in die Vielzahl unterschiedlicher Probleme zu bringen. Obwohl es manchmal schwer ist, Probleme eindeutig einzelnen Kategorien zuzuordnen, stellen Taxonomien von Problemen ein nützliches Hilfsmittel in der Problemlöseforschung dar.« (Knoblich, 2002, S. 648).

In der amerikanischen Literatur ist seit McCarthy (1956) die Differenzierung von Problemen nach *well-defined* (gut definiert; z. B. »Streiche das Wohnzimmer lila!«) und *ill-defined* (schlecht definiert; z. B. »Mache die Wohnung schöner!«) üblich. Arbinger (1997) unterscheidet Problemlösen ohne Wissen und Problemlösen mit Wissen. Erstgenannte Probleme (z. B. Puzzles) lassen sich seiner Meinung nach allein durch Anwendung von heuristischen Methoden lösen, letztere dagegen benötigen eine »innige Verzahnung von Wissen und heuristischen Prozessen« (S. 91). Auch wenn diese Unterscheidung als Dichotomie kaum sinnvoll erscheint (lediglich das *Ausmaß* an benötigtem Wissen zu unterscheiden ist sinnvoll), spielt das Wissen um verfügbare Mittel und zu erreichende Ziele natürlich in allen Klassifikationen eine wichtige Rolle. Greeno (1978) sieht dies ähnlich und unterscheidet Transformationsprobleme (ein wohl definierter Ausgangszustand ist in einen wohl definierten Zielzustand zu überführen), Neuordnungsprobleme (vorgegebene Elemente müssen in eine neue Abfolge gebracht werden) und Induktionsprobleme (aus einzelnen Exemplaren ist eine allgemeine Struktur abzuleiten).

Nachfolgend wird auf drei Klassifikationen einfacher Probleme näher eingegangen, die von Arlin (1989), Dörner (1976) sowie Lüer und Spada (1990) vorgelegt wurden. Außerdem geht es um Klassifikationen, die sich um komplexe Probleme kümmern.

1.4.1 Taxonomie von Arlin

Arlin (1989) hat eine Taxonomie bestehend aus vier Dimensionen vorgeschlagen. Ihrer Einteilung zufolge geht es um 1. den Problemtyp, 2. die Problemcharakteristik, 3. den Probleminhalt und 4. die Art der verlangten Informationsverarbeitung.

1. *Problemtyp*. Den Problemtyp unterscheidet Arlin nach mehreren Dimensionen: a) präsentierte versus zu entdeckende Probleme, b) schlecht versus wohl strukturierte Probleme sowie c) schlecht versus wohl definierte Probleme. Während

die unter a) genannte Dimension das Ausmaß der Kreativität beschreibt, das ein bestimmtes Problem zu seiner Lösung erfordert (vgl. Getzels, 1964), geht Dimension b) auf die Struktur ein, womit die Vollständigkeit der Problemspezifikation und die daraus erzielbare Sicherheit darüber, ob eine Lösung korrekt ist oder nicht, gemeint ist; Dimension c) schließlich behandelt die genaue Definition des gegebenen Problems.

2. *Problemcharakteristik*. In diesem zweiten Bereich unterscheidet Arlin a) die Problemintensität als Ausmaß des motivationalen Interesses, auf das ein Problem bei seinem Bearbeiter stößt, b) die Problemtemporalität, die sich auf die Frage bezieht, ob das Problem etwas darstellt, das im Leben des Problemlösers zurückliegt (und daher nur noch geringe Relevanz besitzt), oder ob es sich um ein Problem handelt, das noch auf die Person zukommen könnte und daher den mentalen Aufwand rechtfertigt, sowie c) die Problemvertrautheit, die dann hoch ist, wenn das Problem auch im Alltag der Person vorkommt und von daher nicht fremdartig ist.
3. *Probleminhalt*. Hier wird unterschieden zwischen a) konkret zu manipulierenden Objekten (z. B. »tückische Objekte«, vgl. Kapitel 6.8.1), b) dem Umgang mit abstrakten Repräsentationen und c) Inhalten aus dem sozialen und interpersonalen Bereich.
4. *Art der verlangten Informationsverarbeitung*. Auch wenn Arlin dies nicht weiter ausführt, kann man sich vorstellen, dass etwa Probleme zukünftiger Energieversorgung andere Verarbeitungsprozesse anstoßen als Puzzle-Probleme. Hier schimmert der Komplexitätsaspekt durch, der für das komplexe Problemlösen noch wichtig werden wird. Die dort z. B. verlangte Verarbeitungsart »Informationsbeschaffung« hat andere Prozesse zur Folge als die der Problemanalyse.

Eine kritische Betrachtung der Arlin'schen Taxonomie wirft allerdings Zweifel daran auf, wie hilfreich diese Differenzierungen sind. Schon die fragliche Abgrenzbarkeit etwa zwischen »Definition eines Problems« und »Struktur eines Problems« macht deutlich, mit welchen Schwierigkeiten man bei der Anwendung dieser Taxonomie auf alltägliche Probleme zu rechnen hat.

1.4.2 Klassifikation von Dörner

In der deutschsprachigen Literatur hat Dörner (1976) mit seiner zweidimensionalen Klassifikation hier zu einer weiteren Differenzierung beigetragen. Er unterscheidet nach der Art der *Barriere*, die zwischen gegebenem Ist- und zu erreichendem Soll-Zustand besteht. Diese hängt ab vom *Bekanntheitsgrad der Mittel* sowie der *Klarheit der Zielkriterien*. Setzt man für beide Dimensionen jeweils die zwei Stufen »hoch« und »gering« an, erhält man eine Vierfeldertafel, in deren Zellen sich jeweils bestimmte Barrieretypen finden.

Auch wenn die in Abbildung 2 dargestellte Taxonomie vier separate Typen suggeriert, sollte nicht übersehen werden, dass beide Dimensionen als Kontinuum anzusehen sind und die vier Typen keineswegs scharf voneinander abgegrenzt werden können.

Sind Bekanntheitsgrad der Mittel und Klarheit der Zielkriterien hoch, hat man eine *Interpolationsbarriere* vor sich, bei der es im Wesentlichen um das Finden

einer richtigen Operatorabfolge geht, mit der gegebene in gewünschte Sachverhalte überführt werden. So ist z. B. beim Schachspiel eine Zugfolge gesucht, die die gegnerische Person Matt setzt. Sowohl Mittel als auch Ziel sind bei dieser Anforderung bekannt. Schwierigkeiten machen Interpolationsbarrieren dann, wenn durch die Größe des Problemraums (wie beim Schachspiel) die Zahl möglicher Interpolationen zwischen Ist- und Soll-Zustand unüberschaubar sind.

		Bekanntheitsgrad der Mittel	
		hoch	gering
Klarheit der Zielkriterien	hoch	Interpolation	Synthese
	gering	dialektisch	Synthese & dialektisch

Abbildung 2 Taxonomie der Barrieren nach den zweistufigen Kriterien »Bekanntheitsgrad der Mittel« und »Klarheit der Zielkriterien« (nach Dörner, 1976, S. 14).

Wenn die Mittel unklar sind, aber ein wohl definierter Zielzustand vorliegt (z. B. das Alchimisten-Problem »Mache aus Blei Gold!«), hat man eine *Synthesebarriere* vor sich. Diese verlangt erkennbar den Einsatz kreativer Lösungsvorschläge, die allerdings – wie im genannten Beispiel – nicht immer zum Erfolg führen müssen.

Stehen dagegen Mittel zur Verfügung, aber das Ziel ist nicht klar definiert, muss dieses als erstes elaboriert werden. Dörner spricht hier von einer *dialektischen Barriere*, da sich erst im Laufe des Bearbeitungsprozesses – eines dialektischen Prozesses von These, Antithese und Synthese – eine Schärfung des Ziels ergibt. Ein Beispiel für ein derartiges »Problem« wäre etwa ein großer Geldgewinn, über dessen Verwendung zu entscheiden ist.

Beide Dimensionen beziehen sich implizit auf Wissen: Das Wissen über verfügbare Mittel wie das Wissen über zu erreichende Ziele spielt für die Klassifikation die entscheidende Rolle.

1.4.3 Taxonomie von Lüer und Spada

Ausgehend von ihrer Problemdefinition als Lücke einer internen Repräsentation klassifizieren Lüer und Spada (1990, S. 257) Probleme nach der Stelle im Problemraum, an der die Lücke besteht. Sie unterscheiden vier verschiedene Sorten (wobei sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit stellen): 1. Lücken bei der Abbildung des Anfangs- oder Endzustands. Eine unscharfe und/oder unvollständige Problemrepräsentation markiert dialektische Probleme im Sinne von Dörner. Es ist die Kategorie der schlecht definierten Probleme, mit der wir uns noch ausführlicher beschäftigen werden. 2. Lücken bei der Abbildung allgemeiner Problemzustände. Hierzu zählen sie Unklarheiten über die Relationen zwischen Elementen der »Problemzustandsstruktur«, wie sie vor allem in Situationen analogen Schließens be-

stehen (Dörner verhält sich zu Funke wie Bartlett zu ?)[5]. 3. Lücken bei der Abbildung von Operatoren. Hier ließen sich die Dörnerschen Interpolations- und Syntheseprobleme zuordnen, bei denen die Reihenfolge der Operatoranwendung unklar oder der Operator nicht verfügbar ist. Aber auch Probleme bei der Ausführung von Operatoren (Transformationsprobleme) ordnen sie hierzu. 4. Lücken bei der Abbildung von Wissen im Gedächtnis. Hier geht es erneut um komplexe, wissensintensive Probleme, wie sie vor allem in neuerer Zeit zum Untersuchungsgegenstand gemacht wurden (»Komplexes Problemlösen«). Die hier vorliegende Betonung von Wissensaufbau, Wissensorganisation und Wissensverwendung markiert die Abkehr von wissensarmen zu wissensreichen Problemen.

Kritisch bleibt zu dieser Taxonomie anzumerken, dass gerade die letzte Kategorie der Wissenslücke eine Oberkategorie der anderen Typen sein könnte, denn sind nicht eine unscharfe Abbildung des Anfangs- oder Endzustands (Typ 1) bzw. Unkenntnis über Relationen (Typ 2) und Operatoren (Typ 3) letztlich alles Fälle von unvollständigem Wissen? Die logische Unabhängigkeit der hier postulierten Typen scheint mir weitaus problematischer als bei den beiden anderen vorgestellten Taxonomien.

1.4.4 Taxonomien komplexer Probleme

Neben diesen Taxonomien, die sich primär auf einfache Probleme (siehe Kapitel 3) beziehen, sind für komplexe Probleme (siehe Kapitel 4) weitere Taxonomien entwickelt worden, die sich zumeist auf Eigenschaften der verwendeten Systeme beziehen.

Das Konzept der Problemschwierigkeit von Hussy (1984). Zentrales Konstrukt in Hussys Taxonomie ist der Begriff der Problemschwierigkeit, der sich aus Person- und Problemmerkmalen ergibt. Zu den Personmerkmalen zählen Fakten- und Operationswissen, das nach Umfang, Verfügbarkeit und Struktur unterschieden werden kann. Zu den Problemmerkmalen zählen Problemumfang und -komplexität, letztere nochmals unterschieden nach Anzahl der Variablen, Vernetztheit und Transparenz des Problems.

Kritisch an dieser Taxonomie bleibt, wie aus der Wechselwirkung dieser Faktoren die Schwierigkeit entsteht. Aber dies ist auch bei den anderen, eher allgemein gehaltenen Vorstellungen der Fall.

D*ie Taxonomie komplexer Szenarios von Funke (1990).* Hier werden drei Einflussbereiche unterschieden, nämlich Person-, Situations- und Aufgabenmerkmale. Zu den Personmerkmalen zählen etwa Intelligenz, Motivation und Persönlichkeit des Problemlösers. Situationsmerkmale beschreiben, wie ein bestimmtes Szenario dargeboten wird; Transparenz und Aufgabenstellung (z. B. Art der Zielvorgabe) zählen dazu. Aufgabenmerkmale schließlich werden nach formalen und inhaltlichen Aspekten unterschieden. Zu den formalen Merkmalen zählen etwa Nebenwirkungen, Zeitverzögerungen oder Eigendynamiken; als inhaltliches Merkmal

5 Lösungshilfe: Die hier bei Größenwahn meinerseits einsetzbare Person Hermann Ebbinghaus wurde am 24.1.1850 in Wuppertal-Barmen geboren und war eine für die moderne Gedächtnispsychologie einflussreiche Person, deren 1885 veröffentlichte Habilitationsschrift »Über das Gedächtnis« Maßstäbe setzte.

gelten z. B. die semantische Einbettung eines Systems oder die dort verwendeten Variablenbezeichnungen.

Zu diesem Vorschlag hat es durchaus Kritik gegeben (siehe Strohschneider, 1991a), die bei Wagener (2001b, S. 35 f.) dargestellt und vertieft wird. Hierzu zählen die mangelnde Relevanz der formalen Beschreibung eines Systems durch lineare Strukturgleichungen, die uneindeutige Relevanz objektiver Schwierigkeitsfaktoren und die schwierige Abgrenzung von Situations- und Aufgabenmerkmalen.

Der Anteil richtiger Lösungen bei Strauß (1993). Die Schwierigkeit komplexer Probleme soll sich nach Strauß aus dem Anteil richtiger Lösungen (ArL) ergeben. Damit ist der relative Anteil von Eingabevektoren an allen möglichen derartigen Eingaben gemeint, der das System jeweils zielnäher bringt. Dieser Faktor, so demonstriert Strauß empirisch, ist unabhängig von der Variablenzahl und der Variablenverknüpfung. Wenn also von zehn möglichen Eingaben fünf zum Ziel führen, liegt der ArL mit 0.5 deutlich höher als in einer Situation, wo dies nur mit einer von zehn Eingaben gelingt (ArL = 0.1).

Kritisch anzumerken ist, dass mit dem ArL zwar ein interessanter Schwierigkeitsindikator vorliegt, dieser aber nicht unter allen Umständen berechenbar erscheint. Vorausgesetzt wird ja, dass jeweils exakt zu entscheiden ist, wie nah ein bestimmter Eingabevektor zum Ziel führt. Wie später deutlich wird, ist dies nicht immer eindeutig bestimmbar.

Die Taxonomie komplexer Szenarios von Wagener (2001b). Das TAKS (= Taxonomie komplexer Szenarios) genannte System von Wagener stellt die wohl umfassendste Liste von Einflussfaktoren dar. In sechs Merkmalsknoten werden insgesamt 43 Einzelmerkmale zusammengefasst, mit denen komplexe Szenarios umfassend beschrieben werden können. Die sechs Eigenschaftsbereiche sind 1. inhaltliche Einkleidung (5 Merkmale), 2. Bedienungsinterface (9), 3. formale Systemstruktur (6), 4. funktionale Systemstruktur (14), 5. Informationsangebot (7) und 6. Auswertung (2).

Mit den 43 Einzelmerkmalen ist eine differenzierte Kommunikation über komplexe Szenarios möglich. Zudem können wünschenswerte Ausprägungen der Merkmale benannt und damit Zielvorgaben für die Szenario-Entwicklung gemacht werden. Allerdings bleibt auch bei dieser Taxonomie unklar, wie die Merkmale interagieren und auf welche psychologische Konstrukte (z. B. Intelligenz, Motivation, Gedächtnis) sie jeweils zu beziehen sind.

Die Klassifikation von Computersimulationen nach Gray (2002). Speziell für computersimulierte Umgebungen ist Grays Taxonomie gedacht, die sich auf drei Dimensionen bezieht: Bedienbarkeit (*tractability*), Grad der Wirklichkeitsnähe (*correspondence*) sowie Verbindlichkeit (*engagement*). Mit Bedienbarkeit wird die Leichtigkeit des Erwerbs von Wissen über ein Szenario und dessen Bedienung gemeint. Während die Simulation einer Boing 777 jahrelange Erfahrung voraussetzt, kann die Bedienung eines Videorekorders in fünf Minuten gelernt werden. Mit dem Grad der Wirklichkeitsnähe ist die Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität gemeint. So besitzt etwa der Flugsimulator auf dem PC eine geringere Realitätsnähe als das nachgebildete Cockpit im Rahmen einer Pilotenausbildung. Der Aspekt der Verbindlichkeit bezieht sich auf die Quelle der Bearbeitungsmotivation: Ist es der spielerische Unterhaltungswert, ein sachliches Interesse oder schlicht ein Entgelt, das die Bearbeitenden zum Mitmachen bewegt?

Kritisch hieran ist die weitgehend unpsychologische, technisch orientierte Betrachtung von Simulationen, die zwar relevante Problemmerkmale aufführt, diese

aber nicht in einen Bezug zum Problemlösen stellt. Unklar bleibt, welche Konsequenzen unterschiedliche Ausprägungen für den Problemlöseprozess haben. Ähnlich »technisch« orientierte Klassifikationen finden sich bei Klir (1974) und Hübner (1989). Dennoch kann es gewinnbringend sein, Szenarien nach diesen Merkmalen zu typisieren.

Die zentralen Begriffe der hier dargestellten Taxonomien finden sich noch einmal zusammenfassend in Abbildung 3.

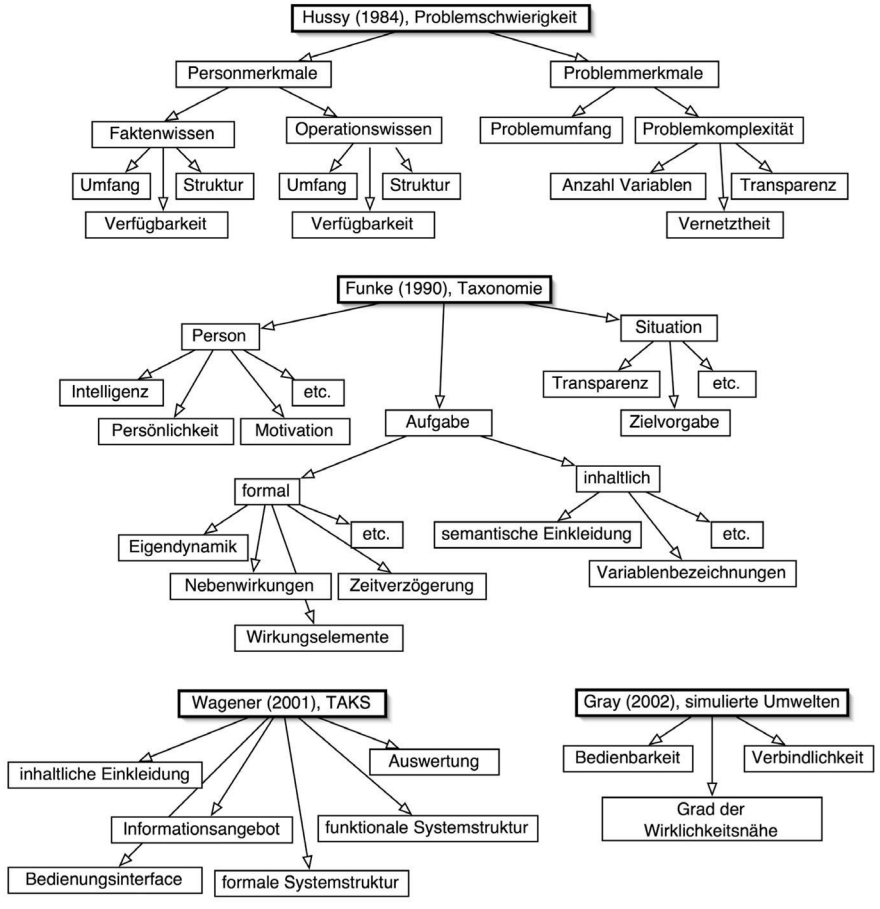


Abbildung 3 Taxonomische Konzepte von Hussy (1984), Funke (1990), Wagener (2001b) und Gray (2002).

1.5 Zur Einordnung problemlösenden Denkens in die Architektur psychischer Funktionen

Dass sich dieses Buch schwerpunktmäßig dem problemlösenden Denken widmet, bedeutet nicht, dass man diese psychische Funktion völlig isoliert von den übrigen Komponenten des psychischen »Apparats« betrachten kann. An dieser Stelle soll daher eine Einordnung des problemlösenden Denkens in das gesamte System der Kognition vorgenommen werden.

Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Am Anfang der meisten kognitiven Prozesse steht die orientierende Funktion der Aufmerksamkeit. Diese wird auf bestimmte Aspekte der Außenwelt gerichtet (Wahrnehmung von externen Reizen), kann sich aber auch auf innerpsychologische Prozesse (Wahrnehmung interner Reize, z. B. körperliche Empfindungen, Gedanken) richten. Aufmerksamkeit ist eine begrenzte Ressource, die sich entweder reizgesteuert oder willensgesteuert auf ausgewählte Wahrnehmungsobjekte richtet.

Arbeitsgedächtnis. Diese Wahrnehmungsobjekte werden intern repräsentiert und im Arbeitsgedächtnis zur flexiblen Weiterverarbeitung bereitgehalten. Die Konzeption eines Arbeitsgedächtnisses geht vor allem auf Arbeiten von Baddeley (1986, 1997) zurück, der diese kurzfristige Speicherstruktur in zwei unabhängige, modalitätsspezifische Teilsysteme zerlegt: die phonologische Schleife, die für die Bearbeitung akustisch-sprachlichen Materials zuständig ist, und der visuell-räumliche Notizzettel, der die Informationen der visuellen Modalität bereithält. Das Arbeitsgedächtnis verfügt über begrenzten Speicherplatz; seine Inhalte weisen begrenzte zeitliche Haltbarkeit auf (mehr dazu bei Baddeley, 2001; Miyake & Shah, 1999).

Langzeitgedächtnis. Vom Arbeitsgedächtnis aus können Verknüpfungen mit den Inhalten des Langzeitgedächtnisses hergestellt werden, denen hinsichtlich Haltbarkeit und Umfang kaum Grenzen gesteckt sind. Allerdings ist dieses Langzeitgedächtnis kein passiver Speicherplatz, der seine Inhalte unberührt lässt. Neben Vergessensprozessen sind vor allem aktive, (re-)konstruktive Prozesse für Verformungen von Gedächtnisinhalten verantwortlich, die auf die Wirkung von Schemata und Skripts zurückgeführt werden.

Das Langzeitgedächtnis unterteilt man je nach Art der Inhalte bzw. Art der Zugänglichkeit in deklarative und prozedurale Anteile. Die kognitive Architektur von Andersons klassischem ACT-Modell, die diese Unterteilung vornimmt, ist in Abbildung 4 dargestellt.

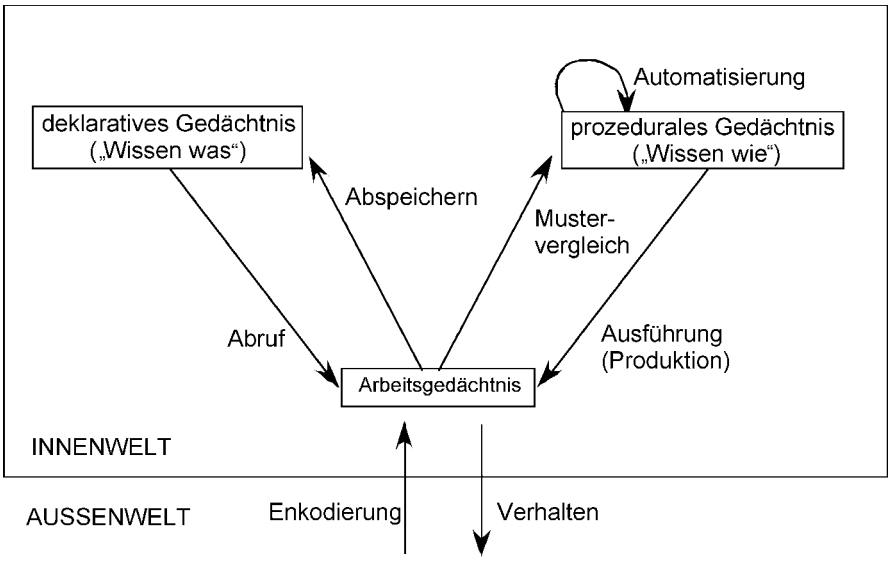


Abbildung 4 Kognitive Architektur nach Anderson (1983), bestehend aus Arbeits-, deklarativem und Produktionengedächtnis.

Ereignisse der Außenwelt werden durch die Sinnessysteme enkodiert und im Arbeitsgedächtnis präsent gehalten. Von dort aus können sie entweder im deklarativen Gedächtnis als Faktum abgespeichert werden oder mit Inhalten des prozeduralen Gedächtnisses verglichen werden. Sind mit den Fakten des Arbeitsgedächtnisses die Voraussetzungen für bestimmte Regelanwendungen (»Produktionen«) erfüllt, können diese ausgeführt werden. Eine solche Regel könnte lauten: »Wenn die Ampel rot ist, bleibe stehen«. Diese Regel wird nur dann angewandt, wenn die Voraussetzung (»rote Ampel«) im Arbeitsgedächtnis erfüllt ist. Derartige Vorgänge können durch Wiederholung hochgradig automatisiert werden und verlieren dabei u.U. die verbale (deklarative) Zugänglichkeit. Als routinierter Autofahrer jemandem zu erklären, wie man einkuppelt, kann man zwar leicht vorführen, aber nur schwer verbal beschreiben.

Die Unterscheidung zwischen deklarativen und nicht deklarativen (prozeduralen) Gedächtnisinhalten steht im Mittelpunkt von Squires (1992) Konzeption. Explizit zugänglich sind semantische und episodische Inhalte (also Fakten und Ereignisse), implizit dagegen Fertigkeiten, Priming (der Begriff »Brot« ist z. B. ein Prime für den damit assoziierten Begriff »Butter«), Konditionierungsvorgänge und Inhalte nicht-assoziativen Lernens wie z. B. Habituation. Das Konzept von Squire ist in Abbildung 5 dargestellt.

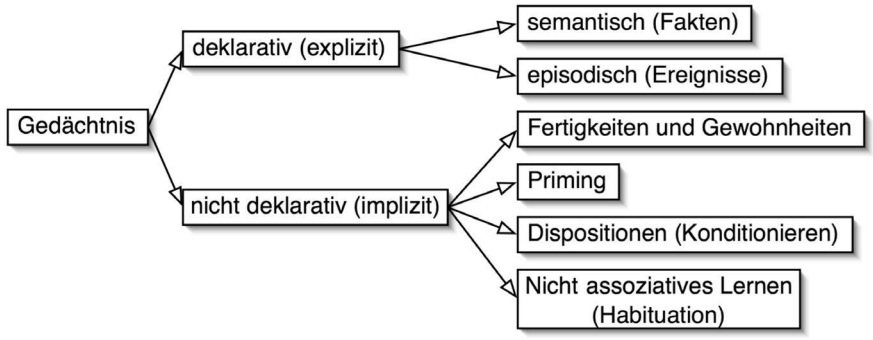


Abbildung 5 Klassifikation von Gedächtnissystemen nach Squire (1992, S. 205).

Soviel also in aller Kürze zum Gedächtnis, das für problemlösendes Denken natürlich von großer Bedeutung ist: Ohne ein Gedächtnis wäre Problemlösen kaum vorstellbar, da erst die intelligente Erfahrungsnutzung von blindem Versuchs-Irrtum-Lernen wegführt. Ohne Gedächtnis wäre auch die Nutzung von Sprache nicht möglich, die beim problemlösenden Denken von besonderer Bedeutung ist, da die begriffliche Klassifikation der Dinge, mit denen wir es zu tun haben, deren Verarbeitung entscheidend lenkt. Hier ist nicht der Ort, das Verhältnis von Sprache und Denken extensiv abzuhandeln (siehe dazu z. B. Kainz, 1964; Pinker, 1994; Reither, 1996). Aufgrund der Ordnungsleistung sprachlicher Begriffe und Kategorien ist jedoch klar, dass Denken ohne Sprache ein taubes Instrument wäre (Aebli, 1980, 1981, 1988).

Emotion und Motivation. Schließlich ist noch die Rolle von Emotion und Motivation zu erwähnen, die sie beim problemlösenden Denken spielen. Emotionen leiten einerseits die Art der Informationsverarbeitung (Fiedler, 1988; Kuhl, 1983), die in guter Laune eher oberflächlich, in schlechter Stimmung dagegen eher sorgfältig abläuft. Emotionen stellen aber auch Konsequenzen von Problemlösungen dar: gute Stimmung im Falle von Erfolg, schlechte Stimmung im Falle von Misserfolg.

Die Rolle der Motivation als Triebfeder in mir bzw. als Zugkraft, die von begehrten Objekten ausgeht, steht ebenfalls außer Frage. Wie lange ich an einem Problem arbeite, ehe ich enttäuscht aufgebe, ist nur eine Facette von vielen. Weiter unten dargestellte Experimente demonstrieren Auswirkungen der Motivation auf Bearbeitungsstrategien, die Menge eingeholter Informationen etc.

Abschließende Bemerkung. Mit diesen Ausführungen soll deutlich werden, dass problemlösendes Denken in einem und durch ein psychisches System geschieht, bei dem viele einzelne psychische Teilfunktionen zusammenwirken. Auch wenn der Schwerpunkt in diesem Buch klar auf *einer* dieser Teilfunktionen liegt, darf die Einbindung in das Gesamtsystem nicht vergessen werden.

1.6 Zusammenfassung

Was haben wir bisher über problemlösendes Denken gelernt? Zunächst Definitorisches: Problemlösendes Denken ist als Teil menschlicher Handlungsregulation zuständig für Nicht-Routine-Situationen, in denen Hindernisse den Weg zum Ziel versperren und zielführende Aktionen überdacht werden müssen. Im Unterschied zu blindem Versuchs-und-Irrtums-Lernen ist problemlösendes Denken eine wissensgestützte Tätigkeit.

Probleme entstehen, weil Menschen Ziele verfolgen. Die Verknüpfung des problemlösenden Denkens mit Wertentscheidungen ist daher offenkundig. Je abstrakter und unschärfer Ziele ausfallen, desto eher muss man von Optimierung anstatt von Lösungen durch problemlösendes Denken sprechen.

Ein Blick in die neuere Geschichte zeigt uns, dass assoziationistische Vorstellungen (Bildung neuer Ideen und Vorstellungen durch Assoziation bereits vorhandener) neben gestaltpsychologischen (Transformation defekter Gestalten durch Einsicht in gute Gestalten) entwickelt wurden. Radikale behavioristische Traditionen, die aus methodischen Gründen die Beschäftigung mit inneren Vorgängen ablehnten, wurden abgelöst durch kognitive Theorien, in denen gerade die inneren Prozesse (»Kognitionen«) zum Gegenstand der Theorienbildung und des experimentellen Hypothesentests gemacht wurden.

Gelernt haben wir auch, dass nicht ein Problem wie das andere ist. Dennoch lässt sich die Vielfalt möglicher Probleme dadurch ordnen, dass wir anhand ihres Lösungsraums offene von geschlossenen Problemen und anhand des jeweils zur Lösung benötigten Wissens wissensarme von wissensintensiven Problemen unterscheiden können. Bei komplexeren Problemen kommen weitere Dimensionen ins Spiel.

Schließlich muss festgehalten werden, dass problemlösendes Denken nicht isoliert betrachtet werden darf. Es ist Teil eines Gesamtsystems psychischer Funktionen, dessen Zusammenspiel letztlich zählt.

Weiterführende Literatur

Eine gute Darstellung der Geschichte der »Cognitive Science« findet sich in Gardner (1989). Hinsichtlich der Geschichte der Problemlöseforschung sind die Übersichten im »Annual Review of Psychology« hilfreich (Bourne & Dominowski, 1972; Gagné, 1959; Posner & McLeod, 1982; Simon, 1979; Taylor & McNemar, 1955).

2 Theorien des problemlösenden Denkens

2.1 Anforderungen an eine Theorie des problemlösenden Denkens
2.2 Assoziationismus: Problemlösen als Umschichtung von Reaktionshierarchien
2.3 Gestalttheorie: Problemlösen als Suche nach einer guten Gestalt
  2.3.1 Produktives Denken nach Wertheimer
  2.3.2 Produktives Denken nach Duncker
  2.3.3 Die Konzepte »Fixation« und »Einsicht«: Wirklich brauchbar?
  2.3.4 Phänomenologie und Gestaltpsychologie
2.4 Psychoanalyse: Problemlösen als Bewusstmachung unbewusster Inhalte
2.5 Funktionalismus: Problemlösen als Informationsverarbeitung
  2.5.1 Der »General Problem Solver« (GPS) von Newell, Shaw und Simon
  2.5.2 Theorie des Problemlösens von Newell und Simon
  2.5.3 Zwei-Räume-Theorie
  2.5.4 Theorie kognitiver Belastung von Sweller
  2.5.5 Theorie des Problemlösens als Informationsverarbeitung von Dörner
  2.5.6 Psi-Theorie von Dörner
  2.5.7 Theorie des deklarativen Vereinfachens von Klauer
  2.5.8 Theorie der Kognition für dynamische Umgebungen von Hammond
  2.5.9 Kritik an Informationsverarbeitungsmodellen
2.6 Problemlösendes Denken auf Maschinen: Kognitive Modellierung
  2.6.1 Regelbasierte Modelle
  2.6.2 Konnektionistische Modelle
  2.6.3 Kritik des Modellierungsansatzes
2.7 Handlungstheoretische Ansätze
  2.7.1 Konstituierende Merkmale von Handlungen
  2.7.2 Handlungsphasen
  2.7.3 Kritik an handlungstheoretischen Ansätzen
2.8 Evolutionspsychologische Ansätze
  2.8.1 Das »heuristics and biases«-Programm von Kahneman und Tversky
  2.8.2 Pragmatische Urteilsregeln und Betrüger-Entdeck-Mechanismus
  2.8.3 Gigerenzer und die ABC Research Group
  2.8.4 Kritik an evolutionspsychologischen Ansätzen
2.9 Zusammenfassung

Ein eigenes Kapitel für die verschiedenen Theorien und Rahmenkonzeptionen ist erforderlich, da uns erst die theoretischen Konstruktionen helfen, einen Gegenstandsbereich zu verstehen und zu ordnen. Aber Theorien haben nicht nur die Funktion begrifflicher Ordnungsstiftung, sondern sollen auch erklären und vorhersagen. Die wissenschaftliche Psychologie versucht, ihre theoretischen Konstruktionen mit der Empirie abzugleichen. Hierfür steht ein umfangreiches Arsenal methodischer Werkzeuge zur Verfügung. Voraussetzung für deren erfolgreiche Anwendung ist allerdings, dass Theorien nicht nur widerspruchsfrei formuliert sind, sondern auch empirischen Gehalt besitzen. Letzterer zeigt sich vor allem

daran, dass eine gute Theorie etwas verbietet, also prinzipiell der Falschheit überführt werden kann, wenn man etwa in der Empirie ein durch die Theorie »verbotenes« Ereignis oder Objekt aufzeigen kann. Dies ist das Grundprinzip des von Popper (1984) begründeten »kritischen Rationalismus«. Danach ist es forschungstechnisch wesentlich ökonomischer, sich beim Testen der Annahme, dass alle Schwäne weiß seien, auf die Suche nach schwarzen Schwänen zu begeben, als immer nur weitere weiße Schwäne aufzuzeigen. Auch wenn ich tausende von weißen Schwänen vorzeigen kann, falsifiziert doch schon ein einziges schwarzes Exemplar diese Allaussage. Eine Theorie nach dem Motto »Kräht der Hahn auf dem Mist, ändert sich das Wetter oder es bleibt, wie es ist« hat dagegen keinen empirischen Gehalt, weil sie nichts verbietet: Egal was passiert, sie hat immer recht! Gefordert werden daher klare Verbindungen zwischen theoretischen Konstruktionen und empirischen Ereignissen (»Manifestationen«), die prinzipiell widerlegt werden können. Alles, was nicht widerlegt werden kann (wie z. B. die Wetterprognose via Hahnenschrei), zählt daher auch nicht als gute Theorie.

Allerdings ist in der wissenschaftstheoretischen Debatte deutlich geworden, dass bestimmte theoretische Rahmenvorstellungen etwa über die Rationalität menschlicher Handlungen nicht immer direkt mit der Empirie verbunden werden können. Newell (1973) kritisiert den von Popper vorgeschlagenen Zugang als »discriminating approach«, da uns immer nur die noch nicht falsifizierten Erklärungsansätze präsentiert würden und lediglich eine Akkumulation negativen Wissens in Form von Falsifikationen stattfände. Stattdessen fordert Newell einen »approximating approach« auf der Basis von Lakatos' (1982) Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme. Dort wird zugelassen, dass es einen (invarianten) Kern von Annahmen in Theorien gibt, der nicht in Frage gestellt und durch einen (variablen) Schutzgürtel zusätzlicher Annahmen gestützt wird. Die Qualität konkurrierender Forschungsprogramme zeige sich daran, ob es sich um progressive oder degenerative Theorieentwicklungen handele. Progressive Entwicklungen, die erstrebenswert sind, machen sich z. B. an der erfolgreichen Vorhersage noch nicht entdeckter Phänomene fest, wie es etwa der modernen Evolutionspsychologie gelang (vgl. Ketelaar & Ellis, 2000). Degenerative Entwicklungen könnten etwa bei Problemlösetheorien vorliegen, die sich gegen eine Gegenstandserweiterung auf komplexe Probleme aussprechen oder die nur durch aufwändige Hilfshypothesen an neue empirische Phänomene anpassbar sind.

Die Darstellung der verschiedenen theoretischen Ansätze folgt ihrer historischen Genese und setzt mit dem Beginn experimentell orientierter psychologischer Forschung Ende des 19. Jahrhunderts ein. In der Moderne sind nach Schönpflug (2000) die drei großen Traditionen Behaviorismus, Kognitivismus und Tiefenpsychologie richtungsweisend. Alle drei Richtungen haben sich mit dem Problemlösen beschäftigt. Während der Behaviorismus hierbei die verstärkungsbedingte Umschichtung von nicht zielführenden Reaktionshierarchien als zentral ansah (siehe Kapitel 2.2), war für den Kognitivismus die Wirkung bestimmter Gestaltprinzipien (Ganzheitlichkeit und Prägnanz; siehe Kapitel 2.3) maßgeblich. Die Psychoanalyse hat zwar keine dezidiert denkpsychologischen Theorien erstellt und auch keine experimentellen Paradigmen beigesteuert, dennoch ist ihre Konzeption in diesem Rahmen erwähnenswert (siehe Kapitel 2.4). Alle drei Ansätze sind insofern historisch, als sie von der heute vorherrschenden funktionalistischen Theorie der Informationsverarbeitung abgelöst wurden (siehe Kapitel 2.5). Zusätzlich werden regelbasierte und konnektionistische Modelle dargestellt, wie sie im Kontext kognitiver

Modellierung zum Einsatz kommen (siehe Kapitel 2.6). Einen wichtigen Bezugsrahmen finden wir in Handlungstheorien, die in vielen modernen Ansätzen zum problemlösenden Denken präferiert werden (siehe Kapitel 2.7). Schließlich wurden auch evolutionspsychologische Ideen auf die Denkpsychologie angewendet; sie sollen abschließend präsentiert werden (siehe Kapitel 2.8).

Vor Beginn der Theorienübersicht geht es in Kapitel 2.1 zunächst um Überlegungen dazu, was denn eine Theorie problemlösenden Denkens zu leisten hat. Wie wir sehen werden, können dabei verschiedene Kriterien zur Anwendung kommen.

2.1 Anforderungen an eine Theorie des problemlösenden Denkens

Was sollte eine Theorie des problemlösenden Denkens leisten? Einige Autoren (z. B. Fillbrandt, 1992, S. 4) erwarten nicht nur deskriptive, sondern auch normative Darlegungen des »guten« Problemlösens. Johnson-Laird (1983, S. 65 f.) hat seine Ansprüche an eine psychologische »theory of reasoning« in sieben Punkten zusammengefasst. Da sich seine Kriterien vor allem auf schlussfolgerndes Denken beziehen, erfolgt hier eine Übertragung und Anpassung seiner Kriterien für den Bereich des problemlösenden Denkens:

1. *Schwierigkeit und Fehler*: Eine den empirischen Phänomenen Rechnung tragende adäquate Theorie problemlösenden Denkens muss die unterschiedliche Schwierigkeit von Problemen ebenso wie die jeweiligen Problemlösevorschläge samt den systematischen Fehlern erklären können.
2. *Individuelle Differenzen*: Die Theorie sollte Unterschiede im problemlösenden Denken zwischen verschiedenen Personen erklären können.
3. *Anwendungsbereich*: Die Theorie sollte nicht nur auf einzelne, sondern auf eine ganze Palette verschiedenster Probleme anzuwenden sein.
4. *Akquisition*: Die Theorie sollte erklären, wie man lernt, Probleme zu lösen.
5. *Rationalität*: Problemlösen sollte nicht als Zufallsprodukt, sondern als Ergebnis rationaler Tätigkeit beschrieben werden.
6. *Formalisierung*: Die Theorie sollte *Bezug zu formalen Problemlösemethoden* aufweisen und auch in formalisierter Form vorliegen[6].
7. *Pädagogik*: Idealerweise sollte die Theorie praktische Konsequenzen für das Vermitteln von Problemlöse-Fähigkeiten besitzen.

Soweit zu den Kriterien von Johnson-Laird. Interessanterweise haben Newell und Simon (1972, S. 9 f.) ebenfalls sieben zentrale Merkmale ihres (weiter unten dargestellten) Informationsverarbeitungsansatzes zum Problemlösen aufgeführt. Diese Merkmale stellen Leitlinien dar, an denen sich nicht nur der Informations-

6 Bei Johnson-Laird (1983, S. 66) geht es um die Frage, ob eine Theorie auch erklären kann, warum die formale Logik erfunden wurde und wie sie genau entstand – dies ist nicht ohne weiteres auf problemlösendes Denken zu übertragen, da es hier keine standardisierten normativen Modelle wie in der Logik gibt.

verarbeitungsansatz messen lassen sollte. Sie werden nachfolgend vorgestellt und kommentiert.

Prozessorientierung: Problemlösen wird zurückgeführt auf die Wirkung einer bestimmten Menge von (internen) elementaren Prozessen.

Mit dieser zentralen Annahme wird der Fokus nicht auf Strukturen, sondern auf Prozesse gelegt. Problemlösendes Denken ist Resultat eines Prozesses, genauer: einer bestimmten Menge von *elementaren* Prozessen. Damit muss eine Theorie spezifizieren, was die elementaren Prozesse sind und wie sie zu Prozessketten zusammengebracht werden. Solche elementaren Prozesse könnten z. B. Vergleichs-, Abruf- oder Speicherprozesse, aber auch Prozesse der Veränderung einzelner Merkmale sein. Betroffen sind natürlich alle Arten der Informationsverarbeitung.

Individuenorientierung: Die theoretischen Modelle beschreiben individuelle Vorgänge, keine auf Gruppenebenen aggregierten Daten und keine Durchschnittswerte.

Diese Annahme spezifiziert den Gegenstand insofern, als sie die für die Denkpsychologie charakteristische Analyseeinheit »Individuum« herausstellt. Die ebenfalls vorgetragene Ablehnung von Durchschnittswerten stellt allerdings gerade für die experimentelle Forschung eine harte Einschränkung dar (eine Kritik am voreiligen Aggregieren von Daten findet man bei Dörner, 1986, 1989a) und wird uns noch beschäftigen. Auch aus völlig anderer Richtung wird argumentiert, dass die vielfach ungeliebte *unaufgeklärte* Varianz experimenteller Treatments (das störende »Rauschen«, das auf den Signalen liegt) gerade das »Salz in der Suppe« sei (vgl. zu dieser ungewöhnlichen Argumentation Gilden, 2001). Durch die Zuordnung von Daten zu Versuchsbedingungen, die aus Gründen experimenteller Kontrolle randomisiert dargeboten werden, gehe die zeitliche Charakteristik des Systems verloren: »There is some irony here in that the techniques that have been developed to isolate treatment means so as to consolidate informal theories of mind may in fact be burying one of the most important signatures of what happens when a mind is working« (Gilden, 2001, S. 55). Die Annahme, dass Handlungen eine rationale Basis haben sollten, bedeutet nicht, dass alle Menschen zu gleichen Urteilen kommen; Individuenorientierung muss interindividuelle Differenzen geradezu fordern und darf diese nicht ausschließen (Stanovich & West, 1998, 2000).

Inhaltsorientierung: Die Theorie muss Rücksicht auf die *Bedeutung* der Dinge nehmen, um die es gerade geht – Menschen verarbeiten nicht nur, sondern bewerten auch ständig. Daher spielen die Inhalte, die verarbeitet werden, eine wichtige Rolle.

Gerade für die von der Informationstheorie inspirierten Informationsverarbeitungsmodelle menschlichen Problemlösens stellt dies eine Herausforderung dar, ist doch die Quantifizierung von Information gerade nur durch Verzicht auf Bedeutung möglich (vgl. Kapitel 2.5.9). Aber ohne jeden Zweifel ist die Bedeutung von Denk*inhalten* nicht nur beim logischen Schlussfolgern extrem: Bei der berühmten »selection task« von Wason ändert sich die Nutzung falsifizierender Vorgehensweisen radikal, wenn bei gleich bleibender formaler Struktur statt abstrakter Inhalte solche mit Bedeutung gewählt werden (vgl. Beller, 1997; Cosmides, 1989; Griggs & Cox, 1982). Auch die Untersuchungen zum (zumeist ausbleibenden) analogen Transfer zeigen, dass nicht die formale Struktur, sondern die Inhalte von großer Wichtigkeit bei der Bearbeitung der Probleme sind (vgl. Gick & Holyoak, 1983; Thußbas, 2001).

Dynamische Ausrichtung: Die Theorie soll den Verlauf von Verhalten über die Zeit hinweg beschreiben – damit ergibt sich eine natürliche Präferenz für die Formulierung von (Computer-)Programmen, die etwa den Ablauf einer Symbolverarbeitung spezifizieren.

Macht man mit der bereits eben besprochenen Prozessorientierung ernst, muss man eine Theorie entwickeln, in der dynamische Abläufe abgebildet werden können. Nicht eine einzelne Entscheidung ist zu modellieren, sondern die über eine längere Zeitspanne ablaufenden Veränderungen. Tatsächlich tut sich die Psychologie aber schwer mit dynamischen Theorien und bevorzugt Modelle für kurze Zeitspannen (Ausnahmen: Atkinson & Birch, 1970; Gärdenfors, 1988; Saari, 1977; van Gelder, 1998).

Empirische Fundierung: Aufgrund der Besonderheiten des Gegenstandes (starke Zeitabhängigkeit, Fokus auf dem Individuum) wird ein experimenteller Zugang für weitgehend aussichtslos erachtet. Um für den Einzelfall soviel empirisches Fundament wie möglich zu erhalten, werden verbale Daten als zentral angesehen.

Die Notwendigkeit der empirischen Fundierung theoretischer Aussagen ist unbestritten – ob allerdings die verbalen Daten den zentralen Zugang darstellen sollten, wird seit über einem Jahrhundert kontrovers diskutiert (vgl. Bühler, 1908; Ericsson & Simon, 1993; Nisbett & Wilson, 1977; Wundt, 1907, 1908). Dass verbale Daten notwendig sind, um an die hinter den Dingen liegende Bedeutung zu gelangen, scheint unausweichlich; allerdings können auch andere Datenquellen (z. B. Blickbewegungen) nützliche Informationen liefern (siehe etwa Knoblich, Ohlsson & Raney, 2001).

Nichtstatistische Formulierung: Wegen der starken Rolle, die Inhalte und Bedeutungen spielen, wird die Theorie kaum in nummerischen Messungen zu verankern sein. Die Ähnlichkeit zur Archäologie (im Sinne des hermeneutisch geleiteten Zusammensetzens einzelner Fundstücke) wird hier betont, nicht jedoch die Nähe zum Ackerbau (statistische Methoden der Psychologie wie die Varianzanalyse stammen ursprünglich aus der Agrikultur).

Hier geht es ähnlich wie bei der gerade behandelten Frage nach dem angemessenen Zugang zum Gegenstand um die Diskussion darüber, ob beim problemlösenden Denken präzise quantitative Vorhersagen wie etwa in der Psychophysik möglich seien. Newell und Simon (1972) vertreten in dieser Frage den Standpunkt, dass Denkpsychologen allenfalls einzelne Scherben zu einem Gebilde rekonstruieren, aber keine präzisen formalen Modelle aufstellen können (eine ähnliche Metapher verwendet übrigens Dörner, 1992, in seiner Kritik der Forschungsmethodik).

Suffizienzkriterium: Gesucht wird nach Modellvorstellungen, die eine bestimmte Aufgaben- oder Problemstellung so beschreiben, dass diese bewältigt werden kann. Suffizienz ist gegeben, wenn das Problem tatsächlich gemäß dem angenommenen Modell gelöst werden kann.

Dem Suffizienzkriterium folgt man etwa bei der Frage, ob eine S-R-theoretische Erklärung des Spracherwerbs möglich ist (ist sie wohl nicht – zur Skinner-Chomsky-Debatte siehe z. B. Richelle, 1976, 1993) oder ob die Verfügbarkeitsheuristik von Tversky und Kahneman (1973), nach der z. B. die Auftrittswahrscheinlichkeit des Buchstabens R an erster Stelle fälschlich doppelt so hoch eingeschätzt wird wie die von einem R an dritter Stelle, tatsächlich Fehlurteile bei *allen* Buchstaben vorhersagen kann (kann sie nicht – siehe Sedlmeier, Hertwig & Gigerenzer, 1998). Vor allem im Rahmen kognitiver Modellierung spielt Suffizienz insofern eine wichtige Rolle, als hier gefragt wird, ob ein bestimmter Modellierungsvor-

schlag tatsächlich die fraglichen kognitiven Leistungen reproduziere. Suffizienz ist also eine Frage nach der Korrespondenz von Original und Modell, die anhand von verschiedenen Kriterien zu beurteilen ist (vgl. hierzu Opwis & Spada, 1994; Wallach, 1998).

Beim Lesen dieses Kapitels sollte man gelegentlich auf diese Kriterien – sowohl die von Johnson-Laird als auch die von Newell und Simon genannten – zurückschauen, um die verschiedenen theoretischen Ansätze dahingehend zu bewerten, was sie zu den einzelnen Punkten zu sagen haben.

2.2 Assoziationismus: Problemlösen als Umschichtung von Reaktionshierarchien

Aus der Tradition des britischen Empirismus heraus hat sich Ende des 19. Jahrhunderts der Assoziationismus gebildet, der die Grundlage für behavioristische Lerntheorien (und auch für konnektionistische Modelle) bildete, wonach menschliche Lernprozesse beschrieben werden durch die Koppelung bestimmter Reize (Signale, Stimuli) und Reaktionen (Responses) einerseits (= klassische Konditionierung) sowie die Koppelung bestimmter Verhaltensweisen mit Verstärkern andererseits (= operante Konditionierung).

Bsp: Wir lernen durch wiederholte Erfahrung, an einer roten Ampel (= Signal) stehen zu bleiben (= Reaktion). Eine mögliche Bestrafung bei Missachtung dieser Koppelung (ebenso wie eine mögliche Belohnung bei deren Beachtung) verstärkt diesen Lernvorgang operant.

Grundgedanke des Assoziationismus war, dass sich durch wiederholte Assoziationsbildungen sog. Reaktionshierarchien ergeben, in denen die Verknüpfungen von bestimmten Reizen mit möglichen Reaktionen so geordnet wurden, dass an der Spitze einer Reaktionshierarchie die jeweils wahrscheinlichste Reaktion auf einen Reiz stand, die nächstwahrscheinliche Reaktion auf dem zweiten Platz folgte usw. Reaktionshierarchien stellen also Gewohnheitsmuster dar, mit denen man auf bestimmte Auslösebedingungen routinemäßig reagiert.

Von einem Problem spricht man in diesem Ansatz dann, wenn die an der Spitze der Reaktionshierarchie stehende Antwort nicht zum Ziel führt. In einem derartigen Fall beginnt man, die Reaktionshierarchie von oben nach unten abzusuchen (»trial-and-error«), bis der gewünschte Erfolg eintritt. Dadurch steigt die in der Hierarchie weiter unten stehende, erfolgreiche Reaktion nun nach oben auf, die Reaktionshierarchie wird umgeschichtet.

Aus dieser Sichtweise schwieriger zu erklären sind solche Fälle, die von der nachfolgend beschriebenen Gestalttheorie bevorzugt untersucht wurden und die zwei Eigenschaften aufweisen: a) eine neue Reaktion wird gezeigt, die noch nicht in der Reaktionshierarchie existiert (»produktives Denken«), b) aufgrund einer einmaligen Verstärkung wird eine ansonsten kaum oder gar nicht gezeigte Verhaltensweise zum dominanten Verhalten (»Einsicht«).

Liest man übrigens die klassische Arbeit von Skinner (1966), in der er den Vorgang des Problemlösens aus Sicht operanter Konditionierungstheorie beschreibt, heute nochmals, wirkt seine Argumentation keinesfalls so

mechanistisch-seelenlos, wie Kritiker die Stimulus-Response-Theorien oft darstellen. Tatsächlich geht es in dem Beitrag ja auch nicht um Stimulus-Response-Verbindungen, sondern um Stimulus-Response-Consequence-Tripletts. Die verstärkenden Konsequenzen sind insofern entscheidend, als gerade sie die Kontrolle des Verhaltens ermöglichen: Positive Konsequenzen erhöhen die Auftrittswahrscheinlichkeit der S-R-Verbindung, negative senken sie. Die jeweiligen Kontingenzen sind es, die für Skinner wichtig sind, und Probleme entstehen dann, wenn die Kontingenzen komplex und schwierig zu durchschauen sind (weil z. B. frühe Elemente einer Verhaltenskette zu weit vom endgültigen Verstärker entfernt sind – Bsp. Rauchen: die negativen Konsequenzen sind so weit entfernt, dass sie keine Wirkung auf das aktuelle Verhalten ausüben können).

Die von Skinner formulierten SRC-Tripletts leben heute z. B. in Form von sog. SRK-Einheiten bei Hoffmann (1993) fort und sind auch in der Tripel-Repräsentationsannahme bei Funke und Buchner (1992) wieder zu finden. Ganz generell finden sich auch in neueren Problemlösetheorien eine Vielzahl von Annahmen über Lernprozesse (z. B. Anderson, 1993a), beziehen diese aber auf andere Begrifflichkeiten. Anstelle von Reaktionshierarchien wird heute von Assoziationsstärken in Netzwerken gesprochen – die Grundgedanken assoziationistischer Problemlösetheorien leben also fort, wenngleich sich die Terminologie verändert hat (die später in Kapitel 2.6.2 behandelten neuronalen Netze stellen insofern einen neo-assoziationistischen Standpunkt dar). Auch die strikt behavioristische Grundorientierung, die die Annahme vermittelnder (kognitiver) Prozesse zurückweist, ist heute zugunsten einer liberaleren Haltung aufgegeben.

Weiterführende Literatur

Estes (1982), Skinner (1984).

2.3 Gestalttheorie: Problemlösen als Suche nach einer guten Gestalt

Die Gestalttheorie hat ihre Wurzeln im Bereich der Wahrnehmungspsychologie. Aufbauend auf dem Konzept der Ganzheit (vgl. Herrmann, 1957) entdeckte man gegen Ende des 19. Jahrhunderts Prinzipien der Wahrnehmungsorganisation, die unter das Konzept der guten Gestalt subsumiert wurden. Die Forschung beschäftigte sich systematisch mit Fragen der Art, wie sich Figuren vom Grund abheben und wie sich bestimmte Reizmuster in der visuellen Wahrnehmung zu Gestalten formen. Das Prinzip der Übersummativität (»Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile«) greift in gewisser Weise modernen systemtheoretischen Konzepten wie Emergenz oder Synergie voraus und macht deutlich, dass die Psychophysik der Wahrnehmung nicht identisch mit den Wahrnehmungs*erlebnissen* ist, die für sich genommen eigenen Prinzipien folgen. Abbildung 6 illustriert einige der Gestaltprinzipien.

Wie man erkennt, ergeben sich durch ganz bestimmte Anordnungen einzelner gleicher Objekte größere »Gestalten« bis hin zu solchen Objekten wie dem Dreieck (der subjektiven Kontur in Abbildung 6b), das eigentlich gar nicht vorhanden ist.

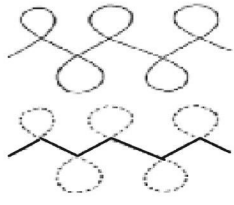
a) Prinzip der Nähe:
Geringer Abstand lässt Objekte zusammengehörig erscheinen



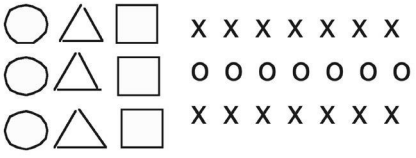
b) Prinzip der Geschlossenheit:
Fehlende Teile werden ergänzt.



c) Prinzip der guten Fortsetzung:
Zusammengehörigkeit durch Kurven.



d) Prinzip der Ähnlichkeit:
Einander ähnlich sehende Elemente erscheinen zusammengehörig.



e) Prinzip der Prägnanz:
Es werden möglichst einfache und einprägsame Gestalten gebildet.



f) Prinzip der „common region":
Gemeinsame Umrandungen markieren Zusammengehörigkeit.

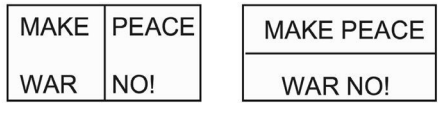


Abbildung 6 Sechs Gestaltprinzipien, davon fünf ältere (a–e) sowie ein erst kürzlich entdecktes Prinzip (f, »common region«, vgl. Palmer, 1992).

Wie kann man diesen Ansatz, dessen Wurzeln in der Wahrnehmungspsychologie liegen, auf die Denkpsychologie übertragen? Der Wahrnehmungsbezug wurde ein wichtiges Bindeglied einer durchaus abstrakten Problemstellung, in der das Problem als »defekte Gestalt« erscheint, die durch geeignete Transformationen in eine gute Gestalt zu überführen ist. Die Wahrnehmungsnähe entsteht dadurch, dass bestimmte Problemaspekte »wahrnehmbar« werden. Ein Beispiel: Das bekannte »Neun-Punkte-Problem« (vgl. Abbildung 7) verlangt von einer Versuchsperson, alle neun Punkte mit vier geraden Strichen zu verbinden, und zwar ohne abzusetzen und ohne eine Strecke doppelt zu nutzen.

Die Wahrnehmungsnähe, die sich durch die Betrachtung der neun Punkte ergibt, erweist sich zunächst als hinderlich: Tatsächlich verbleiben viele Personen bei ihren Lösungsversuchen zunächst innerhalb der Fläche, die durch die vier Eckpunkte

gegeben ist. Erst wenn diese – selbst auferlegte Beschränkung – überwunden ist, das Problem also umstrukturiert wurde, kann die Lösung erfolgen.

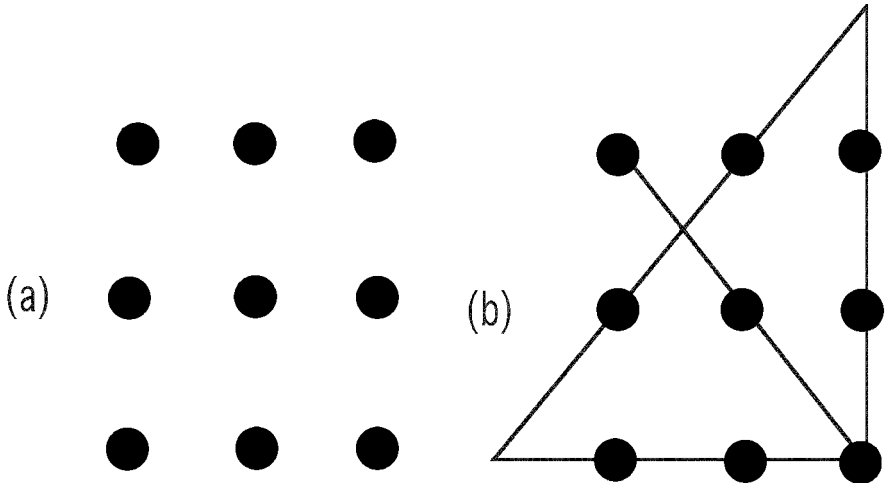


Abbildung 7 »Neun-Punkte-Problem«: a) Ausgangssituation, b) Lösung.

Die Übertragung von gestaltpsychologischen Prinzipien wie demjenigen der Geschlossenheit oder der guten Gestalt auf denkpsychologische Situationen gelingt also dort, wo das gestellte Problem veranschaulicht, »vor Augen geführt« und damit wahrgenommen werden kann. Je abstrakter und unanschaulicher ein Problem wird, umso weniger gelingt dies. Darum sind Bilder und Metaphern gerade in abstrakten Situationen nicht nur aus gestaltpsychologischer Sicht wichtige Lösungshilfen, weil sie die Repräsentation des Problems mitbeeinflussen.

Wallas (1926) hat den kreativen Problemlösungsprozess durch Angabe von fünf Phasen beschrieben, die bis heute zwar in deskriptiver Hinsicht hilfreich sind, aber hinsichtlich der Art der dabei ablaufenden Prozesse viele Fragen offen lassen (z. B. insbesondere bei der Inkubations- und der Einsichtsphase). Die fünf Phasen sind in Box 1 beschrieben (s. S. 48).

Die gestaltpsychologische Schule, die mit Namen wie Köhler, Wertheimer oder Duncker verbunden ist, hatte ihre Blütezeit in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts. Durch die Nazi-Zeit wurde dieser Forschung ein jähes Ende bereitet, weil die großenteils jüdischen Kollegen aus den Hochschulen entlassen und in die Emigration gezwungen wurden. Nach dem Zweiten Weltkrieg konnte sich diese Richtung nicht mehr behaupten, obwohl auch heute noch immer wieder Gestaltprinzipien entdeckt werden, wie etwa das in Abbildung 6 f) dargestellte Prinzip der »common region« von Palmer (1992) zeigt. Für die Denkpsychologie hat sich dieser Ansatz als weniger fruchtbar erwiesen, weil insbesondere die kritische Phase der Umstrukturierung und Einsichtsfindung im Unklaren blieb (siehe die Phasen des kreativen Prozesses). Dennoch verdankt die Denkforschung den Gestaltpsychologen viele wertvolle Erkenntnisse: Neben Konzepten wie »Einsicht« und »Aha-Erlebnis« (Karl Bühler) gehören auch die Phänomene der »funktionalen Gebundenheit« und der »Einstellung« dazu (siehe Kapitel 3.2).

Box 1 Die fünf Phasen eines kreativen Prozesses (nach Wallas, 1926).

Stufe 1: Vorbereitung. Es ist schwierig, eine gute Idee zu bekommen, ohne sich vorher intensiv mit dem fraglichen Gebiet beschäftigt zu haben. Kreative Erfinder kennen die wichtigsten Prinzipien in ihrer Disziplin, kreative Künstler haben sich intensiv mit den Werken von Vorgängern und Zeitgenossen auseinander gesetzt, kreative Wissenschaftler haben nicht nur ein langes Studium hinter sich, sondern auch zugleich einen hohen Grad an Expertise in ihrem Fach erreicht (»exceptional talents are less born than made«, vgl. Ericsson, 1996). Intensive Vorbereitung ist also nötig. Unter Expertise-Forschenden (z. B. Ericsson, 1996) wird davon gesprochen, dass grob gesagt ab einer Beschäftigungszeit von 10.000 Stunden mit einem bestimmten Thema von Expertise gesprochen werden kann.

Stufe 2: Inkubation. Interessanterweise kann es sinnvoll sein, ein Problem, für das man eine kreative Lösung sucht, einfach liegen zu lassen. In den Phasen der Nichtbeschäftigung arbeitet unser Gehirn offensichtlich weiter – die Inkubationsphase tritt in Kraft, nachdem die vorangegangene Phase durch eine Art »gedanklicher Infektion« die Grundlagen dafür gelegt hat.

Was in dieser Inkubationsphase genau passiert, war lange Zeit unklar. Am Werk ist hier die Dynamik unseres Gedächtnisses, in dem sich assoziative Verbindungen zwischen Ideen und Vorstellungen im Laufe der Zeit abschwächen und durch neu hinzukommende Informationen überlagert und verändert werden (»creative cognition«, vgl. Finke, Ward & Smith, 1992). Die in der Inkubationsphase ablaufenden Prozesse bleiben der kreativen Person unbewusst und können nicht aktiv beeinflusst werden. Allerdings hat gerade die neuere Forschung zum Kognitiven Unbewussten eindrucksvolle experimentelle Belege intuitiver Informationsverarbeitung vorgelegt, die diese Phase entmystifizieren (siehe z. B. Dorfman, Shames & Kihlstrom, 1996).

Stufe 3: Einsicht. Zu einem ungewissen Zeitpunkt durchdringt eine rekombinierte Assoziation die Schwelle zum Bewusstsein und liefert den Moment der Erleuchtung – die Illumination. Gestaltpsychologen haben vom »Aha«-Effekt gesprochen. Dies ist der Moment der Bewusstwerdung des schöpferischen Augenblicks, der nach entsprechender Vorbereitung und daran anschließender Inkubation erfolgt; in medizinischer Terminologie haben wir die »Krisis« erreicht.

Stufe 4: Bewertung. Die in der Erleuchtungsphase gewonnene kreative Einsicht muss natürlich bewertet werden – nicht alle kreativen Einsichten sind wirklich brauchbar. Hier kommen Normen und Werte ins Spiel, die darüber entscheiden, ob eine neue Idee der kritischen Zensur zum Opfer fällt oder es schafft, diese Hürde zu überwinden. Dabei ist die nächste Stufe nicht unbeteiligt.

Stufe 5: Ausarbeitung. Von der ersten Idee einer elektrischen Glühbirne bis zum Prototypen war ein weiter Weg zurückzulegen. Thomas Edison soll einmal rückblickend gesagt haben: »Genie bedeutet 1% Inspiration und 99% Transpiration«, womit er auf die Kräfte hinweist, die zur Durchsetzung einer kreativen Idee nötig sind. Außerdem können sich auf dem Weg von der Idee hin zum fertigen Endergebnis – einem Bild, einem technischen Produkt, einem Roman – noch zahlreiche Überraschungen und Änderungen ergeben. Soviel also zunächst einmal zu den fünf Stufen eines kreativen Prozesses, die sich nach heutiger Sicht als normale kognitive Verarbeitungsprozesse darstellen.

2.3.1 Produktives Denken nach Wertheimer

Wertheimer (1880–1943), der zusammen mit Köhler (1887–1967) und Koffka (1886–1941) die Gestaltpsychologie begründete, hatte bereits seine allererste Arbeit dem Denken der Naturvölker gewidmet (Wertheimer, 1912). Sein bedeutendstes Werk – »Productive Thinking« – erschien posthum 1945 und enthält neben einer detaillierten Analyse der Lösungsprozesse von geometrischen und arithmetischen Problemstellungen eine Darstellung der Denkprozesse, die Einstein zur Entdeckung der Relativitätstheorie führten. In insgesamt zehn »Akten« werden die Überlegungen Einsteins (vor allem zum sog. Michelson-Versuch)[7] dargelegt, die Wertheimer im persönlichen Gespräch mit seinem Freund Einstein eruierte. Die Nachzeichnung dieser kreativen Gedankenkette durch viele Zwischenfragen und Hypothesen ist auch heute noch lesenswert, zumal die einfühlende Art Wertheimers unnachahmlich erscheint und weit über ein Gesprächsprotokoll hinausgeht. Die gelegentliche Verherrlichung Einsteinscher Gedanken durch Wertheimer stört allerdings die Lektüre etwas. Die wesentlichen Züge »echter, vernünftiger, produktiver Denkvorgänge« (S. 220) enthält zusammenfassend Tabelle 1.

Tabelle 1 Die Bestandteile produktiver Denkvorgänge aus der Sicht von Wertheimer (1957, S. 221).

1. Bemerken und Ins-Auge-Fassen struktureller Züge und struktureller Forderungen.
2. Vorgehen im Einklang mit und geleitet von diesen Forderungen.
3. Veränderung der Situation in Richtung struktureller Verbesserung, was bedeutet,
   a) dass Lücken, verworrene Stellen, Störungen, Oberflächlichkeiten gesehen und strukturell behandelt werden;
   b) dass nach inneren strukturellen Beziehungen – Passen oder Nichtpassen – bei solchen Störungen, bei der gegebenen Situation und bei ihren verschiedenen Teilen gesucht wird;
   c) dass strukturelle Operationen wie Gruppierung und Sonderung, Zentrierung usw. stattfinden;
   d) dass die Operationen selbst gemäß ihrer strukturellen Stelle, Rolle und dynamischen Bedeutung gesehen und behandelt werden, einschließlich der Erfassung der Änderungen, die das mit sich bringt.
4. Bemerken struktureller Transponierbarkeit, struktureller Hierarchie, und Scheidung strukturell äußerlicher von wesentlichen Zügen – ein besonderer Fall von Gruppierung.
5. Blick auf die strukturelle, nicht stückhafte Wahrheit.

7 Zum Michelson-Versuch findet man eine interessante, recht kritische Darstellung bei Collins und Pinch (1999, S. 39–71).

Wertheimer räumt ein, dass seine Charakterisierung der Denkvorgänge schwer zu verstehen sei, ja sie seien sogar »ausgesprochen leicht misszuverstehen« (S. 222). Hierbei bezieht er sich vor allem auf ungelöste Probleme bei den Vorgängen der sog. Sonderung, Gruppierung, Zentrierung und strukturellen Transponierarbeit, aber auch auf Fragen des Verhältnisses von Teilen zum Ganzen und der Frage nach »guten Gestalten«.

Die in Tabelle 1 dargestellten Bestandteile produktiver Denkvorgänge sind für uns heute nur schwer nachvollziehbar. Sie beschreiben nur (und das noch nicht einmal verständlich) und erklären wenig. So interessant Wertheimers Einzelfallstudien auch sind, die Zusammenfassung seiner Erkenntnisse in eine empirisch prüfbare Theorie erfolgt nicht; daher hinterlässt sein Ansatz auch keine wirkungsvollen Spuren in späteren Forschungen. Immerhin räumt Mayer (1992) Wertheimers Betonung struktureller Komponenten eine Vorreiterrolle für Untersuchungen zur Verwendung von Analogien beim Problemlösen ein.

Die reine Deskription von Denkvorgängen ist nicht befriedigend bei der Suche nach zugrunde liegenden Gesetzen. Was auch heute noch Bestand hat, ist sein Hinweis auf die in der Situation und dem Material enthaltenen »Kräfte«, die dem Denken eine Struktur geben und dessen Richtung bestimmen.

2.3.2 Produktives Denken nach Duncker

In seiner »Psychologie des produktiven Denkens« unternimmt Duncker (1935/1974) den Versuch, die »Findung« einer Problemlösung näher zu beschreiben. Mit der Akzentuierung auf die Findung (gr. heuriskein) wird die Prozessorientierung Dunckers deutlich, die er mit seinem Ansatz verfolgt. Den Problemlöseprozess hat er vor allem an zwei Problemstellungen näher untersucht:

1. Das Bestrahlungsproblem: »Gesucht ein Verfahren, um einen Menschen von einer inoperablen Magengeschwulst zu befreien mithilfe von Strahlen, die bei genügender Intensität organisches Gewebe zerstören – unter Vermeidung einer Mitzerstörung der umliegenden gesunden Körperpartien« (S. 1). Dieses Problem hat er als »praktisch« bezeichnet, weil die Leitfrage »Wie erreiche ich etwas?« lautet.
2. Das Beweisproblem: »Gesucht eine Begründung dafür, dass alle sechsstelligen Zahlen vom Typus abcabc, z. B. 276276 durch 13 teilbar sind« (S. 1). Dieses Problem hat er als »theoretisch« bezeichnet, weil die Leitfrage »Wie, woraus sehe ich ein?« lautet.

Beide Probleme suchen nach dem Grund einer vorgegebenen Folge, das praktische Problem nach einem Realgrund, das theoretische nach dem logischen Grund. Grund-Folge-Beziehungen (also die Suche nach Kausalität) spielen daher eine wichtige Rolle.

Dunckers Erhebungsmethode war nicht die Selbstbeobachtung, wie sie z. B. von der Würzburger Schule (Külpe, Marbe, Selz) praktiziert wurde, sondern das »Laut Denken«, ein Verfahren, bei dem »der laut Denkende unmittelbar auf die Sache gerichtet (bleibt), sie ... nur gleichsam ›zu Worte kommen‹ lässt« (S. 2).

Seine Analyse der Lösungsvorschläge für das Bestrahlungsproblem zeigt, dass die verschiedenen Ideen nach ihrem »Funktionalwert« geordnet werden

können. Duncker nennt diese Liste »Lösungsstammbaum«. Ein solcher ist in Tabelle 2 exemplarisch dargestellt.

Tabelle 2 »Lösungsstammbaum« zum BESTRAHLUNGSPROBLEM: verschiedene Lösungsvorschläge einer Versuchsperson, geordnet nach ihrem Funktionalwert unter dem Leitmotiv »Heilung ohne Mitzerstörung gesunder Gewebe« (nach Duncker, 1935/1974, S. 5).

1. Kein Kontakt zwischen Strahlen und gesundem Gewebe: Umleitung über gewebefreien Zugang zum Magen, über die Speiseröhre; operative Entfernung gesunden Gewebes aus der Strahlenbahn, Einsetzen einer Kanüle; Schutzwand zwischen Strahlen und gesundem Gewebe, Genuss strahlenundurchlässiger Substanz; Nachaußenverlagerung der Geschwulst, durch Druck.
2. Unempfindlichmachung des gesunden Gewebes unterwegs: chemische Injektion; abhärtende Vorbestrahlung.
3. Geringe Strahlenintensität unterwegs: verspätetes Volleinschalten; diffuse Strahlung in der Geschwulst konzentriert, durch Linse.

Der Begriff Funktionalwert beschreibt dabei das generelle Prinzip eines Lösungsvorschlags, bei dessen Kenntnis Lösungen »transponierbar«, d. h. veränderten Umständen angepasst werden. Ist z. B. ein Hindernis zu umgehen, so ist das Prinzip »Umweg« begriffen worden (und damit transponierbar), wenn es auf *verschiedene* Hindernisse angewendet werden kann. Die hier herausgestellte Generalisierung eines Lösungsprinzips wird als Index für ihr Verstehen herangezogen.

Damit können »gute« und »törichte« Fehler unterschieden werden, von denen bereits Köhler (1921, S. 140, 157) gesprochen hat: Beim »guten, gescheiten Fehler« ist wenigstens der Funktionalwert richtig, auch wenn die Instantiierung fehlerhaft ist (der Rechenweg einer Lösung stimmt, auch wenn versehentlich mit falschen Zahlen gearbeitet wurde; Instantiieren bedeutet die konkrete Ausfüllung eines abstrakten Schemas). Beim »törichten Fehler« kommt es dagegen zu einer blinden Übertragung früherer Lösungen ohne Verständnis des Funktionalwerts.

Produktives Denken bedeutet nach Duncker aber mehr als das Verstehen des Funktionalwerts – in seinen Ausführungen macht er die »synthetische Evidenz des tragenden Sachverhalts« (S. 72) zum zentralen Moment des Verstehens. Synthetische Evidenz bedeutet, dass durch neue Betrachtungsweisen aus einem gegebenen Sachverhalt etwas Neues »abgelesen« werden kann (»synthetische Einsicht« oder auch »totale Einsicht«): »Die anschauliche Schicht, in der synthetische Einsicht heimisch ist, ist das psychologische Medium produktiven Denkens überhaupt« (S. 62, kursiv).

Ein Beispiel in Form des BERGSTEIGERPROBLEMS: Bei einer Bergtour fragte sich Duncker, ob es wohl einen Ort auf seinem Weg – der Abstieg erfolgte auf dem gleichen Weg wie der Aufstieg und begann auch zur jeweils gleichen Tageszeit – gäbe, an dem er sich beim Abstieg zur gleichen Tageszeit befand wie beim Aufstieg. Die

Antwort ist nicht ohne weiteres zu finden, doch wenn man das Problem umstrukturiert, wird die Lösung evident: Verteilt man Auf- und Abstieg auf *zwei* Personen, die jeweils zur gleichen Zeit starten, wird klar, dass sie sich begegnen müssen, der Treffpunkt also den gesuchten Ort wie auch die Zeit liefert. Mit dieser Umstrukturierung wird die Anschauung »scharf« und die Lösung »ablesbar« (S. 67).

Wie aber entsteht die Lösung? Den Gestaltpsychologen hat man oft vorgeworfen, den eigentlichen Prozess der Lösungsfindung zu verschleiern. So lässt etwa die Beschreibung von Wallas (1926) über die fünf Phasen eines kreativen Prozesses (Vorbereitung – Inkubation – Einsicht – Bewertung – Ausarbeitung; vgl. Box 1) ausgerechnet die der einsichtigen Lösung vorausgehende Phase der Inkubation im Dunkeln. Duncker (1935/1974) lässt seinerseits keine Zweifel daran aufkommen, dass ihn gerade diese Prozesse interessieren. Deshalb zurück zum Lösungsstammbaum und den darin enthaltenen Lösungsentwürfen.

Natürlich ist sich Duncker der Begrenztheit seiner Laut-Denken-Protokolle bewusst (»... auch das gutwilligste Protokoll ist nur eine höchst lückenhafte Registrierung dessen, was wirklich geschieht«, S. 12). Er unterscheidet daher unselbstständige Lösungsphasen, die kaum in einem Protokoll erscheinen, weil sie »zu flüchtig, zu provisorisch, zu tastend« sind, und selbstständige Phasen, in denen »ungefähre Bereichsbestimmungen« erfolgen – Phasen, bei denen nach heutiger Terminologie »constraint satisfactions« zu beobachten sind, d. h. das Beachten von notwendigen, aber noch nicht hinreichenden Momenten der Lösung. Die Lösung wird von zwei Seiten begrenzt, sie entsteht nämlich »aus der Beanspruchung des jeweils Gegebenen durch das jeweils Geforderte« (S. 13). Damit stehen für ihn auch die beiden Methoden heuristischen Denkens fest: Situationsanalyse (Auswertung des Gegebenen) und Zielanalyse (Auswertung des Geforderten).

Die *Situationsanalyse* taucht in zwei Varianten auf, nämlich als Konfliktanalyse und Materialanalyse. Die Konfliktanalyse versucht, die Natur eines Konflikts und dessen Ursachen zu eruieren und erlaubt daher die Variation eines »kritischen Situationsmoments«. Ihre Leitfrage lautet »Warum geht es eigentlich nicht?« – im Bestrahlungsbeispiel: Warum wird bei der Bestrahlung kranken Gewebes auch gesundes Gewebe beschädigt? Die Materialanalyse beschäftigt sich dagegen mit einer Auswertung des Gegebenen unter dem Blickwinkel »Was kann ich brauchen?«, ein Verfahren, das Duncker als »Anregung von unten« bezeichnet.

Die Situationsanalyse beim Beweisproblem (alle sechsstelligen Zahlen vom Typ abcabc sind durch 13 teilbar) wird von Duncker (1935/1974, S. 38) auch als *Voraussetzungsanalyse* bezeichnet. Diese führt im Lösungsprozess zu zwei Teilerkenntnissen (solche Zahlen sind durch 1001 teilbar, 1001 ist durch 13 teilbar), die dann in Verbindung mit einem Gesetz zur Lösung führen (wenn ein gemeinsamer Teiler von Zahlen durch q teilbar ist, dann sind die Zahlen selbst durch q teilbar). Die Voraussetzungsanalyse liefert die beiden Teilerkenntnisse in der genannten Reihenfolge, da der 2. Teil (1001 durch 13 teilbar?) vom 1. Teil regelrecht »diktiert« wird.

Die *Zielanalyse* stellt die zwei Fragen »Was will ich eigentlich?« und »Was kann ich entbehren?«, um auf diese Weise zur Lösung zu kommen. Dabei kann es durchaus »Fixierungen« geben, Fälle also, in denen man »vor lauter Bäumen den Wald nicht mehr sieht« und die der »Auflockerung« bedürfen. So beschreibt Duncker etwa eine Streichholzaufgabe, bei der aus sechs Streichhölzern vier gleichseitige Dreiecke zu bilden sind. Die Fixierung besteht bei vielen Versuchspersonen in der Beschränkung auf die flache Ebene – die Lösung ist ein dreidimensionaler Tetraeder.

Die in Abbildung 8 gezeigten ebenen Anordnungen können als »Anregung von unten« helfen, die Fixierung aufzubrechen und das Problem umzustrukturieren.

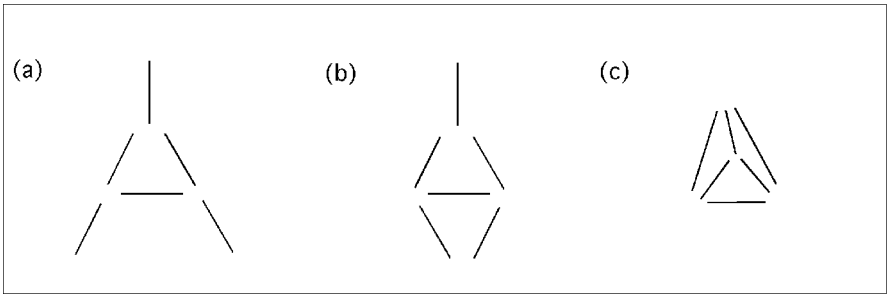


Abbildung 8 STREICHHOLZAUFGABE »Bilde aus sechs Streichhölzern vier gleichseitige Dreiecke« mit »Anregungen von unten«.

Diese Umstrukturierung ändert das »Betontheitsrelief« der Situation: Aspekte, die vorher kaum oder nur im Hintergrund existierten, treten plötzlich in den Vordergrund, werden vom Grund zur Figur. Bei dieser Veränderung der »psychologischen Gesamtstruktur« werden Teileigenschaften der Situationen neu bewertet und erhalten Funktionen wie »Hindernis«, »Angriffspunkt« oder »Mittel«. Auch Teile, die vorher separiert wahrgenommen wurden, können sich in diesem Umstrukturierungsprozess zu neuen Ganzheiten zusammenschließen, wenn zwischen ihnen ein Zusammenhang entdeckt wurde. Solche tief greifenden Umstrukturierungen sind Stellen des persönlichen Verstehens und gehen mit »Aha-Effekten« einher. Die Leichtigkeit, mit der solche Umstrukturierungen vorgenommen werden können, hält Duncker für den tieferen Grund dessen, was man Intelligenz oder Denkfähigkeit nennt. Abbildung 9 stellt die Methoden heuristischen Denkens nochmals im Überblick dar.

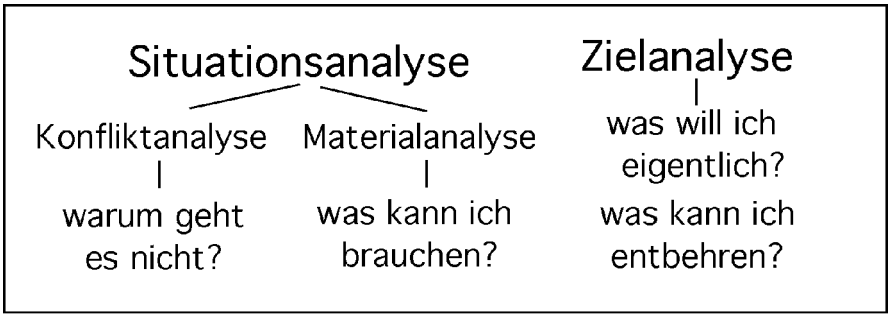


Abbildung 9 Die Methoden des heuristischen Denkens nach Duncker.

Aber wann kommt es zu Umstrukturierungen? Die »richtungsgebenden Kräfte«, die ein Denkmaterial von der alten in die neue Struktur überführen, können

Duncker zufolge (1935/1974, S. 36) verschiedene Ursachen haben: a) die »Sättigung«, z. B. bei Kippfiguren; b) die »Ausfällung des Gemeinsamen« durch abstrahierende Begriffsbildung, z. B. dass die Zahlen beim Beweisproblem durch 1001 und diese wiederum durch 13 teilbar sein müssen; c) die »Resonanzwirkung eines tauglichen Signalements«, z. B. bei der Suche nach etwas Langem und Festem fallen plötzlich Gegenstände auf, die im Normalfall völlig verschiedene Funktionen erfüllen; d) die willkürliche Veränderung der Gestaltauffassung, z. B. die Betrachtung einer Zeichnung als flächig oder perspektivisch.

Weiter oben wurde der Begriff der totalen Einsicht (Einsicht ersten Grades) als direkte Ablesbarkeit bestimmter Aspekte eines Sachverhalts eingeführt. Dabei handelt es sich häufig um Kausalbeziehungen der Art »wenn A, dann B«. Im Alltag gibt es allerdings viele Zusammenhänge, die nur partiell einsehbar sind (Warum ist ein Stock beweglich?). Hier führt Duncker (1935/1974, S. 76) das Prinzip »abstraktiver Induktion« ein, welches aus einer Vielzahl von Situationen das Gemeinsame »herausorganisiert«: »Dem Denken erwächst also die Aufgabe, herauszufinden, zwischen welchen Komponenten der Ereignisse ein konstanter Zusammenhang besteht – oder etwas lebensnäher gewendet – welche Eigenschaften des jeweilig Gegebenen für einen besonders ins Auge gefassten Effekt kausal wesentlich sind« (S. 75). Der Einsicht ersten Grades wird damit eine Einsicht zweiten Grades hinzugesellt, die das Einsehen aufgrund des gemeinsamen Prinzips einzelner Situationen meint (z. B. dass es Futter in der jeweils helleren von zwei Boxen gibt).

Damit ist problemlösendes Denken zugleich bestimmt als Suche nach Kausalzusammenhängen, auch nach solchen, die nur partiell einsehbar sind. Dabei muss man »erfassen, worauf es ankommt« (S. 76), d. h. die wichtigen von den unwichtigen Situationsaspekten trennen, die »konstante Struktur von Variablen« suchen – eine Bemerkung, die auf die Nähe zum Schema-Begriff hinweist. Abstraktive Induktion folgt den allgemeinen Induktionsregeln und definiert Kausalität wie folgt: »Die wesentliche Ursache eines Effekts b – oder das ›zu b Hinführende‹ – ist erfassbar durch Abstraktion dessen, was alle b-Situationen sonst noch gemeinsam enthalten und was allen vergleichbaren non-b-Situationen sonst noch gemeinsam fehlt« (S. 76, kursiv).

Mit diesem Hinweis erklärt sich die große Bedeutung von (abstrahierenden) Begriffen und Schemata für das problemlösende Denken. Zugleich kommt der Entdeckung von Kausalitäten eine besondere Rolle zu, bei denen räumliche und zeitliche Koinzidenz eine entscheidende Bedeutung haben (Prinzip der »Nahewirkung«): Der Ort der Ursache ist nahe dem Ort der Wirkung, der Zeitpunkt der Ursache ist nahe dem Zeitpunkt der Wirkung. Dieses Prinzip wird durch das Phänomen der phänomenalen Kausalität gestützt: Der Druck auf den Klingelknopf und die direkt anschließenden Explosionsgeräusche lassen uns im Glauben, mit dem Klingeldruck die Explosion ausgelöst zu haben.

Neben der raum-zeitlichen Koinzidenz führt Duncker auch Form- und Materialentsprechungen als Hilfsmittel bei der Suche nach Kausalitäten an. Als Beispiel für zeitliche Formentsprechung nennt er die Beobachtung, dass der Rhythmus der Klopfgeräusche (= Wirkung) vom Rhythmus der Klopfbewegungen (= Ursache) abhängt. Die räumliche Formentsprechung zeigt sich etwa bei einer Spur im Sand, die dem sie verursachenden Objekt gleicht.

Ursache und Wirkung sind somit nicht nur nach raum-zeitlicher *Lage* verbunden, sondern auch Eigenschaften wie Form, Richtung, Material etc. »gehen un-

mittelbar anschaulich aus der Ursache in die Wirkung ein« (S. 81). Hier ist der gestaltpsychologische Begriff der »Prägnanz« wieder zu erkennen, der damit einen Stammplatz in der denkpsychologischen Konzeption Dunckers genießt. Die »Grund-Folge-Strukturen« als aus Erfahrung genommenen (partiellen) Einsichten über Kausalität – Tolman spricht von »*means-end relations*« – führen zu »Funktionalcharakteren« der Dinge selbst (S. 88): Ein Hammer dient zum Nägel-Einschlagen, eine Bank zum Ausruhen. So steuern die Dinge auch die Suche im Problemlösungsprozess, indem sie »Signalements« darstellen, die einen bestimmten Aufforderungsgehalt besitzen (vgl. Gibsons Konzept der »*affordances*«): »Wo immer im Verlauf eines Lösungsgeschehens im Wahrnehmungsfeld der Problemsituation nach tauglichen Mitteln gesucht wird, vor allem aber, wo immer *Erfahrungen, gelernte Strukturen in einen Lösungsprozess einbezogen werden*, da dürfte dies in Form einer Resonanzwirkung vermöge eines tauglichen Signalements vor sich gehen« (S. 90). Damit wird Problemlösen auch als Suche ausgezeichnet, sowohl im Wahrnehmungsfeld als auch im Gedächtnis. Unter dem Druck des Suchens können sich radikale »Umzentrierungen des Gegenstandes« ergeben, vorausgesetzt, die Objekte haben eine »Disposition« dazu. Phänomene der selektiven Aufmerksamkeit (z. B. alles Rote in der Umwelt beachten) zeigen, wie solche Umzentrierungen aussehen können.

Der Erfolg einer derartigen Suche hängt von der Prägnanz des Signalements in Bezug auf den gesuchten Gegenstand ab. Dabei sind vier Bedingungen wichtig: 1. Vollständigkeit (»Bestimmungsreichtum des Signalements« – wird z. B. der Begriff »Eiszapfen« gesucht, gelingt dies umso leichter, je mehr Eigenschaften genannt werden); 2. Knappheit (»Nicht-Überbestimmtheit des Signalements« – überflüssige Situationsmerkmale wie z. B. die Farbe oder das Gewicht eines Nagels sind für das Signalement »Hammer« überflüssig); 3. Richtigkeit des Signalements (auf der Suche nach gelben Briefkästen irrt man in England); 4. »Triftigkeit« des Signalements (z. B. untriftige Suche nach einer Hauptstadt mit »l« an drittletzter Stelle versus triftigere Suche nach einer Hauptstadt mit »B« am Anfang).

Die hier erläuterten Ausführungen zur Suche sind insofern höchst wichtig für das problemlösende Denken, als gerade das Phänomen der funktionalen Gebundenheit die Auswirkungen unterschiedlicher »Disponibilität von Materialeigenschaften« demonstriert. Dieses Phänomen demonstriert Duncker (1935/1974, S. 120 f.) an Aufgabensituationen mit Gegenständen des täglichen Gebrauchs, die zunächst in ihrer natürlichen, später dagegen in einer neuen, ungewohnten Funktion verwendet werden sollen.

Bsp: (das klassische »Kerzen-Problem«): An einer Wand sollen drei Kerzen angebracht werden. Die Testperson sieht auf dem Tisch vor sich neben vielen anderen ablenkenden Gegenständen drei kleine Pappschachteln (ähnlich einer Streichholzschachtel) sowie einige Reißnägel. Die Lösung besteht darin, die Pappschachteln mit Reißnägeln an der Wand als Kerzenhalter zu befestigen.

In der einfachen Bedingung (»ohne Vorverwendung«) sind die Pappschachteln leer, in der Bedingung »mit Vorverwendung« sind die drei Schachteln neben Streichhölzern mit jeweils unterschiedlichen Kleinteilen gefüllt. Während die erste Bedingung bei allen Testpersonen zur Lösung führt, sind es in der zweiten Bedingung weniger als die Hälfte. Als Grund dafür sieht Duncker die Gebundenheit der Schachteln an ihre Funktion als Behälter. Dieses Phänomen funktionaler Gebundenheit ist an weiteren Varianten (Bohreraufgabe: ein Bohrer wird zur Aufhän-

gung eines Fadens benötigt; ZANGENAUFGABE: eine Zange dient als Träger einer Leiste; GEWICHTSAUFGABE: ein Gewicht dient als Hammer; BÜRONADELAUFGABE: eine Büroklammer dient als Haken; KORKENAUFGABE: ein Korken befestigt ein zu kurzes Holzstück in einem Türrahmen) demonstriert worden, kommt aber sicherlich nicht nur bei praktisch-technischen Problemen wie den von Duncker untersuchten vor, sondern auch bei abstrakteren Anforderungen (nämlich überall dort, wo bestimmte Routinen an bestimmte Kontexte gebunden werden).

2.3.3 Die Konzepte »Fixation« und »Einsicht«: Wirklich brauchbar?

Anfang der 1980er Jahre gab es eine lebhafte Debatte um die gestaltpsychologischen Begriffe »Fixation« und »Einsicht«, deren Auslöser eine kritische Arbeit von Weisberg und Alba (1981a) war (Dominowski, 1981; Ellen, 1982; Weisberg & Alba, 1981b, 1982). Es wurde behauptet, dass weder die vermutete Wirkung von Fixationen (als beharrliche Suche im »falschen« Lösungsraum) noch diejenige von Einsicht (als von der Erfahrung weitgehend unabhängige Neustrukturierung einer Situation) in Experimenten mit dem NEUN-PUNKTE-PROBLEM sowie zwei anderen Paradigmen (PFERDE-REITER-PROBLEM, STREICHHOLZ-PROBLEM) nachweisbar seien und beide Konzepte daher theoretisch nutzlos wären – eine Position, gegen die Dominowski (1981) sowie Ellen (1982) andere Aspekte anführten.

Worum ging es bei dieser Debatte im Detail? Eines der Experimente soll beispielhaft dargestellt werden. Weisberg und Alba (1981a, Exp. 1) haben zur Prüfung der Fixationshypothese das aus Abbildung 7 bekannte NEUN-PUNKTE-PROBLEM in vier verschiedenen Varianten präsentiert. Eine erste Gruppe erhielt zur Kontrolle die übliche Aufgabe zur Bearbeitung auf Papier. Für jeden erneuten Lösungsversuch wurde ein neuer Bogen mit den neun Punkten vorgelegt. Nach maximal 20 erfolglosen Versuchen (diese Begrenzung wurde nicht vorab erwähnt) wurde die Bearbeitung abgebrochen. Um die Hypothesen zu prüfen, dass erfolglose Bearbeitungen auf einer Fixation auf den Lösungsraum beruhen (die Grenzen des Quadrats sind Grenzen des Lösungsraums), wurde einer zweiten Gruppe nach 10 erfolglosen Versuchen mitgeteilt, dass die Lösung nicht innerhalb, sondern außerhalb der Begrenzung zu finden sei. Damit wurde zumindest die fortgesetzte Suche im falschen Lösungsraum beendet. Eine weitere Gruppe erhielt nach 10 Fehlversuchen zusätzlich zu diesem Hinweis die erste bzw. die ersten beiden der insgesamt vier richtigen Linien vorgegeben.

Was zeigt sich? Von insgesamt 61 Versuchspersonen (allesamt ohne Vorerfahrung mit dem Problem) schafft es in den ersten 10 Versuchen (die bei allen Versuchsbedingungen gleich waren) nur 1 Vp, die richtige Lösung zu finden. Wie sieht es mit den nächsten 10 Versuchen aus? Aus der Kontrollgruppe schafft niemand die Lösung, in der Hinweisgruppe schaffen es 20%, bei den Linienvorgaben 62% bzw. 100%. Der die Fixation aufhebende Hinweis hat also kaum einen Effekt, und selbst dort, wo eine Lösung eintritt, erfolgt diese keinesfalls unmittelbar nach dem Hinweis. Erst die konkreten Linienvorgaben erweisen sich als echte Hilfen. Nach Weisberg und Alba ist dies ein Hinweis sowohl auf die Bedeutung fehlenden Wissens als auch auf die Schwierigkeit des Problems: Solange keine Erfahrungen mit dieser Art von Problem vorliegen, kann eine Testperson selbst Hinweise auf den richtigen Lösungsraum nicht nutzen.

Ob aufgrund dieser und weiterer Befunde die Begriffe »Fixation« und »Einsicht« wirklich nutzlos geworden sind, bezweifeln Dominowski (1981) bzw. Ellen (1982). Sie betonen, die Einsicht sei nicht Ursache, sondern Begleiterscheinung des Problemlösens, und weisen dem Konzept der Fixation die Rolle eines Gradmessers zu, mit dem die »Besessenheit« für einen bestimmten Lösungsweg angezeigt wird. Tatsächlich verlieren damit jedoch beide Konzepte ihren explanatorischen Gehalt.

2.3.4 Phänomenologie und Gestaltpsychologie

Gestaltpsychologische Ansätze leben heute nicht nur in der Systemtheorie fort (vgl. Kriz, 1999), sondern auch in phänomenologischen Ansätzen, wie sie jüngst von Graumann (2002) dargestellt wurden. Auch wenn sich dort keine expliziten Bezüge zur Denkpsychologie finden, soll wenigstens festgehalten werden, dass zentrale Konzepte der Phänomenologie wie etwa »Bedeutung«, »Intentionalität« und »Situiertheit« sehr wohl Folgen für das problemlösende Denken haben. Die von Tolman und Brunswik (1935) übernommene Unterteilung von objektbezogenen Verhaltensweisen in *Diskriminanda* (wie kann man vorgefundene Objekte unterscheiden?), *Manipulanda* (was kann man mit Objekten alles machen?) und *Utilitanda* (wie nützlich sind Objekte für ein intendiertes Ziel?) formuliert zumindest bei der zuletzt genannten Kategorie das Mittel-Ziel-Verhältnis, das beim Problemlösen von großer Bedeutung ist.

So wie Gestaltpsychologen den Einfluss von Wahrnehmungsprozessen auf Problemlösen herausgestellt haben, geht es Phänomenologen um so basale Dinge wie die Körperlichkeit, die Mitmenschlichkeit und die Umwelt sowie deren Auswirkungen auf psychische Prozesse, kurz: um die Analyse von Lebenswelten.

Der phänomenologisch-hermeneutische Ansatz ist in einer Welt positivistischer Positionen, die nach objektivierbaren Daten und Ereignissen fragen, kaum überlebensfähig, geht es hier doch gerade *nicht* um solche Objekte, sondern darum, wie sich Daten und Ereignisse als Teil menschlichen Lebens darstellen: als perspektivische, bedeutungstragende, intentionale Akte, die in der Person-Umwelt-Interaktion auftreten und nicht mit den verifizierenden Methoden der Beobachtung und Messung erfasst werden können (vgl. Graumann, 2002, S. 110).

Weiterführende Literatur

Zur Gestaltpsychologie findet man Vertiefendes bei Fillbrandt (1992), Ohlsson (1984a, 1984b), Rock (1991), Wertheimer (1957). Zum Phänomenologischen Ansatz siehe Graumann (1964), Graumann und Métraux (1977). Verweise auf frühere Studien zum intuitiven Denken findet man bei Bolte, Goschke und Kuhl (in press), ein neues Modell dazu bei Lieberman (2000).

2.4 Psychoanalyse: Problemlösen als Bewusstmachung unbewusster Inhalte

Natürlich hat auch der moderne Gründer der klinischen Psychologie, der in Wien lebende und später nach London emigrierte Sigmund Freud (1856–1939), seine Meinung über die Prozesse des Denkens und Problemlösens gehabt. In seiner In-

stanzenlehre spielt etwa das Primärprozess-Denken und das Sekundärprozess-Denken eine wichtige Rolle. *Primärprozess-Denken* wird der Trieb-Instanz, dem »Es«, zugeordnet und repräsentiert ein Denken mit vorgestellten Objekten (»magisches Denken«). *Sekundärprozess-Denken* ist dagegen der Ich-Funktion zugeordnet und repräsentiert logisches, rationales Denken, das auf die äußere Welt gerichtet ist.

Innerhalb seiner Erläuterungen zur Unterscheidung verschiedener Formen des Unbewussten (latente, bewusstseinsfähige Inhalte werden als Vorbewusstes, *Vbw* bezeichnet, verdrängte, nicht bewusstseinsfähige, dynamische Inhalte dagegen als Unbewusstes, *Ubw*, in Abgrenzung zum Bewussten, *Bw*) versteht Freud das Ich als zusammenhängende Organisation der seelischen Vorgänge in einer Person. Eine Hauptfunktion des Ich wird dabei in der *Verdrängung* gefährlicher Triebregungen gesehen:

> »Wir haben uns die Vorstellung von einer zusammenhängenden Organisation der seelischen Vorgänge in einer Person gebildet und heissen diese das *Ich* derselben. An diesem Ich hängt das Bewusstsein, es beherrscht die Zugänge zur Motilität, das ist: zur Abfuhr der Erregungen in die Aussenwelt; es ist diejenige seelische Instanz, welche eine Kontrolle über all ihre Partialvorgänge ausübt, welche zur Nachtzeit schlafen geht und dann immer noch die Traumzensur handhabt. Von diesem Ich gehen auch die Verdrängungen aus, durch welche gewisse seelische Strebungen nicht nur vom Bewusstsein, sondern auch von den anderen Arten der Geltung und Betätigung ausgeschlossen werden sollen« (1923, S. 243).

Freud beschäftigt sich erstmals in seiner 1923 erschienenen Schrift »Das Ich und das Es« explizit mit der Frage, wie Denkvorgänge »vorbewusst« werden und grenzt diese von Sinneswahrnehmungen und Empfindungen ab. Dabei werden unterschiedliche Formen der mentalen Aktivität je nach ihrer Verbindung mit visuellen, akustischen oder motorischen »Erinnerungsresten« (Freud, 1923/1940, S. 247) erörtert.

Freud (1940) beschreibt das Bewusstsein als »wahrnehmende Oberfläche« (S. 246). Dabei treffen unterschiedliche Formen von Vorgängen auf das Bewusstsein: 1. Sinneswahrnehmungen, die von außen kommen und bewusst sind, 2. Empfindungen und Gefühle, die von innen kommen und entweder bewusst oder unbewusst sind und 3. Denkvorgänge von innen, wobei unklar ist, ob das Denken »an die Oberfläche, die das Bewusstsein entstehen lässt« (S. 247) herankommt oder ob das Bewusste zu den Denkvorgängen vordringt. Da beide Möglichkeiten jedoch »unausdenkbar« seien, müsse nach einer dritten Alternative gesucht werden. Die Frage, wie Denkvorgänge bewusst werden, wird also umformuliert zu der Frage »Wie werden Denkvorgänge vorbewusst?«, da sich vorbewusste und unbewusste Vorstellungen klar unterscheiden lassen anhand der Tatsache, dass nur bei vorbewussten Inhalten *Wortvorstellungen* beteiligt sind.

Diese »Erinnerungsreste« in Form von Wortvorstellungen (S. 247) machen es möglich, dass die ehemals bewussten, im Inneren befindlichen (verdrängten) Denkvorgänge erneut bewusst werden, also in bewusste Wahrnehmung umgesetzt werden. Unbewusstes wird folglich durch »analytische Arbeit« (S. 249) vorbewusst. Eine erfolgreiche (zunächst externale und später internale) Verdrängung macht demnach den Weg für diese mentale Aktivität frei, die, wie Freud später (1933/1969) postuliert, die Verwendung externaler und internaler Stimuli, deren Wahrnehmung und Bewertung sowie die Speicherung von Gedächtnisinhalten, Erinnern und Planen beinhaltet und mit einem sehr geringen Energieaufwand (Triebenergie) ausgeführt werden kann. Freud fasst zusammen:

> »Wenn also, um zu unserem Argument zurückzukehren, dies der Weg ist, wie etwas an sich Unbewusstes vorbewusst wird, so ist die Frage, wie machen wir etwas Verdrängtes (vor)bewusst, zu beantworten: indem wir solche *vbw* Mittelglieder durch die analytische Arbeit herstellen. Das Bewusstsein verbleibt also an seiner Stelle, aber auch das *Ubw* ist nicht etwa zum *Bw* aufgestiegen« (1923, S. 249).

Dieser Prozess der »Reaktivierung« von unbewussten Denkvorgängen zu wahrgenommenen Vorgängen entsteht durch die Verbindung mit Wortvorstellungen, den Einsatz von Sprache also. Dies gilt – so Freud – allerdings nicht für Empfindungen und Gefühle als zweite Kategorie innerer Vorgänge: diese sind entweder bewusst oder unbewusst, jedoch nicht vorbewusst. Die Bewusstwerdung von Empfindungen geschieht auf direktem Wege:

> »[...] die Unterscheidung von *Bw* und *Vbw* hat für die Empfindungen keinen Sinn, das *Vbw* fällt hier aus, Empfindungen sind entweder bewusst oder unbewusst. Auch wenn sie an Wortvorstellungen gebunden werden, danken sie nicht diesen ihr Bewusstwerden, sondern sie werden es direkt. Die Rolle der Wortvorstellungen wird nun vollends klar. Durch ihre Vermittlung werden die inneren Denkvorgänge zu Wahrnehmungen gemacht. Es ist, als sollte der Satz erwiesen werden: Alles Wissen stammt aus der äußeren Wahrnehmung. Bei einer Überbesetzung des Denkens werden die Gedanken wirklich – wie von außen – wahrgenommen und darum für wahr gehalten« (1923, S. 250).

Die bekannte Kennzeichnung von Denken als »inneres oder experimentelles Probehandeln« taucht erst 1933 in seiner 32. Vorlesung (Angst und Triebleben) zur Einführung in die Psychoanalyse auf. Freud (1969a) nimmt in seinen Vorlesungen noch mehrmals Bezug auf die Rolle des Denkens als Hauptfunktion des Ich (z. B. 31. Vorlesung zur Zerlegung der psychischen Persönlichkeit); die Vorstellung vom Denken als Probehandeln ist eng mit seiner Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärprozess verbunden und steht im Zusammenhang mit seinen Überlegungen zur Verdrängung und zur Realitätsprüfung (siehe v.a. die Schriften von 1915/1969 »Triebe und Triebschicksale«, »Die Verdrängung«, »Das Unbewusste«, Freud, 1969b).

Die Vorstellung vom Denken als einem Probehandeln im verkleinerten Maßstab – einem wesentlichen Element der Realitätsprüfung – gehört zu einem grundlegenden Element der Theorie Freuds und ist eng mit seiner Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärvorgang verknüpft. Noch wesentlicher ist die Verbindung zum Realitätsprinzip, die sich in zahlreichen entwicklungspsychologischen Theorien zur mentalen Repräsentation von Objekten (Piaget, Vygotski) oder Beziehungspersonen (Ainsworth, Bowlby) widerspiegelt. Das Realitätsprinzip, das den Aufschub der gewünschten Befriedigung und damit eine vorübergehende Bindung von Energie fordert, wird dem Lustprinzip gegenübergestellt; letzteres versteht Handeln nur im Sinne von Wunschhandeln, als unmittelbare Wunscherfüllung. Im Laufe der Kindheit wird dieser Zustand überwunden, und abstraktes Denken, inneres Probehandeln und Antizipation treten an die Stelle der Wunschhandlung. Als Vorläufer von Handlungen muss ein Urteilsvermögen vorhanden sein, das der Antizipation zukünftiger Ereignisse und der Realitätstestung dient, um in einer »geringen Dosis« die Folgen der probierten Handlungen herauszufinden. Diese Funktion wird üblicherweise dem Ich zugeschrieben.

Abschließende Bewertung. Für die moderne Denk- und Problemlösepsychologie hat die Freudsche Auffassung heute keine große Bedeutung mehr. Dass beim problemlösenden Denken unbewusste Prozesse eine durchaus wichtige Rolle spielen können, wird heute durch andere Theorien zu erklären versucht (implizite

Kognitionen, vgl. Dorfman et al., 1996). Dass Planungsprozesse und damit Probehandeln eine wesentliche Rolle bei Denkprozessen spielen, hat der nachfolgend dargestellte Ansatz des Funktionalismus in anderer Weise beschrieben.

2.5 Funktionalismus: Problemlösen als Informationsverarbeitung

Als Funktionalismus wird eine Sicht bezeichnet, die Erklärungen nicht aufgrund der Geschichte oder des Kontexts eines Systems liefert, sondern vorrangig nach dessen Funktionsweise fragt. So könnte man funktionalistisch an Lernprozesse herangehen und untersuchen, wie diese »funktionieren«; dabei würde man sich kaum für die Inhalte des Lernens oder die Motive des Lernenden interessieren. Mentales wird generell als funktionale Organisation eines informationsverarbeitenden Systems gesehen, so Gadenne (1996, S. 83 f.). Der Erlebensaspekt etwa interessiert dabei nicht, es geht nur um die Funktion eines bestimmten Zustands für den weiteren Verarbeitungsverlauf. Ob ein bestimmter Informationsverarbeitungsprozess in einem Gehirn oder auf einer Maschine realisiert wird, ist für die funktionale Perspektive gleichgültig. Die Sichtweise, Denkprozesse funktional unter dem Blickwinkel der Informationsverarbeitung zu betrachten, hat faszinierende Erkenntnisse zutage gefördert, die in einflussreichen deutschen (Dörner, 1974, 1976; Groner, 1978; Klix, 1971; Schaefer, 1985) wie amerikanischen (Bourne, Dominowski & Loftus, 1979; Lindsay & Norman, 1972; Miller, Galanter & Pribram, 1960; Newell & Simon, 1972) Büchern ihren Niederschlag fanden. Wie fing dies alles an?

Mit der Publikation von Newell, Shaw und Simon (1958) wurde ein Beitrag über ein System namens »Logic Theorist« (LT) vorgelegt, mit dem logische Beweise von einer Maschine vollzogen werden können. Grundlage dafür boten die zwischen 1910 und 1913 erschienenen »Principia Mathematica« von Whitehead und Russell (1935), in denen aus wenigen Axiomen, Definitionen und Regeln (beweisbare) Theoreme abgeleitet werden können. Ein solches Theorem könnte z. B. lauten: »P impliziert P oder Q«, formal: $P \supset (P \vee Q)$. Ausgehend von den Axiomen wird dann der Nachweis gesucht (und für das Beispiel auch erbracht), dass diese Aussage zulässig ist. Newell und Simon (1972, S. 105 f.) beschreiben ihren LT als ein Verfahren, mit dem nicht durch Versuch und Irrtum, sondern auf systematische Weise aufbauend auf den bisher bewiesenen Theoremen neue Theoreme hinzugefügt werden können. Damit hatten das automatische Beweisen und die Forschung zur Künstlichen Intelligenz ihren Anfang genommen.

Aus dem LT-Ansatz heraus entstand als Weiterentwicklung der »General Problem Solver« (GPS), der das erste Maschinenprogramm zum Problemlösen realisierte. GPS stellt ein System dar, das allgemeine Problemlösemechanismen enthält, mit denen verschiedenste Aufgaben gelöst werden können. Wegen seiner großen Bedeutung soll GPS nachfolgend ausführlicher dargestellt werden, bevor dann die einflussreiche Theorie des Problemlösens von Newell und Simon (1972) zum Zuge kommt.

2.5.1 Der »General Problem Solver« (GPS) von Newell, Shaw und Simon

GPS kann man auf Probleme anwenden, die in der Terminologie von Objekten und Operatoren dargestellt werden. Einen *Operator* kann man z. B. auf bestimmte Objekte anwenden, um daraus neue Zustände zu erzeugen. *Objekte* haben bestimmte Eigenschaften, aufgrund derer sie sich von anderen Objekten unterscheiden lassen. Operatoren können an bestimmte Anwendungsvoraussetzungen geknüpft sein, und es kann Operatoren geben, die mehrere Objekte als Eingabe verlangen und ein oder mehrere Objekte als Ausgabe erzeugen (z. B. die Operation, mit der aus zwei Zahlen eine dritte Zahl – die Summe der zwei ersten – erzeugt wird). Anstelle von Objekten wird nachfolgend öfter von Zuständen gesprochen, die bestimmten (abstrakten) Objekten entsprechen.

GPS verwendet das Verfahren der Unterzielbildung: Ziele werden dadurch zu erreichen versucht, dass man Subziele bildet, deren Erreichung eine Hilfe auf dem Weg zum Hauptziel darstellt. Zur Erreichung der Unterziele stehen verschiedene Methoden zur Auswahl, die rekursiv aufgerufen werden können, d. h., dass während der Bearbeitung einer Methode ein neues Unterziel gebildet werden kann, das eben diese Methode erneut aufruft. Dieses rekursive Vorgehen führt zu einer Tiefenstrategie, bei der man ein Teilziel in weitere, immer kleinere Teilziele zerlegt und sich dann aus der Tiefe Stück für Stück wieder hocharbeitet.

Bsp: Ich will mit dem Fahrrad zum Institut fahren (Ziel gebildet). Dazu muss ich mir das Fahrrad aus der Garage holen (Unterziel gebildet). Ich entdecke einen Platten und muss das Unter-Unterziel »Schlauchreparatur« bilden. Außerdem brauche ich eine Luftpumpe (weiteres Unter-Unterziel gebildet). Ich hole die Pumpe (Unter-Unterziel erreicht), repariere den Schlauch (Unter-Unterziel erreicht), hole das nunmehr reparierte Rad aus der Garage (Unterziel erreicht) und fahre zum Institut (Ziel erreicht).

Welche Methoden stehen innerhalb des GPS zur Verfügung? Drei Methoden machen den Kern des GPS aus, die jeweils durch eine ganz bestimmte Zielsetzung definiert sind. Die *Transformationsmethode* verfolgt das Ziel, ein gegebenes Objekt A in ein Objekt B zu überführen. Hierzu wird zunächst die Menge an Eigenschaften bestimmt, die einen Unterschied zwischen gegebenem Zustand A und gewünschtem Zielzustand B ausmachen. Sodann wird die zweite Methode, die *Reduktionsmethode,* angewendet, um die ermittelten Unterschiede zu verringern. Die Reduktionsmethode sucht nach Operatoren, mittels derer die gefundenen Unterschiede beseitigt werden können. Sind solche Operatoren verfügbar, wird die dritte Methode, die *Operatoranwendungsmethode,* zum Einsatz gebracht. In diesem Schritt wird der ausgewählte Operator eingesetzt, um die Differenz zu reduzieren. Bestehen nach wie vor Unterschiede, wird das gesamte Verfahren erneut durchlaufen. Abbildung 10 enthält drei Flussdiagramme, die den genauen Ablauf jeder der drei Methoden genauer beschreiben. Ein Beispiel soll das Vorgehen verständlich machen.

Bsp: Stellen wir uns erneut vor, ich bin zu Hause (= Objekt A), will aber am Institut (= Objekt B) sein. Damit ist Ziel 1 aus Abbildung 10 angesprochen. Die Differenz D zwischen beiden Objekten besteht darin, dass ich in A nicht im Institut bin, in B dagegen schon – also bilde ich ein Unterziel »Reduziere D« und gehe zu Ziel 2 aus Abbildung 10. Welcher Operator Q steht zur Differenzreduktion zur Verfügung? Q könnte z. B. mein Fahrrad sein. Also teste ich dessen Anwendbarkeit und stelle diese

erfreut fest (»kein platter Reifen«). Die jetzt geforderte Anwendung von Q bringt mich zu Ziel 3 aus Abbildung 10, das den Einsatz des Fahrrads vornimmt und einen neuen Zustand A' erzielt. Sollte beim Vergleich von A' und B kein Unterschied mehr auftreten, bin ich am Ziel und habe damit mein Problem gelöst.

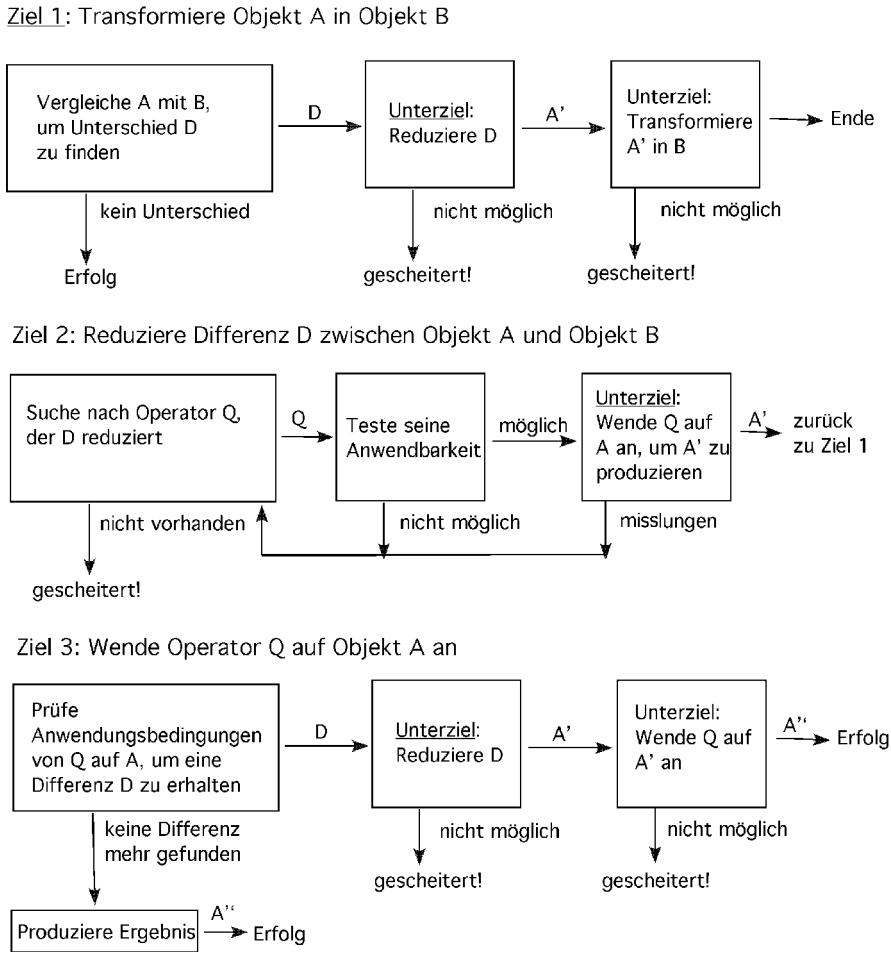


Abbildung 10 Die drei Methoden des »General Problem Solver« (GPS) von Newell, Shaw und Simon: Die Transformationsmethode, die den Unterschied zwischen Ausgangs- und Zielzustand ermittelt; die Reduktionsmethode, die den passenden Operator zur Unterschiedsbeseitigung sucht; die Operatoranwendungsmethode, die den Operator bei Vorliegen der Anwendungsvoraussetzungen zum Einsatz bringt.

GPS war in den 1960er Jahren ein Triumph des Informationsverarbeitungsansatzes. Die hier vorgeschlagene, universell einsetzbare Problemlösestrategie hat sicherlich mit zu den euphorischen Erwartungen an das Gebiet der »Künstlichen

Intelligenz« beigetragen. Die Umsetzung von Problemlösemethoden in ein lauffähiges Programm erweckte seinerzeit die Hoffnung, hiermit alle möglichen Probleme lösen zu können. Tatsächlich ist dieser Traum jedoch nicht in Erfüllung gegangen.

Wo liegen die Schwächen des GPS? Das auf den ersten Blick überzeugende Vorgehen, eine Liste von Unterschieden zu ermitteln und diese Unterschiede Stück für Stück durch Operatoreinsatz zu beseitigen, erweist sich als trügerisch. Zum einen ist eine derartige Liste von Unterschieden bei größeren Problemstellungen schier unübersehbar, zum anderen sind die den Unterschied ausmachenden Eigenschaften nicht unabhängig voneinander. Drittens erweist sich die Beschreibung von Operatoren als problematisch, da sowohl die Anwendungsvoraussetzungen als auch die Konsequenzen des Operatoreinsatzes weder klar beschrieben werden können noch sichere Ergebnisse bringen. Viertens setzt das hier beschriebene Verfahren einen prinzipiell unendlichen Speicherraum voraus, da durch die Rekursivität des Verfahrens ein Speicher mitgeführt werden muss, der die Liste der ständig wachsenden Teilziele und den Stand ihrer Bearbeitung festhält (sog. »*goal stack*«). Damit ist das fünfte Problem dieser Vorgehensweise evident, nämlich die sequenzielle Bearbeitung der jeweiligen Problemsituation. Dies kann nur dann funktionieren, wenn sich die Problemsituation während der rekursiven Bearbeitung nicht zwischenzeitlich ändert. Eigendynamische Situationen entziehen sich damit zwangsläufig diesem Kalkül.

Auch wenn wir heute die Verwendbarkeit des GPS lediglich im Bereich geschlossener Probleme akzeptieren, ist es den Autoren damit immerhin gelungen, der sog. »Mittel-Ziel-Heuristik« einen Ehrenplatz in der Liste der Problemlösemethoden zu verschaffen. Die Mittel-Ziel-Analyse fragt nämlich ganz allgemein nach den Eigenschaften des jeweils angestrebten Ziels und sucht nach Mitteln, die zur Reduktion einer vorliegenden Ist-Soll-Diskrepanz beitragen.

Die Idee der Bewertung von einzelnen Mitteln auf dem Weg zu bestimmten Zielstellungen ist nicht wirklich neu, aber dennoch gut; man findet sie in vielen Bereichen, so etwa in der Instrumentalitätstheorie, in motivationspsychologischen Erwartungs-mal-Wertmodellen oder auch in Planungstheorien. Auch wenn wir GPS heute eher als »*Special* Problem Solver« bezeichnen sollten, stellt die dort vorgenommene Analyse von Problemlösevorgängen in Form von Ablaufdiagrammen bis heute einen wesentlichen Schlüssel zur Beschreibung von Problemlösevorgängen dar. Bei Dörner (1976) findet man übrigens für verschiedene Problemlösesituationen zahlreiche Flussdiagramme, die genau dem von Newell, Shaw und Simon vorgeschlagenen Modell folgen.

2.5.2 Theorie des Problemlösens von Newell und Simon

In ihrem Buch »Human Problem Solving« stellen Newell und Simon (1972) eine Theorie des Problemlösens vor, die breit und nachhaltig rezipiert wurde und bis heute die Grundlage des funktionalistischen Ansatzes darstellt. Zwei kooperierende Teilprozesse stellen das Herzstück ihrer Theorie dar: der Verstehensprozess und der Suchprozess.

Der *Verstehensprozess* hat die Funktion, die interne Repräsentation des Problems zu erzeugen. Die Problemsituation muss wahrgenommen werden, um aus den anfänglich gegebenen Informationen abzuleiten, a) was der Anfangszustand

ist, b) welche Operatoren zur Änderung des Zustands verwendet werden können und c) woran zu erkennen ist, dass ein erreichter Zustand das Ziel darstellt. Diese drei Komponenten machen den Problemraum (*problem space*) aus, der durch den Verstehensprozess konstituiert wird. Natürlich kann sich der Problemraum während des Lösungsprozesses verändern, wenn neue Informationen bekannt werden, sei es aufgrund äußerer Umstände, sei es aufgrund von Suchprozessen.

Der *Suchprozess* hat die Funktion, die Lösung des Problems zu erzeugen. Dieser Prozess wird vom Ergebnis des Verstehensprozesses angetrieben. Gesucht wird nach Unterschieden zwischen gegebenem Zustand und Zielzustand sowie nach Operatoren, die eine Zustandsänderung herbeiführen könnten. Verschiedene Suchprozeduren für wissensarme Aufgabenstellungen sind als »schwache Methoden« (*weak methods*) bezeichnet worden und lassen sich wie folgt unterscheiden (vgl. hierzu auch Newell, 1980, S. 186):

- Generieren und Testen (*generate and test*): Diese einfachste aller Methoden generiert Schritt für Schritt Lösungsvorschläge und prüft, ob sie akzeptabel sind.
- Vorwärtsverkettung (*forward chaining*): Beginnend mit dem Ausgangszustand, werden nacheinander passende Operatoren, die auf den jeweiligen Zwischenzustand anwendbar sind, zum Einsatz gebracht. So hangelt man sich vorwärts vom Ausgangs- zum Zielzustand.
- Rückwärtsverkettung (*backward chaining*): Vorausgesetzt, der Zielzustand ist gut beschrieben, kann man mit invertierten Operatoren arbeiten und sich so vom Ziel- zum Ausgangszustand zurückhangeln.
- Zwischenzielbildung (*operator subgoaling*): Man wählt einen Operator aus, der eine sinnvolle Transformation erzeugt, auch wenn er derzeit noch nicht anwendbar ist. Das Zwischenziel besteht darin, die Anwendungsvoraussetzungen für den Einsatz dieses Operators herzustellen.
- Teilzielzerlegung (*subgoal decomposition*): Das Gesamtziel wird in (additive) Teilziele zerlegt, deren Bearbeitung leichter fällt als die des Gesamtziels (nach dem Motto »Teile und herrsche«, *divide et impera*).
- Differenzreduktion (*difference reduction*): Diese Heuristik sucht nach demjenigen Operator, der die Differenz zwischen gegebenem und Zielzustand maximal reduziert. Können die Differenzen nummerisch gefasst werden, nennt man das Verfahren »*hill climbing*«.
- Mittel-Ziel-Analyse (*means-end analysis*): Hierbei werden die Verfahren der Vorwärtsverkettung und der Zwischenzielbildung miteinander verbunden. Offen bleibt, was im Fall eines Fehlers geschieht.
- Passung (*match*): Wenn ein Lösungsschema existiert, wird dieses Schema Teil für Teil an die bestehende Situation herangetragen und passend gemacht.

Schwache Methoden wie die hier beschriebenen sind auch bei Groner und Groner (1991) zu finden. Schwach sind sie deswegen, weil ihre Generalität zu Lasten ihrer Kraft geht. Spezifische Methoden (»Nimm den Hammer, um den Nagel einzuschlagen!«) sind stärker, aber eben nicht so oft einzusetzen (die Regel hilft nicht beim Befestigen einer Schraube). Allgemeinere Methoden (»Suche ein Werkzeug, um weiterzukommen!«) sind häufiger einsetzbar, aber eben schwächer (welches Werkzeug ich nehmen soll, bleibt offen).

Man könnte meinen, dass die beiden von Newell und Simon beschriebenen Prozesse des Verstehens und Suchens in fester Reihenfolge (erst Verstehen, dann Suchen) abgearbeitet würden. Tatsächlich aber wechseln Problemlöser häufig

zwischen beiden Prozessen hin und her und vermischen diese (vgl. Chi, Glaser & Rees, 1982; Hayes & Simon, 1974). Die dargestellten Annahmen über den Ablauf des Problemlösens nach den Vorstellungen von Newell und Simon (1972, S. 88 f.) illustriert Abbildung 11.

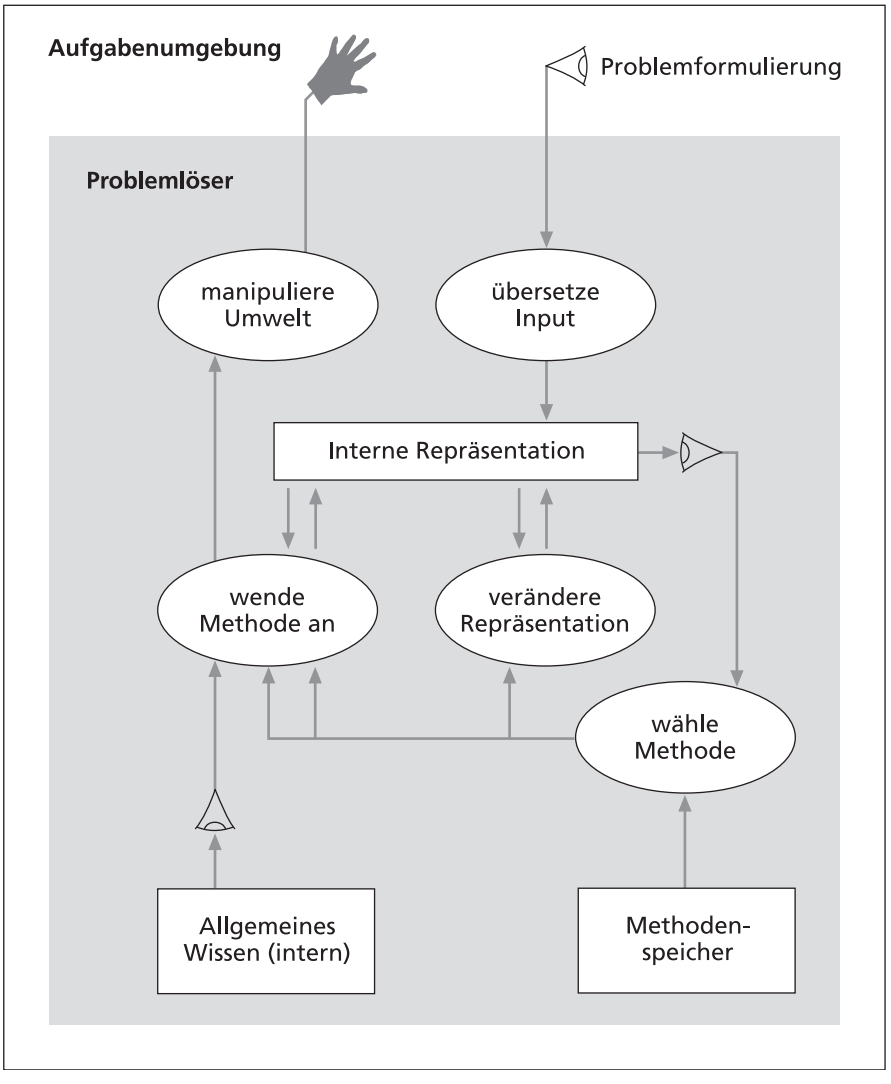


Abbildung 11 Der Prozess des Problemlösens nach Newell und Simon (1972, S. 89), Erläuterungen im Text.

Der mehrstufige Problemlöseprozess umfasst die folgenden Schritte: 1. Mit der Übersetzung der von außen vorgegebenen Problemformulierung (*problem statement*) wird eine interne Repräsentation in der problemlösenden Person erzeugt.

2. Aus einem Speicher für Lösungsmethoden wird daraufhin eine der Methoden (z. B. *generate-and-test*, *means-end analysis*) ausgewählt, die zu Aspekten der Repräsentation eine Passung besitzt. 3. Die Methode wird angewendet und kommt entweder aus sich heraus oder aufgrund überwachender metakognitiver Prozesse zu einem Ende. 4. Je nach dem Endergebnis der Methodenanwendung kann entweder eine andere Methode zur Anwendung gelangen, die interne Repräsentation verändert oder der Lösungsversuch abgebrochen werden. 5. Während der Anwendung einer Methode kann es zu neuen Problemen kommen, die dann als Unterziele genauso weiterbearbeitet werden können wie das ursprüngliche Problem. Auch neu eintreffende Informationen können den hier beschriebenen Prozess beeinflussen.

Das sich ergebende Verhaltensmuster ist insofern jeweils segmentiert, als jede Methode ihr eigenes Vorgehen hat. Innerhalb jeder Methode ist das Vorgehen geordnet, beim Wechsel zu einer anderen Methode kann es Sprünge geben. Rekursiv ist das Lösungsverhalten insofern, als es Abhängigkeiten zwischen Lösungsschritten gibt, die zeitlich weiter entfernt sind und durch zwischengeschobene Unterziele unterbrochen wurden. Die rekursive Methode zu nutzen bedeutet, dass ein Problem in einzelne, voneinander abhängige Teile zerlegt wird, sodass es damit Schritt für Schritt gelöst werden kann. So kann ich etwa eine geometrische Reihe durch Rekursion bilden, indem ich ausgehend von 1 jeden Nachfolger als das Doppelte seines Vorgängers berechne: 1, 2, 4, 8, 16 usw.

In ihrer abschließenden Darstellung einer Theorie menschlichen Problemlösens fassen Newell und Simon (1972, S. 788 f.) nochmals ihre wichtigsten Annahmen zusammen:

1. Nur einige wenige Merkmale menschlicher Informationsverarbeitung sind invariant gegenüber Aufgabe und Person. Hierzu gehören die Begrenztheit des Kurzzeitgedächtnisses, Speicherung und Abruf symbolischer Strukturen im Langzeitgedächtnis, serielle Verarbeitung, Nutzung externer Speicher, produktionssystemartige Programmierung, Nutzung von Zielstrukturen zur Organisation des Ablaufs. Das bedeutet: Abgesehen von den genannten Invarianten fällt Problemlösen je nach gestelltem Problem und je nach problemlösender Person unterschiedlich aus.
2. Diese Merkmale sind hinreichend dafür, dass eine Aufgabenstellung als Problemraum repräsentiert wird, in dem Problemlösen stattfindet. Das bedeutet: Die unter 1. genannten Randbedingungen reichen aus, um einen subjektiven Problemraum zu konstituieren.
3. Die Struktur der Aufgabenstellung legt die möglichen Strukturen des Problemraums fest. Das bedeutet: Die alles entscheidende Determinante des Problemraums ist die Aufgabenstellung; sie bestimmt letztendlich, wie der Problemraum gestaltet wird.
4. Die Struktur des Problemraums bestimmt die Programme, die zur Problemlösung herangezogen werden. Das bedeutet: Wenn der Problemraum einmal festgelegt wurde, ist dadurch notwendig bestimmt, was gemacht werden kann und was nicht.

Newell und Simon (1972) haben mit dieser Konzeption auf einen wichtigen Punkt für die Problemlöseforschung hingewiesen, indem sie den Begriff der Aufgabenstellung (»*task environment*«) von den psychologischen Prozessen auf Seiten der problemlösenden Person und deren Abweichung von perfekter Rationalität abge-

trennt haben – Abweichungen, die sich aufgrund der *beschränkten* Rationalität (Simon, 1947) menschlichen Verhaltens ergeben. Für diese Überlegungen und die damit verbundene Kritik an der Theorie des allzeit rationalen *Homo Oeconomicus* wurde Simon 1978 mit dem Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften ausgezeichnet.

Wenn eine motivierte Person sich mit einer intellektuellen Anforderung beschäftigt, liefert eine Analyse des Verhaltens Informationen sowohl über die Aufgabe als auch über die Denkprozesse. Beide Aspekte sind untrennbar miteinander verbunden, sollten aber dennoch begrifflich auseinander gehalten werden. Zum besseren Verständnis führen Newell und Simon (1972, S. 59) daher den Begriff des *Problemraums* ein, der die subjektive Repräsentation einer Aufgabenstellung bezeichnet, also den gedachten Raum, in dem Problemlösen stattfindet.

Welche Faktoren beeinflussen den Problemraum und das Lösungsprogramm einer Person, die gerade eine Laboraufgabe erhalten hat? Newell und Simon (1972, S. 848) sehen als wirksame Größen: a) die Instruktion, die eine mehr oder weniger vollständige Beschreibung von Ausgangs- und Zielzustand liefert; b) vorherige Erfahrung mit der fraglichen Aufgabe; c) vorherige Erfahrung mit ähnlichen Aufgaben; d) gespeicherte Lösungsräume aus dem Langzeitgedächtnis, die auf eine große Zahl von Aufgaben anwendbar sind; e) gespeicherte Programme zur Konstruktion von Problemräumen und neuer Programme; f) der Verlauf der aktuellen Problemlösung, der den Problemraum anreichert, verändert oder sogar radikal modifiziert.

2.5.3 Zwei-Räume-Theorie

VanLehn (1989) stellte in seinem Überblicksartikel zum Problemlösen fest, dass seit dem klassischen Modell von Newell und Simon (1972) kein neues Modell aufgestellt wurde. Newell und Simons Modell beschreibt, wie Personen Probleme lösen. Problemlösen wird – wie eben gezeigt wurde – als Suche in einem *Problemraum* gesehen, der aus drei Komponenten besteht, wie weiter oben schon bei der Beschreibung des Verstehensprozesses dargelegt wurde: 1. dem Anfangszustand, 2. den Operatoren, mit denen die Zustände transformiert werden können, und 3. einem Test, ob der Zielzustand erreicht ist.

Simon und Lea (1974): Regelraum und Instanzenraum

Auf diesen Annahmen baut der Ansatz des Zwei-Räume-Modells von Simon und Lea (1974) auf, die den Problemraum in einen *Regelraum* und einen *Instanzenraum* unterteilen. Im Regelraum sind alle möglichen Regeln einer Aufgabe enthalten, im Instanzenraum die möglichen Zustände. Am Beispiel linearer Systeme sind die Regeln alle möglichen Verbindungen und Gewichte zwischen den Eingangs- und Ausgangsvariablen. Die Zustände sind alle möglichen Werte, die die Ausgangsvariablen einnehmen können. Die Operatoren sind die Werte, die man den Eingangsvariablen zuweisen kann.

Am Beispiel KRYPTARITHMETISCHER PROBLEME (vgl. Kapitel 3.1.1), bei denen Buchstaben für Zahlen stehen, besteht der Instanzenraum aus den einzelnen Spaltenelementen der Buchstabenaddition, wohingegen der Regelraum die Vorschriften enthält, wie Buchstaben durch Zahlen ersetzt werden können.

Problemlösen bedeutet hier das Herausfinden derjenigen Buchstaben-Zahlen-Ersetzungen, bei denen die resultierenden arithmetischen Operationen korrekt sind. Ist etwa die Aufgabenstellung

DONALD + GERALD = ROBERT

vorgegeben und die problemlösende Person weiß zudem, dass D=5 sei, kann ein Ersetzungsprozess vorgenommen werden, der den Instanzenraum jetzt neu umschreibt als

5ONAL5 + GERAL5 = ROBERT.

Durch Anwendung mathematischer Regeln wird die letzte Position des Ergebnisses damit als T=0 gelöst und dadurch der Regelraum erweitert.

Wie kann weiter vorgegangen werden, um die vollständige Lösung zu finden? Mit der Methode a) »Erzeuge-und-Teste« (*generate-and-test*) kann ich einfach beliebige Zuordnungen von Zahlen zu Buchstaben vornehmen und ausprobieren. Intelligenter wäre eine b) wissensgeleitete heuristische Suche, die nicht beliebige neue Zustände im Instanzenraum produziert, sondern nur solche, die bestimmte Vorbedingungen erfüllen; z. B. muss R eine ungerade Zahl sein wegen des Übertrags der rechten Spalte und der Tatsache, dass die Addition zweier gleicher Zahlen (L+L) stets ein gradzahliges Ergebnis produziert. Eine alternative Beschreibung dieses Prozesses würde die Methode der c) Regelinduktion ins Spiel bringen, mit der geprüft wird, ob eine bestimmte Regel wie z. B. R=7 nicht nur im konkreten Fall stimmt, sondern auch mit allen anderen vorliegenden Daten konsistent ist.

Simon und Lea (1974) betonen, dass ihr Ansatz nicht nur für kryptarithmetische Probleme, sondern auch zur Beschreibung von Konzepterwerb, Sequenzlernen oder dem Erkennen von Grammatiken brauchbar sei. Dem *General Problem Solver* (GPS) stellen sie einen *General Rule Inducer* (GRI) zur Seite, der genau diese Prozesse unterstützt, die das Generieren und Testen möglicher Lösungen betreffen.

Klahr und Dunbar (1988): Duale Suche

Klahr und Dunbar (1988) greifen den Ansatz des Zwei-Räume-Modells auf. Sie entwickeln das SDDS-Modell (»*S*cientific *D*iscovery as *D*ual *S*earch«), um wissenschaftliche Entdeckungen zu erklären. In diesem Modell ist der *Experimenteraum* ähnlich dem Instanzenraum, und der *Hypothesenraum* ist ähnlich dem Regelraum. Im Hypothesenraum werden Hypothesen z. B. über Verbindungen zwischen Eingangs- und Ausgangsvariablen generiert, modifiziert und verworfen. Im Experimenteraum werden dagegen Experimente der Art geplant, wie die generierten Hypothesen überprüft werden können oder wie die Operatoren anzuwenden sind. Dazu müssen beide Problemräume (wie schon bei Simon & Lea, 1974) interagieren: Aktivitäten im Hypothesenraum lösen Operationen im Experimenteraum aus. Es gibt auch die umgekehrte Einflussrichtung: Wenn keine Hypothese über Beobachtungen zum Untersuchungsgegenstand aufgestellt wird (Suche im Hypothesenraum), ist es nämlich möglich, Operatoren anzuwenden (Suche im Experimenteraum). Durch Beobachtung der Ergebnisse dieser Experimente können dann Hypothesen abgeleitet werden.

Als Illustration ihres Ansatzes wählen sie ein programmierbares Spielzeugauto »BigTrak«, dessen Verhalten durch bestimmte Tasten vorbestimmt werden kann (z. B. zwei Schritte nach vorne fahren, hupen, zwei Schritte nach rechts fahren). Die auf dem Auto befindlichen Tasten unterteilen sich in 11 Instruktionstasten

(z. B. GO, CLS, HOLD) und 10 Zifferntasten. Aufgabe der Versuchsperson ist es, die Bedeutung der nicht erklärten Taste RPT herauszufinden (Lösung: RPT x wiederholt die letzten x Instruktionen). Die Suche nach der Bedeutung dieser Funktionstaste führt zur Bildung von Hypothesen und zum Durchführen von Experimenten (vgl. auch Shrager & Klahr, 1986).

Insgesamt 20 Testpersonen, die während der Problembearbeitung zum lauten Denken angehalten wurden, lernten 20 Minuten lang, den BigTrak zu programmieren. Danach hatten sie die bis dahin nicht verwendete und auch nicht erklärte RPT-Taste zu erforschen. Von den vielen Details dieser Untersuchung sei hier nur ein Ereignis näher dargestellt, das sich auf eine Typologie der Forscher bezieht. Danach können 7 Personen als »Theoretiker«, die restlichen 13 als »Experimentalisten« bezeichnet werden. Theoretiker brauchen im Schnitt 24.5 Minuten bis zur Lösung und führen 18.3 Experimente durch (davon 12.3 mit spezifischen Hypothesen), wohingegen die Experimentalisten nur 11.4 Minuten bis zur Lösung brauchten und dazu 9.3 Experimente (davon 8.6 mit spezifischen Hypothesen) durchführten. Während die Theoretiker im Hypothesenraum suchten, konzentrierten sich die Experimentalisten auf den Experimenteraum und versuchten, aus ihren Experimenten Generalisierungen abzuleiten.

Mit dem Zwei-Räume-Modell lassen sich die Ergebnisse zu den Strategien, der semantischen Einkleidung (Cover-Story), der Zielspezifität, dem Hypothesentesten und dem Wissenserwerb erklären. In vielen Untersuchungen wurde nicht zwischen einer Explorations- und einer Anwendungsphase unterschieden (in der Explorationsphase erkundet man ein unbekanntes System, in der Anwendungsphase steuert man die zumeist explizit vorgegebenen Ziele an), d. h., die Probanden kannten von Anfang an die Zielwerte oder den Zielzustand ihres Systems (spezifisches Ziel). Damit lässt sich diese Aufgabe auch so lösen, dass Personen mit einer Mittel-Ziel-Analyse versuchen, das Ziel anzusteuern (Suche im Instanzenraum), ohne Hypothesen zu formulieren. Sie erwerben dadurch kein Wissen über das System, lernen aber, wie das Ziel zu erreichen ist (implizites Wissen). So haben z. B. Geddes und Stevenson (1997) die Dissoziation von Wissen und Zielerreichen erklärt. Wenn dagegen explizites Wissen erworben wird, liegt Hypothesengenerierung und -testung vor (Suche im Regelraum). Die Suche im Regelraum kann dadurch gefördert werden, dass eine systematische Strategie verwendet wird und keine Zielwerte vorgegeben werden. Eine semantische Einkleidung eines Problems (anstelle dessen bloß abstrakter Beschreibung) sowie das Vorgeben einer Hypothese haben zur Folge, dass Hypothesen getestet werden und somit ebenfalls die Suche im Regelraum gefördert wird.

Mithilfe des Zwei-Räume-Modells lassen sich die Ergebnisse interpretieren, und es wird ersichtlich, warum bei manchen Aufgaben etwas gelernt wurde und bei anderen nicht. Dennoch gibt es Befunde, die eine Erweiterung des Modells nötig machen. Ein solcher Befund ist zum Beispiel, dass manchmal ein spezifisches Ziel zu besseren Leistungen führt und zwar dann, wenn die Probanden ein unvollständiges Modell der Aufgabe haben (Burns & Vollmeyer, 1996). Selbst die Vorgabe falscher Hypothesen (Vollmeyer & Burns, 1996) führt zu verbesserten Leistungen bei komplexen Problemstellungen, was nur indirekt als Hinweis auf eine verstärkte Suche im Hypothesenraum interpretiert werden kann (siehe auch Burns & Vollmeyer, 2002).

Neben einer Erweiterung des Modells gibt es auch Alternativerklärungen für die Frage, wie Zielspezifität das Lernen beeinflussen kann (Nhoyvanisvong &

Koedinger, 1998). Besonders dieses Thema scheint eine gute Schnittstelle für Theorieentwicklung und Empirie zu sein. Hier kann man an die von Sweller (1988) begründete Theorie der kognitiven Belastung anknüpfen.

2.5.4 Theorie kognitiver Belastung von Sweller

Die von Sweller (1988) entwickelte Theorie kognitiver Belastung knüpft an Überlegungen zum Verhältnis von Problemlösen und Lernen an. Ausgehend von Befunden der Experten-Novizen-Forschung (Überblick bei Reimann, 1998) sieht er den Besitz bereichsspezifischen Wissens in Form von Schemata als Hauptmerkmal von Experten. Wie aber erwirbt man solche Schemata am besten? Nach landläufiger Meinung soll dies durch Übung anhand einer großen Zahl von Musterproblemen erfolgen. Sweller behauptet nun, dass die Tätigkeiten des Lernens und die des Problemlösens interferieren können, dass also unter bestimmten Bedingungen das Lösen von Problemen eine Behinderung des Lernens von Prinzipien darstellen kann.

Die Theorie kognitiver Belastung geht davon aus, dass normalerweise beim Problemlösen auch Lernen durch Schemaerwerb erfolgt. Wenn allerdings die kognitive Belastung infolge selektiver Aufmerksamkeit bzw. aufgrund der beschränkten Verarbeitungskapazität ansteigt, kann dies zu Lasten des Schemaerwerbs gehen. Vor allem dann, wenn eine Mittel-Ziel-Analyse als Strategie verwendet wird (typisch für Novizen und erkennbar an rückwärtsgerichtetem Vorgehen, also vom Zielzustand ausgehend), kommt es zur Problemlösung auf Kosten des Lernens, d. h., es wird kein Schema gebildet. Im Unterschied dazu stehen Vorwärtsstrategien, entweder unter Schema-Kontrolle oder geleitet von Zielen oder lediglich zur Exploration des Problemraums (unspezifisches Ziel).

Swellers Theorie ist an das »Dual-task«-Paradigma angelehnt: Haupt- und Nebentätigkeiten operieren solange friedlich nebeneinander, wie die kognitive Belastung sich in Grenzen hält. Zu Störungen kommt es erst bei Überlastung. Wie aber lässt sich die kognitive Belastung messen? Sweller räumt ein, dass eine direkte Erfassung derzeit nicht möglich ist und man daher auf indirekte Indikatoren angewiesen sei. Hilfreich sind für ihn Parameter aus einem Produktionssystem, das kognitive Prozesse beim Bearbeiten von Mathematikproblemen (geometrische und trigonometrische Aufgaben) modelliert. Verglichen werden zwei Strategien: die konventionelle Mittel-Ziel-Strategie und eine Strategie mit unspezifischem Ziel, die weniger belastend ausfällt. Während im ersten Fall z. B. Fragen gestellt werden wie »Was ist die Beschleunigung des Rennwagens?« (= spezifisches Ziel), wird im anderen Fall gefordert: »Berechne den Wert von so vielen Variablen wie möglich!« (= unspezifisches Ziel). Im Produktionssystem schneiden beide Varianten erwartungskonform ab: Bei spezifischer Zielstellung gibt es im Vergleich zu unspezifischer Zielsetzung deutlich mehr Produktionen, deren Bedingungsteil erfüllt ist. Der Informationsfluss unter spezifischer Zielstellung ist damit wesentlich aufwändiger und lässt daher weniger Platz für Lernprozesse.

Lässt sich dies auch empirisch zeigen? Sweller (1988) führt nicht nur die Befunde seiner Modellierung an, sondern stützt sich auch auf experimentelle Evidenz. Je 12 Schüler aus der 10. Klasse mussten mit entweder spezifischen oder unspezifischen Zielen sechs Trigonometrieprobleme bearbeiten. Spezifische Ziele hieß, dass von den Schülern vorgegebene Seitenlängen eines geometrischen Objekts zu bestimmen

waren (konventionelle Methode); unter unspezifischer Zielvorgabe wurden sie aufgefordert, so viele Seitenlängen wie möglich zu bestimmen. Gemessen wurden sowohl Lösungen (= korrekt bestimmte Seitenlängen) als auch Behaltensleistungen der Objekte. In Bezug auf Lösungszeiten sowie Anzahl richtiger Lösungen unterschieden sich beide Gruppen nicht, wohl aber in Bezug auf die Behaltensleistungen: Hier kam es bei der Gruppe mit unspezifischem Ziel (also geringerer Belastung) zu weniger Reproduktionsfehlern als bei der Gruppe mit spezifischem Ziel. Abbildung 12 zeigt diese Ergebnisse in einer Übersicht.

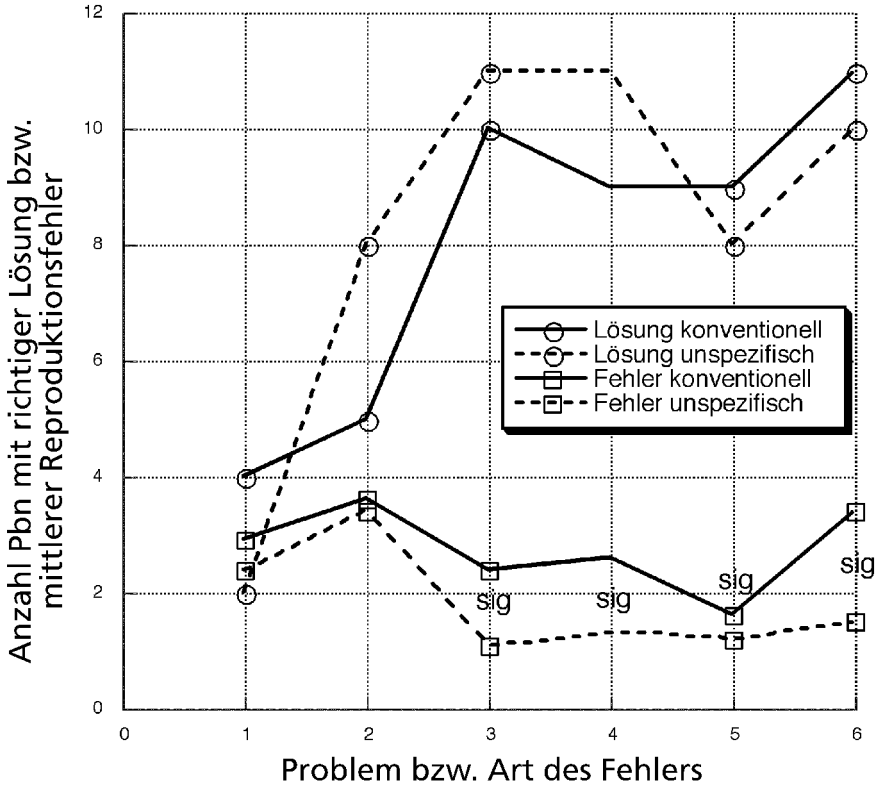


Abbildung 12 Ergebnisse des Experiments von Sweller (1988): Richtiglösungen und Fehler beim Bearbeiten von Trigonometrie-Problemen unter konventionell spezifischen bzw. unspezifischen Zielstellungen. Signifikante Unterschiede bei den Fehlern mit »sig« markiert.

Wie aus Abbildung 12 zu entnehmen ist, steigt zwar in beiden Gruppen die Zahl der Personen mit richtiger Lösung an (= genereller Lerneffekt), dies aber in beiden Gruppen gleichermaßen. Bei den Fehlern dagegen – es handelt sich um fünf verschiedene Fehlerarten sowie an sechster Position um die Lösung – gibt es

signifikante Unterschiede; insbesondere bei der Erinnerung an die Lösungen ist die unspezifische Zielgruppe deutlich überlegen.

Die Konsequenzen dieses Modells sind in theoretischer wie praktischer Hinsicht bedeutsam. In *theoretischer* Hinsicht wird ein klarer Unterschied zwischen Lernen und Problemlösen gemacht, der nicht nur die Unabhängigkeit beider Prozesse postuliert, sondern auch deren gegenseitige Störbarkeit im »Dual-task«-Paradigma feststellt. In *praktischer* Hinsicht wird mit der Tradition gebrochen, dass man zum Erwerb von Problemlösefähigkeit lediglich wiederholt einen Problemtyp bearbeiten sollte. Nach dem hier vorgestellten Modell kann Problemlösefähigkeit nur unter der weniger belastenden unspezifischen Bearbeitungsform, d. h. also im Wesentlichen durch Exploration, verbessert werden.

2.5.5 Theorie des Problemlösens als Informationsverarbeitung von Dörner

Nach Dörners Auffassung findet Problemlösen als Informationsverarbeitung statt, die sich immer auf ganz bestimmte Realitätsbereiche (= Ausschnitte der Wirklichkeit) bezieht (vgl. Dörner, 1976). Realitätsbereiche bestehen aus Operatoren und Sachverhalten. *Sachverhalte* beschreiben ganz bestimmte Zustände eines Realitätsbereichs; *Operatoren* dienen dazu, Sachverhalte zu verändern. Diese Auffassung ist eng angelehnt an die Konzeption von Newell und Simon (1972) und soll hier ausführlicher dargestellt werden, da sie als Prototyp für den funktionalistischen Standpunkt (Problemlösen ist Informationsverarbeitung) angesehen werden kann.

Eigenschaften von Sachverhalten

Die wichtigsten Eigenschaften von Sachverhalten sind genau diejenigen, die auch zur Charakterisierung komplexer Probleme herangezogen werden:

1. Komplexität im Sinne eines großen Problemumfangs;
2. Vernetztheit im Sinne gegenseitig abhängiger Variablengefüge;
3. Dynamik im Sinne einer zeitlichen Entwicklung;
4. Intransparenz im Sinne der Nichtzugänglichkeit von Teilen des Systems;
5. Polytelie im Sinne mehrerer konkurrierender Ziele, die zu erreichen sind.

Alle fünf Merkmale werden nachfolgend kurz beschrieben und in ihren Auswirkungen auf den Problemlöseprozess dargestellt. Ausführlicher werden die fünf Konzepte nochmals in Kapitel 4.1 diskutiert, da ihre starken Ausprägungen charakteristisch für komplexe Probleme sind.

Komplexität. Komplexität eines Sachverhalts bedeutet hier zunächst ganz pragmatisch, dass man es mit einem Gegenstandsbereich zu tun hat, der aus verschiedenen Variablen besteht, die in ihrer Vielzahl die Verarbeitungskapazität eines menschlichen Problemlösers überschreiten und daher Maßnahmen zur Komplexitätsreduktion wie Abstraktion oder Komplexbildung verlangen. Die Wahl des passenden Auflösungsniveaus ist bei komplexen Sachverhalten wichtig, da von dieser Entscheidung das weitere Vorgehen abhängt. Diese Wahl ist abhängig von den Zielen des Problemlösers: Für den Schlachter ist das Rinderhirn kein sonderlich wichtiger Körperteil – es wird nicht differenziert betrachtet, sondern entsorgt;

für den Neuroanatomen tut sich eine höchst komplexe Welt auf, weil er Gehirne nicht verkaufen, sondern ihre komplizierte Funktionsweise verstehen will.

Vernetztheit. Vernetztheit kann nur dort vorliegen, wo mehrere Variablen beteiligt sind. Sie bezieht sich auf die Tatsache, dass in komplexen Sachverhalten nicht einfach nur mehrere Variablen beteiligt, sondern diese Variablen zudem untereinander abhängig sind. Daher ist auf Seiten der handelnden Person Modellbildung erforderlich.

Dynamik. Das Merkmal der Dynamik stellt eine besondere Herausforderung an die problemlösende Person: Während statische Probleme (z. B. eine einzelne Schachposition) intensives Nachdenken ermöglichen, ohne dass sich die Situation verändert, kommt es bei dynamischen Problemen auch zur besonderen Form der Eigendynamik, d. h. der Systementwicklung aus sich heraus ohne Zutun der handelnden Person. Dynamische Prozesse fordern daher die Fähigkeit zum Abschätzen zeitlicher Entwicklungen. Dynamisches Schach könnte etwa bedeuten, dass alle paar Minuten von unsichtbarer Hand eine Figur bewegt würde – keine angenehme Vostellung.

Intransparenz. Diese Eigenschaft eines Sachverhalts erscheint in zweierlei Form: Entweder kann man aufgrund mangelnder Zeit nicht alle wichtigen Informationen sammeln, die zu einer Entscheidung notwendig wären (zeitlich bedingte Intransparenz), oder man hat zwar viel Zeit, kommt aber aus prinzipiellen Gründen nicht an die benötigten Informationen (strukturell bedingte Intransparenz). Intransparenz verlangt auf Seiten der problemlösenden Person eine Entscheidung darüber, welche Informationen noch zu beschaffen sind bzw. wie die vorhandenen Informationen bewertet werden können.

Polytelie. Eine polytelische, d. h. vielzielige Problemstellung bringt die problemlösende Person in Wertkonflikte: Wie kann ich das eine Ziel erreichen, ohne das andere aufzugeben? Typisch polytelische Situationen zwingen z. B. zum Abwägen zwischen Ökonomie und Ökologie, zwischen Familie und Arbeit. Gefordert ist in diesen Situationen eine Balance zwischen den konfligierenden Zielen, ein Ausgleich zwischen den verschiedenen Interessen in Form einer Kompromissbildung.

Eigenschaften von Operatoren

Eigenschaften von Operatoren sind insofern von Bedeutung, als sie bestimmte Optionen für die problemlösende Person darstellen, zwischen denen man unter günstigen Umständen wählen kann. Zu diesen Eigenschaften gehören:

1. Wirkungssicherheit,
2. Wirkungsbreite,
3. Reversibilität,
4. Anwendungsvoraussetzungen.

Wirkungssicherheit. Bei einer Reihe von Operatoren muss man damit leben, dass die durch sie angestrebten Zustandsänderungen nicht mit Sicherheit eintreten. Bestimmte blutdrucksenkende Medikamente etwa haben bei zwei Drittel der Patienten Erfolg, beim restlichen Drittel dagegen nicht. Andere Operatoren geben dagegen hundertprozentige Erfolgsgarantien: Nimmt jemand Zyankali in entsprechender Menge ein, ist die Konsequenz todsicher.

Für die problemlösende Person bedeutet dieses Attribut: Bei wirkungsunsicheren Operatoren muss ich eine Effektkontrolle vornehmen, um die beabsichtigte

Wirkung zu überprüfen. Diese Überprüfung kann bei wirkungssicheren Operatoren entfallen.

Wirkungsbreite. Operatoren lassen sich danach unterscheiden, wie viele Merkmale durch ihren Einsatz gleichzeitig verändert werden. Breitbandoperatoren nehmen auf viele Merkmale gleichzeitig Einfluss, Schmalbandoperatoren konzentrieren sich dagegen auf wenige Merkmale oder gar nur auf ein einzelnes.

Das Attribut der Wirkungsbreite impliziert für die problemlösende Person die Notwendigkeit, Nebenwirkungen eines beabsichtigten Haupteffekts mit in Betracht zu ziehen (»Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie Ihren Arzt oder Apotheker!«). Dies setzt natürlich voraus, dass ein entsprechendes Situationsmodell vorliegt, in dem die Vernetzungen des jeweiligen Gegenstandsbereichs abgebildet sind.

Reversibilität. Das Attribut der Reversibilität eines Operators berührt die Frage, wie einfach eine Operatoranwendung zurückgenommen werden kann. Für die problemlösende Person ist dies von Bedeutung, weil die Ernsthaftigkeit bestimmter Operatoreinsätze dann steigt, wenn die Konsequenzen irreversibel sind. Dies gilt nicht nur im Schachspiel, wo unter Turnierbedingungen die Regel »berührt – geführt« gilt und man sich daher definitiv entscheiden muss. Auch in vielen ökologischen Situationen erfahren wir heute, wie schwer es ist, einmal gemachte Entscheidungen wieder zurückzunehmen. Die Verwendung von Treibgas hat Auswirkungen auf die Atmosphäre, die nicht einfach zurückzunehmen sind. Ähnliches gilt für Atommüll, den wir den nächsten Generationen selbst dann überlassen, wenn wir heute aus der Atomindustrie aussteigen. Bei einer Halbwertszeit für Plutonium von 29.000 Jahren haben sich etwa 1000 Generationen mit den Konsequenzen unseres Operatoreinsatzes auseinander zu setzen.

Anwendungsvoraussetzungen. Manche Operatoren lassen sich nicht zu beliebigen Zeitpunkten einsetzen: Eine Rochade im Schach (der Tausch von König und Turm) ist etwa an die Voraussetzungen gebunden, dass die Plätze zwischen den beiden Figuren frei sind, dass noch kein Schach gegeben wurde und dass beide Figuren noch nicht bewegt wurden – verständlich, dass dieser Operator vergleichsweise selten zur Anwendung gelangt! Anwendungsvoraussetzungen sind nicht nur in Spielsituationen, sondern auch im realen Leben zu beachten: Bevor ich meine schmuddelig verwitterte Holzbank im Garten frisch streiche, muss ich zunächst einmal den Untergrund säubern, damit der Anstrich auch hält.

Operatoren ohne Anwendungsvoraussetzungen sind für die problemlösende Person natürlich sehr angenehm, weil sie jederzeit und ohne Prüfung von Voraussetzungen einsetzbar sind. Allerdings kommen solche universell einsetzbaren Operatoren nur selten vor bzw. stehen – wenn man an den universellen Operator »Geld« denkt – nicht in genügendem Umfang zur Verfügung. Dies zwingt den Problemlöser zur Analyse der Situation und macht entsprechende Planungen notwendig.

2.5.6 Psi-Theorie von Dörner

Mit seinem Buch »Bauplan für eine Seele« wagt Dörner (1999) den fast vermessenen Schritt, eine »Seele« (was immer das sei) vom Reißbrett aus zu konstruieren. Nachdem er in seiner »Logik des Misslingens« (1989b) schonungslos die Schwächen menschlichen Umgangs mit komplexen Systemen bloßgelegt hat, will er hier

zeigen, dass man psychische Vorgänge auf Maschinen nachbilden kann. Das Unterfangen ist nicht völlig neu; es ist seit den fünfziger Jahren Gegenstand der modernen Kognitionswissenschaften und liegt in seinen gedanklichen Ursprüngen noch weiter zurück. Neu sind der Ansatz, die Künstliche Intelligenz um eine »Künstliche Emotion« zu erweitern, und das systematische Vorgehen.

In sieben Kapiteln führt der Autor den Leser durch die verschiedenen Stationen seiner Seelenwerkstatt. Systematisch und Schritt für Schritt wird eine Maschine namens ψ (Psi) konstruiert, die von einfachen Funktionen zu immer komplexeren Leistungen aufsteigt. Sie lernt nicht nur wahrzunehmen, was in ihrer Umwelt lust- oder schmerzvoll ist, sondern erhält auch ein Gedächtnis, um solche Erfahrungen dauerhaft zu speichern. Sie bildet ein Begriffssystem aus, um diese Erfahrungen zu ordnen, stellt Relationen zwischen diesen Begriffen her und wird damit fähig, logische Schlüsse zu ziehen. Sie erhält Bedürfnisse, zu deren Befriedigung bestimmte Aktivitäten erforderlich werden, und sie muss konkurrierende Bedürfnisse regulieren und kanalisieren, will sie nicht in Hektik und blinden Aktionismus verfallen. Schließlich wird sie mit einem Sprachsystem ausgerüstet, mit dem sie einerseits zur Kommunikation mit anderen Maschinen auf einer höheren Ebene als dem bloßen Austausch von Signalen, andererseits auch zum inneren Gespräch mit sich selbst und über sich selbst fähig wird (»Denken«, »Bewusstsein« und »Selbstreflexion«).

Der Mensch wird funktionalistisch verstanden als informationsverarbeitendes Wesen, dessen Verarbeitungs- und Speichertätigkeiten sowohl in Form eines Produktionssystems (Modellierung kognitiver Funktionen durch Wenn-dann-Regeln) als auch eine Stufe differenzierter in Form neuronaler Netzwerke beschreibbar sind. In den USA haben Newell (1990) und Anderson (2002) diesen Grundgedanken zum Fundament einer »Unified Theory of Cognition« gemacht, die der empiristischen Zersplitterung psychologischer Forschungsergebnisse entgegentritt. Dörner hat mit seinem »Bauplan« einen vergleichbar integrativen Schritt unternommen. Allerdings geht er deutlich über die amerikanischen Ansätze hinaus, indem er sich dem ansonsten häufig ausgesparten Thema »Gefühl/Emotion« widmet. Bei Dörner sind Emotionen Modulationen des Verhaltens; sie beeinflussen den Auflösungsgrad der psychischen Prozesse (also deren Genauigkeit und Geschwindigkeit), das Aktivitätsniveau und die geistige Konzentration. Emotionen sind so etwas wie die *Form* psychischer Prozesse, die deren Inhalte entsprechend verändert, und damit in letzter Konsequenz »Informationen« wie andere auch. Dabei wird auch deutlich, dass sein Konzept »Mensch als Maschine« nicht Abwertung oder übertriebener Reduktionismus ist. Dörner macht Ernst mit dem Anspruch, die Gesetzmäßigkeiten des Seelenlebens zu erforschen. Dabei finden sich zwangsläufig Systeme und Regularitäten, die manchmal mechanisch wirken. Man darf annehmen, dass Dörners Seelenmaschine ebenso wenig realisiert werden wird (jedenfalls im *physikalischen* Sinn, denn als Software, als Programm, existiert die Maschine natürlich) wie die Analytische Maschine des Charles Babbage im 19. Jahrhundert – aber manchmal sind bloß gedachte Maschinen mindestens so einflussreich wie die realisierten. Und die Software für ψ, das künstliche Wesen, liegt inzwischen ausführlich dokumentiert und mit Beispielen versehen ebenfalls in Buchform vor (siehe Dörner et al., 2002).

Was kritisch anzumerken bleibt: Für eine ganze Reihe psychischer Prozesse, die Dörner in seinem System modelliert, bleibt unklar, wie man die Gültigkeit seiner Implementation, seiner »Dampfmaschine« also, als Modell für menschliche See-

lenprozesse überprüfen könnte – sind doch an vielen Stellen auch andere Modell-Lösungen vorstellbar! Im markanten Gegensatz zu amerikanischen Autoren wie Anderson (1993b) oder Newell (1990) verzichtet Dörner weitgehend darauf, experimentelle Befunde als Eckpunkte seiner Konstruktion heranzuziehen. Er erwähnt nicht einmal, was zu Begrenzungen des Arbeitsgedächtnisses, zu visuellen, akustischen und verbalen Repräsentationsformaten oder – aus Reaktionszeitstudien – zu Prozessabläufen bekannt ist. Auch die Behandlung des Bewusstseinsproblems befriedigt noch nicht: Was »weiß« die Maschine über sich selbst, und wie beeinflusst dieses »Wissen« ihre Entscheidungen? Hier bleiben viele Fragen offen. Immerhin hat das von Dörner vorgeschlagene Ein-Ebenen-Modell menschlichen Denkens – es gibt nicht noch eine weitere Instanz, die über die Aktivitäten der ersten Instanz wacht – sicher Vorteile gegenüber Mehrebenen-Konstruktionen, die in einen unendlichen Regress aus Ebene, Meta-Ebene, Meta-Meta-Ebene und so weiter zu geraten drohen.

Aber die Kritik steht zurück hinter der beeindruckenden Gesamtleistung, die aus diesem universalen Ansatz hervorgegangen ist. Dörners »Bauplan für eine Seele« ist aus einem Guss. Sie widmet sich auch Themen, die traditionell eher randständig und meistens isoliert behandelt werden: Liebe, Trauer, Witze, Schönheit, Götter und Geister und vieles mehr. Banale Alltagsereignisse werden mit weiterführenden (denk-)psychologischen Überlegungen verknüpft. Gerade an diesen Stellen zeigt sich die integrative Kraft dieses Ansatzes, der hier nur in aller Kürze angesprochen werden kann, da er weit über den Bereich problemlösenden Denkens hinausgeht. Kurzbeschreibungen von ψ findet man z. B. in Bartl und Dörner (1998), mehr zu einer Variante namens MicroPsi bei Bach (2003), detaillierte Beschreibungen auch bei Hille (1997) oder bei Dörner et al. (2002).

Hinweis: Mit dem Computerprogramm Psi kann man selbst spielen – es liegt im Netz unter http://www.uni-bamberg.de/~ba2dp1/psi.html zusammen mit weiterführender Literatur.

2.5.7 Theorie des deklarativen Vereinfachens von Klauer

Klauer (1993) stellt seine Theorie des deklarativen Vereinfachens in den Rahmen von Informationsverarbeitungsmodellen, die von begrenzten Ressourcen auf Seiten der Problemlösenden ausgehen. Er bettet sein Modell in eine Rahmenkonzeption ein, in der prozedurale und deklarative Aspekte unterschieden werden (Anderson, 1983, 1987). Die prozeduralen Aspekte beziehen sich auf Vorgehensweisen (»Prozeduren«) wie z. B. Strategien. Die deklarativen Aspekte beziehen sich dagegen auf die Repräsentation des Problems in terminis von beteiligten Objekten, einsetzbaren Operatoren sowie Regeln und Einschränkungen, die zu beachten sind.

Ausgangspunkt der Theorie deklarativer Vereinfachung ist die Feststellung, dass Problemlösen die begrenzten Speicher und Aufmerksamkeitsressourcen eines Problemlösers beansprucht (z. B. durch eine sehr schwierige Strategie oder durch eine sehr komplexe Aufgabenstellung). Schwierigere Probleme führen zu stärkeren Belastungen. Solche Belastungen entstehen sowohl durch deklarative als auch durch prozedurale Erfordernisse: Deklarative Erfordernisse beziehen sich auf die subjektive Repräsentation des Problemraums, prozedurale Erfordernisse dagegen auf die Prozesse des Suchens und Planens in eben diesem Problemraum. Bei Überbeanspruchung kommt es dem Modell zufolge zu Vereinfachungen. Beim *dekla-*

rativen Vereinfachen werden einige Aspekte der Problemrepräsentation ausgeblendet, das bedeutet: Problemlösen findet in einem vereinfachten Problemraum statt, bei dem auf bestimmte Aspekte der Problemstellung nicht geachtet wird. Beim *prozeduralen Vereinfachen* geht es um den Einsatz von zunächst wenig belastenden Strategien (z. B. planloses Ausprobieren).

Die Theorie deklarativer Vereinfachung macht drei Grundannahmen:

1. *Belastungsannahme*: Angenommen wird, dass beim Problemlösen mentale Ressourcen beansprucht werden, insbesondere das kapazitativ begrenzte Arbeitsgedächtnis. Diese globale Annahme wird insofern spezifiziert, als die Belastungen sowohl durch deklarative als auch prozedurale Aspekte des Problemlösens entstehen können.
2. *Kompetenzannahme*: Angenommen wird, dass Problemlösende bereichsunspezifische Strategien besitzen (Ziel-Mittel-Analyse), um in den subjektiven Problemräumen zu suchen.
3. *Vereinfachungsannahme*: Im Fall der Überschreitung der Verarbeitungskapazität werden zwei Vereinfachungsprinzipien wirksam, nämlich a) das Prinzip der Entlastung, nach der bei Überbeanspruchung Kapazität im deklarativen Bereich (= Prozesse, die der Konstruktion und dem Aufrechterhalten einer subjektiven Repräsentation des Problems dienen), nicht aber im prozeduralen Bereich (= strategische und taktische Prozesse, die das Planen und Suchen im Problemraum betreffen) abgezogen wird, sowie b) das Prinzip der Aufmerksamkeitszentrierung, wonach diese deklarative Vereinfachung durch die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf strategische anstatt deklarative Aspekte des Problems eintritt.

Klauer nimmt die Vereinfachung im deklarativen statt im prozeduralen Bereich deswegen an, weil eine Reihe von Untersuchungen mit unterschiedlich belastenden Problemisomorphen (d. h. strukturgleichen Varianten), Vergleiche zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Problemlösenden sowie Befunde aus der Experten-Novizen-Forschung dafür zu sprechen scheinen, dass bevorzugt eine deklarative Vereinfachung, nicht aber eine prozedurale Vereinfachung erfolgt.

Aus den Modellannahmen lassen sich Hypothesen zu drei Bereichen generieren: a) Effekte bei der Problembearbeitung mit unterschiedlich strenger Fehlerrückmeldung, b) Hypothesen über die Art der gemachten Fehler sowie c) Hypothesen über den Implementierungsaufwand (der Aufwand, der beim Übergang vom Plan zur Aktion entsteht; er ist hoch, wenn die Umsetzung eines Plans auf Schwierigkeiten stößt). Hinsichtlich der Fehlerrückmeldung wird erwartet, dass bei einer strengen Rückmeldung (alle Regelverstöße werden sofort moniert) Lösungsvorschläge schnell scheitern und das Lösungsverhalten dann ziel- und planlos erscheint, obwohl keine prozedurale Vereinfachung stattfindet. Bei abgeschwächter Fehlerrückmeldung (nur bestimmte Regelverstöße werden moniert, andere werden zugelassen) soll stattdessen effizient an Lösungsvorschlägen gearbeitet werden, die allerdings spezifische Fehlerteile aufweisen. Hinsichtlich der Art der Fehler wird erwartet, dass keine unsystematischen Fehler auftauchen, sondern Bestandteile von Lösungen, die aufgrund der deklarativ vereinfachten Problemräume entstehen. Hinsichtlich des Implementierungsaufwandes wird davon ausgegangen, dass er je nach den ausgeblendeten Aspekten im Zuge der deklarativen Vereinfachung unterschiedlich hoch ausfällt.

Klauer greift zur Prüfung seiner Annahmen auf drei verschiedene Problemtypen zurück, die im Sinne einer konzeptuellen Replikation an drei verschiedenen Prüfbereichen die von ihm formulierten Hypothesen überprüfen helfen sollen. Die drei Aufgabenstellungen sind a) geometrische PUZZLEPROBLEME (Tangrams), b) KÄFERPROBLEME und c) Problemisomorphe des »TURM VON HANOI« (sog. »MONSTER-PROBLEME«, die strukturgleich sind, aber anders eingekleidet werden). Auf alle drei Untersuchungen soll nachfolgend kurz eingegangen werden.

Im *Prüfbereich 1* geht es um geometrische Puzzleprobleme (Tangrams), bei denen aus einzelnen geometrischen Einzelteilen eine Zielfigur zu erstellen ist.

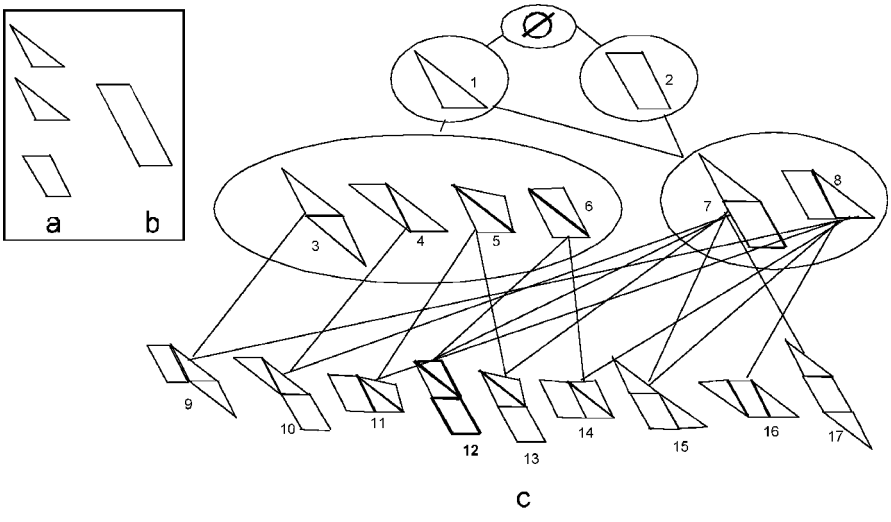


Abbildung 13 Beispiel für ein Tangram-Puzzle (nach Klauer, 1993, S. 38): a) Ausgangszustand, b) Zielzustand, c) Suchraum.

In einem Experiment wurden drei verschiedene Versuchsgruppen mit unterschiedlicher Belastung konzipiert: In der Kontrollgruppe mit geringer Belastung konnte die Zielfigur in Einzelteilen auf der Vorlage abgedeckt werden. Diese Möglichkeit zur externalen Bearbeitung stellt eine massive Fehlerrückmeldung dar, weil die Probanden sofort die Passung oder Nichtpassung einzelner Teile beurteilen können. In der Versuchsgruppe mit mittlerer Belastung war eine partiell interne Bearbeitung insofern gefordert, als die Zielfigur neben der Vorlage nachgelegt werden sollte und die Vorlage selbst nicht berührt werden durfte. Die dritte Versuchsgruppe mit hoher Belastung hatte eine ausschließlich internale Bearbeitung vorzunehmen, d. h., die Zielfigur musste im Kopf vorbereitet und dann während einer kurzen Phase umgesetzt werden. In jeder Versuchsgruppe arbeiteten 23 studentische Probanden mit je 30 TANGRAM-PUZZLES (je 10 Tangrams mit 2, 3 und 4 Einzelteilen). Pro Tangram war maximal 1 Minute als Bearbeitungszeit zugelassen.

Erwartet wurde, dass mit zunehmender Belastung (sowohl durch die Menge an Einzelteilen als auch durch die Art der geforderten Bearbeitung) die Problemlösegüte herabgesetzt werden würde. Tatsächlich zeigt sich hinsichtlich der

abhängigen Variable »Zeitüberschreitung« ein Haupteffekt der Versuchsbedingungen, ein Haupteffekt der Anzahl des Problemumfangs (Anzahl von Einzelteilen) und deren Interaktion. Die Interaktion ist so zu deuten, dass sich mit zunehmendem Problemumfang der Gruppenunterschied verschärft. Zumindest für diese abhängige Variable ergibt sich also ein erwartungskonformer Befund.

Im *Prüfbereich 2* ging es für die Versuchspersonen darum, KÄFERPROBLEME zu lösen. Beim KÄFERPROBLEM handelt es sich um eine klassische Interpolationsbarriere, bei der ein ganz bestimmter Käferausgangszustand durch Einsatz verschiedener Transformatoren in einen vorgegebenen Zielzustand zu überführen ist. Auf dem Bildschirm erscheint ein Käfer mit bestimmten Eigenschaften, die durch Einsatz eines Transformators (z. B. »Mache aus großen Flügeln mit 3 Punkten solche mit 4 Punkten!«) in einen Folgezustand überführt werden. Die Käfer sind unterscheidbar nach der Zahl ihrer Punkte (1, 2, 3 oder 4), nach ihrer Größe (groß, mittel, klein, winzig) sowie nach der Anwesenheit von Flügeln (mit und ohne Flügel). Die Transformatoren bestehen aus insgesamt sechs Regeln, die allerdings an bestimmte Voraussetzungen geknüpft sind, die vor ihrem Einsatz erfüllt sein müssen. Am Ende des Transformationsprozesses soll ein Zielkäfer mit vorgegebenen Eigenschaften vorliegen. Abbildung 14 zeigt den Suchraum zum KÄFERPROBLEM, der die zulässigen Übergänge zwischen verschiedenen Käfertypen verdeutlicht.

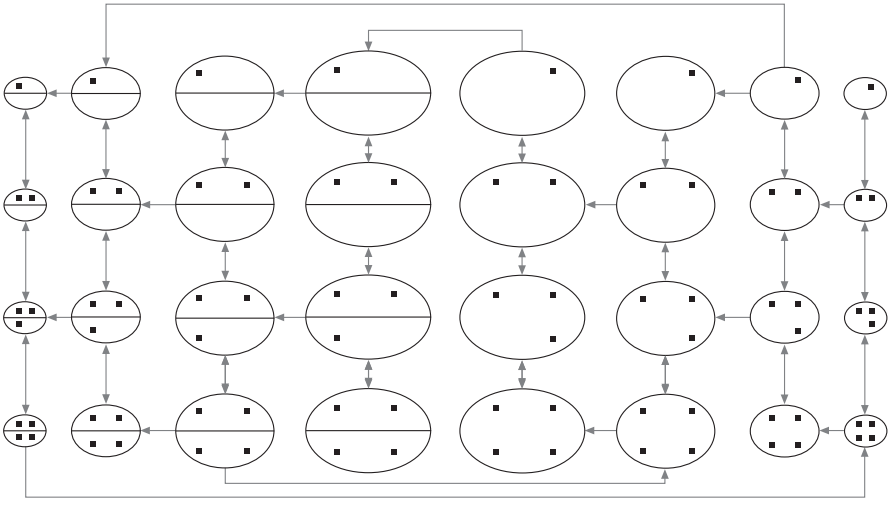


Abbildung 14 Suchraum zum KÄFERPROBLEM (nach Klauer, 1993, S. 96): Dargestellt sind die jeweils möglichen Übergänge zwischen verschiedenen Käferzuständen.

Von der Mitte nach außen verändert sich die Größe, im linken Teil sind die Käfer mit Flügeln (die waagerechten Striche auf dem Rücken zeigen diese an), rechts die ohne Flügel, oben sind die mit wenigen, unten die mit viel Punkten. Um Zustandsveränderungen auf dem Weg vom Anfangs- zum Zielzustand des Käfers vorzunehmen, kann – wenn die Voraussetzungen für die Operatoranwendung erfüllt

sind – entsprechendes »Futter« verabreicht werden. Dies entspricht den Problemregeln, die Tabelle 3 enthält.

Tabelle 3 Regeln zur Transformation des Käferproblems (nach Klauer, 1993, S. 95).

Futter (Regel)	Wirkung	Wirkungsbedingungen		
		Punkte	Größe	Flügel
a	Flügel weg	1, 2, 3 *oder* 4	winzig *oder* mittel	mit
b	Punkt hinzu	1, 2 *oder* 3	winzig, klein, mittel *oder* groß	ohne *oder* mit
c	1 Stufe größer	2 *oder* 4	winzig *oder* mittel	ohne
	oder	1 *oder* 3	klein	ohne
d	Flügel hinzu	1, 2, 3 *oder* 4	klein *oder* groß	ohne
e	1 Stufe kleiner	1 *oder* 3	klein *oder* groß	mit
	oder	2 *oder* 4	mittel	mit
f	Punkt weg	2, 3 *oder* 4	winzig, klein, mittel *oder* groß	ohne *oder* mit
x	zurück zum Start	–	–	–

Futter a aus Tabelle 3 kann z. B. verabreicht werden, wenn der Käfer beliebige Punkte aufweist, winzig oder mittel von seiner Größe her ist und Flügel besitzt. Konsequenz dieses Operatoreinsatzes ist ein Käfer, der keine Flügel mehr hat.

Als abhängige Variablen werden bei diesem Aufgabentyp die Zugzahl und die Lösungszeit herangezogen. Experimentell manipuliert wurde hier die Art der Rückmeldung. In der Kontrollgruppe gab es eine Rückmeldung bei jeder Verletzung der Wirkungsbedingungen, in den beiden Experimentalgruppen wurde dagegen nur eine partielle Fehlerrückmeldung gegeben: In der deklarativ günstigeren Weise wird Feedback zum wichtigsten Merkmal »Flügelzustand« oder zum zweitwichtigsten Merkmal »Größenzustand« gegeben. Die Wichtigkeit eines Merkmals ergibt sich aus der Aufgabenstellung. Wie man bei sorgfältiger Lektüre der Regeln in Tabelle 3 erkennen kann, ist es ohne weitere Vorbedingungen jederzeit möglich, die Punktezahl des Käfers zu verändern (Regel b; man erkennt dies auch anhand des in Abbildung 14 gezeigten Suchraums: Es gibt jederzeit einen Pfad nach oben oder unten). Das Vergrößern und Verkleinern erfordert dagegen ein Beachten der Punktezahl *und* des Flügelzustands: Vergrößern lässt sich der Käfer dann, wenn er keine Flügel besitzt, verkleinern dagegen kann man nur Käfer mit Flügeln. Neben dem Flügelzustand ist beim Vergrößern und Verkleinern auch die Punktezahl zu

beachten: Ist für ein geplantes Vergrößern oder Verkleinern der Flügelzustand richtig eingestellt, die Punktezahl aber falsch, so muss zunächst die Punktezahl verändert, dann die zulässige Größenveränderung ausgeführt und schließlich die Punktezahl wieder auf den ursprünglichen Wert zurückgesetzt werden. Die Eigenschaft »Punktezahl« weist einen deutlich niedrigeren Implementierungsaufwand auf als die Eigenschaft »Flügelzustand«: Hier lassen sich Veränderungen nur mit Operationen durchführen, die aus Ketten legaler Züge zwischen 3 und ungünstigstenfalls 11 Zügen bestehen. Damit hat die Eigenschaft »Flügelzustand« einen insgesamt hohen Implementierungsaufwand. Ein mittlerer Implementierungsaufwand ist für die Eigenschaft »Größe« nötig: Zustandsveränderungen im Umfang von 5 bis 6 Zügen sind hierfür erforderlich.

Welche Ergebnisse zeigen sich bei der Datenanalyse? Tabelle 4 zeigt die Mediane der Problemlösegüte für verschiedene abhängige Variablen in den verschiedenen Versuchsgruppen: die gemachten Fehler, die Anzahl der Züge und die verwendete Zeit für die EG 1 (partielle, aber günstige Rückmeldung), KG (Kontrollgruppe mit kompletter Rückmeldung), EG 2 (partielle, aber ungünstige Rückmeldung). Die Spalte »Fehlerpunkte« klassifiziert Versuchspersonen in zwei Gruppen, je nach ihrer Fehlerzahl in niedrig oder hoch fehlerhafte Probanden.

Tabelle 4 Mediane der Problemlösegüte für verschiedene Gruppen; Erläuterung im Text (aus Klauer, 1993, S. 110).

Index	Fehlerpunkte	Gruppe		
		EG1	KG	EG2
Fehler	niedrig	2,0	2,3	2,4
	hoch	8,6	9,8	12,4
Züge	niedrig	22,5	26,5	17,0
	hoch	37,0	40,0	43,5
Zeit in sec.	niedrig	750	787	662
	hoch	1006	1112	1284

Für die Zugzahlen und Zeiten lassen sich hypothesenkonforme Anstiege bei den Personen mit hoher Fehlerpunktzahl nachweisen, die stark belastet waren. Bei den Personen mit niedriger Fehlerpunktzahl, die als wenig belastet gelten müssen, machen die Versuchsbedingungen dagegen keinen Unterschied.

Im *Prüfbereich 3* geht es um »Monster-Probleme« (vgl. Hayes & Simon, 1977). Dieser Problemtyp stellt eine isomorphe, d. h. strukturgleiche Variante des Turms von Hanoi dar (siehe Kapitel 3.1.2), bei dem es darum geht, dass drei Monster (Erich, Anton, Oskar; analog zu den drei Stäben des Turms von Hanoi) drei unterschiedlich große Kugeln besitzen, die gemäß Monsteretikette verteilt werden sollen. Die anfängliche Verteilung der Kugeln soll in eine gewünschte Zielverteilung überführt werden. Dabei sind eine Sender- und eine Empfängerregel zu beachten. Nach der Senderregel darf ein Monster nur seine größte Kugel abgeben, nach der Empfängerregel darf der Empfänger eine Kugel nur dann annehmen, wenn er noch keine größere besitzt. Damit entspricht die größte Kugel beim

Monster-Problem der kleinsten Scheibe beim Turm von Hanoi. Abhängige Variablen zur Erfassung der Problemlösegüte sind die Zahl legaler Züge, die Bearbeitungszeit in Sekunden und die mittlere Fehlerrate (Anteil illegaler Züge an insgesamt gemachten Zügen). Die Monster-Probleme werden entweder vom Start zum Ziel (sog. Monster-Bitten-Version) oder vom Ziel zum Start hin (Monster-Schenken-Version) bearbeitet.

Im Experiment wurden zwei Faktoren variiert: a) die Art des Problems (vom Ziel zum Start oder vom Start zum Ziel) sowie b) die Art der Belastung (Turm von Hanoi als einfaches Problemisomorph, Monster als schwieriges Problemisomorph). Insgesamt 166 Studierende wurden auf die sechs Versuchsbedingungen aufgeteilt. Hinsichtlich der logarithmierten Zugzahlen zeigt sich ein Haupteffekt für den Faktor Problemisomorph, während die Darbietungsform vor- oder rückwärts keine Unterschiede ausmacht und auch keinen Interaktionseffekt erzeugt. Der Haupteffekt Problemisomorph besteht darin, dass der Turm von Hanoi die höchsten, die Monster-Schenken-Version mittlere und die Monster-Bitten-Version die geringsten durchschnittlichen Zugzahlen erzielt. Dieser auf den ersten Blick merkwürdige Befund – die schwierigeren Monster-Probleme weisen geringere Zugzahlen auf – erklärt sich dadurch, dass die stärker belastenden problemisomorphen Monster-Versionen zu Problemvereinfachungen und damit zu illegalen Zügen führen; in Wirklichkeit sind die Versuchspersonen deshalb (anders als beim Turm von Hanoi) trotz geringerer Zugzahlen weiter entfernt von der optimalen Lösung. Auch dieses Ergebnis kann man somit als Hinweis auf eine von den Probanden vorgenommene deklarative Vereinfachung deuten.

In der abschließenden Bewertung von Klauers Theorie ist festzuhalten, dass hier sehr sorgfältig den Effekten der deklarativen Vereinfachung nachgegangen wurde. Allerdings ist der Geltungsbereich wohl auf einfache Interpolationsprobleme beschränkt. Auch Messprobleme wie die Feststellung des Implementierungsaufwandes sowie ein fehlendes direktes Maß für die Belastung oder Entlastung (diese wird nur indirekt über die Fehlerzahl erschlossen) machen die Unschärfe der Theorie aus. Grundsätzlichere Kritik ist daran zu üben, dass bei diesen einfachen Problemen deklarative Vereinfachung möglich erscheint, bei komplexen, wissensintensiven Problemen aber zusätzlich strategische oder prozedurale Vereinfachungen wahrscheinlicher werden. Insbesondere in den Untersuchungen Dörners finden sich zahlreiche Hinweise auf strategische Vereinfachungen (Notfallreaktionen des kognitiven Systems, siehe Kapitel 5.4.2).

2.5.8 Theorie der Kognition für dynamische Umgebungen von Hammond

Hammond (1988) hat in einem programmatischen Aufsatz gefordert, dass sich die Entscheidungsforschung stärker als bisher mit dynamischen Aufgabenstellungen beschäftigen sollte. Zu diesem Zweck stellt er eine Theorie dynamischer Aufgaben vor, die *Theory of Task Systems*, in der spezifische Eigenschaften und Funktionen der Aufgaben beschrieben werden, und ergänzt diese um eine Theorie der *Verarbeitung* solcher Aufgaben, die *Cognitive Continuum Theory.*

Die drei Hauptprinzipien seiner aufgabenbezogenen »Theory of Task Systems« sind: 1. das Induzierungsprinzip, 2. das Prinzip oberflächlicher und tiefer Merkmale von Aufgaben sowie 3. der Index des Aufgabenkontinuums.

Mit dem *Induzierungsprinzip* wird die These vertreten, dass bestimmte Merkmale der Aufgabendarbietung bestimmte Formen der kognitiven Verarbeitung induzieren. Zum Beispiel soll bei Aufgaben, die Informationen in Zahlenform oder mit logischen Symbolen anbieten und bei denen genügend Zeit zur Berechnung bleibt, analytische Kognition eher einsetzen als bei Aufgaben, die z. B. ein Bild verwenden und nur kurze Zeit für die Beurteilung zulassen; bei diesen Aufgabenstellungen soll eher intuitive Kognition induziert werden.

Die *Oberflächen- und Tiefenmerkmale von Aufgaben* bestehen für Hammond darin, dass eine bestimmte dynamische Anlage (z. B. eine Kraftwerksanlage) die Struktur und Funktion des Systems abbildet, wie es z. B. aus Sicht der Ingenieure besteht. Dieser Tiefenstruktur wird die Sicht der Operateure entgegengestellt, die bestimmte Oberflächenmerkmale (Anzeigeinstrumente etc.) präsentiert bekommen. Hammond verweist hier auf Vicente und Rasmussen (1992), die davon sprechen, dass die Design-Logik eine andere sei als die dem Bediener sichtbare Oberflächenlogik und es beim ökologischen »Interface-Design« darum gehe, das Unsichtbare sichtbar zu machen.

Das dritte Merkmal, der *Aufgaben-Kontinuum-Index* (*Task Continuum Index*, TCI), beschreibt ein Kontinuum, das zwischen den zwei Endpolen »Anregung zur Analyse« und »Anregung zur Intuition« steht. Aufgaben können auf diesem Kontinuum zwischen den beiden Endpolen entsprechend dem Induzierungsprinzip variieren.

Dieser Aufgabentheorie stellt Hammond eine »Theory of Cognition for Dynamic Tasks« gegenüber, in der gesagt wird, dass auch die Kognition auf einem Kontinuum zwischen Analyse und Intuition variieren kann. Argumentiert wird hier, dass bei Korrespondenz zwischen der Aufgabeneigenschaft und der kognitiven Aktivität die Beurteilungsgenauigkeit besser ausfällt als bei fehlender Korrespondenz zwischen kognitiver Aktivität und Aufgabenbedingungen. Wird also eine Aufgabe dargeboten, die im Wesentlichen zu analytischer Verarbeitung auffordert, werden schlechtere Urteile einer Person erwartet, wenn diese nicht-korrespondierend intuitiv verarbeitet werden.

In dynamischen Umgebungen kommt es zu Veränderungen der Aufgabeneigenschaften. Entsprechend sollten sich die kognitiven Aktivitäten anpassen. Die Theorie von Hammond macht die Vorhersage, dass sich bei geänderten Aufgabenanforderungen in dynamischen Situationen auch die kognitiven Aktivitäten ändern werden. Zwei Arten der Aktivität werden unterschieden: Mustersuche und Suche nach funktionalen Beziehungen zwischen Oberflächeninformation und Zuständen des Systems in der Tiefe. Während die Informationsverarbeitung auf dem Kontinuum zwischen intuitiv und analytisch variieren kann, schließen sich diese zwei zuletzt genannten Arten kognitiver Aktivität (Mustersuche versus Suche nach funktionalen Beziehungen) wechselseitig aus: Der Organismus macht entweder das eine oder das andere. Mustersuche wird induziert durch Displays, die ein hohes Maß an wahrnehmungsbezogener Organisation aufweisen, durch Displays, die ein hohes Maß an konzeptueller Organisation aufweisen, oder durch Umstände, die von einem Organismus die Produktion kohärenter Erklärungen für seine Urteile fordern. Die Suche nach funktionalen Beziehungen wird dagegen durch Aufgabenstellungen provoziert, die die Beschreibung und Vorhersage bestimmter Beträge von Variablen verlangen, z. B. das Abschätzen von Objektgeschwindigkeiten.

Hammonds *Cognitive Continuum Theory* verwendet also zwei Prinzipien: a) eine immer wieder neue und kontinuierliche Bewegung zwischen Intuition und Analyse

und b) den Wechsel zwischen den zwei grundsätzlich verschiedenen Arten von Suche: der Mustersuche oder der Suche nach funktionalen Beziehungen. Ergebnisse zu diesem Ansatz werden in Kapitel 5.4.5 beschrieben.

2.5.9 Kritik an Informationsverarbeitungsmodellen

Problemlösen als Informationsverarbeitung – das war im Zuge der kognitiven Wende Ende der 1950er und Anfang der 1960er Jahre durchaus programmatisch zu verstehen und daher auch als Buchtitel geeignet (Dörner, 1976): Abkehr von behavioristischen Konzepten wie Denken als stilles Sprechen und dem Verbot, interne Prozesse zu postulieren, aber auch Abkehr von gestaltpsychologischen Annahmen wie Einsicht oder Umstrukturierung, die unklar und unscharf beschrieben waren. Problemlösen als Informationsverarbeitung bedeutete vor allem, sich mit dem »Wie« des Denkens zu befassen, also mit den kognitiven Prozessen (im Unterschied zur Intelligenzforschung, die resultatorientiert vorgeht). Klare Grundüberzeugung bei diesem Ansatz war die Annahme, »dass jeder geistige Prozess ohne Rest auf eine Abfolge einfacher, physikalisch fassbarer Elementarprozesse zurückgeführt werden kann« (Dörner, 1976, S. 9).

Wo liegen die Probleme dieses für die Denkforschung so fruchtbaren, aber dennoch reduktionistischen Ansatzes? Nach meinem Dafürhalten sind es mindestens drei Problembereiche, hinsichtlich derer der Informationsverarbeitungsansatz kritisiert werden kann: 1. die vollständige Rückführung des Denkens auf Elementarprozesse »ohne Rest« lässt situativen, äußeren Einflüssen kaum Spielraum; 2. die Rückführung aller Denkvorgänge auf Elementarprozesse suggeriert, dass die aus den Elementen gebildeten »Gestalten« weniger interessant seien als eben die Elementarprozesse; 3. die Beschränkung des Ansatzes auf das »Wie«, auf die Mechanik, zeigt Indifferenz gegenüber den bedeutungstragenden Inhalten (der Semantik und Pragmatik) und läuft Gefahr, den notwendigen Prozess des Verstehens (im Sinne von Bedeutungsverleihung) zu unterschätzen. Auf alle drei Kritikpunkte soll näher eingegangen werden.

1. *Vollständige Rückführung auf Elementarprozesse »ohne Rest«*. Mit dieser Sicht werden die situativen Einflüsse auf Denk- und Problemlöseprozesse ausgeschaltet – nur das, was als Information im geistigen Prozess abgebildet ist, kann wirken. Damit wird das Augenmerk auf die internen Prozesse gelegt, die externen Faktoren schrumpfen allenfalls auf die Frage, wie sie denn intern repräsentiert seien. Selbstverständlich spielen interne Repräsentationen eine wichtige Rolle, aber dies darf nicht zur Überschätzung führen. Den fatalen Glauben an die Allmacht expliziter, symbolischer Repräsentationen kritisiert Clark (1997, S. 4) wie folgt: »Intelligence and understanding are rooted not in the presence and manipulation of explicit, language-like data structures, but in something more earthly: the tuning of basic responses to a real world that enables an embodied organism to sense, and survive.«
   Die Idee der Rückführung aller Denkprozesse auf Elementarprozesse ohne Rest nährte in der KI-Forschung jahrelang die Hoffnung, einfach nur möglichst viel Wissen in maschinenlesbare Form zu übertragen und das Ergebnis als maschinelle Intelligenz zu bewundern (z. B. Lenat, Prakash & Shepard, 1986, mit seinem Projekt CYC). Vor lauter Konzentration auf die Software wurde die

Wetware (Gehirn, Körper; auch die Tränen der Emotion und der Schweiß der Motivation gehören hierzu) unterschätzt. Auch das in der Einführung bereits angesprochene Problem des Hintergrundwissens (vgl. Searle, 1992), bei dem man nicht weiß, an welcher Stelle man die Suche nach weiterem Wissen abbrechen kann, ist ein Beispiel dafür.

Dass man Verarbeitungsprozesse auf bestimmte Grundoperationen zurückführt, ist somit ein verständliches und akzeptables Ansinnen – sie darauf zu beschränken, bedeutet eine unnötige und wenig sinnvolle Restriktion.

2. *Die Rückführung auf Elementarprozesse ignoriert »Gestalten«.* Mit der behaupteten Rückführbarkeit aller Denk- und Problemlöseprozesse auf Elementarprozesse erhalten diese eine hervorgehobene Bedeutung zum Nachteil von Kompositionen solcher Elementarprozesse, die man als Gestalten bezeichnen könnte. Damit würde ausgedrückt, dass entsprechend dem Motto der Ganzheitspsychologie »Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile« eine Addition von Elementen keinesfalls ausreicht, um die komplexe Ganzheit zu verstehen, die hinter einzelnen Problemlöseaktivitäten stehen mag. Dass man den Prozess der Multiplikation als eine entsprechende Anzahl von Additionen dekomponieren kann, ist eine Sache – unbestritten bleibt aber auch der Mehrwert der Operationsklasse »Multiplikation«, der bei reduktionistischem Vorgehen verloren ginge. Natürlich ist ein komplexer Planungsprozess letztlich nichts anderes als eine Abfolge von Abruf-, Verarbeitungs- und Speicherprozessen, wie sie auch bei einem einfachen Mustererkennungsprozess auftritt – aber dennoch ist die Bedeutung des Planungsprozesses nicht nur dadurch von der des Mustererkennungsprozesses unterschieden, dass im ersten Fall wesentlich *mehr* derartige Elementarprozesse erfolgen. Man würde der Spezifik dieser Prozesse nicht gerecht, wenn man nur die Elementarprozesse beachtete.
3. *Die Beschränkung auf die Mechanik übersieht die Rolle der Semantik und Pragmatik.* Dieses Argument greift eine Eigenschaft des zugrunde liegenden Konzepts von Information auf, nämlich dessen ausschließliche Orientierung an strukturellen Eigenschaften bei gleichzeitiger Ignoranz gegenüber Bedeutung. Um dieses etwas abstrakt klingende Argument besser zu verstehen, ist ein kurzer Exkurs in die Informationstheorie notwendig.

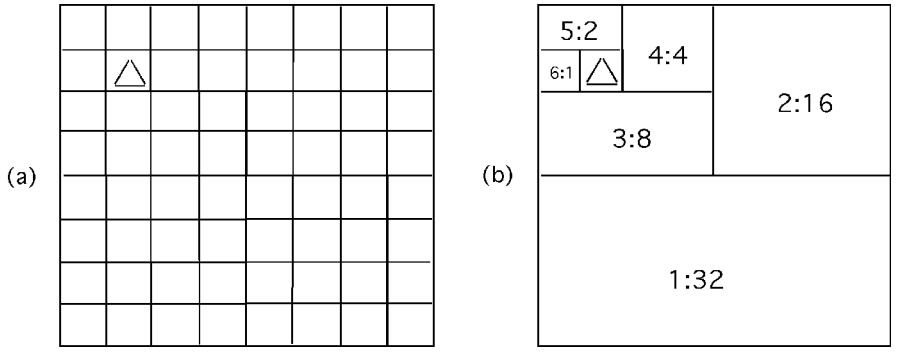


Abbildung 15 Suche nach einem von 64 Feldern: a) ungeordneter Suchraum; b) systematischer Suchraum (die Zahl gibt die mit der jeweiligen Frage auszuschließenden Felder an). (Siehe Exkurs Informationstheorie, S. 86).

Exkurs Informationstheorie

In fundamentaler Weise haben Shannon und Weaver (1949) die Formalisierung und Quantifizierung dessen, was man Information nennt, vorangetrieben, in dem sie eine Metrik für Signale einführten. Von der praktischen Frage ausgehend, wie via Telefon Nachrichten ohne Fehler zu übertragen wären, hat sich Shannon – der eigentliche Urheber – damit beschäftigt, wie ein einzelnes Zeichen aus einer Vorratsmenge an Zeichen gewählt wird: »... information is a measure of one's freedom of choice when one selects a message« (S. 100). Nimmt man etwa unser Alphabet als Zeichenvorrat, aus dem ein einzelner oder auch mehrere Buchstaben auszuwählen sind, so kommt den einzelnen Buchstaben eine unterschiedliche Auftrittswahrscheinlichkeit zu. Selten vorkommende Zeichen (wie z. B. »q«) haben in Shannons Begriffsverständnis einen höheren Informationsgehalt als häufig vorkommende Zeichen (wie z. B. »e«). Und dies gilt nicht nur für einzelne Zeichen, sondern auch für Zeichenfolgen: In der deutschen Sprache hat das dem »q« folgende Zeichen »u« einen Informationsgehalt nahe Null, da in fast 100% der Fälle auf ein q ein u folgt, das u somit redundant ist. Anders sieht es bei Zeichenfolgen aus, die aus Einzelzeichen mit gleicher Wahrscheinlichkeit erzeugt werden (z. B. Lottozahlen). Hier liegt keinerlei Redundanz vor, diese Quelle besitzt in der Sprache der Informationstheorie maximale Entropie (»Unordnung«).

Es hat sich eingebürgert, als Maß für den Informationsgehalt (die »Neuheit«) einer Quelle deren Logarithmus Dualis zu wählen; bei einer Quelle mit vier Ereignissen lägen somit ld 4 = 2 bit an Information vor. Ein Beispiel soll verdeutlichen, warum der Logarithmus Dualis gewählt wird, um den Informationsgehalt zu quantifizieren. Stellen wir uns ein Spiel vor, bei dem Sie raten müssen, auf welchem der 64 Felder eines Schachbretts (8 Zeilen x 8 Spalten) ich eine Figur versteckt habe (Abbildung 15a, S. 85). Eine einfache (schlechte) Strategie des Ratens wäre unsystematisches Ausprobieren einzelner Felder. Um nicht wiederholt beim gleichen Feld zu landen, sollten Sie sich die schon abgefragten Felder merken – eine nicht unerhebliche Gedächtnisbelastung! Etwas besser wäre systematisches Abfragen – das würde zwar Ihr Gedächtnis entlasten, aber bei zufälliger Wahl des Verstecks wäre der Erwartungswert für die erlösende Antwort 32 Fragen, d. h. im Mittel wären Sie erst nach 32 Fragen am Ziel! Der Nachrichtentechniker Shannon empfiehlt dagegen ein Vorgehen, bei dem jede Frage den Raum der verbleibenden Möglichkeiten halbiert: Zunächst ist zu fragen, ob das gesuchte Feld in der oberen oder unteren Hälfte liegt. Mit der Antwort »oben« sind bereits 32 Möglichkeiten in der unteren Hälfte ausgeschlossen. Mit der nächsten Frage (linke oder rechte Hälfte des oberen Teils?) werden weitere 16 Möglichkeiten ausgeschlossen, usw. Abbildung 15b (S. 85) verdeutlicht diesen Prozess, der nach der 6. Frage *garantiert* die Lösung liefert!

Warum also der Logarithmus Dualis? Für 2 Alternativen ist ld 2 = 1, d. h. die in 2 Alternativen steckende Information beträgt genau 1 bit, weil wir genau 1 Frage stellen müssen, um die richtige Antwort zu finden. Bei 4 Alternativen ist ld 4 = 2, die 2 bit entsprechen zwei gezielten Fragen, bei 8 Alternativen (ld 8 = 3) sind es 3 bit, also 3 Fragen, die zum Ziel führen usw. Wie man sieht, hat diese Metrik die Eigenschaft, dass der Informationsgehalt von Mal zu Mal um genau 1 bit, also linear ansteigt, wohingegen sich die Zahl der Alternativen jeweils verdoppelt. Bei 256 Alternativen sind es 8 bit an Information, die kodiert werden können – eine Größe, die in der Computertechnik eine wichtige Rolle spielte (und noch spielt: die Internet-Adressen etwa, die jeden einzelnen Computer weltweit identifizierbar machen, werden mit vier Positionen kodiert, deren jede 256 Ausprägungen annehmen kann, also 256 x 256 x 256 x 256 = 4.294.967.296 Möglichkeiten bieten; mein persönlicher Rechner mit der IP-Adresse 147.142.240.007 ist genau eine davon).
Dass die Reaktionszeit linear mit der logarithmierten Alternativenzahl ansteigt, hatte bereits Hick (1952) erkannt und damit ein psychologisches Gesetz aufgestellt, das z. B. in der Ergonomie und beim Design von Bedeutung ist. Nicht die einfache Zahl an Alternativen, sondern der in bit messbare Informationsgehalt ist für den Organismus maßgeblich.
Dass die Informationstheorie sich nur mit der strukturellen Seite von Information befasst, lässt sich gut am *Konzept der Transinformation* erläutern. Transinformation misst, wie viel der von einem Sender gesendeten Information unverändert von einem Empfänger aufgenommen wurde. Sendet ein Sender die Zeichenfolge *abcabc* und der Empfänger empfängt *abcabc*, ist die Transinformation maximal; allerdings bleibt sie auch dann maximal, wenn der Empfänger reliabel *bcabca* »versteht« – aus struktureller Sicht gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden Varianten *abcabc* und *bcabca*, pragmatisch gesehen kann der Unterschied gravierend sein.
Die Stärke der Informationstheorie – Konzentration auf die strukturellen Eigenschaften von Zeichen – ist zugleich ihre Schwäche: Ob es sich bei einem bit um die Alternative »Kaffee oder Tee« oder um »Tod oder Leben« handelt, bleibt außen vor. Für die Nachrichtentechnik ist dies kein Problem; für die Psychologie zeigt sich hier ein Mangel, der durch andere, ergänzende Betrachtungen kompensiert werden muss.

Die Informationsverarbeitungstheorie hat sich in der Vergangenheit als starker Motor bei der Untersuchung kognitiver Prozesse erwiesen. Die aufgezeigten Schwächen machen aber auch auf Grenzen dieses Zugangs aufmerksam, die auf andere Weise überwunden werden können.

Weiterführende Literatur

Mehr zur Informationstheorie findet man bei Attneave (1959) sowie Mittenecker und Raab (1973); zur Informationsverarbeitungstheorie: Dörner (1987), Groner (1978), Lindsay und Norman (1972), Newell und Simon (1972), Schaefer (1985), Simon (1979).

2.6 Problemlösendes Denken auf Maschinen: Kognitive Modellierung

Der funktionalistische Ansatz der Informationsverarbeitung ist eng mit der Vorstellung verknüpft, die Mechanik der Kognition auf Rechnern nachbilden zu können. Die frühen Arbeiten von Newell, Shaw und Simon haben einen Zugang stimuliert, der heute unter dem Stichwort »Kognitive Modellierung« einen eigenständigen Platz in der Kognitionswissenschaft behauptet (vgl. Opwis & Spada, 1994). Kognitive Modellierung stellt den Versuch dar, kognitive Prozesse so genau zu beschreiben, dass sie auf einer Maschine nachvollzogen werden können. Dazu ist eine kognitive Architektur in Form von Strukturen und Operationen zu spezifizieren, mit denen die zur Bearbeitung eines Problems sowie die zur Beschreibung von Zwischenzuständen benötigten Informationen bereitgestellt werden können. Die kognitive Modellierung soll sowohl vom Ablauf wie vom Ergebnis her die Vorgänge menschlicher Problemlöser widerspiegeln. Hierzu sind eine Reihe von Kriterien entwickelt worden, mit denen die Modellpassung überprüft werden kann (vgl. Opwis & Spada, 1994; Schmid & Kindsmüller, 1996; Wallach, 1998).

Zwei wesentliche Zugangsformen zur kognitiven Modellierung haben sich etabliert:[8] *Regelbasierte* Modelle, in denen Symbole nach entsprechenden Regeln manipuliert werden, sowie *konnektionistische* Modelle, die auf der subsymbolischen Ebene arbeiten und die Nähe zu neuronalen Vorgängen herausstellen. Beide Zugänge, die jeweils auch eine bestimmte Art des Theoretisierens ermöglichen, sollen hier unter dem Blickwinkel des problemlösenden Denkens betrachtet werden.

2.6.1 Regelbasierte Modelle

Unter der Überschrift »regelbasierte Modelle« firmieren alle die Ansätze, die kognitive Prozesse (und damit auch problemlösendes Denken) im weitesten Sinne als Produktionssysteme modellieren. Produktionssysteme trennen zwischen Regeln und Daten. Regeln bestehen aus einem Bedingungs- und einem Aktionsteil. Sind die in den Bedingungen verlangten Voraussetzungen erfüllt, wird die im Aktionsteil enthaltene Vorschrift ausgeführt.

Ein einfaches Beispiel soll diese Konzeption erläutern, nämlich die Regel, nach der wir eine Person als Großvater bezeichnen dürfen. Folgende Daten werden zunächst prädikatenlogisch durch die zweistellige Relation VATER_VON (x, y) spezifiziert, wonach *x* Vater von *y* sei:

VATER_VON (Albert, Berthold)
VATER_VON (Berthold, Claus)

8 Neuerdings wird auch das Verfahren der multinomialen Modellierung verwendet (vgl. Batchelder & Riefer, 1999). Für diese Prozedur wie auch für konnektionistische Modellierung kann auf Software zur Tabellenkalkulation (wie z.B. Excel) zurückgegriffen werden (siehe Macho, 2002a).

Um zur besagten Großvater-Eigenschaft zu gelangen, dient folgende Produktionsregel:

WENN (VATER_VON (x, y) und VATER_VON (y, z))
DANN (GROSSVATER_VON (x, z))

Diese Produktionsregel stellt eine Verbindung zwischen den drei abstrakten Werten x, y, z (den sog. Variablen) in folgender Weise her: Wenn x Vater von y und zugleich dieser y Vater von z ist, dann ist x der Großvater von z. Die abstrakten Variablen müssen konkretisiert (instantiiert, gebunden) werden, um im Einzelfall Anwendung zu finden. Für die Instantiierung x = Albert, y = Berthold und z = Claus führt die genannte Produktionsregel zur Bindung der Großvater-Eigenschaft an Albert in Bezug auf Claus. Damit ist eine Inferenz vollzogen und »neues« Wissen entstanden. Eine Produktionsregel kann somit die im Aktionsteil vorgeschriebenen Aktionen A1, A2, ... AN ausführen, wenn die im Bedingungsteil geforderten Bedingungen B1, B2, ... BM erfüllt sind. Diese Bedingungen sind nichts anderes als Elemente der Datenbasis, die ihrerseits bestimmte Sachverhalte repräsentieren und daher auch als *Faktenwissen* des Produktionssystems angesehen werden können. Die verfügbaren Regeln stellen das *Regelwissen* dar und legen fest, zu welchen Aktionen das System fähig ist.

Sobald Elemente der Datenbasis mit dem Bedingungsteil von Regeln übereinstimmen (»matchen«), kann die entsprechende Produktion prinzipiell ausgeführt werden. Ob dies geschieht, entscheidet ein sog. »*Interpreter*«, der über den Grad der Passung, die Auswahl aus einer möglicherweise vorliegenden Konfliktmenge (»Konfliktresolution«) und die konkrete Ausführung zu befinden hat.

Im ersten Schritt muss vom Interpreter der *Grad der Passung* zwischen Datenbasis und Konditionalteilen bestimmt werden. Dieser kann gerade bei analogen Größen unterschiedlich gut ausfallen (z. B. kann die Regel »WENN Auto schneller als 70 km/h, DANN schalte in vierten Gang« durchaus auch bei anderen Geschwindigkeiten zur Anwendung kommen), aber auch bei diskreten Größen kann es Zweifelsfälle geben (ist die eben dargestellte Großvater-Regel etwa auch auf Stiefväter zu übertragen?).

Konfliktresolution muss in einem zweiten Schritt vom Interpreter dann betrieben werden, wenn die in der Datenbasis gegebenen Elemente nicht nur auf die Bedingungen *einer* Produktion zutreffen, sondern gleich mehrere Produktionen abdecken. Die oben genannten Daten über zwei Vaterschaften erlauben vielen anderen Regeln ebenfalls, etwas daraus abzuleiten (z. B. über Mütter). Welche der Produktionsregeln in einem solchen Fall zum Zug kommen, hängt mit den Konfliktlöse-Mechanismen zusammen, auf die hier allerdings nicht näher eingegangen wird (siehe z. B. Wallach, 1998, S. 74–76).

Die *Ausführung* schließlich als dritter Schritt des Interpreters verändert die Datenbasis bzw. führt zu einer externen Aktion des Systems. Dies ist der am wenigsten problematische Teil des gesamten Zyklus, der in Abbildung 16 nochmals in abstrakter Form veranschaulicht wird.

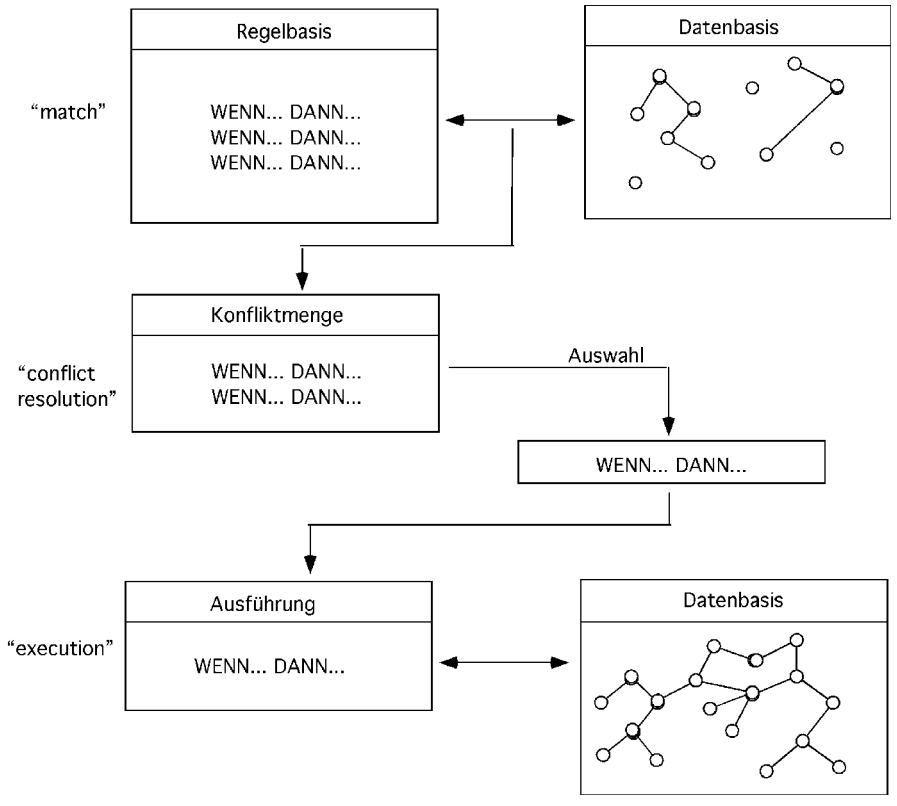


Abbildung 16 Die drei Stufen eines Produktionssystems: a) die Prüfung der Übereinstimmung von Daten mit dem Bedingungsteil von Regeln, b) die Auswahl einer Regel aus einer Konfliktmenge möglicher Regeln und c) die Ausführung dieser Regel mit entsprechenden Änderungen der Datenbasis.

2.6.2 Konnektionistische Modelle

Als konnektionistische Modelle bezeichnet man kognitive Architekturen, die sich an das neurobiologische Prinzip des Gehirns anlehnen, wonach komplexe Funktionen realisiert werden durch das intelligente Zusammenwirken vieler kleiner Einheiten (»units« als neutraler terminus technicus für den biologisch definierten Begriff des Neurons), die selbst nur über elementare Fähigkeiten verfügen. Erste konnektionistische Modellvorstellungen wurden bereits Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt, kamen aber erst in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts mit dem Aufkommen von Rechnern richtig zur Geltung (für geschichtliche Überblicke vgl. Kemke, 1988; Medler, 1998; Strube, 1990).

Die besondere Stärke konnektionistischer Modelle liegt in mehreren Designprinzipien begründet: a) der Tatsache, dass keine festen Regeln vorgegeben werden,

sondern dass sich das System an die Eigenschaften seiner Umgebung anpasst; b) die dadurch gegebene Erfahrungsabhängigkeit (Geschichtlichkeit) des Systems; c) ein durch die Architektur bedingter exzellenter Umgang mit Ähnlichkeiten (z. B. im Kontext unvollständiger Daten oder beim Wiedererkennen von Daten, die gegenüber den Ursprungsdaten verändert sind); d) robustes Funktionieren beim Ausfall von Einheiten (»graceful degradation«). Auf alle Aspekte wird nachfolgend genauer eingegangen.

Anpassung an Umgebungseigenschaften. Hiermit ist gemeint, dass sich während der Lernphase, in der die Koppelung von Stimuli mit Reaktionen »gelernt« wird (z. B. gemäß der Hebbschen Regel, wonach die gemeinsame Erregung zweier Neuronen deren Verbindung stärkt), allmählich wichtige von unwichtigen Merkmalen abgrenzen lassen und das System die prädiktive Valenz (= den Vorhersagewert) einzelner Muster und Musterbestandteile gewichten lernt. Es muss also nicht vorher bekannt sein, auf welche Merkmale es ankommt und welche anderen ignoriert werden können. In einem gewissen Sinn werden »Gestalten« gelernt (man spricht neutral von »Mustern«). Thagard (2000) spricht in diesem Zusammenhang von (lokaler) Kohärenz, die hergestellt wird, und bezieht dies nicht nur auf Wahrnehmungsprozesse, sondern auch auf andere Kognitionen, auf Emotionen und auch auf abstrakte Überzeugungssysteme wie Ethik und Politik.

Geschichtlichkeit des Systems. Konnektionistische Systeme sind lernende Systeme – anders als bei regelbasierten Systemen, bei denen Wissen (woher auch immer es kommt) in Regeln kondensiert wird, sind hier immer vorangehende Lernphasen von z.T. erheblichem Umfang erforderlich, bevor eine bestimmte Leistung (z. B. das Erkennen eines Buchstabens) möglich wird.

Exzellenz bei der Mustererkennung. Aufgrund ihrer Konstruktion als Systeme, die auf bestimmte Eingabesignale mit bestimmten Ausgabesignalen reagieren, sind konnektionistische Modelle ideal geeignet für die Mustererkennung. Frühe Anwendungen lagen im Bereich der Schrifterkennung (z. B. Unterschriften-Identifikation), aber auch bei der Gesichtserkennung oder der Entdeckung von Sprengstoff haben solche Systeme inzwischen ihren festen Platz.

Robustes Funktionieren beim Ausfall von Teilen. Diese Eigenschaft ist insofern interessant, als gerade artifizielle Systeme im Unterschied zu natürlichen Systemen fast nie darüber verfügen. Stirbt nach einem feucht-fröhlichen Abend infolge übermäßigem Alkoholkonsum ein Teil der Hirnzellen ab, ist keinesfalls irgendeine meiner psychischen Funktionen am nächsten Tag *nicht* mehr verfügbar; es mag allerdings zu verringerter Qualität oder erhöhter Zeit kommen, wenn man lesen oder rechnen soll (dies ist die »graceful degradation«, der »gnädige Abbau«). Wird bei einem Computerprogramm auch nur ein Zeichen des Quellcodes zerstört (Verlust oder auch nur Veränderung eines Bits), kann es sein, dass dieses Programm – ganz ungnädig – überhaupt nicht mehr läuft. Werden in einem konnektionistischen System Teile des Netzwerkes entfernt, kann der verbleibende Rest immer noch (wenngleich schlechter als vorher) Leistung zeigen. Dies hängt mit dem Prinzip der verteilten Repräsentation zusammen, nach dem eine bestimmte Information nicht lokal (also unter *einer* Adresse) gespeichert, sondern auf *alle* Zellen verteilt wird.

Wo findet man Anwendungen konnektionistischer Systeme auf problemlösendes Denken? Als aktuelles Beispiel wird auf das konnektionistische Modell EVA (»Evaluation of Actions«) von Schenck (2001) zur Bearbeitung von Tagesplanungsaufgaben eingegangen. Dies ist insofern ein ambitioniertes Vorha-

ben, als die Stärke konnektionistischer Ansätze gerade nicht im Bereich höherer kognitiver Prozesse liegt. EVA macht deutlich, dass auch Planungsprobleme als Mustertransformationen konzipiert werden können. Simuliert bzw. modelliert wird die Planung innerhalb des Computer-Szenarios PLAN-A-DAY, das von Funke und Krüger (1995) für diagnostische Zwecke entwickelt wurde. Abbildung 17 zeigt einen Systemzustand, wie er sich der planenden Person auf dem Bildschirm darstellt.

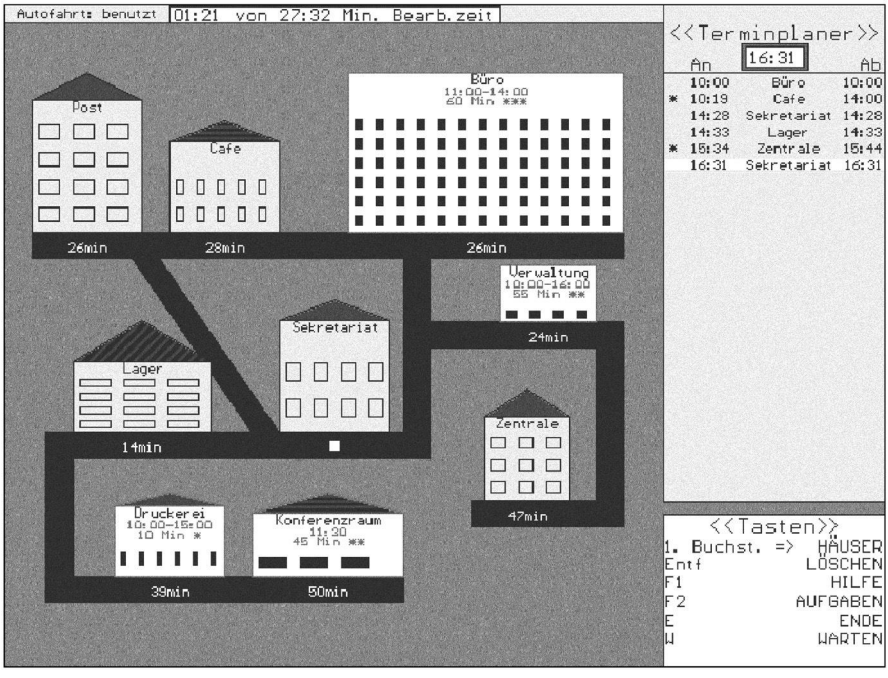


Abbildung 17 Display des Szenarios PLAN-A-DAY: Zwischenstand nach einigen Planungsschritten.

Die Aufgabenstellung sieht vor, einen Tagesplan für einen Satz an Aufträgen zu erstellen. Man beginnt seinen Tag um 10 Uhr im Büro und muss dann überlegen, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Aufträge bis 18 Uhr abends zu erledigen sind. Jeder Auftrag ist durch verschiedene Parameter gekennzeichnet wie z. B. der Erledigungsort, frühest- und/oder spätestmöglicher Erledigungstermin, Dauer der Aktivität sowie Priorität (hoch, mittel, niedrig). Die Wegzeiten zwischen den neun verschiedenen Orten müssen ebenfalls bedacht werden; *eine* Strecke kann mit dem Auto zurückgelegt werden, was die normale Wegzeit auf ein Drittel verkürzt (»Joker«).

Im linken Teil der Abbildung sieht man die neun Orte und das Wegenetz. Der aktuelle Standort »Sekretariat« ist durch ein weißes Quadrat markiert, die Gebäude mit hellen Fenstern stellen die noch offenen Aufträge dar, die mit dunklen Fenstern sind bereits abgearbeitet oder waren nicht beteiligt (es gibt verschiedene

Sätze an Aufträgen, gestaffelt von leichten bis hin zu schweren Tagesplänen). Die Minutenangaben stellen die Wegzeiten dar, die vom gegenwärtigen Standpunkt aus bis zum jeweiligen Ziel verstreichen. Am rechten Rand wird neben der aktuellen Zeit (»16:31«) der bisherige Plan im Detail angezeigt. An den mit »*« markierten Orten wurden bereits Aufträge erledigt. Auch Hinweise zur Bedienung befinden sich dort; wichtig sind die *Lösch-Taste*, mit der das jeweils letzte Element (und dann auch sukzessive weiter Zurückliegende) gelöscht werden kann, die *Warte-Taste*, mit der bei verfrühtem Eintreffen bis zum Beginn des Auftrags gewartet werden kann, sowie die *Ende-Taste*, mit der angezeigt wird, dass der nach subjektivem Ermessen bestmögliche Plan erstellt wurde. Die drei Tasten (Löschen, Warten, Beenden), der Einsatz des Autos (»Joker«) sowie die neun Orte werden im Folgenden als Operatoren angesehen, über deren gezielten Einsatz die planende Person nachzudenken hat und die am Ende in der möglichst besten Abfolge vorliegen sollte.

Ziel der konnektionistischen Modellierung war es, Operatorenfolgen zu erzeugen, die dem Eingriffsverhalten 45 menschlicher Testpersonen möglichst nahe kamen. Das Modell sollte also Sequenzen von Entscheidungen treffen, die jeweils einen Tagesplan darstellen. Diese »simulierten« Tagespläne sollten denjenigen der Testpersonen möglichst vergleichbar sein. Zu diesem Zweck wurden drei konnektionistische Teilnetze A, B und C entworfen, die auf den aktuellen Zustand der PLAN-A-DAY-Welt sowie deren Vergangenheit reagierten und Entscheidungen produzierten. Ein Überblick über diese Architektur gibt Abbildung 18.

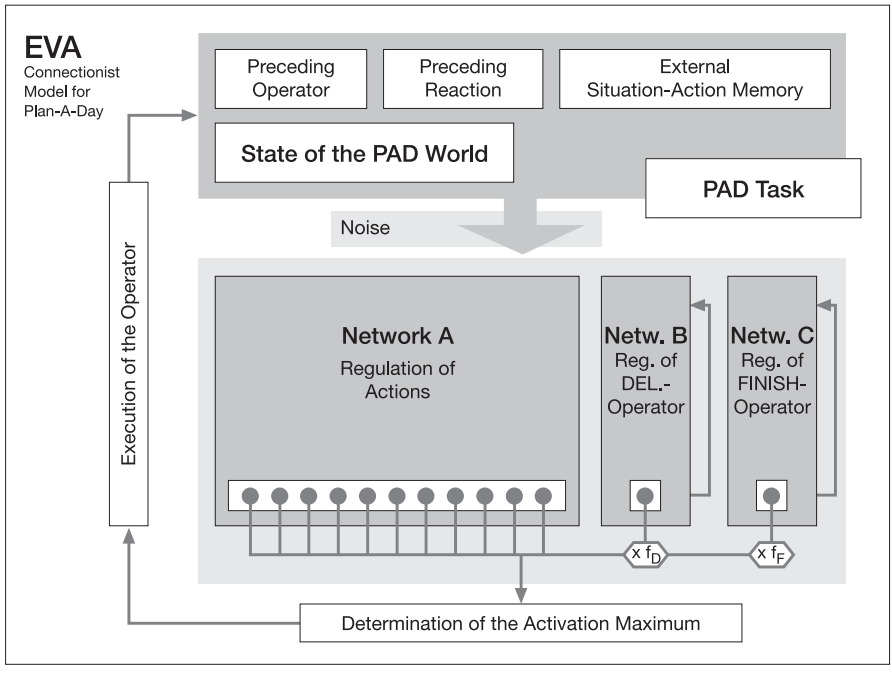


Abbildung 18 Überblick über die Architektur von EVA (aus Schenck, 2001, S. 33).

Teilnetz A ist das umfangreichste Netz und besitzt elf Ausgabeknoten (die elf dicken schwarzen Punkte im Kasten »Network A« der Abbildung 18). Mit diesen Knoten werden die möglichen Aktionen abgebildet (neun mögliche Ortswahlen, Auto-Joker und Abwarten). Teilnetze B und C bilden mit je einem Knoten den Lösch-Operator (Rücknahme einer Entscheidung) bzw. den Ende-Operator ab. Als Input dienen 108 Eingabe-Knoten, die im Wesentlichen den aktuellen Zustand der PAD-Welt, die Restriktionen der konkreten Aufgabe sowie die vorangegangenen Entscheidungen abbilden.

Die in umfangreichen Simulationsläufen gewonnenen Daten von EVA wurden dann hinsichtlich einer Reihe von Parametern zum Planungsprozess (z. B. Anzahl der Löschungen) wie auch zur Planungsqualität (z. B. bester erreichter Endzustand) verglichen. Auch wenn der Vergleich künstlicher mit menschlichen Planungsdaten eine Reihe von Abweichungen aufweist (z. B. unterschiedlich lange Lösch-Sequenzen bei der Korrektur von Plänen), so lässt sich doch insgesamt eine positive Bilanz ziehen: » ... the domains of problem solving and planning are no longer reserved solely for models from the symbol-processing approach« (Schenck, 2001, S. 97 f.).

Dass es inzwischen auch andere erfolgreiche Versuche gibt, konnektionistische Modelle für höhere kognitive Prozesse heranzuziehen, zeigt die Arbeit von Leighton und Dawson (2001); dort wird eine entsprechende Modellierung der in der Urteilsforschung so beliebten Wason-Selection-Task vorgenommen. Leighton und Dawson plädieren übrigens dafür, die Schwierigkeit von Problemen daran festzumachen, wie viel »hidden units« (zwischen Input- und Outputeinheiten liegende Einheiten eines konnektionistischen Modells) zur Repräsentation benötigt werden. Ob dies einen adäquaten Zugang zur Schwierigkeitsbestimmung darstellt, wird sich zeigen.

2.6.3 Kritik des Modellierungsansatzes

Sowohl mit Produktionssystemen als auch mit konnektionistischen Modellen kommt es in formaler Hinsicht zu einer Präzisierung der Modellvorstellungen. Die »Mechanik« der Denkprozesse wird vor allem in den regelbasierten Modellen nachvollziehbar; konnektionistische Modelle dagegen vollbringen zwar eindrucksvolle Leistungen (vor allem im Bereich der Mustererkennung), diese bleiben aber bei umfangreicheren Modellierungen aufgrund des schieren Volumens der Gewichtungsmatrizen undurchsichtig.

Modellierung führt nur dort zu psychologischen Erkenntnissen, wo ein enger Abgleich zwischen Modell und Empirie vorgenommen wird. Der stellenweise hohe Aufwand für kognitive Modellierungen führt gelegentlich dazu, den nach diesem Schritt notwendigen Abgleich mit empirischen Daten zu »vergessen«. Für Modelle auf dem Gebiet künstlicher Intelligenz mag dieses Vergessen verzeihlich sein, für psychologisch motivierte Modelle ist dieser Abgleich unverzichtbar.

Weiterführende Literatur

Zum regelbasierten Ansatz: Anderson und Lebiere (1998), Opwis (1992), Opwis und Spada (1994), Schmid und Kindsmüller (1996). Zum Thema Konnektionismus: Elman et al. (1996), McClelland und Rumelhart (1986), McCloskey (1991), Rumelhart und McClelland

(1986). Einfache Hilfsmittel zur Modellierung mittels der Tabellenkalkulation Excel finden sich bei Macho (2002a, 2002b).

2.7 Handlungstheoretische Ansätze

Mit dem Aufschwung psychologischer Forschungsarbeiten im 20. Jahrhundert und der daher immer größeren Flut an einschlägigen Publikationen war neben dem Gewinn an zahlreichen Detail-Erkenntnissen auch ein Verlust an zusammenhängenden theoretischen Annahmen verbunden. Die im Zuge der wachsenden Spezialisierung einsetzende Zersplitterung psychologischer Teilgebiete ließ das Bedürfnis nach umfassenderen Konzeptionen und Theorien wachsen. Für die Kognitionspsychologie formulierte dies Newell (1990) am eindrucksvollsten in seinem entsprechend betitelten Buch »Unified theories of cognition«. Neuere, noch umfassendere Formulierungen des Wunsches nach einer »unified psychology« finden sich bei Sternberg und Grigorenko (2001).

Als Bezugssystem, das sich für die Integration verschiedener Gebiete der Allgemeinen Psychologie (z. B. Wahrnehmung, Lernen, Gedächtnis, Denken, Problemlösen, Entscheiden, Emotion, Motivation, Sprache) eignet, kommen sog. *Handlungstheorien* in Frage. Diese ordnen psychologische Funktionen bestimmten Abschnitten der Handlungsplanung, des Handlungsvollzugs und der Handlungsbewertung unter, isolieren also nicht bestimmte Teilfunktionen, sondern bestimmen deren Beitrag zur umfassenderen »Gestalt« einer Handlung und ihres Kontextes. Zudem wird in Handlungstheorien von Intentionen gesprochen, die bestimmten Verhaltensweisen Sinn verleihen (zur Abgrenzung von Verhalten und Handlung siehe auch Graumann, 1980, 1984).

Handlungstheorien besitzen somit eine integrative Funktion und können helfen, die eben erwähnte Zersplitterung der Psychologie in separate Teile durch Bereitstellung eines allgemeinen Bezugsrahmens aufzufangen. Wissenschaftshistorisch gesehen ist interessant – so Graumann, Hühn und Jantschek (2001, S. 686) – , dass zu der Zeit, in der John B. Watson in den USA sein radikales Manifest des Behaviorismus formulierte und der Psychologie die Beschränkung auf intersubjektiv unstrittiges Verhalten empfahl (Watson, 1913), der Heidelberger Soziologe Max Weber eine »verstehende« Soziologie auf dem Grundbegriff der Handlung aufbaute (Weber, 1913). Brandstädter (2001, S. 28 f.) macht auf die Vielgestaltigkeit handlungstheoretischer Ansätze aufmerksam, die in so verschiedenen Disziplinen wie Ethnologie, Soziologie, Linguistik und Psychologie entstanden sind. Allein für die Psychologie unterscheidet Brandtstädter (weder trennscharf noch erschöpfend) motivationspsychologische, systemtheoretische, strukturalistische und sozialkonstruktivistische bzw. tätigkeitsorientierte Ansätze.

2.7.1 Konstituierende Merkmale von Handlungen

Was sind allgemeine Kennzeichen einer Handlung im Unterschied zu bloßem Verhalten? Das wohl wichtigste Abgrenzungsmerkmal ist die *Intentionalität*, d. h. die zielgerichtete, absichtsvolle Ausführung (oder auch Unterlassung!) von

bestimmten Verhaltensweisen. Bloßes Verhalten geschieht einfach (man stolpert z. B.), während Handlungen willkürlich ausgeführt werden. Da man analog zum Diktum von Watzlawick (1969) »Man kann nicht nicht kommunizieren!« sich auch nicht *nicht* verhalten kann (solange ein Organismus lebt, erzeugt dieser einen unaufhörlichen Verhaltensstrom), erweist sich der Begriff des Verhaltens als »leerer« Begriff, der allenfalls Belebtes von Unbelebtem zu trennen hilft und sich damit für die Psychologie keinesfalls zur Kennzeichnung ihres Gegenstandsbereichs eignet (Groeben, 1986). Für bewusste Handlungen kann man zudem verantwortlich gemacht werden[9], für bloßes Verhalten dagegen kaum. Das Verfolgen »unbewusster Absichten« kann nach diesen Bemerkungen kaum als Handlung qualifiziert werden.

Ein zweites konstituierendes Merkmal von Handlungen ist nach Brandtstädter (2001) die *Kontrolle*, wodurch Handlungen abgegrenzt werden können von Ereignissen, die einem wie beispielsweise Erröten oder Schwitzen »zustoßen«. In der Kontrollierbarkeit von Handlungen steckt natürlich auch Verantwortlichkeit, die gemäß der Emotionstheorie von Weiner (vgl. auch Schwarzer & Weiner, 1990; 1986) zu den Emotionen Stolz bzw. Schuld und Scham führen kann.

Drittens ist der *Regelbezug des Handelns* zu erwähnen, der die Beziehungen des Handelns zu Regeln, Normen und Konventionen betont: Regulative Regeln bestimmen zulässige Spielräume und gewünschte Abläufe (z. B. gesetzliche Vorschriften, Höflichkeitsregeln), konstitutive Regeln legen Strukturmerkmale fest, die für bestimmte Handlungen notwendig sind (z. B. Heiraten, Walzer tanzen, Elfmeterschießen), damit diese als solche anerkannt werden.

Viertens geht es um die *Polyvalenz* von Handlungen. Danach können Handlungen und Handlungseffekte auf zahlreichen Ebenen gleichzeitig beschrieben werden. Brandtstädter (2001, S. 37) erwähnt als Beispiel einen Klavierspieler und die Folgen seines Tuns: »Aus dem Anschlag der Klaviertasten wird durch kausale Vermittlungen ein akustischer Effekt, unter bestimmten kompositorischen und ästhetischen Kategorien Musik, durch das Zusammenwirken bestimmter physikalischer und psychologischer Faktoren eine ›Störung‹, aufgrund geltender Rechtsnormen der Tatbestand ruhestörenden Lärms usf.«. Handlungen sind generell »überdeterminiert«, da sie gleichzeitig verschiedenen Zielen und Intentionen dienen, die untereinander konfligieren können.

2.7.2 Handlungsphasen

In handlungstheoretischen Ansätzen werden traditionell verschiedene Phasen des Handlungsablaufs differenziert (vgl. Cranach & Tschan, 1997; Dörner & Wearing, 1995; Schaub, 1993; von Wright, 1974; Werbik, 1978). Bereits Dewey hat in seinem Buch »How we think« (1933) dargelegt, dass Menschen beim Problemlösen eine bestimmte Abfolge von Schritten vornehmen. Es beginne – so Dewey – mit einem Gefühl des Zweifels, gehe weiter mit der Identifikation des Problems,

9 Dass dies nicht immer leicht fällt, zeigen die schwierigen Verhandlungen vor Gericht, in denen Juristen unter Mithilfe der forensischen Psychologie den Nachweis führen müssen, ob eine Tat als bewusste Handlung (absichtsvoller Stich in den Bauch) oder als bloßes Verhalten zählt (versehentliches Abrutschen des Küchenmessers).

der Suche nach relevanten Fakten und dem Formulieren erster Lösungsentwürfe, komme dann zur Prüfung der Lösungen und gegebenenfalls zur Neuformulierung des Problems, und es ende schließlich in der Auswahl und Realisierung der als richtig angenommenen Lösung.

Die Annahme verschiedener Phasen des problemlösenden Handelns, von Bales und Strodtbeck (1951) und später von Witte (1972) als »Phasen-Theorem« des Problemlösens bezeichnet, hat sowohl eine deskriptive als auch eine präskriptive Seite: In deskriptiver Hinsicht soll sie die tatsächlich ablaufenden Vorgänge beim Problemlösen beschreiben, präskriptiv ist sie insofern, als diese Abfolge zugleich als Vorschrift für »gutes« Problemlösen dienen soll. Wie Lipshitz und Bar-Ilan (1996) darlegen, ist dieses Theorem zwar in vielfältigen Erscheinungsformen Bestandteil der Problemlöse-Literatur, die empirische Evidenz zugunsten seiner deskriptiven wie präskriptiven Validität ist aber nur gering. Putz-Osterloh (1995, S. 410) spricht zwar von »empirisch unterscheidbaren Phasen«, legt dafür allerdings keine empirischen Evidenzen vor – vielleicht weil es sich eher um logische als um empirische Abgrenzungen handelt. So besitzen die verschiedenen Phasen des Handlungsablaufs, auf die nachfolgend genauer eingegangen wird, zumindest eine ordnende und damit sinnstiftende Funktion. Unterschieden werden hier die Phasen a) Zielausarbeitung, b) Hypothesenbildung, c) Planen und Entscheiden, d) Überwachung sowie e) Evaluation (ähnlich bei Schaub & Reimann, 1999).

a) Zielausarbeitung. Am Anfang einer Handlung steht ein Ziel (motivationspsychologisch: eine angestrebte Bedürfnisbefriedigung; kognitionspsychologisch: ein zu erreichender Zielzustand), dessen Spezifität variieren kann. Je unspezifischer das Ziel formuliert ist (z. B. bei einem offenen Problem), umso mehr Aufwand muss zur Zielausarbeitung betrieben werden. Gerade bei dialektischen Barrieren (also Problemen mit unscharf bestimmten Zielvorgaben) besteht in der Elaboration des Ziels ein Hauptteil der Arbeit.

b) Hypothesenbildung. Im Dienste der angestrebten Zielerreichung steht eine Modellierung der Umwelt, in der gehandelt wird. Hierzu sind Annahmen darüber zu formulieren, welche Zusammenhänge zwischen beteiligten Variablen bestehen, um in angemessener Weise Einfluss auf diese Umwelt zu nehmen. Je nach den Eigenschaften dieser Umwelten (z. B. Simulationen am Computer) ist die Bildung und Prüfung von Hypothesen während der einzelnen Schritte einer Handlung möglich.

c) Planen und ",4,0,2>Entscheiden. Vor dem Hintergrund der entwickelten Hypothesen sind Eingriffssequenzen zu formulieren, die geeignet scheinen, den Ausgangs- in den Zielzustand zu überführen. Diese Vorbereitung zukünftiger Entscheidungen nennt man Planen – eine wichtige Komponente von Handlungen, da in ihr die Vorbereitungen zu einem gutem (im Sinne von zielführendem) Handlungsverlauf stecken. Bei Funke und Glodowski (1990) wird diese Phase als Planerstellung bezeichnet, womit der konstruktive Aspekt unterstrichen werden soll. Allerdings besteht effizientes Planen gerade darin, möglichst viel von alten Erfahrungen zu nutzen (Skriptabruf aus dem Langzeitgedächtnis) und mit einem Minimum an Aufwand »alte« Pläne erneut zum Einsatz zu bringen (in der Informatik wird dieser Aspekt »re-usability« genannt, vgl. Krueger, 1992).

d) Überwachung (Monitoring). Nach der Phase der Planerstellung kommt eine Phase der Planüberwachung, die sicherstellen soll, dass bei der Umsetzung des

Plans in die Tat keine allzu großen Störungen durch »Friktionen« (Clausewitz, 1832/2003) entstehen. Friktionen treten als unvorhergesehene (meist auch unvorhersehbare) Störungen während der Planausführung auf und machen korrigierende Eingriffe bis hin zum Abbruch des Plans erforderlich.

e) *Evaluation*. Die abschließende Phase prüft, ob das Handlungsergebnis mit dem eingangs formulierten Ziel übereinstimmt. Hussy (1998) nimmt in seinem Struktur- und Prozessmodell der Informationsverarbeitung hierfür die Existenz einer eigenständigen »evaluativen Struktur« an.

2.7.3 Kritik an handlungstheoretischen Ansätzen

Dass mit der Hinwendung zu handlungstheoretischen Ansätzen auch Probleme verbunden sein können, macht Greve (2001) am Beispiel der Theorie geplanten Verhaltens (»Theory of Planned Behavior«, TPB; vgl. Ajzen, 1991) deutlich. In dieser Theorie wird Verhalten von Intentionen abhängig gemacht, die ihrerseits wiederum von Einstellungen, Normen und Kontrollüberzeugungen abhängen (siehe Abbildung 19).

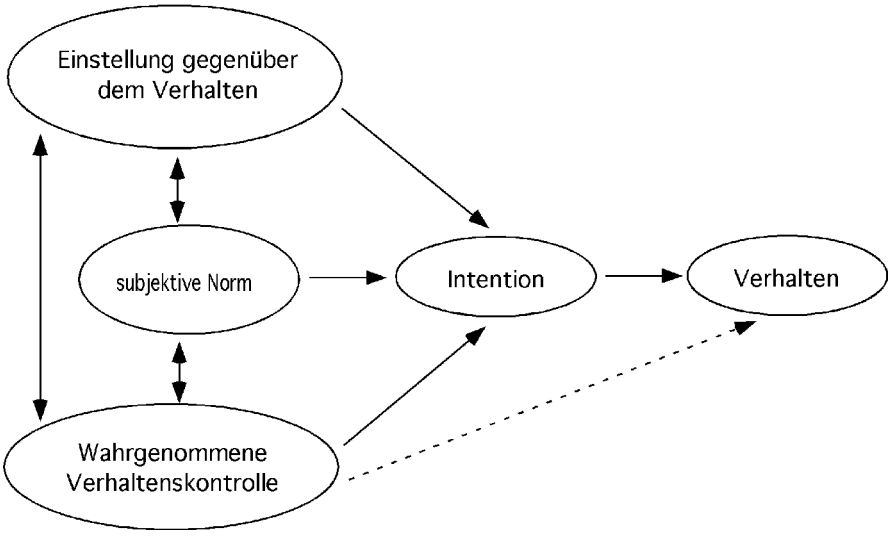


Abbildung 19 Die Theorie geplanten Verhaltens von Ajzen (1991, S. 182) als Strukturdiagramm; die gestrichelte Linie zeigt die Sonderrolle der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle an (siehe Text).

Die wahrgenommene Verhaltenskontrolle spielt insofern eine Schlüsselrolle, als sie in Kombination mit der Intention eine Vorhersage des Verhaltens ermöglichen soll (Ajzen, 1991, S. 184). Ajzen führt als Beispiel zwei Personen an, die beide die starke Absicht haben, Skifahren zu lernen, von denen aber diejenige erfolgreicher ist, die eine höhere Kontrollüberzeugung aufweist.

Ohne allzu sehr ins Detail zu gehen, kann pauschal festgehalten werden, dass die Theorie geplanten Verhaltens vor allem in der Sozialpsychologie recht erfolgreich

zu sein scheint (für einen Überblick siehe Armitage & Conner, 2001; Conner & Armitage, 1998). Greve (2001) macht allerdings auf die Gefahr aufmerksam, die Frage nach einer Verbindung von Intention und Verhalten als eine *empirische* zu betrachten. Vielmehr müsse diese Verbindung als eine logische gesehen werden: Wenn jemand eine Absicht verfolgt, sollte diese *logischerweise* mit der Handlung verbunden sein. Wenn man also feststellt, dass Personen, die sich zu einer Diät verpflichten (Intention), auch zu großen Teilen danach handeln (Verhalten), zumal dann, wenn sie Kontrolle über ihr Verhalten erleben, dann ist dies nah an Pseudo-Empirie und sprachlogischem Apriori (Brandtstädter, 1982): Ist es wirklich sinnvoll, empirisch zu untersuchen, wie viele Junggesellen verheiratet sind? Würde man nicht demjenigen, der einen verheirateten Junggesellen entdeckt haben will, mangelnde Sprachkenntnis vorwerfen?

Diese kritischen Anmerkungen sollen jedoch nicht die grundsätzliche Brauchbarkeit handlungstheoretischer Ansätze für den Bereich problemlösenden Denkens in Frage stellen. Ganz im Gegenteil: Gerade das zentrale Konzept der Intention erweist sich für das Problemlösen als sehr effektiv, ist doch in dem Moment, in dem eine Intention erfolgreich umgesetzt werden konnte, kein Problem mehr gegeben. Umgekehrt kann immer dann, wenn sich bei der Umsetzung von Intentionen Schwierigkeiten ergeben, auch von einem zu lösenden Problem gesprochen werden. Der Vorteil handlungstheoretischer Ansätze, etwa im Vergleich zu Modellen der Informationsverarbeitung, liegt in der gleichzeitigen Berücksichtigung emotionaler und motivationaler Prozesse neben den rein kognitiven Prozessen, auf die sich die Informationsverarbeitungsansätze meist beschränken. Im Sinne von Herrmann (1982) geht es also um handelnde Akteure und deren Intentionen, nicht mehr nur um selbstregulierte Systeme.

Weiterführende Literatur

Brandtstädter (2001), Gollwitzer und Bargh (1996), Groeben (1986), Werbik (1978).

2.8 Evolutionspsychologische Ansätze

Darwin gebührt der Verdienst, zum ersten Mal in der Wissenschaftsgeschichte ein in sich stimmiges System der Evolution von Lebewesen konzipiert zu haben, das nicht von ideologischen Prinzipien geleitet war, sondern die vorliegenden biologischen Befunde zur Artenvielfalt als Grundlage heranzog. Geleitet von Beobachtungen zur Schnabelvielfalt der Finken auf den verschiedenen Inseln des Galapagos-Archipels kam Darwin zu dem Schluss, dass es zwei grundlegende Prinzipien geben müsse, die das Überleben von Lebewesen in verschiedenen Umwelten sicherstellen: a) das Prinzip der *Mutation*, nach dem sich in der Fortpflanzung zufällige Variationen ergeben, und b) das Prinzip der *Selektion*, nach dem sich bestimmte Mutationen als besser angepasst und damit überlebensfähiger (»fitter«) erweisen als andere Mutationen. Die überlebensfähigen Varianten haben aufgrund ihres Reproduktionserfolgs bessere Chancen, ihre Gene weiterzugeben.

Bereits im Schlusswort seiner berühmten Publikation »On the origins of species« kommt Darwin (1859) auf die Konsequenzen seiner Arbeit für die Psychologie zu sprechen: »In the distant future I see open fields for far more important

researches. Psychology will be based on a new foundation.« Auch wenn es einige Zeit gedauert hat, bis die Psychologie sich der Fruchtbarkeit des Darwinschen Ansatzes für ihre eigene Theoriebildung bewusst wurde, gibt es heute viele interessante Arbeiten (Ahrens, 1998; Barkow, Cosmides & Tooby, 1992; Byrne, 1995; Klix, 1985, 1992; Riedl, 1980). Für einen Überblick über den aktuellen Stand der evolutionspsychologischen Forschung schaue man z. B. nach bei Buss (1999).

Was hat die Evolution nun mit problemlösendem Denken zu tun? Wenn man annimmt, dass im Laufe der Evolution menschliches Denken als Teil eines äußerst erfolgreichen Anpassungsprozesses entstanden ist,[10] muss davon ausgegangen werden, dass unsere heutige Art zu denken auf die in den letzten 10.000 Jahren vorherrschenden Lebensbedingungen ausgerichtet ist. Für unsere heutige Welt im 21. Jahrhundert kann dies in einigen Aspekten durchaus dysfunktional sein.

Um trotz der beschränkten Verarbeitungskapazität des menschlichen Gehirns rasche und vernünftige Entscheidungen treffen zu können, haben sich Heuristiken (»Faustregeln«, »rules of thumb«) als nützliche Helfer erwiesen. Diese Heuristiken sind in der überwiegenden Zahl der Fälle hilfreich (sonst wären sie im evolutionären Anpassungsprozess ausgeschieden), führen aber unter bestimmten Umständen auch zu systematischen Fehlern. Die Heuristiken und ihre Schwachpunkte sind im »heuristics and biases«-Programm von Kahneman und Tversky näher untersucht worden, das nachfolgend kurz beschrieben wird und nicht wirklich in die Rubrik »evolutionspsychologischer Ansätze« passt. Ebenso wird auf die Kritik an diesem Forschungsprogramm durch die Forschungsgruppe um Gigerenzer eingegangen und deren Alternativkonzeption ebenfalls kritisch beleuchtet.

2.8.1 Das »heuristics and biases«-Programm von Kahneman und Tversky

Viele unserer Urteile und Entscheidungen müssen wir in einem Zustand der Unsicherheit treffen. Die begrenzte Rationalität menschlichen Urteilens zeigt sich unter anderem daran, dass wir nicht Rechenverfahren der Wahrscheinlichkeitstheorie einsetzen, sondern uns intuitiv auf bestimmte Heuristiken verlassen. Kahneman (Nobelpreisträger für Wirtschaftswissenschaften 2002) und Tversky haben diesen Heuristiken ein ganzes Forschungsprogramm gewidmet, das unter dem Namen »heuristics and biases« firmiert (eine Übersicht findet man bei Kahneman, Slovic & Tversky, 1982). Der zweite Teil dieses Programms – »biases«, d. h. Urteilsfehler – zeigt eine Konsequenz aus dem Einsatz von Heuristiken auf: In bestimmten (eher seltenen) Fällen führen diese Heuristiken zu systematischen Fehlern, die man auch »Kognitive Täuschungen« genannt hat (aktuelle Übersichten bei Dawes, 1998 oder Hell, Fiedler & Gigerenzer, 1993).

---

10 Klix (1992, Kapitel 1) spricht von der Loslösung vom angeborenen Erkennungssystem und der durch das Hirnwachstum möglichen Hinwendung zum individualspezifischen Gedächtnis, das die jeweils besonderen Lebensumstände berücksichtigen kann, weil es lernfähig wird.

Die drei Heuristiken von Kahneman und Tversky

Drei Heuristiken sind von Kahneman und Tversky als zentral erachtet und näher erforscht worden: 1. die Verfügbarkeitsheuristik, 2. die Repräsentationsheuristik und 3. die Verankerungs- und Anpassungsheuristik. Auf alle drei soll kurz eingegangen werden.

Verfügbarkeitsheuristik (»availability«). Diese Heuristik hilft bei der Schätzung von Wahrscheinlichkeiten, indem sie sich an den im Gedächtnis verfügbaren Exemplaren orientiert. Die Leichtigkeit und Schnelligkeit, mit der solche Objekte oder Ereignisse aus dem Gedächtnis abgerufen werden können, bestimmt dann die geschätzte Wahrscheinlichkeit. Als Beispiel nennen Tversky und Kahneman (1973) die Frage, ob es im Englischen mehr Wörter mit »r« an erster Stelle oder mit »r« an dritter Stelle gibt. Leicht verfügbar sind die mit »r« an erster Stelle (aufgrund der vorgenommenen alphabetischen Ordnung unseres Lexikons), daher geht die Antwort in diese Richtung. Leider falsch, denn tatsächlich gibt es etwa doppelt soviel Wörter mit »r« an dritter Stelle, aber Beispiele dafür sind uns eben weniger gut verfügbar (leider gilt die Aussage nicht für alle Buchstaben des Alphabets gleichermaßen, vgl. Sedlmeier et al., 1998, was die Heuristik für diesen Bereich in Frage stellt). Sollen wir die Wahrscheinlichkeit bestimmter Krankheiten oder diejenige von Flugzeugabstürzen einschätzen, orientieren wir uns an den erinnerbaren Fällen. Dies kann ebenfalls zu erheblichen Verzerrungen führen, da z. B. Medienberichte die spektakulären seltenen Ereignisse (Abstürze) höher gewichten als die unspektakulären, aber häufigen Alternativereignisse (unproblematische Flüge).

Repräsentativitätsheuristik (»representativeness«). Diese Heuristik hilft bei der Frage danach, wie wahrscheinlich es ist, dass ein spezielles Ereignis zu einer allgemeinen Klasse von Ereignissen gehört, oder in anderen Worten: Es können Urteile darüber abgegeben werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Stichprobenereignis aus einer zugrunde liegenden Population oder einem erzeugenden Prozess stammt. Geht es etwa darum, die Zufälligkeit einer Würfelsequenz zu beurteilen, lassen wir uns bei der Beurteilung einer bestimmten Zahlensequenz von unseren Vorstellungen über zufällige Ereignisse leiten. Je stärker die konkrete Zahlenfolge davon abweicht (z. B. systematische Folgen oder spezifische Häufungen einzelner Zahlen aufweist), umso eher halten wir die Zufälligkeitshypothese für verletzt. Ob eine Folge von Münzwürfen der Art ZZZKKK (Z = Zahl, K = Kopf) als Zufallsprozess angesehen wird oder ob dies eher bei ZKKZZK der Fall ist, hilft die Repräsentativitätsheuristik zu beantworten: Die letztgenannte Folge entspricht eher unseren Vorstellungen über einen Zufallsprozess als die erstgenannte. Auch die Beurteilung von Personen nach bestimmten typischen Merkmalen erfolgt auf der Basis ihrer Repräsentativität (besser: Typikalität) für die vermutete Bezugsgruppe; Basisraten werden dabei schlichtweg ignoriert. Die Missachtung von Basisraten (»base rate neglect«) kann sogar bei Personen mit statistischer Ausbildung nachgewiesen werden (Tversky & Kahneman, 1971).

Anker- und Anpassungsheuristik (»anchor and adjustment«). Hier wird angenommen, dass die in einer Situation erhaltenen Hinweise auf eine mögliche Lösung der zu beantwortenden Frage als erste Annäherung verwendet werden. Als Beispiel verwenden Tversky und Kahneman (1974) die Frage nach dem Produkt von 1*2*3*4*5*6*7*8. Kritisch dabei ist, dass die Schätzung des Endergebnisses bereits nach 3 Sekunden abgegeben werden soll. Was tut man in dieser Situation?

Man multipliziert die ersten Terme im Kopf und kommt auf der Basis dieser Anfangsrechnung zu einer Schätzung des Ergebnisses, das weit unterhalb der richtigen Antwort (= 40320) liegt. Der »Anker« der niedrigen Zahlen führt hier zur Unterschätzung. Gibt man die gleiche Aufgabe in leicht veränderter Form, nämlich als 8*7*6*5*4*3*2*1, fallen die Schätzungen realistischer aus, da der Anker diesmal größer ist.

Prozessannahmen von Kahneman und Tversky

Interessant sind bei Kahneman und Tversky die Prozessannahmen, die in ihrer zusammenfassenden »*Prospect Theory*« (1979) dargestellt werden. In dieser Prospekttheorie werden zwei Phasen bei Entscheidungen unter Unsicherheit unterschieden: 1. zunächst werden die vorgegebenen Informationen nach bestimmten Regeln enkodiert, transformiert und repräsentiert (Editierung), 2. dann werden die editierten Optionen bewertet (Evaluation).

1. Der *Prozess des Editierens* kann z. B. dazu führen, dass verschiedene Optionen mit gleichem Ausgang zusammengefasst werden (Kombination) oder minimale Unterschiede zwischen Optionen (Lotterie A erlaubt mit p = .49 den Gewinn von 101 Euro versus Lotterie B erlaubt mit p = 0.50 den Gewinn von 100 Euro) als gleich angenommen werden (Vereinfachung). Diese Phase deutet also bereits auf eine erste »Verzerrung« der vorgegebenen Information.
2. Der *Prozess der Evaluation* bestimmt den Wert verschiedener Optionen unter Heranziehung einer sog. »Wertfunktion«. Deren wichtigster Teil ist der Referenzpunkt. Werte oberhalb von diesem Punkt gelten als Gewinn, Werte darunter als Verlust. In beiden Bereichen (Gewinn und Verlust) hat die Wertfunktion unterschiedliche Eigenschaften: Im Gewinnbereich läuft die Wertfunktion konkav (bei geringen Gewinnen wächst der subjektive Wert stärker als im Bereich größerer Gewinne, sog. Risikoaversion), im Verlustbereich konvex (Unterschiede im Bereich geringer Verluste sind ausgeprägter als im Bereich höherer Verluste, erhöhte Risikobereitschaft).

Auch wenn die hier geschilderten Prozessannahmen keinesfalls den Detailliertheitsgrad erfahren, wie sie etwa in aktuellen Modellierungen kognitiver Abläufe erreicht werden, wird doch deutlich, dass Information aktiv be- und verarbeitet wird. Die Bedeutung der gedächtnismäßigen Repräsentation ist jedenfalls durch diese Annahmen hervorgehoben worden. Beispiele für detaillierte und formalisierte Prozessmodelle finden sich z. B. bei Schaub (1993) für das Szenario GARTEN, bei Schoppek (1996, 1997) für das Szenario JOGI oder bei Taatgen und Wallach (2002) für das Szenario SUGAR FACTORY.

Kritik

Das hier nur angerissene Forschungsprogramm (ausführlicher beschrieben etwa bei Jungermann et al., 1998, S. 166 ff.) ist inzwischen vielfach kritisiert worden, da es vor allem die Fehler, nicht aber den Nutzen, der sich aus der Anwendung von Heuristiken ergibt, in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit gestellt hat. Zudem erweisen sich eine Reihe von demonstrierten Effekten als potenzielle Artefakte aufgrund der Tatsache, dass in den meisten Aufgaben nach Wahrscheinlichkeiten anstatt nach Häufigkeiten gefragt wird. Ändert man das Antwortformat von

probabilistisch zu frequentistisch formulierten Texten, kommt es zu drastischen Verschiebungen der Ergebnisse derart, dass die vorher festgestellten Abweichungen von den richtigen Lösungen verschwinden (vgl. Gigerenzer, 1991b). Erklärt wird dieser überraschende Befund mit dem Hinweis darauf, dass Menschen in der Evolution gelernt haben, mit Häufigkeiten umzugehen, Wahrscheinlichkeiten dagegen ein Konstrukt der Mathematik darstellen, auf das die Evolution uns nicht vorbereitet habe.

2.8.2 Pragmatische Urteilsregeln und Betrüger-Entdeck-Mechanismus

Auf einen interessanten Aspekt fehlerhafter Urteile haben Cheng und Holyoak (1985) hingewiesen: Sie vermuten, dass sog. »Pragmatische Urteilsregeln« (*pragmatic reasoning schemas*) die Interpretation von Wenn-Dann-Aussagen bestimmen. Vier solcher Schemata unterscheiden sie:

- Wenn eine Handlung ausgeführt werden soll, müssen die Vorbedingungen erfüllt sein.
- Wenn eine Handlung *nicht* ausgeführt werden soll, brauchen die Vorbedingungen nicht erfüllt zu sein.
- Wenn die Vorbedingungen erfüllt sind, kann die Handlung ausgeführt werden.
- Wenn die Vorbedingungen *nicht* erfüllt sind, darf die Handlung nicht ausgeführt werden.

Mittels solcher pragmatischer Urteilsregeln (Erlaubnis- bzw. Verbotsregeln) kann etwa schnell entdeckt werden, wen ich in einem Restaurant als Polizist ansprechen soll, wenn ich die Einhaltung der Regel »Kein Alkohol an Personen unter 18 Jahren« prüfen soll. Die hierzu von Cheng und Holyoak durchgeführten Experimente wiesen jedoch Schwachpunkte auf, weil sie abstrakte und konkrete Einbettungen der Selektionsaufgabe miteinander verglichen hatten und dadurch eine Konfundierung mit der Abstraktheitsdimension eintrat.

Eine evolutionspsychologische Interpretation der Befunde hat Cosmides (1989; siehe auch Cosmides & Tooby, 1989) vorgenommen. Sie konnte in eigenen Experimenten zeigen, dass die Suche nach falsifizierenden Instanzen von der Aktivierung eines Betrüger-Entdeck-Mechanismus (*cheater detection mechanism*) abhängt, der in ganz bestimmten Situationen sozialer Verträge (z. B. Versprechen, Verbote) angesprochen wird. Die Annahme eines Betrüger-Entdeck-Mechanismus, der in Situationen mit sozialen Verträgen aktiviert wird und die Regelüberprüfung auf falsifizierende Instanzen (nach Betrug also) lenkt, ist auch durch nachfolgende Experimente von Gigerenzer und Hug (1992) gut belegt. Offensichtlich hat die Evolution den Einsatz von bestimmten Heuristiken an das Vorliegen bestimmter Kontexte geknüpft – kein schlechter Gedanke!

2.8.3 Gigerenzer und die ABC Research Group

Gigerenzer, Todd und die ABC Research Group (ABC = Adaptive Behavior and Cognition) haben in ihrem Buch »Simple heuristics that make us smart« (siehe auch Gigerenzer & Selten, 1999, 2001) die Vision einer »ökologischen Rationali-

tät« dargelegt, nach der Organismen durch die Verwendung einfacher Heuristiken in begrenzter Zeit, mit begrenztem Aufwand und wenig Wissen zu brauchbaren Entscheidungen kommen sollen. Ökologisch rational heißt eine Heuristik dann, wenn sie an die Struktur ihrer Umwelt angepasst ist (vgl. Gigerenzer & Todd, 1999, S. 18 f.), indem sie die dort vorhandenen Hinweisreize maximal ausschöpft. Ein Beispiel für eine sparsame, an die Umwelt angepasste Heuristik ist die »*Recognition Heuristic*«, nach der es heißt: Wenn von zwei Objekten das eine wieder erkannt wird und das andere nicht, hat das wieder erkannte einen höheren Wert (nach Goldstein & Gigerenzer, 1999, S. 41). Dies bedeutet: Auf die Frage, ob San Diego oder San Antonio die einwohnerstärkere amerikanische Stadt sei, antworten deutsche Studierende zu 100% korrekt mit San Diego, weil sie San Antonio nicht kennen. Amerikanische Studierende antworten hier nur zu 62% korrekt, da ihnen aufgrund ihrer Kenntnis beider Städte diese Heuristik nicht so gut hilft. Mit Halbwissen kommt man bei der »Recognition Heuristic« also besonders weit und kann aus wenig Information mehr machen.

Eine andere Heuristik wird »*Take-the-Best*« (TTB) genannt. Dort geht es darum, Urteile aufgrund von Hinweisreizen zu treffen, die unterschiedlich verlässlich sind. Als Beispiel dienen wieder Almanach-Fragen über die Einwohnerzahlen von Städten, über die verschiedene Hinweise vorliegen (z. B. hat einen Bundesliga-Club; ist eine Hauptstadt; hat ein Auto-Nummernschild mit einem Buchstaben). TTB fängt mit dem am meisten verlässlichen Hinweisreiz an (diese Validität ergibt sich aus der Trefferquote, mit der das entsprechende Merkmal den Größenunterschied vorhersagen kann; hierüber liegen subjektive Erfahrungswerte vor) und beendet die Suche, sobald für eine der beiden fraglichen Städte ein Unterschied gefunden wurde. Nach Gigerenzer und Goldstein (1999) kommt TTB im Vergleich zu anderen Heuristiken mit dem geringsten Aufwand (nur 2.6 Hinweisreize im Schnitt) und vergleichbar gutem Erfolg (64.5% Treffer) weg – Beleg für die hohe Effizienz dieser Heuristik.

Allerdings gibt es auch gegenteilige Befunde. Bröder (2000a, 2000b) hat die »Take the Best«-Heuristik einer rigorosen Prüfung unterzogen, indem er verschiedene Präzisionsgrade der Theorie zugrunde legte und die empirische Gültigkeit prüfte – von der Annahme einer für alle Menschen geltenden Regel (= stärkste Form, All-Satz) bis zur Annahme einer Regel, die von manchen Menschen in manchen Situationen angewandt wird (= schwächste Form, Existenz-Satz). Im Ergebnis zeigt sich, dass empirische Evidenz nur für die schwächste Aussage zu finden war (»Es gibt Personen, die die TTB-Heuristik verwenden«). Insoweit sind deutliche Einschränkungen hinsichtlich von Reichweite und Gültigkeit solcher Heuristiken vorzunehmen.

2.8.4 Kritik an evolutionspsychologischen Ansätzen

Stanovich und West (1998, 2000) weisen darauf hin, dass mit der evolutionspsychologischen Perspektive der Umwelt eine größere Bedeutung zugewiesen wird: Zu zeigen, dass eine einfache Änderung des Antwortformats (von probabilistisch zu frequentistisch) einen erheblichen Einfluss in Hinblick auf die verbesserte Übereinstimmung mit einem normativen Modell haben kann, heißt zugleich auch, dass keine besondere Unterrichtung und kein spezielles Training in Wahrscheinlichkeitstheorie notwendig sind, um mit unserem Gehirn vernünftige Leistungen zu

erzielen, wie es ja gelegentlich gefordert wurde (z. B. von Nisbett, Fong, Lehman & Cheng, 1987).

So heuristisch anregend und ergiebig die evolutionspsychologische Perspektive auch ist (zum wissenschaftstheoretischen Status siehe Ellis & Ketelaar, 2000; Ketelaar & Ellis, 2000), so sehr ist zu bemängeln, dass Anwendungen dieser Theorie im Bereich des problemlösenden Denkens (gerade auch beim Umgang mit komplexen Problemen) fehlen. Die Theorie sollte sich nicht nur in einfachen Urteilssituationen bewähren, sondern auch in komplexen, dynamischen Situationen, wie sie in Kapitel 4 thematisiert werden.

Weiterführende Literatur

Eine Übersicht zum »Heuristics and biases«-Ansatz findet man bei Kahneman, Slovic und Tversky (1982), bei Hell, Fiedler und Gigerenzer (1993) sowie bei Jungermann und Pfister (1998). Zur Evolutionspsychologie allgemein: Barkow, Cosmides und Tooby (1992), Buss (1999), Gigerenzer und Selten (2001) sowie Gigerenzer, Todd und die ABC Research Group (1999).

2.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel ging es um Theorien des problemlösenden Denkens, um Bezugsrahmen also, die für die konzeptuelle Erfassung des Gegenstandsbereichs zur Verfügung stehen. Die großen Linien werden dabei durch folgende Ansätze markiert:

- *Assoziationismus/Lerntheorie*: Problemlösendes Denken ergibt sich als Umschichtung einer Reaktionshierarchie, deren oberste Reaktion zunächst nicht zielführend ist und daher ein Problem darstellt (siehe Kapitel 2.2).
- *Gestalttheorie*: Problemlösendes Denken stellt sich als Suche nach der guten Gestalt dar. Ein Problem besteht, wenn eine defekte Gestalt vorliegt (siehe Kapitel 2.3).
- *Psychoanalyse*: Problemlösendes Denken bedeutet Bewusstmachung unbewusster Inhalte, Denken wird als Probehandeln betrachtet (siehe Kapitel 2.4).
- *Funktionalismus/Informationsverarbeitung*: Problemlösendes Denken sucht nach Operatoren, die das Problem in Form einer Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand möglichst effizient überbrücken. Problemraum und Operatoren werden formal präzise beschrieben (siehe Kapitel 2.5). Für die formalen Ansätze der kognitiven Modellierung stehen Produktionssysteme und konnektionistische Modelle zur Verfügung (siehe Kapitel 2.6).
- *Handlungstheorie*: Problemlösendes Denken ist Teil einer umfassenderen Handlungsregulation, die darauf bedacht ist, bestimmte Intentionen einer Person möglichst erfolgreich zu realisieren. Probleme stellen Hindernisse in phasenhaft modelliertem Handlungsablauf dar, die durch Denken überwunden werden können (siehe Kapitel 2.7).
- *Evolutionspsychologie*: Problemlösendes Denken erfolgt unter Einsatz von Heuristiken, die sich in der Evolution bewährt haben und in vielen Fällen (aber eben nicht immer) zum Erfolg führen. Je nach Problemtyp werden unter-

schiedliche Heuristiken aktiviert, die in hohem Maße von Kontextfaktoren beeinflusst werden (siehe Kapitel 2.8).

Wie sich aus dieser zusammenfassenden Übersicht ergibt, sind die Grenzen zwischen den verschiedenen Ansätzen nicht immer scharf gezogen. Teilweise sind es die hinter den Ansätzen stehenden Menschenbilder, die ansonsten ähnliche Grundannahmen differenzieren wie z. B. im Vergleich von Funktionalismus und Handlungstheorie (siehe hierzu auch Herrmann, 1982). Spricht der Informationsverarbeitungsansatz etwa von Sollwert-Abweichungen, die es zu beheben gilt, wird eine mechanistische Annahme getroffen. Spricht die Handlungstheorie von Intentionen, die (noch) nicht realisiert sind, wird eine humanistische Annahme getroffen, in der auch Bedeutungen eine Rolle spielen – die Parallelen wie auch Unterschiede zwischen der Sollwert-Abweichung in einem Heizungssystem und der Intention, wegen der frischen Abendluft eine Jacke anziehen zu wollen, sind unübersehbar.

Ohne eine der vorgestellten Theorien besonders herauszustellen, soll am Ende dieses Kapitels festgehalten werden, dass mit ihnen verschiedene Sichtweisen auf den Bereich des problemlösenden Denkens vorliegen, die spezifische Stärken und Schwächen haben. Je allgemeiner diese Rahmenvorstellungen ausfallen, umso eher entziehen sie sich der empirischen oder gar experimentellen Prüfung. Dennoch helfen sie, die vielfältigen Einzelstudien, mit denen uns die psychologische Forschung konfrontiert, in einem allgemeinen Rahmen zu fassen.

3 Paradigmen und Befunde zum Lösen einfacher Probleme

3.1 Paradigmen
  3.1.1 Kryptarithmetische Probleme
  3.1.2 Turm von Hanoi
  3.1.3 Kannibalen und Missionare
  3.1.4 Einsichtsprobleme
3.2 Einstellungseffekte
3.3 Bedeutung der Repräsentation
3.4 Überblick über robuste Befunde zum einfachen Problemlösen
3.5 Methoden zur Erforschung einfachen Problemlösens
  3.5.1 Methoden zur Datenerhebung
  3.5.2 Methoden zur Datenauswertung
3.6 Zusammenfassung

Dieses Kapitel steht ganz im Zeichen »einfacher« Probleme (im Unterschied zum nächsten, das sich der komplexen Probleme annimmt) – Probleme, die in der Frühzeit der Forschung die Erkenntnisse über das problemlösende Denken bestimmt haben. Die Bezeichnung »einfach« mag ein wenig abwertend klingen, so als ginge es um unwichtige Probleme. Tatsächlich ist diese Bewertung aber nicht ganz zutreffend: Zum einen hängt die Bewertung der Einfachheit oder Schwierigkeit immer vom Vorwissen der problemlösenden Person ab, zum anderen wäre es zutreffender, von statischen im Unterschied zu dynamischen Problemen zu sprechen, denn dieses Merkmal unterscheidet in klarer Weise die hier präsentierten Paradigmen und Befunde von denen des nächsten Kapitels.

In diesem Kapitel werden einige Paradigmen zum Lösen einfacher Probleme vorgestellt (siehe Kapitel 3.1), wie sie in der frühen Forschung zum problemlösenden Denken häufig verwendet wurden (und auch durchaus heute noch verwendet werden). Anhand derartiger Paradigmen sind vielfältige Effekte demonstriert worden wie z. B. der Einstellungseffekt (siehe Kapitel 3.2). Auch die Bedeutung der (angemessenen) Repräsentation eines Problems als wichtiger Bestandteil problemlösenden Denkens wird aufgezeigt werden (siehe Kapitel 3.3). Schließlich gibt es einen Überblick über robuste Befunde, auf die sich die klassische Problemlöseforschung stützt (siehe Kapitel 3.4) und einen kurzen Exkurs zu Methoden der Problemlöseforschung (siehe Kapitel 3.5).

3.1 Paradigmen

Von ihren Anfängen an ist die Erforschung des Problemlösens eng verbunden mit der Frage danach, wie die in Theorien postulierten Prozesse sicht- und messbar gemacht werden können. Wie so oft begrenzen die verwendeten Untersuchungsparadigmen das, was über den Gegenstand in Erfahrung zu bringen ist.

Die von der Gestaltpsychologie verwendeten *Probleme mit Trick* sind ein gutes Beispiel dafür. Solange nur solche Probleme zum Einsatz kommen, die in einem einzigen Schritt zu lösen sind, kann über den Lösungsprozess selbst nur wenig gesagt werden. Der »Aha-Effekt«, der etwa beim NEUN-PUNKTE-PROBLEM (siehe Kapitel 2.3) zu beobachten ist, resultiert aus der Art des Problemraums: Wenn ich erkenne, dass zur Lösung die Überschreitung der Ecken des Neun-Punkte-Quadrats erforderlich ist, »fällt der Groschen«. Erkenne ich dieses Prinzip nicht, tappe ich weiter im Dunkeln. Der Problemraum umfasst also im Wesentlichen die diskreten Zustände »falsch« (als Sammelbegriff für alle Zustände, bei denen die Linien innerhalb des Quadrats bleiben bzw. dort, wo sie darüber hinaus gehen, *nicht* die Lösung darstellen) oder »richtig«, aber keine echten Zwischenzustände auf dem Weg vom Ausgangs- zum Zielzustand.

Die von den Informationsverarbeitungstheoretikern favorisierten *sequenziellen Probleme* wie beim »TURM VON HANOI« oder bei den »MISSIONAREN UND KANNIBALEN« machen dagegen die Entdeckung eines »Aha-Effekts« eher unwahrscheinlich, da typischerweise eine schrittweise Annäherung an das Ziel zu beobachten ist und die Entdeckung eines »Tricks« nicht stattfindet. Bei dieser Art von Problemen ist die Zielerreichung kontinuierlich gestuft, da man sich dem Ziel annähern oder sich weiter davon entfernen kann. Der Problemraum enthält differenzierbare Zwischenstufen.

3.1.1 Kryptarithmetische Probleme

Bei einem KRYPTARITHMETISCHEN PROBLEM geht es darum, Buchstaben so zu Ziffern zu dekodieren, dass die bei den Beispielen in Abbildung 20 angezeigte arithmetische Operation gültig ist.

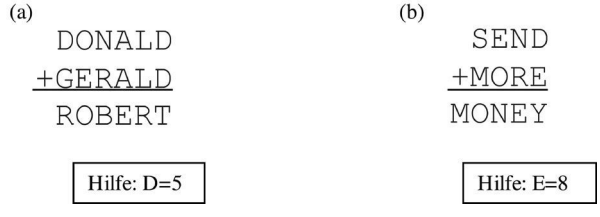


Abbildung 20 KRYPTARITHMETISCHE PROBLEME mit a) sechs- und b) fünfbuchstabigen Zielwörtern: Wie sind die Buchstaben in Ziffern umzusetzen, damit die Addition stimmt?

Das bekannte Puzzle SEND+MORE = MONEY stammt angeblich von H.E. Dudeney und wurde wohl im Juli 1924 erstmals publiziert[11]. Eine Sammlung solcher Aufgaben stammt von Brooke (1963). Derartige meist witzig formulierte Problemstellungen sind natürlich auch mit Wörtern anderer Sprachen möglich

11 Nach Crystal (1998, S. 59) gibt es unter dem Namen Gematria eine bis ins frühe Christentum zurückreichende Praxis, Buchstaben durch Zahlen zu ersetzen. Auch in der mystischen Tradition der Kabbala kommt die Idee vor, dass kryptarithmetisch verschlüsselte Botschaften existieren.

(z. B. WEIN+WEIB = LIEBE; NASEN+SALBE = BRENNT; die Lösung sei der Leserin bzw. dem Leser überlassen).

Kryptarithmetische Probleme können in ihrer Schwierigkeit manipuliert werden durch die Anzahl der Buchstaben, für die bereits eine richtige Ziffer vorgegeben wird, sowie (in geringem Maße) durch Anzahl und Verschiedenartigkeit der Buchstaben, die zu bearbeiten sind.

Heutzutage werden kryptarithmetische Probleme nicht mehr eingesetzt. Eine Datenbank-Recherche in PsycINFO verweist auf die letzte publizierte Arbeit mit diesem Material aus dem Jahr 1991 (Clearwater, Huberman & Hogg, 1991), bei insgesamt nur vier Nachweisen in der kompletten Datenbank. Dies hängt damit zusammen, dass es sich um eine sehr spezielle Sorte von Anforderungen handelt, die man eher als Rätsel denn als Problem bezeichnen würde.

3.1.2 Turm von Hanoi

Der »Turm von Hanoi« (TvH) ist ein Prototyp für Problemstellungen, die nicht in einem einzigen Schritt zu erledigen sind, sondern im Gegenteil eine Serie von Lösungsschritten erfordern. Dadurch, dass die Anzahl der Scheiben variiert werden kann, ist zusätzlich die Schwierigkeit des Problems (im Sinne seines Umfangs) frei skalierbar. Diese zwei Eigenschaften, zusammen mit der Einfachheit der Regeln, erklären die besondere Vorliebe der Denkforschenden für diesen Problemtyp.

Das Problem besteht im Wesentlichen darin, eine gegebene Menge unterschiedlich großer, konzentrischer Scheiben, die der Größe nach geordnet auf einem Ausgangsstab gesteckt sind, unter Nutzung eines Hilfsstabs auf einen Zielstab zu bewegen. Dabei müssen nur zwei Regeln eingehalten werden: 1. Es darf jeweils nur eine Scheibe bewegt werden, 2. es darf nie eine größere Scheibe auf eine kleinere gelegt werden. Abbildung 21 illustriert das Problem durch eine Darstellung des gesamten Problemraums, d. h. aller möglichen Stellungen für den (einfachen) Fall von drei Scheiben.

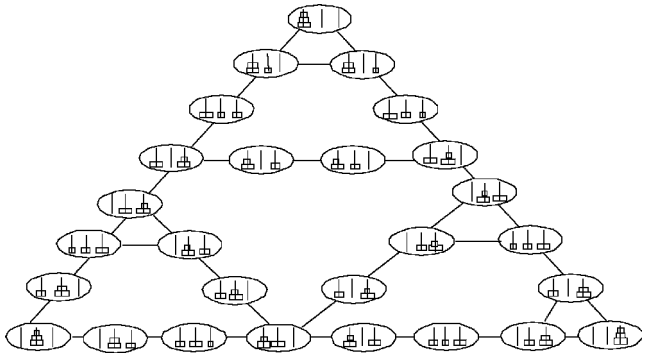


Abbildung 21 Der Problemraum des Turm von Hanoi für drei Scheiben. Dargestellt sind alle zulässigen Konfigurationen der drei Scheiben auf den drei Stäben. Der kürzeste Weg verläuft in sieben Schritten an der Außenkante von oben nach rechts unten. Oben befinden sich die drei Scheiben der Größe nach geordnet auf dem linken Stab (= Ausgangszustand), rechts unten geordnet auf dem rechten Stab (= Zielzustand).

Der in Abbildung 21 gezeigte Problemraum erklärt die Attraktivität des Problems für die Denkforschung: Jeder einzelne Zug des Problemlösers lässt sich als Bewegung in diesem Problemraum darstellen und zugleich daraufhin bewerten, wie weit entfernt er vom geforderten Zielzustand liegt. Außerdem lässt sich für jede beliebige Position zeigen, welcher Pfad am schnellsten zum Ziel führt. Der Problemlöseprozess wird als *Trajektorie* (eine zeitliche Abfolge von Zuständen) in diesem Problemraum beschreibbar.

Das Problem geht auf eine alte Legende zurück, die besagt, dass nach Umlegung der 100 Scheiben des Turms von Hanoi das Ende der Welt kommen werde. Um diese Aussage verstehen zu können, muss der Problemraum noch etwas genauer angeschaut werden. Tatsächlich weist er eine charmante Symmetrie auf, wenn man die Zahl der Scheiben erhöht: Der jeweils nächst größere Problemraum besteht aus drei Teilen, die jeder für sich genommen den nächst niedrigeren Problemraum verkörpern. Dies wird in Abbildung 22 veranschaulicht.

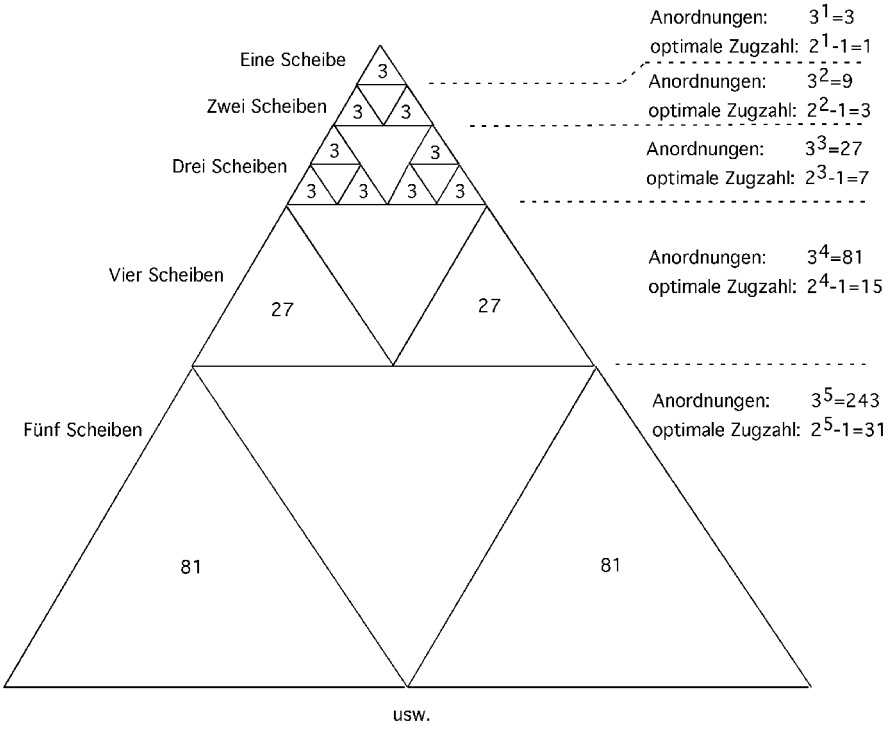


Abbildung 22 Abstrakte Darstellung des Lösungsraums beim TURM VON HANOI. Deutlich sichtbar ist die Symmetrie des Problemraums, dessen Größe mit jeder weiteren Scheibe um eine Dreier-Potenz wächst.

Zurück zur Legende der 100-Scheibenvariante. Nach dem eben Gesagten ist klar geworden, dass die richtige Lösung dieses Problems in der *fehlerfreien* Abfolge von $2^{100}–1 \approx 10^{30}$ Schritten besteht. Angeblich sitzen Mönche aus einem Kloster in Hanoi seit Generationen an der Bearbeitung dieses Problems. Nimmt man für

jeden einzelnen Schritt nur 1 Sekunde Dauer an und unterstellt zudem kontrafaktisch[12], dass seit Beginn des Universums vor rund 10^{18} Sekunden jeweils ein Mönch pro Sekunde einen fehlerfreien Zug macht und dass diese Kette noch nie unterbrochen wurde, so stellt man fest, dass gerade einmal gut die Hälfte des Problemraums abgearbeitet ist.

Der Turm von Hanoi wird auch in der neuropsychologischen Diagnostik von Denk- und Planungsstörungen angewandt (vgl. Kapitel 6.7). Die Einfachheit der geforderten Denkoperationen ist – dort wie auch in »normalen« Anwendungen – Vor- und Nachteil zugleich: Vorteil insofern, als tatsächlich eine einfache, leicht vermittelbare Problemstellung vorliegt, deren Umfang ohne großen Aufwand verändert werden kann (bereits wenige Scheiben mehr erhöhen die Zugzahl exponentiell); Nachteil insofern, als minimales Wissen verlangt wird und die Anforderung daher in ihrer Validität für Alltagssituationen eingeschränkt ist.

3.1.3 Kannibalen und Missionare

Beim Problem der »Kannibalen und Missionare« (KuM) geht es wie beim Turm von Hanoi darum, eine optimale Zugfolge unter Beachtung von Randbedingungen herauszufinden. Es stehen zwei unverträgliche Gruppen von Personen an einer Uferseite und wollen mit einem Boot, das eine beschränkte Platzzahl aufweist, an das andere Ufer. Die Unverträglichkeit beider Personengruppen besteht darin, dass die Kannibalen die Missionare massakrieren, sobald sie zahlenmäßig in der Überzahl sind.

Hat man z. B. je 5 Missionare und Kannibalen sowie ein Boot mit 3 Plätzen (so Jülisch & Krause, 1976), ist folgende optimale Sequenz zu finden (die erste Ziffer steht für die Zahl der Missionare, die zweite für die der Kannibalen am Ausgangsufer, die Angabe »A« oder »Z« steht für die Bootsposition Ausgang oder Ziel): 5/5/A – 5/2/Z – 5/3/A – 5/0/Z – 5/2/A – 2/2/Z – 3/3/A – 0/3/Z – 0/4/A – 0/1/Z – 0/2/A – 0/0/Z. Diese 11 Schritte müssen fehlerfrei absolviert werden, will man die Best-Lösung erreichen. Faktisch benötigen Versuchspersonen in der Untersuchung von Jülisch und Krause (1976) aber deutlich mehr Schritte – bei der semantisch eingekleideten Version, wie sie hier vorgestellt wurde, sogar mehr als doppelt so viel wie bei abstrakten Problemversionen, die offensichtlich die Struktur des Problems besser verdeutlichen.

Reed, Cust und Banerji (1974) haben zwei verschiedene semantische Einkleidungen verglichen (neben Kannibalen und Missionaren gab es eine zweite analoge Version mit Ehemännern und ihren eifersüchtigen Frauen), die sich nicht unterschieden. Interessanterweise verkürzte die Bearbeitung des einen Problems nicht die Schrittzahl beim zweiten analogen Problem.

Die Bewertung dieser Problemstellung erfolgt analog zum Turm von Hanoi: Der Vorteil einer einfachen Problemstellung, die in ihrer Schwierigkeit abgestuft werden kann, wird mit dem Preis geringer Alltagsnähe und damit niedriger Validität für Alltagssituationen bezahlt.

---

12 Kontrafaktisch insofern, als Menschen erst rund 10^{13} Sekunden nach dem Urknall zu existieren beginnen.

3.1.4 Einsichtsprobleme

Einsichtsprobleme auf der Basis einer »Streichholz-Arithmetik« untersucht Knoblich (z. B. Knoblich, 1999). Ein Einsichtsproblem tritt dann auf, wenn nach der ersten Exploration ein Hindernis auftaucht (»impasse«, Sackgasse) und die Lösung subjektiv unmöglich erscheint (vgl. Metcalfe, 1986). Aus diesen Sackgassen kommt man nur durch eine Änderung der Problemrepräsentation wieder heraus. Zwei Beispiele aus der Arbeit von Knoblich, Ohlsson, Haider und Rhenius (1999) sollen dies verdeutlichen (vgl. Abbildung 23).

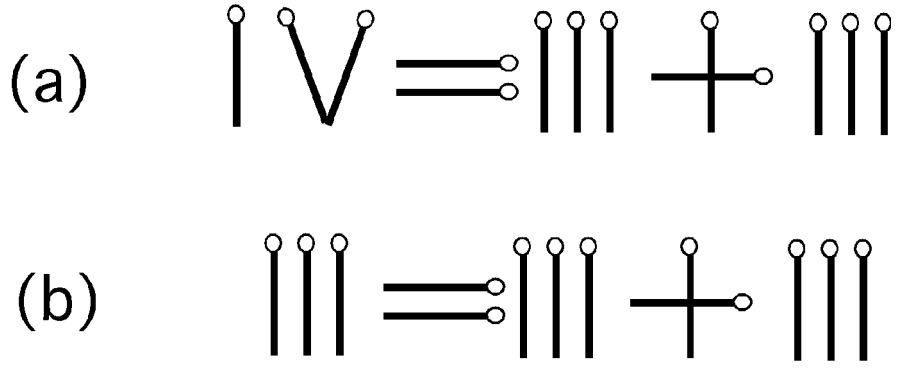


Abbildung 23 Beispiel für »Streichholz-Arithmetik« (nach Knoblich et al., 1999).

Problemstellungen im Bereich der Streichholzarithmetik bestehen aus falschen arithmetischen Ausdrücken, die aus römischen Zahlen (I, II, III usw.), arithmetischen Operationen (+, -) sowie dem Gleichheitszeichen zusammengesetzt sind. Durch Verlegung eines der Streichhölzer soll aus dem falschen ein richtiger Ausdruck gemacht werden. In Abbildung 23a ist etwa aus der IV eine VI zu machen. Dies ist die typische Repräsentation, bei der die Zahlwerte als variabel, die arithmetischen Operationen dagegen als konstant angesehen werden. Lockert man diese Randbedingung auf und lässt zu, dass auch die Operatoren variabel sein dürfen, kann man die Aufgabe in Abbildung 23b dadurch lösen, dass aus dem + ein = gemacht wird. Neben der *Lockerung von Randbedingungen* lässt sich die Problemrepräsentation aber auch durch die *Dekomposition von Chunks* (= zu Gruppen zusammengefasste Einzelelemente) verändern. So werden »lose« Chunks wie »IV« von »starren« Chunks wie »X« unterschieden, deren Zerlegung in »/« und »\« wegen fehlender Bedeutung der Einzelteile schwerer fällt.

Knoblich et al. können auf der Basis dieser beiden postulierten Mechanismen zur Veränderung der Problemrepräsentationen spezifische Vorhersagen über unterschiedliche Aufgabenschwierigkeiten und differenzielle Transfereffekte machen, die sich in den berichteten Experimenten bestätigten. Auch begleitende Blickbewegungsanalysen (vgl. Knoblich et al., 2001) konnten die theoretischen Annahmen in drei Punkten bestätigen: a) An den Sackgassen-Stellen kommt es zu weniger Blickbewegungen und längeren Fixationszeiten, b) aufgrund arithmetischen Vorwissens neigt man dazu, die Zahlenwerte und nicht die Operatoren als die veränderlichen Größen zu betrachten, und c) führen Veränderungen der Prob-

lemrepräsentation aufgrund von Lockerungen der Randbedingungen und aufgrund von Dekompositionen perzeptueller Chunks zu Veränderungen in der Aufmerksamkeitsverteilung.

Erneut ist festzuhalten: Die STREICHHOLZ-ARITHMETIK stellt eine interessante Problemstellung dar, anhand derer elementare Denkprozesse untersucht werden können. Gerade in Verbindung mit Blickbewegungsanalysen gewinnt dieses einfache Paradigma seinen Reiz, da sich Prozesstheorien überprüfen lassen, die sonst kaum der Empirie zugänglich wären. Festzuhalten bleibt aber auch, dass die geringe Menge an Wissen, die diese Probleme zu ihrer Bearbeitung erfordern, zwar forschungstechnisch einen Vorteil darstellt, in Hinblick auf die Aussagekraft für Problemlösen in Alltagssituationen aber wohl kaum vergleichbar ist, da dort wesentlich mehr Weltwissen in die Problemlösung einfließt.

3.2 Einstellungseffekte

Ein Einstellungseffekt liegt vor, wenn bei ähnlichen Problemen ein bestimmtes Lösungsmuster zur Routine wird und selbst dann ausgeführt wird, wenn es einfachere (kürzere) Lösungswege gibt. Von Einstellungseffekten (*problem-solving set*) spricht man seit den bekannten Umfüllaufgaben von Luchins (1942), die in eindrucksvoller Weise aufzeigen, wie sich frühere Erfahrungen mit einem Problem auf dessen Bearbeitung auswirken. Die von Luchins demonstrierten Effekte waren negativer Art, ähnlich wie Dunckers Konzept der funktionalen Gebundenheit (vgl. Kapitel 2.3.2), und scheinen eine Schwachstelle des Problemlösens aufzuzeigen. Sein Versuchsaufbau wird daher nachfolgend etwas genauer beschrieben.

Luchins stellte seine Versuchspersonen vor UMFÜLLAUFGABEN, bei denen eine bestimmte Zielmenge Z durch Umschütten in drei unterschiedlich große Gefäße (A, B, C) zu erreichen war (vgl. Tabelle 5). In den ersten fünf Durchgängen wurde ein bestimmtes Lösungsmuster induziert (Z = B – A – 2C), danach kamen vier kritische Testdurchgänge. Die ersten beiden davon (6, 7) ließen sich mit dem bekannten Schema lösen, aber es gab auch jeweils eine einfachere Variante, die zum Ziel führte (Z = A – C oder Z = A + C). Ein weiterer Durchgang (8) ließ sich mit dem alten Muster nicht mehr lösen, die beiden weiteren Testdurchgänge (9, 10) erlaubten wiederum entweder die alte umständlichere Lösung oder die neue Kurzform.

Tabelle 5 Typische Versuchsanordnung eines UMSCHÜTTPROBLEMS von Luchins (1942), bei dem ab dem sechsten Durchgang eine kürzere Lösungsversion (Z = A – C bzw. Z = A + C) neben der langen Version (Z = B – A –2C) besteht.

	Problem	Gefäßgrößen			Ziel	Lösung	
		A	B	C		lang	kurz
0	Einübung	29	3		20	–	–
1	Einstellung 1	21	127	3	100	x	–
2	Einstellung 2	14	163	25	99	x	–

	Problem	Gefäßgrößen			Ziel	Lösung	
		A	B	C		lang	kurz
3	Einstellung 3	18	43	10	5	x	–
4	Einstellung 4	9	42	6	21	x	–
5	Einstellung 5	20	59	4	31	x	–
6	Test 1	23	49	3	20	x	x
7	Test 2	15	39	3	18	x	x
8	»Problem«	28	76	3	25	–	x
9	Test 3	18	48	4	22	x	x
10	Test 4	14	36	8	6	x	x

Was sich in den Versuchen von Luchins an über 900 Versuchspersonen (Schülern und Studenten) herausstellte, war die Ausbildung einer Routine in kürzester Zeit: Nach nur 5 Durchgängen waren die Schritte so »mechanisiert«, dass etwa 75% der Versuchspersonen darauf beharrten, selbst als es kürzere Wege gab. Kontrollgruppen, die von Anfang an mit den Durchgängen 6–10 aus der Tabelle 5 begannen, wählten zu annähernd 100% von Anfang an den kürzeren Weg.

Wie lässt sich scheinbar so ineffektives Problemlöseverhalten erklären? Sweller und Gee (1978) haben zwei konkurrierende Erklärungen experimentell geprüft. Nach der einen, die auf Hull (1920) zurückgeht, lernen Versuchspersonen eine Serie verwandter Aufgaben leichter, wenn sie in aufsteigender Schwierigkeitsstufung dargeboten werden als umgekehrt (»Sequenzeffekt«). Ein Einstellungseffekt tritt auf bei einem Bruch in der Sequenz. Nach der anderen, die auf Levine (1975) zurückgeht, prüfen Versuchspersonen Hypothesen aus einem den Aufgaben entsprechenden Hypothesenraum (»Hypothesentheorie«). Ein Einstellungseffekt zeigt sich dann, wenn plötzlich Hypothesen aus einem anderen Hypothesenraum benötigt werden.

Sweller und Gee stellen in ihrer Untersuchung fest, dass beide Ansätze nicht unvereinbar sind und sowohl der Sequenzeffekt als auch das Einstellungsphänomen durch eine modifizierte Hypothesentheorie erklärt werden können. Die Modifikation besteht in der Formulierung von zwei Annahmen über das Hypothesentesten (vgl. Sweller & Gee, 1978, S. 514): a) Bei der Bearbeitung einer Reihe als verwandt betrachteter Probleme werden Hypothesen gewählt, die den bisherigen richtigen Hypothesen sehr ähnlich sind. b) Es gibt eine positive Beziehung zwischen der Komplexität des Problems und der Anzahl möglicher Hypothesen: Einfache Probleme erlauben wenige Hypothesen, komplexe dagegen besitzen einen umfangreicheren Hypothesenraum. Ein Sequenzeffekt kommt demnach zustande, weil durch Annahme a) mit jeder schwieriger werdenden Aufgabe schon gleich nah an der Lösung liegende Hypothesen geprüft werden. Gerade bei den schwierigen Aufgaben, die gemäß Annahme b) den größeren Hypothesenraum aufweisen, macht sich dieser Vorteil besonders bemerkbar, weswegen die umgekehrte Aufgabenbearbeitung von schwer nach leicht erheblich mehr Probleme bereitet. Ein Einstellungseffekt kommt demnach zustande, weil Versuchspersonen zunächst einen Lösungsraum mit komplexer Struktur bearbeiten, in dem sie sich gemäß

Annahme a) nah an der zuletzt erfolgreichen Hypothese bewegen und deswegen die »einfache« Lösung der Testaufgaben nicht in Betracht ziehen. Nach dieser Vorstellung sind sowohl Sequenzeffekt als auch Einstellungsphänomen zwei Seiten einer Medaille, die für die *kognitive Ökonomie*, den sparsamen Mitteleinsatz der problemlösenden Person sprechen: Es ist sparsam und vernünftig, die bislang erfolgreichen Hypothesen weiter beizubehalten. Der Gewinn besteht in der schnelleren Bearbeitung aufeinander folgender Probleme; der Preis, den man für diesen Vorteil zahlen muss, ist der Einstellungseffekt.

Auch in anderen Problemstellungen geht es darum, aus bestimmten Beobachtungen Hypothesen zu formulieren und Modelle zu erstellen. So untersuchten etwa Johnson und Krems (2001) Prozesse des »multikausalen abduktiven Denkens« am Beispiel einer »Black Box«. Dabei handelt es sich um eine (Spiel-)Situation, bei der auf einer 8x8-Matrix eine bestimmte Menge »Atome« auf einzelne der 64 Felder unsichtbar verteilt wurden. Deren Position ist zu erschließen durch »Teststrahlen«, die an jedem der 32 äußeren Felder angelegt werden können und gemäß folgender zweier Gesetze reagieren: 1. Trifft ein Teststrahl direkt auf ein Atom, wird er absorbiert. 2. Trifft ein Strahl auf eines der vier Eckfelder neben einem Atom (dessen kreisförmig angelegten Wirkungsbereich), wird es im 90-Grad-Winkel vom Atom reflektiert. Abbildung 24 zeigt ein Beispiel.

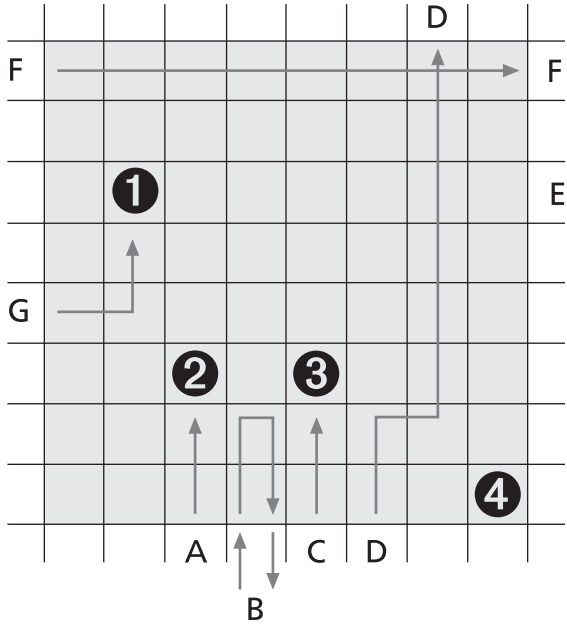


Abbildung 24 Die »Black Box« von Johnson und Krems (2001) mit vier Atomen (schwarze Kreise 1 bis 4) und verschiedenen Teststrahlen (A bis G; trifft ein Teststrahl wie bei A, C oder G ein Atom, wird er absorbiert, der Doppelpfeil wie bei B steht für gleiche Ein- und Austrittsstelle). Für die Versuchsperson sind Atome und Strahlenwege nicht sichtbar, sie sieht nur die Ein- und Austrittsstellen bzw. erfährt von der Absorption.

Mit diesem Aufgabentyp haben Johnson und Krems (2001) zunächst eine Fallstudie mit 5 Studierenden (4 Novizen, 1 Experte) durchgeführt, die 170 zufällig generierte Fälle zu lösen hatten und dabei laut denken sollten. Anhand dieser Daten wurde ein Modell des »Evidenzintegrationsprozesses« erstellt, das Folgendes besagt: Wenn eine neue Evidenz (= ein neues Testergebnis der Black Box) durch eine einfache Hypothese erklärt werden kann, wird ein eventuell schon vorhandenes Modell über die Lage der Atome nicht beachtet. Gibt es dagegen multiple Hypothesen, die aus der neuen Evidenz resultieren, wird ein bestehendes Modell konsultiert. In drei Experimenten, die zum Test dieser Vorhersagen durchgeführt wurden, fand sich nur für den zweiten Teil der Vorhersage empirische Evidenz: Bestehende Modelle werden herangezogen, wenn eine neue Situation nicht eindeutig interpretiert werden kann. Der erste Teil der Vorhersage, wonach ein bestehendes Modell *nicht* benutzt wird, wenn es eine einfache Erklärung für neue Daten gibt, fand dagegen wenig Unterstützung; auch in dieser Situation wurde zumeist ein bestehendes Modell herangezogen.

Johnson und Krems (2001, S. 934) weisen auf die Ambivalenz hin, die in der Kontextabhängigkeit (der Nutzung bestehender Modelle) liegt: Natürlich hilft es, auf der Grundlage bestehender Annahmen den Suchraum einzugrenzen, andererseits macht diese Haltung gegenüber einfacheren Erklärungsmodellen blind.

3.3 Bedeutung der Repräsentation

Was sind die Gegenstände, die beim Denken und Problemlösen bearbeitet werden? Die stellvertretend bearbeiteten »Denk-Gegenstände«, die symbolischen Repräsentationen also, kommen in verschiedenen Formaten daher. Folgt man Anderson (1983), lassen sich die drei folgenden Repräsentationsformate unterscheiden: a) abstrakte Propositionen, die Eigenschaften von Objekten und deren Relationen zu anderen Propositionen abbilden – das, was man herkömmlich sprachliche Repräsentation nennt; b) zeitliche Abfolgen, die die temporale Struktur von Ereignissen festhalten; c) räumliche Bilder, die zwei- und dreidimensionale Gebilde abbilden – das, was man herkömmlich visuelle Vorstellungen nennt. Neben den Begriffen sind es also auch die in Raum und Zeit gefassten Objekte und Ereignisse, die beim Denken manipuliert werden.

Welche Rolle spielt nun die Repräsentation beim Problemlösen? »A *problem representation* is a cognitive structure corresponding to a problem, constructed by a solver on the basis of his domain-related knowledge and its organization. A representation can take a variety of forms.« (Chi, Feltovich & Glaser, 1981, S. 121 f.). Die Bedeutung der Repräsentation zeigt sich etwa anhand isomorpher Probleme, bei denen ein und dieselbe Problemstruktur in verschiedene Kontexte eingebettet ist (vgl. Hayes & Simon, 1976): Kontextabhängig werden jeweils unterschiedliche Repräsentationen erzeugt, die zu anderen Bearbeitungsformen führen.

Amarel (1968) betont am Beispiel der uns bereits bekannten »Kannibalen und Missionare«, dass die Wahl einer angemessenen Repräsentation massive Auswirkungen auf die Problemlöse-Effizienz hat. Er vergleicht insgesamt fünf Formulierungen (F1–F5) dieses Problems, wobei die erste (F1) darin besteht, das Problem in

englischer Sprache zu beschreiben. Die nächste Stufe (F2) formalisiert die umgangssprachlichen Aussagen, indem abstrakte Entitäten für die zwei Personengruppen gewählt und zwei Aktionen (Ein-/Ausladen sowie Flussquerung) unterschieden werden. Auch die Restriktionen werden formalisiert. Dabei wird z. B. deutlich, dass im Fall der Gültigkeit der Nicht-Kannibalismus-Regel (Missionare > Kannibalen) an beiden Ufern diese Bedingung auch auf dem Boot gilt. Daher ist es unnötig, die Bootsfahrten selbst zu betrachten. Durch diese Überlegung werden redundante Aspekte eliminiert und der Problemraum verkleinert. In weiteren Schritten (F3 bis F5) werden zusätzliche Vereinfachungen vorgenommen (wie z. B. Wegfall der Individualität einzelner Kannibalen oder Missionare oder die Symmetrie von Effekten bei Umkehrung der Zeitachse), die den Problemraum immer mehr einschränken. Diese Reduktion und damit Vereinfachung des Problemraums ist das Ergebnis einer verbesserten Repräsentation des Problems. Die einfachste Repräsentation eines Zustands besteht in einem Tripel, das die Zahl der Missionare, der Kannibalen und das bereitstehende zweisitzige Boot am Startufer z. B. als 331 kodiert (3 Missionare, 3 Kannibalen, Boot am Startufer), der Zielzustand wäre somit 000 und die Lösungssequenz lautet 331, 220, 321, 300, 311, 110, 221, 020, 031, 010, 021, 000.

3.4 Überblick über robuste Befunde zum einfachen Problemlösen

VanLehn (1989) hat in einem Übersichtsartikel experimentelle Befunde zusammengestellt, die sich als robust erwiesen haben. Sie fallen in die Gruppen 1. Übungseffekte, 2. Problemisomorphe, 3. Transfer und Problemlösen durch Analogie sowie 4. Unterschiede zwischen Experten und Novizen.

1. *Übungseffekte*. a) Übungseffekte beim Problemlösen machen sich z. B. in reduziertem Auftreten von Verbalisierungen bemerkbar. Dies wird als ein Ergebnis der Prozeduralisierung ursprünglich deklarativer Inhalte angesehen (so Anderson, 1982). Mit zunehmender Übung besteht keine Notwendigkeit mehr, flankierend zur Problembearbeitung zu verbalisieren. b) Übungseffekte zeigen sich auch beim taktischen Lernen einfacher Zugfolgen beim »Turm von Hanoi« oder bei »Kannibalen und Missionaren« (Anzai & Simon, 1979; Reed & Simon, 1976), bei denen Versuchspersonen bereits nach gut drei Wiederholungen das Problem zweimal nacheinander fehlerfrei lösen (Greeno, 1974). c) Das Potenzgesetz der Übung, das ursprünglich für motorische Lernprozesse einen im log-log-Koordinatensystem linearen Zusammenhang zwischen der Ausführungsgeschwindigkeit und der Anzahl an Übungsdurchgängen postulierte (Fitts & Posner, 1967), scheint auch auf kognitive Lernprozesse anwendbar zu sein (Neves & Anderson, 1981; Newell & Rosenbloom, 1981).
2. *Problemisomorphe*. Von Problemisomorphen spricht man, wenn bei zwei verschiedenen Problemräumen eine Eins-zu-Eins-Abbildung zwischen Zuständen und Operatoren besteht, sodass jeweils korrespondierende Problemzustände durch korrespondierende Operatoren verbunden sind. Zu den stabilen Befunden in diesem Bereich zählt die Tatsache, dass Veränderungen der Rahmengeschichte (*cover story*) keinen Einfluss auf die Schwierigkeit nehmen, wohl

aber andere Veränderungen sich erheblich darauf auswirken. Veränderungen der Rahmengeschichte, die *keinen* Einfluss auf die Problemschwierigkeit nehmen, bestehen z. B. im Austausch von »Kannibalen und Missionaren« durch »Menschen und Elfen« (Greeno, 1974; Jeffries, Polson, Razran & Atwood, 1977). Andere Veränderungen wie z. B. äquivalente Varianten des bereits in Kapitel 2.5.7 vorgestellten »Monster-Problems« (Hayes & Simon, 1977) in Form von »Bewegen« (die Monster tauschen Kugeln verschiedener Größe aus) oder »Verändern« (die Monster selbst ändern ihre Größe) führten dagegen zu erheblichen Unterschieden der Bearbeitungszeiten (8,1 Minuten versus 12,1 Minuten, vgl. Kotovsky, Hayes & Simon, 1985, Exp. 4A), vermutlich aufgrund veränderter Repräsentationen. Ähnliche, wenngleich weniger dramatische Befunde mit Isomorphen der »Kannibalen und Missionare« berichten Reed, Ernst und Banerji (1974).

3. *Transfer und Problemlösen durch Analogien.* Transfer zwischen verschiedenen Bereichen kann nie vollständig sein – ein guter Autoverkäufer ist nicht automatisch ein guter Immobilienverkäufer, auch wenn sich bestimmte Fähigkeiten und Anforderungen überlappen. Der unvollständige Transfer entsteht entweder, weil eine Überlappung domänenspezifischen Wissens (= *spezifischer Transfer*, z. B. zwischen Physik und Chemie in Bezug auf mathematische Kenntnisse, die in beiden Bereichen benötigt werden) vorliegt, oder weil ein Effekt auf allgemeinerer Ebene stattfindet (= *genereller Transfer*, z. B. eine Verbesserung logischen Denkens durch Lernen einer Programmiersprache; hierbei gibt es keinerlei überlappendes Wissen). Die von Thorndike begründete Theorie identischer Elemente (Thorndike & Woodworth“,4>Woodworth, 1901) zur Beschreibung spezifischen Transfers liegt in moderner Form (als Produktionssystem) von Singley und Anderson (1989) vor. Nach dieser Theorie fördert vorangegangenes Lernen das nachfolgende nur in dem Maß, in dem die neue Lernaufgabe identische Elemente aus der früheren Aufgabe besitzt. Wechsele ich meinen Videorekorder, kommt es zu größerem positivem Transfer, je mehr bestimmte Elemente (Tasten, Schritte etc.) bei der Bedienung des neuen Geräts identisch zu solchen des alten Geräts sind.
   Was sind die stabilen Befunde hinsichtlich Transfer beim Problemlösen? a) Wenn eine Aufgabe Anforderungen stellt, die Teil einer anderen Aufgabe sind, findet ein asymmetrischer Transfer statt: Training der umfassenderen Aufgabe erleichtert die Bearbeitung der einfacheren Aufgabe stärker, als wenn die Richtung umgekehrt von der einfacheren zur schwierigen Aufgabe führt. b) Negativer Transfer – also eine Verschlechterung der Problemlösefähigkeit durch eine vorangehende *unpassende* Übung – findet *nicht* statt (vgl. Kieras & Bovair, 1986). Dies mag überraschen, wird aber von Singley und Anderson (1989) in ihrer Theorie vorhergesagt. c) Manche Situationen zeigen allerdings, dass Problemlöser nicht immer die effizientesten Strategien wählen. Diesen stabilen Befund nennt man *Einstellungseffekt* (siehe Kapitel 3.2) bzw. funktionale Gebundenheit. d) Schließlich ist wiederkehrend berichtet worden, dass spontanes Erkennen von Analogien zwischen zwei Problemen selten auftritt (z. B. Gentner, 1989; Gick & Holyoak, 1980, 1983). Transfer ist oftmals erst möglich, wenn explizit auf die bestehende Analogie hingewiesen wird (Reed et al., 1974). e) Stabil scheint auch der Befund, wonach spontanes Erkennen von Analogien auf Oberflächenmerkmalen beruht, nicht dagegen auf Tiefenmerkmalen (Ross, 1987).

4. *Experten-Novizen-Unterschiede*. Hier sind zahlreiche Unterschiede wiederholt und stabil nachgewiesen worden, die kurz berichtet werden (zum Überblick siehe auch Reimann, 1998). a) Experten lösen Aufgaben schneller als Novizen – allerdings nur, wenn sie dazu aufgefordert werden; ansonsten benötigen sie gleich viel Zeit (Chi et al., 1982). b) Experten sind genauer als Novizen, sofern es nicht um Entscheidungen unter Unsicherheit geht (Johnson, 1988). c) Zwischen Experten und Novizen bestehen keine Strategie-Unterschiede (Chi et al., 1982), lediglich Personen in einem Übergangsstadium (»Prä-Experten«) scheinen abweichende Strategien zu verwenden (Jeffries, Turner, Polson & Atwood, 1981). d) Metakognitive Fähigkeiten (wie *self-monitoring*) scheinen bei Experten ausgeprägter zu sein (Larkin, 1983). Diese können auch die Schwierigkeit von Problemen besser einschätzen (Chi, 1978). e) Bei der Klassifikation von Problemen orientieren sich Experten an Tiefenmerkmalen der Probleme (z. B. unterschiedliche physikalische Gesetze), während Novizen sich an oberflächliche Merkmale (z. B. Materialunterschiede) halten (Chi et al., 1981). f) Die Wissensstrukturen im semantischen Gedächtnis weisen Unterschiede zu Novizen auf (Chi et al., 1981), die vor allem in den Assoziationen zwischen Konzepten liegen. g) Das episodische Gedächtnis für Probleme und Lösungen ist bei Experten größer: Bereits de Groot (1965) konnte bei Schachexperten zeigen, dass deren Behaltensleistung für Schachkonfigurationen deutlich über derjenigen von Novizen lag – allerdings nur, solange es sich um sinnvoll interpretierbare Stellungen handelte. Bei unsinnigen Konstellationen unterschieden sich beide Gruppen nicht (Wegfall des Wissensvorteils). h) Auch der Abruf bei einer Wiedergabe gelernter Listen zeigt bei Experten deutliche Effekte hinsichtlich der Reihenfolge der genannten Elemente (Chase & Simon, 1973; Reitman, 1976), da sie stärker auf semantische Beziehungen achten. i) Schließlich unterscheiden sich Experten und Novizen hinsichtlich ihrer *chunks*, d. h. der Möglichkeiten einer effizienten Kodierung von Information. Liegt eine ausgefeilte Abrufprozedur vor (z. B. Nutzung einer Gliederung), können Experten erhebliche Mengen an Information speichern, ohne dass unbedingt mehr Chunks gebildet werden müssen (Chase & Ericsson, 1981). Obwohl kein expliziter Nachweis vergrößerter Chunks vorliegt, scheint diese Annahme doch sehr plausibel und ist mit den Ergebnissen zahlreicher Studien konsistent.

Die vorstehend beschriebenen stabilen Befunde der Problemlöseforschung sind in Tabelle 6 noch einmal stichwortartig aufgeführt.

Tabelle 6 Liste von 19 robusten empirischen Befunden klassischer Problemlöseforschung (nach VanLehn, 1989, S. 569).

Übungseffekte
1. Reduzierte Verbalisierungen.
2. Taktisches Lernen.
3. Potenzgesetz der Übung.
Problem-Isomorphe
4. Veränderung der Rahmengeschichte beeinflusst nicht die Schwierigkeit.
5. Andere Veränderungen beeinflussen die Schwierigkeit erheblich.

Transfer und analoges Problemlösen
6. Asymmetrischer Transfer von schwierigen auf leichtere Aufgaben, aber nicht umgekehrt. 7. Kein negativer Transfer. 8. Set-Effekte: Die vertrautere Alternative wird gewählt, selbst wenn bessere Alternativen vorliegen. 9. Spontanes Erkennen potenzieller Analogien erfolgt selten. 10. Spontanes Erkennen von Analogien erfolgt durch Oberflächenmerkmale.
Experten-Novizen-Unterschiede: Problemlöse-Studien
11. Experten sind schneller als Novizen. 12. Experten sind genauer als Novizen. 13. Nur absolut Unerfahrene nutzen andere Strategien, sonst keine Unterschiede zwischen Experten und Novizen. 14. Experten überwachen ihr eigenes Vorgehen besser als Novizen.
Experten-Novizen-Unterschiede: Gedächtnis-Studien
15. Nur Experten klassifizieren Probleme anhand ihrer Tiefenstruktur. 16. Experten haben andere assoziative Strukturen als Novizen. 17. Experten haben besseres Langzeitgedächtnis für Problem- und Lösungs-Episoden. 18. Abruf aus dem Gedächtnis erfolgt bei Experten stärker aufgrund semantischer Beziehungen.
Experten-Novizen-Unterschiede: Chunking
19. Experten haben vermutlich größere Chunks als Novizen.

3.5 Methoden zur Erforschung einfachen Problemlösens

Was sind die charakteristischen Merkmale der weiter oben vorgestellten Untersuchungsparadigmen? Lässt sich aus der Darstellung der verschiedenen Studien etwas über die bevorzugten Methoden zur Erforschung des einfachen Problemlösens sagen? Tatsächlich fallen einige Gemeinsamkeiten der beschriebenen Paradigmen auf, die allerdings noch durch weitere Merkmale der Untersuchungssituation ergänzt werden sollen.

Charakteristische Merkmale der Untersuchungsparadigmen sind a) die geforderte Überführung eines Ausgangs- in den Zielzustand, b) die Mehrschrittigkeit dieser Anforderung, c) die eindeutige Feststellbarkeit der Zielerreichung (bzw. Quantifizierung des Zielabstands). Typisches Beispiel ist der bereits eingangs vorgestellte Turm von Hanoi, bei dem das Problem klar definiert ist als Suche nach derjenigen Schrittfolge, die eine als Ausgangszustand deklarierte Scheibenkonstellation in eine wohldefinierte Zielkonstellation überführt. Zu jedem Zeitpunkt kann anhand des Lösungsraums der Abstand zum Ziel quantitativ bestimmt

werden als die Menge noch verbleibender Schritte bei optimaler Zugfolge. Auch die Versuchsperson selbst ist in der Lage zu erkennen, wann sie das Problem gelöst hat (auch wenn der Zielabstand von ihr möglicherweise nicht quantitativ bestimmt werden kann).

Charakteristische Merkmale der Untersuchungssituation sind die Transparenz der Situation a) in Hinblick auf die zu verwendenden Mittel (Operatoren) und b) in Hinblick auf das zu erreichende Ziel. Auch hier wieder ist der Turm von Hanoi als Beispiel anzuführen: Die in dieser Situation zur Verfügung stehenden Mittel sind die einzelnen Scheibenbewegungen entsprechend der Regeln. Auch das zu erreichende Ziel ist absolut eindeutig formuliert.

Wechselt man die Perspektive von den Paradigmen weg hin zur Untersuchungsstrategie der Forschenden, gilt Folgendes: Variationen in den erzielten Leistungen beim Problemlösen können verschiedene Ursachen haben. Variiert man bei ein und derselben Person den Schwierigkeitsgrad, stellt man systematische Unterschiede fest, die als Anforderungsunterschiede gelten dürfen. Variiert man bei konstant gehaltener Anforderung die Personen, stellt man interindividuelle Unterschiede fest. Variiert man zusätzlich situative Aspekte (z. B. Angst, Lärm), kommt ein moderierender Faktor hinzu.

In der Darstellung der Methoden folgen wir der traditionellen Unterteilung in solche zur Datenerhebung und solche zur Datenauswertung.

3.5.1 Methoden zur Datenerhebung

Wie kommt man in diesen Untersuchungen an die Denkprozesse einer Testperson heran? Mehrere zum Teil simultan verwendbare Zugänge stehen zur Verfügung (vgl. Funke & Spering, in Vorbereitung). Zwei große Klassen von Daten kommen vor allem zum Einsatz: a) Verhaltensdaten, b) subjektive Angaben (Selbstauskünfte). Daneben spielen c) Fallbeispiele, d) Experten-Novizen-Vergleiche und e) Tierversuche eine untergeordnete Rolle.

a) Verhaltensdaten

Der Zugang zu Denkprozessen über Verhalten liefert objektive Daten in dem Sinne, dass jede zur Beobachtung fähige Person derartige Daten produzieren kann. Aussagen über Verhalten heißen objektiv, weil prinzipiell der Wahrheitsgehalt solcher Aussagen geprüft werden kann (»Hat diese Person den Zug gemacht oder nicht?«). Neben Informationen aus sequenziell zu bearbeitenden Problemen (»Log-Daten«) sind natürlich auch Blickbewegungsdaten als nichtreaktive Messverfahren interessant (z. B. Hodgson, Bajwa, Owen & Kennard, 2000; Knoblich et al., 2001; Lüer, Hübner & Lass, 1985; Salvucci & Anderson, 2001); zusätzlich zu Informationen über Fixationsorte und Fixationsfolgen ist auch der Pupillendurchmesser als Maß kognitiver Belastung nützlich (Beatty, 1982; Beatty & Lucero-Wagoner, 2000). Diese Daten bieten sich im Wesentlichen dann als empirische Prüfinstanzen an, wenn aufgrund theoretischer Vorannahmen Erwartungen bezüglich bestimmter Datenmuster bestehen. Eine rein explorative Analyse derartiger Daten ist wegen deren Volumen nicht sinnvoll.

b) Subjektive Angaben

Subjektive Angaben sind in erster Linie Laut-Denk-Protokolle und andere Selbstauskünfte der problemlösenden Personen, die z. B. dem Versuchsleiter über von ihr eingesetzte Strategien berichten oder von ihm befragt werden (Huber & Mandl, 1982). Subjektiv heißen diese Daten deshalb, weil ihr Wahrheitsgehalt nicht direkt von außen nachgeprüft werden kann (Möglichkeit der Täuschung). Aussagen in Form der ersten Person (»Ich habe X gedacht«) muss ein Untersucher zunächst einmal glauben. Subjektiv sind diese Daten auch deswegen, weil die berichterstattende erste Person unabsichtlich Dinge weglassen oder ändern kann, selbst wenn keine Täuschungsabsicht besteht.

Die seit langem in der Denkpsychologie eingesetzten Verfahren der Introspektion (begleitend zum Denkprozess) oder Retrospektion (rückwirkend im Anschluss an einen Denkprozess) öffnen ein Fenster, auf das man nicht aus prinzipiellen Gründen verzichten sollte. Über die Validität dieser Selbstauskünfte bestehen allerdings berechtigte Zweifel. Eine genaue Analyse der Bedingungen, unter denen Laut-Denk-Daten sinnvoll verwendet werden können, findet sich bei Ericsson und Simon (1993). Da es sich bei diesem Verfahren um eine reaktive Messmethode handelt, kommt es zu Rückwirkungen der Erhebungsmethode auf den Problemlöseprozess (siehe Knoblich & Rhenius, 1995). Bei dynamischen Systemen scheint begleitende Verbalisierung die Leistung zu verbessern (McGeorge & Burton, 1989). Ähnlich positive Effekte berichtet Dominowski (1998).

c) Fallbeispiele

Die genaue Analyse von Einzelfällen ist unter heuristischen Aspekten ebenfalls eine brauchbare Technik. Kluwe (1995) erläutert die Bedingungen, unter denen auch mit Einzelfällen theorietestend gearbeitet werden kann. Vor allem im Zuge der Nachbildung menschlicher Problemlöseprozesse auf Rechnern erweist sich der Vergleich zwischen dem Laut-Denk-Protokoll einer Person und den Ausgaben eines Simulationsmodells als hilfreich. Strohschneider (1988) macht sich explizit für Einzelfallanalysen im Rahmen der Wissensdiagnostik stark. Prinzipiell kann man hier auf eine Methodologie zurückgreifen, die vor allem in der Klinischen Psychologie Verwendung findet (Kern, 1997; Petermann, 1996).

d) Experten-Novizen-Vergleiche

Experten-Novizen-Vergleiche stellen eine kontrastive Methode dar, bei der aus dem Vergleich zweier Gruppen mit unterschiedlichem Vorwissen Aussagen über problemlösendes Denken gemacht werden. Beispiele für solche Studien findet man in Kapitel 6.4.3. Dass Experten-Novizen-Vergleiche unter methodischen Aspekten nicht unbedingt die besten Vergleichsgruppen darstellen, machen Bromme, Rambow und Nückels (2001) deutlich. Sie plädieren dafür, zusätzlich Experten-Laien-Vergleiche vorzunehmen, da Laien im Unterschied zu Novizen nicht auf dem Weg zur Expertise sind, also keine Schüler-Rolle gegenüber einem Experten (Lehrer) einnehmen, sondern nur deswegen Wissen benötigen, weil sie eine informierte Entscheidung treffen wollen. Während die Experten-Novizen-Kommunikation auf eine Anhebung des Novizenwissens auf das Niveau des Experten abzielt, geht es in der Experten-Laien-Kommunikation um Verständigung auf Augenhöhe.

Dies dürfte gerade für solche Situationen problemlösenden Denkens von Interesse sein, in denen bereichsspezifische Expertise benötigt und durch Berater zur Verfügung gestellt wird.

Ein weiteres Problem der Experten-Novizen-Vergleiche stellt die Tatsache dar, dass mit dem Merkmal der Expertise häufig andere Faktoren konfundiert sind. Werden etwa Studierende der Betriebswirtschaft mit Professoren dieses Fachgebiets beim Bearbeiten eines komplexen Szenarios verglichen, wie dies z. B. Putz-Osterloh (1987) gemacht hat, ist die höhere Expertise mit einem Altersunterschied von rund 20 Jahren zwischen beiden Stichproben verbunden. Hier ist nicht nur Fachwissen für den beobachteten Unterschied verantwortlich, sondern auch allgemeine Lebenserfahrung.

e) Tierversuche

Wenn man an Köhlers Schimpansenstudien auf Teneriffa denkt, die er zu Beginn des 20. Jahrhunderts dort betrieb, scheint der Gedanke nicht so abwegig, auch aus Tierversuchen Aussagen zum Problemlösen abzuleiten. Klix (1985, 1992) macht in seinen Überlegungen zur Evolution problemlösenden Denkens deutlich, wie sich durch die Ausbildung zunehmend größerer Gedächtnisstrukturen die Anpassungs- und damit Problemlösefähigkeit der Spezies verbessert hat. Bei allem Respekt vor tierischen Problemlösungen bleibt doch festzuhalten, dass bei Menschen (insbesondere bedingt durch die Nutzung sprachlicher Kategorien) qualitative Unterschiede sichtbar werden, die die Aussagekraft von Tierstudien stark begrenzen.

Abschließend ein Zitat von Bertrand Russell zur Tierpsychologie des 20. Jahrhunderts, wonach die Beobachtungsobjekte allesamt die nationalen Charakterzüge des jeweiligen Beobachters aufwiesen (zitiert nach Celli, 1986, S. 82):

> »Die von den Amerikanern untersuchten Tiere laufen rastlos umher, machen sich zu schaffen und mobilisieren dabei eine unglaubliche Menge Energie, um schließlich das gewünschte Resultat rein zufällig zu erreichen. Die von den Deutschen beobachteten Tiere sitzen ruhig da und denken nach, um dann die Lösung der Probleme aus ihrer innersten Tiefe hervorzuziehen.«

3.5.2 Methoden zur Datenauswertung

Neben den allgemeinen Methoden der Datenauswertung experimenteller wie nichtexperimenteller Versuchspläne (Hussy & Jain, 2002) interessieren an dieser Stelle mehr die spezifischen Methoden der Problemlöseforschung. Zu nennen wäre hier beispielhaft ein von Stäudel (1981) entwickeltes Kodiersystem zur Transkription lauten Denkens, zu dem es auch ein Auswertungsprogramm gab (Stäudel, 1985). Leichter zugänglich sind die praktischen Hinweise über die Auswertung von verbalen Daten von Chi (1997). Erwähnenswert ist auch die Verwendung inhaltsanalytischer Verfahren bei Detje (1996), der rund 3.500 Sprichwörter mit Handlungsbezug verschiedenen, theoretisch postulierten Stationen der Handlungsorganisation und insbesondere den auf den einzelnen Stufen zu beobachtenden Handlungsfehlern und Fehlerbewältigungsansätzen zuzuordnen versucht (siehe auch Dörner & Tisdale, 1993).

3.6 Zusammenfassung

Die Forschung zum einfachen Problemlösen bedient sich so unterschiedlicher Problemstellungen wie den Kryptarithmetischen Problemen, dem Turm von Hanoi, Kannibalen und Missionaren oder den Einsichtsproblemen (siehe Kapitel 3.1). Am Beispiel der Umschüttaufgaben konnten Einstellungseffekte demonstriert werden, bei denen sich schon nach wenigen Schritten eine Routine-Lösung ergibt, die später nicht mehr optimal ist, aber dennoch beibehalten wird (Kapitel 3.2). Forschung zum einfachen Problemlösen hat auf die Rolle der Repräsentation hingewiesen und damit den Zusammenhang zur Gedächtnispsychologie hergestellt (Kapitel 3.3). Je nach Abstraktionsstufe stehen andere Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung.

In aller Kürze sind in Kapitel 3.4 robuste Befunde zum einfachen Problemlösen vorgestellt worden, die Übungseffekte, Transfer sowie Experten-Novizen-Unterschiede betreffen. Hierzu liegen zahlreiche Studien aus den genannten Bereichen vor, auf die sich die Forschung stützen kann. Kapitel 3.5 schließlich hat einen kleinen Einblick in die Erhebungs- und Auswertungs-Methoden der Problemlöseforschung geliefert, die auf Verhaltensdaten, subjektive Angaben, Fallbeispiele und Tierversuche zurückgreifen kann.

Weiterführende Literatur

Eine knappe Darstellung einfachen Problemlösens findet man bei Knoblich (2002). Über Problemlösen aus dem Blickwinkel der Evolution schreiben Parker und McKinney (1999). Zu Methoden der Wissensdiagnostik lese man Kluwe (1988). Hinsichtlich verbaler Daten gelten Ericsson und Simon (1993) als Klassiker.

4 Das Lösen komplexer Probleme: Grundlegende Ideen

4.1 Kennzeichen komplexer Probleme
  4.1.1 Komplexität
  4.1.2 Vernetztheit
  4.1.3 Dynamik
  4.1.4 Intransparenz
  4.1.5 Polytelie
  4.1.6 Abschließende Überlegungen zu den Kennzeichen
4.2 Historische Entwicklung
4.3 Kontroverse Standpunkte zur Forschungsmethodik
  4.3.1 Der »richtige« Gegenstand
  4.3.2 Die »richtige« Art der Theorie
  4.3.3 Geeignete Methoden zur Prüfung von Theorien
  4.3.4 Abschließende Bemerkungen zur Kontroverse
4.4 Zusammenfassung

Warum hinterlassen die Untersuchungen mit einfachen Problemstellungen ein Unbehagen? Ist es nicht aufschlussreich genug zu wissen, wie man Streichholzprobleme löst? Kann man nicht die dort gewonnenen Erkenntnisse auf andere Problemstellungen übertragen? Tatsächlich kommt das Unbehagen daher, dass es *prinzipielle* und nicht nur graduelle Unterschiede zwischen einem Streichholzproblem und dem Problem der Überbevölkerung gibt. Aber nicht nur Weltprobleme unterscheiden sich von Streichholzproblemen: Viele alltägliche Probleme (Soll ich wegen besserer Verkehrsanbindung zum Arbeitsplatz umziehen? Liebt meine Partnerin mich wirklich? Wie kann ich die Raten für mein neues Fahrrad finanzieren?) sind von anderer Natur – sie sind von ihrem Problemraum her offen und ihrer Natur nach ebenso wissensintensiv wie emotionsgeladen. Welche Aussagekraft haben also die Bearbeitung des (geschlossenen) Turm von Hanoi oder eines (wissensarmen) kryptarithmetischen Problems für die Bewältigung von alltäglichen Problemen?

Die hier aufgeworfene Frage nach der Validität einfacher Problemstellungen in Hinblick auf lebensweltlich bedeutsamere Probleme war eine der Triebfedern für die Entstehung eines neuen Forschungszweigs. Die ersten Arbeiten dazu erschienen im Jahre 1975 (Dörner, 1975; Dörner, Drewes & Reither, 1975). Diese Datierung ist sicher nicht ganz zufällig: Zum einen war dies eine Zeit, in der man auch als Psychologe und nicht nur als Physiker Zugang zu Großrechnern erhielt, zum anderen wurden Anfang der 70er Jahre etwa durch die Arbeiten des »Club of Rome« die Grenzen des Wachstums aufgezeigt (z. B. Meadows, Meadows, Zahn & Milling, 1972). Die »Ölkrise« 1973 tat ein Übriges, indem sie auf die Abhängigkeit der Erste-Welt-Länder von der Rohölversorgung und auf das Problem nicht erneuerbarer Ressourcen verwies.

Was in diesen frühen Arbeiten geleistet wurde, war bahnbrechend. Versuchspersonen mussten keine Puzzles lösen oder Scheiben vom Ausgangs- auf den Ziel-Stab verschieben, sondern sie wurden in eine Art Rollenspiel versetzt, bei dem sie

mal einen Entwicklungshelfer in Schwarzafrika, mal eine Bürgermeisterin einer deutschen Kleinstadt, mal den Chef einer kleinen Hemdenfabrik spielen sollten. Das Besondere an diesen Rollenspielen: Sie erfolgten computergestützt, d. h., ein Computerprogramm simulierte den jeweiligen Gegenstandsbereich, und zwar sowohl dessen *strukturelle Abhängigkeiten* (z. B. die Abhängigkeit der Hemdenproduktion vom Rohmaterial, den Maschinen und den daran Arbeitenden) als auch dessen *zeitliche Dynamik* (z. B. die allmähliche Absenkung des Grundwasserspiegels beim Bau von Brunnen).

Die Verwendung computersimulierter Szenarios stellt nicht nur eine inhaltliche Veränderung des Gegenstandsbereiches dar (weg von einfachen und hin zu komplexen Problemen), sondern ist zugleich auch eine methodische Bereicherung, nämlich durch das Instrumentarium der Simulation einer komplexen Umgebung unter kontrollierten Bedingungen (eben den Regeln des Simulationsprogramms). Beide Aspekte – neuer Gegenstand und neue Methode – haben Bewegung in die Forschung gebracht und neben zahlreichen Befunden auch zu intensiven Diskussionen über die »richtige« Vorgehensweise bei der Untersuchung komplexer Probleme geführt. Über beide Aspekte soll in diesem Kapitel berichtet werden.

4.1 Kennzeichen komplexer Probleme

Die Bezeichnung »Komplexes Problemlösen«, die diesem Gebiet gegeben wurde, erweist sich eigentlich als unglücklich, denn ob das Problemlösen tatsächlich komplexer als bei anderen Aufgaben erfolgt, ist längst nicht erwiesen.[13] Inzwischen hat sich dieser Begriff zur Kennzeichnung dieses Forschungsgebietes allerdings eingebürgert. Gemeint ist eigentlich die Komplexität der Anforderung, die im Vergleich zu den Anforderungen beim »einfachen« Problemlösen erheblich größer ausfällt. Als zentrale Anforderungen sind folgende Kennzeichen komplexer Probleme zu erwähnen:

- *Komplexität* der Problemsituation. Diese ist traditionell durch die Anzahl beteiligter Variablen bestimmt worden. Sicherlich mag dies einen ersten Anhaltspunkt für die Einschätzung der Schwierigkeit eines Problems abgeben, aber erst die Hinzunahme weiterer Kennzeichen erlaubt verlässlichere Aussagen. Komplexität verlangt Vereinfachung durch *Reduktion* auf das Wesentliche.
  Beispiel: Ein privater Umzug ist sicher weniger komplex als der Regierungsumzug von Bonn nach Berlin. Reduktion auf das Wesentliche heißt hier: Geplant wird auf einer gröberen Abstraktionsebene, nicht für jedes einzelne Objekt wird eine Detailplanung gemacht.
- *Vernetztheit* der beteiligten Variablen. Natürlich ist nicht die bloße Anzahl von Variablen für die Anforderungen an die problemlösende Person ausschlagge-

13 Bereits Bühler (1908, S. 108) schreibt: »Jedenfalls aber wäre die Annahme, eine schwere Aufgabe sei immer eine solche, die einen komplizierten Prozess erfordere, während die Leichtigkeit mit Einfachheit der Prozesse zusammenfalle, durchaus irrig.«

bend, sondern vor allem deren Vernetzung untereinander. Ist bei einem System von 100 Variablen jede Variable mit genau einer anderen verbunden, so ist die Vernetztheit niedriger, als wenn alle Variablen mit allen anderen verbunden sind. Vernetztheit verlangt *Modellbildung,* durch die die wechselseitigen Abhängigkeiten sichtbar gemacht werden.
Beispiel: Die Vernetztheit bei einem 1000-teiligen Puzzle fällt geringer aus als diejenige einer Uhr mit »nur« 500 Teilen, da bei letzterer eine große Zahl unterschiedlicher Funktionen mitbedacht werden muss. Ohne ein Modell dürften die Teile der Uhr kaum zusammensetzbar sein, die Puzzlestücke dagegen schon.

– *Dynamik* der Problemsituation. Dieses Merkmal beschreibt die Tatsache, dass die Eingriffe in ein komplexes, vernetztes System Prozesse in Gang setzen, deren Auswirkungen möglicherweise nicht beabsichtigt waren. Eine besondere Variante stellt die Eigendynamik dar, mit der zum Ausdruck kommt, dass in vielen Fällen ein Problem nicht auf die problemlösende Person und ihre Entscheidungen wartet, sondern sich die Situation über die Zeit hinweg von selbst verändert. Dynamik verlangt den *Einbezug des Faktors »Zeit«*.
Beispiel: Bei einer Hochwasser-Situation kann der Katastrophenstab die weitere Entwicklung gut vorhersagen, wenn der Wasserstand am Oberlauf und bei den Zuflüssen bekannt ist. Diese Dynamik macht Hochwasser-Lagen zu (unter dem Zeitaspekt) »harmlosen« Katastrophen im Unterschied etwa zu Explosionen, bei denen in kürzester Zeit folgenschwere Kettenreaktionen ausgelöst werden können. Viele Prozesse in der Natur weisen Eigendynamiken auf. So warten Waldsterben oder Ozonloch nicht darauf, bis groß angelegte Forschungsprogramme die Ursachen benannt haben, sondern entwickeln sich einfach weiter (Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen, 1999).
– *Intransparenz* in Hinblick auf die beteiligten Variablen wie auch in Hinblick auf die Zielstellung. In einer komplexen Situation liegen nicht alle erforderlichen Informationen vor, die der problemlösenden Person idealerweise zur Verfügung stehen sollten. Intransparenz verlangt *Informationsbeschaffung.*
Beispiel: In einer medizinischen Notfallsituation liegen der Notärztin u.U. nur einige wenige Parameter vor, die Auskunft über den Zustand des Verletzten geben – einige Informationen könnten mit entsprechendem Aufwand beschafft werden (z. B. Röntgenbilder), andere stehen selbst mit modernsten Techniken nicht zur Verfügung (z. B. Belastbarkeitsgrenzen aller Organe).
– *Polytelie* (= Vielzieligkeit). Intransparenz gibt es auch in Hinblick auf die zu erreichenden Ziele. In einer komplexen Situation gibt es meist nicht nur *ein* Ziel, sondern es müssen mehrere Ziele simultan beachtet werden. Polytelie verlangt das *Abwägen und Balancieren* von eventuell kontradiktorischen *Zielen*.
Beispiel: Als Führungskraft in einem Unternehmen (z. B. Lufthansa) muss man einerseits an eine gute Honorierung von Mitarbeitenden (z. B. Piloten) denken, andererseits darf dies nicht soweit führen, dass kein Gewinn mehr abfällt oder die Gehaltsunterschiede zu anderen Mitarbeitenden (z. B. Kabinenpersonal) zu groß ausfallen.

Diese Anforderungen stehen in deutlichem Kontrast zu denjenigen, die etwa bei klassischen Intelligenztests in den jeweiligen Aufgabenstellungen zum Ausdruck kommen. Alle genannten Anforderungen sollen nachfolgend vertieft werden.

4.1.1 Komplexität

Komplexität ist ein schwieriger Begriff – nach Casti (1979, S. 40 f.) ist es der am meisten strapazierte und zugleich am schlechtesten definierte Begriff der Systemtheorie:

> »Of all the adjectives in common use in the systems analysis literature, there can be little doubt that the most overworked and least precise is the descriptor ›complex‹. In a vague intuitive sense, a complex system refers to one whose static structure or dynamic behavior is ›unpredictable‹, ›counterintuitive‹, ›complicate‹, or the like. In short, a complex system is something quite complex – one of the principal tautologies of systems analysis!«

Vielfach – und völlig unzureichend – ist die reine Anzahl beteiligter Variablen als Komplexitätsmaß angeführt worden (zur Kritik dieses Operationalisierungsvorschlags siehe Funke, 1984; Kotkamp, 1999, S. 27; Strauß, 1993, S. 38 f.; Wallach, 1998, S. 130). Natürlich ist nicht von der Hand zu weisen, dass die Variablenzahl mit der Komplexität konfundiert ist. Häufig werden die nachfolgend beschriebenen Merkmale der Vernetztheit und Dynamik mit in die Definition eines komplexen Systems einbezogen, wie dies etwa Vester (2002, S. 25) tut:

> »Wie jeder Organismus besteht ein komplexes System aus mehreren verschiedenen Teilen (Organen), die in einer bestimmten dynamischen Ordnung zueinander stehen, zu einem Wirkungsgefüge vernetzt sind. In dieses kann man nicht eingreifen, ohne dass sich die Beziehung aller Teile zueinander und damit der Gesamtcharakter des Systems ändern würden. ... Komplexe Systeme verhalten sich nun einmal anders als die Summe ihrer Teile.«

Komplexität hängt nur bedingt vom Gegenstand ab, um den es geht. In einer klassischen systemtheoretischen Arbeit macht Ashby (1974, S. 98) darauf aufmerksam, dass ein und dasselbe System einer Familie von 5 Personen entweder als aus 5 Teilen bestehend (und damit als »einfach«) betrachtet werden kann oder als aus 10^{25} Atomen bestehend (und damit als »sehr komplex«). Auch das Gehirn eines Tieres kann – wie wir gehört haben – verschiedene Komplexitätsgrade annehmen, je nachdem ob es von einem Schlachter zerlegt wird, der mit einer groben Auflösung effizient seine Aufgaben erfüllt, oder ob es von einem Neurophysiologen betrachtet wird, der sich für die mikrostrukturellen Eigenschaften interessiert und sich damit eine wesentlich größere Komplexität »schafft«. Die überwältigenden Aspekte von Komplexität betont auch Ashby (1974, S. 98): Er würde ein System »als ›sehr umfangreich‹ bezeichnen, wenn es in gewisser Weise durch seine Kompliziertheit und Komplexität über ihn [den Betrachter, JF] triumphiert.«

Riedl (2000, S. 4 f.) macht darauf aufmerksam, dass Komplexität »ein in unserer Welt nicht nur weit verbreiteter und vielfältiger Zustand von Gegenständen [ist], sie ist auch stets polymorph, sodass ihrer Bestimmung erst eine ganze Reihe von Merkmalen genügen kann.« Neben Formen von Ordnung gehören dazu verschiedene Kennzeichen wie Historizität (mit den Submerkmalen Irreversibilität, Phasenübergänge und Emergenzen), hierarchische Organisation sowie Systembedingungen im engeren Sinn (innere Zustände, Trends, Beschränkungen, Freiheitsgrade eines Systems). Komplexität schildert Riedl (2000, S. 6) als allumfassendes Phänomen: »Wir fressen Komplexität, wir leben von ihrem Abbau. Aber wir müssen sie auch erzeugen«.

Natürlich versucht die Allgemeine Systemtheorie, den Komplexitätsbegriff schärfer zu fassen und führt eine Vielzahl von Unterscheidungen ein, z. B. statische

versus dynamische Komplexität, strukturelle versus funktionelle Komplexität, Kontrollkomplexität, Aufgaben- versus Verhaltenskomplexität (vgl. auch Horgan, 1995), die hier nicht behandelt werden sollen. Es mag reichen, mehr Vorsicht bei der Verwendung des Terminus walten zu lassen und die einschlägige systemtheoretische Literatur (z. B. McMenamin & Palmer, 1984; Robertson & Robertson, 1996; Zwicke, 1981) zu beachten, wie dies bereits im Ansatz von MacKinnon und Wearing (1985) vorgeführt wurde, der in die Konstruktion eines einfachen Differenzialgleichungssystems erster Ordnung mündete, an dem sich Versuchspersonen steuernd bewähren mussten.

Komplexität verlangt von der problemlösenden Person Vereinfachungen bzw. Maßnahmen zur Komplexitätsreduktion (Wahl eines passenden Auflösungs- bzw. Abstraktionsniveaus). In der Wissenschaft wird das Parsimonitätsprinzip gepredigt, das sich seit dem Mittelalter »Ockhams Razor« bedient (ein methodologisches Prinzip, dass die Einführung überflüssiger Konstrukte in eine Theorie verbietet). Parsimonität bedeutet: Ziehe für die Erklärung eines Phänomens nicht mehr theoretische Annahmen heran als gerade nötig! Jede Art von Modellbildung ist in diesem Sinne komplexitätsreduzierend, da die komplexe Wirklichkeit auf die Modellwirklichkeit mit ihren zentralen Größen reduziert wird.[14]

4.1.2 Vernetztheit

Vernetztheit (»connectivity«) bezieht sich auf Verflechtungen von Variablen in einem System – ohne Vernetztheit bildeten Variablen kein System, sondern blieben isolierte Einzelstücke! Damit ist der Begriff der Vernetztheit geradezu ein definierendes Merkmal von Systemen. Schon eine Variable, die auf sich selbst rückgekoppelt ist, bildet ein Mini-System, auch wenn man für ein System im Normalfall mindestens zwei Variablen und deren Vernetzung fordern sollte.

Bei konstant gehaltener Variablenzahl in einem System kann sich deren Vernetztheit erheblich unterscheiden: Vom Extremfall unverbundener Variablen bis zum anderen Extrem vollständig untereinander vernetzter Variablen sind viele Abstufungen möglich (je mehr Variablen beteiligt sind, umso mehr Abstufungen). Die Systemtheorie spricht hier von »Kopplungen« (z. B. Johannsen, 1993) zwischen Untersystemen. Die simple Aussage »unser System besteht aus 200 Variablen« sagt nichts über dessen Vernetztheit aus – die 200 Variablen könnten voneinander völlig unabhängig sein, es könnten aber auch alle Variablen untereinander verschaltet sein.

Vernetztheit macht es für die problemlösende Person erforderlich, ein Modell dieser Abhängigkeiten aufzubauen und dieses bei späteren Eingriffen zu berücksichtigen. Ohne ein derartiges Modell würde die Gefahr bestehen, dass bei Eingriffen an bestimmten Variablen aufgrund der Vernetztheit unvorhergesehene Nebenwirkungen an anderen Stellen im System auftreten könnten. Box 2 illustriert einen derartigen Fall.

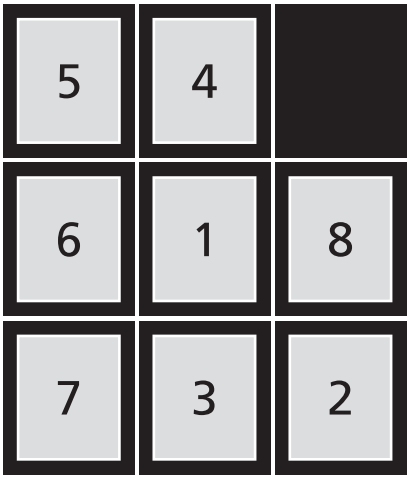
---

14 Interessant ist, dass in der »Construal Level Theory« von Liberman und Trope (1998) für das Abstraktionsniveau eine zeitliche Dimension postuliert wird: Zeitlich entfernte Ereignisse werden abstrakt repräsentiert, zeitlich nähere Ereignisse dagegen konkret (vgl. auch Sagristano, Trope & Liberman, 2002).

Box 2 Nebenwirkungen bei Puzzle-Problemen.

Es ist keineswegs so, dass alle Eigenschaften eines komplexen Problems *spezifisch* für diese Art von Problemen wären, d. h., nur bei diesen auftreten können. Nebenwirkungen infolge von Vernetztheit gibt es beispielsweise auch bei einfachen Puzzle-Problemen: Stellen wir uns das 8-PUZZLE vor (Abbildung 25), bei dem acht von 1 bis 8 nummerierte Scheiben auf einer 3x3-Matrix so zu verschieben sind, dass die geordnete Reihenfolge 1–8 entsteht.

Startzustand



Zielzustand

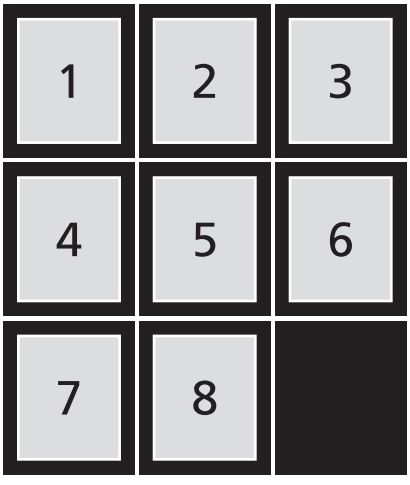


Abbildung 25 Ausgangs- und Zielzustand des 8-PUZZLE-Problems.

Bei diesem Problem hat das Verschieben einer Scheibe zwangsläufig die Konsequenz, dass auch eine zweite Scheibe verschoben werden muss, wenn man den Zustand verändern will. Die einzelnen Subziele können nicht unabhängig voneinander bearbeitet werden, da die mit einem Zug verbundenen Nebenwirkungen unvermeidlich sind und mitbedacht werden müssen. Vernetztheit ist damit trotz seiner enormen Bedeutung für diese Problemklasse kein Alleinstellungsmerkmal von komplexen Problemen.

4.1.3 Dynamik

Dynamik ist das sicher interessanteste Merkmal und zugleich dasjenige, mit dem Menschen erkennbar die größten Schwierigkeiten haben. Dynamik bezieht den Faktor Zeit mit in die komplexen Szenarios ein: Wie verändert sich ein gegebenes System über die Zeit hinweg, sowohl im ungestörten wie im gestörten Zustand? Der ungestörte Zustand bringt eine eventuell vorhandene Eigendynamik zum

Vorschein. Insbesondere bei natürlichen Systemen ist diese Art von Eigenleben häufig zu beobachten: Wachstumsprozesse in der Biologie, chemische Reaktionen oder physikalische Kausalketten entwickeln sich vor unseren Augen und ohne auf unser Eingreifen zu warten, wie man z. B. anhand von Räuber-Beute-Systemen demonstrieren kann.

In einem ganz einfachen Modell kann etwa die Populationsdynamik von fleischfressendem Räuber und seiner pflanzenfressenden Beute so beschrieben werden, dass sich bei einem gegebenen Anfangszustand folgende zyklische Dynamik ergibt: Der Räuber ist zu seinem Erhalt auf Beutetiere angewiesen. Fressen die Räuber ihre Beute, werden irgendwann die Räuber mangels Beute dezimiert. Ist die Anzahl der Räuber geschrumpft, können sich die Beutetiere wieder vermehren. Daraufhin wächst auch die Zahl der Räuber wieder. So einfach diese Grundbeschreibung einer RÄUBER-BEUTE-DYNAMIK ausfällt, so unterschiedlich sehen Verläufe von simulierten Dynamiken aus. Abbildung 26 stellt zwei Varianten einer ansonsten konstant gehaltenen Simulation von Füchsen und Hasen dar, die sich nur durch den Startwert der Füchse zu Beginn der Simulation unterscheiden.

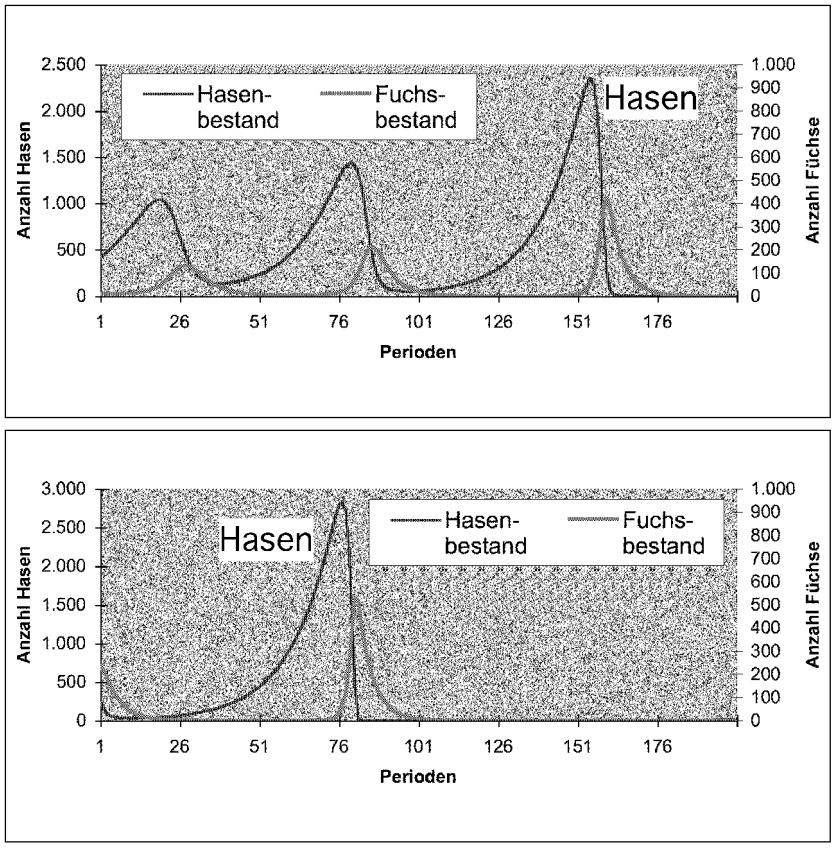


Abbildung 26 Beispiel für einfache RÄUBER-BEUTE-DYNAMIK mit variierenden Startwerten für Füchse (Hasenzahl zu Beginn konstant 1000): a) 10 Füchse, b) 250 Füchse.

Wie man erkennt, verändert sich der Verlauf des zyklischen Auf-und-Ab erheblich: Bei 10 Startfüchsen gibt es drei Wellen, die im Simulationszeitraum ausgelöst werden, bei 250 Startfüchsen dagegen nur eine große Welle, die nach der Hälfte der Simulationsperiode erst das Ende der Hasen und dann das Ende der Füchse bedeutet.

Hinweis: Mit der hier beschriebenen Räuber-Beute-Dynamik kann man selbst spielen – unter http://www.ecotronics.ch/ecotron/excLotka.htm findet man ein kleines Excel-Programm samt weiteren Erläuterungen, das zum Kennenlernen dynamischer Systeme einen guten Einstieg liefert.

Je nach der Geschwindigkeit, mit der solche Dynamiken ablaufen, sind der Vorhersage der nächsten Zustände deutliche Grenzen gesetzt, zumal dann – wie in komplexen Systemen typisch – mehr als zwei Variablen beteiligt sind und die Zusammenhänge – wie in der Realität häufig – nicht nur lineare, sondern auch nichtlineare Anteile enthalten. Die moderne Chaos-Theorie (vgl. etwa Kriz, 1992) liefert viel Anschauungsmaterial für Situationen, in denen kleine Änderungen in den Ausgangswerten große Änderungen in der Systemdynamik verursachen.

Dynamische Systeme erfordern von der problemlösenden Person adäquaten Umgang mit zeitlichen Entwicklungen, vor allem durch Voraussicht und Prognose der zukünftigen Entwicklungsverläufe. Je nach Zeitskala sind Menschen hier in besonderer Weise überfordert; man denke nur an die Halbwertszeiten radioaktiver Abfälle, deren Dauer nicht nur unser Menschenleben, sondern dasjenige von mehreren hundert Generationen umfasst. Box 3 vertieft diesen Aspekt nochmals.

Box 3 Eigendynamik und zeitliche Entwicklungen: Warum manchmal die langsamen Entwicklungen die schwierigeren Probleme darstellen!

Dass eine dynamisch ablaufende Situation besondere Anforderungen an die problemlösende Person stellt, ist besonders gut erkennbar an Katastrophensituationen, die einen hohen Zeitdruck (und damit Handlungsdruck) erzeugen. So ist z. B. das Überhitzen eines Tankkessels durch ein Feuer eine dynamische Situation, da es jederzeit zu einer Explosion kommen kann.

Aber auch die schleichenden Entwicklungen stellen eine Form von Dynamik dar, mit der Menschen nicht eben leicht umgehen können. Dörner hat dies am Beispiel der subjektiv unterschätzten Ausbreitungsgeschwindigkeit der AIDS-Epidemie veranschaulicht (Dörner, 1985c). Andere Beispiele sind »langsame Katastrophen« wie z. B. eine Hochwassersituation auf dem Rhein oder – um ein Beispiel aus der Politik zu nehmen – die Abschätzung des Lehrerbedarfs. Die »Lehrerkatastrophe« ist ein Beispiel dafür, dass selbst die eigentlich sehr einfache Prognose der Zahl von Schülern (aufgrund der Geburtenzahlen ja mit einem Vorlauf von 6–10 Jahren ermittelbar) ein echtes Problem darstellt (das Zeitfenster für die Planungen von Politikern soll ja Gerüchten zufolge bei etwa vier Jahren – der Wahlperiode also – liegen, das von Managern bei drei Monaten – wenn die neuen Quartalszahlen für die Anleger publiziert werden müssen).

Natürlich gibt es auch Beispiele positiver Dynamiken, etwa die Selbstheilungskräfte unseres Körpers während einer Erkältung oder die Regulation des Blutzuckers durch Insulin, das auf die aufgenommenen Kohlehydrate abgestimmt ist.

4.1.4 Intransparenz

Intransparenz bedeutet unvollständige Informationen und damit auch unvollständige Repräsentation des Problems. Intransparenz verlangt nach aktiver Informationsbeschaffung, ein Umstand, der in traditionellen Intelligenztests nicht erfasst wird und daher von Putz-Osterloh (1981) auch als wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen den in einem IQ-Test geforderten Leistungen und den Anforderungen beim Umgang mit einem intransparenten dynamischen System wie TAILORSHOP (mehr dazu in Kapitel 5.1.2) gesehen wurde. Interessanterweise erwies sich die experimentelle Manipulation der Transparenz durch Gabe oder Weglassen eines Diagramms mit den Variablenvernetzungen in ihren Studien als Kriterium dafür, ob eine Korrelation zwischen Problemlösen und Intelligenz aufgezeigt werden konnte oder nicht (dazu mehr in Kapitel 5.3.1). Intransparenz erwies sich dort als Moderator-Variable, die den Zusammenhang zwischen Problemlösen und Intelligenz beeinflusst.

Gerade in technischen Systemen erweist sich Intransparenz als komplexitätsstiftender Faktor: Wie viel Kenntnis etwa muss ein Computernutzer von seinem Betriebssystem haben? In der wohldurchdachten Design-Philosophie von Apple werden z. B. dem Benutzer viele Details rechnerinterner Operationen vorenthalten in der Absicht, ihn nicht mit Nebensächlichkeiten zu belasten. Hier tauchen sehr schnell Fragen optimalen Schnittstellen-Designs auf (Antworten darauf z. B. bei Norman, 1988), denn umgekehrt möchte man ja gerne wissen, warum man immer noch auf eine Reaktion der Maschine wartet, die eben einen Auftrag (z. B. eine umfangreiche Datei kopieren) erhalten hat und sich seitdem nicht mehr rührt – erledigt sie den Auftrag oder ist sie abgestürzt?

4.1.5 Polytelie

Die Vielzieligkeit stellt einen entscheidenden Faktor dar, der die Lösung eines komplexen Problems erschwert. Wenn eine handelnde Person viele verschiedene Optimierungskriterien bedenken muss, macht dies die Beurteilung von Lösungsvorschlägen fast unmöglich. Mit jeder weiteren Variable, die zu optimieren ist, werden dem Oberziel »Löse das Problem!« weitere Unterziele hinzugefügt (»Achte auf die Kosten!«). Damit verringert sich der Lösungskorridor, d. h. der Raum an zulässigen wie auch an optimalen Lösungen. Habe ich etwa nach mühevoller Suche eine Lösungsoptimierung für zwei Kriterien erreicht, kann die Einführung eines weiteren Kriteriums die eben gefundene Lösung schon wieder in Frage stellen. Mit jeder weiteren Kriteriumsvariable, die hinzukommt, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit des Scheiterns. Von daher wird das Anspruchsniveau in polytelischen Situationen rasch gesenkt werden müssen: Anstelle der (unmöglichen) Suche nach einer optimalen Lösung für alle Kriterien werden Relaxationen (kleine oder auch größere Verstöße gegen Kriterien) vorgenommen, die z. B. unterschiedliche Prioritäten widerspiegeln.

Interessanterweise zeigte sich in der eben erwähnten Studie mit dem TAILORSHOP bei Putz-Osterloh (1981), dass Versuchspersonen selbst dann das Ziel der Gewinnmaximierung für sich formulierten, wenn ihnen sowohl diese Zielsetzung als auch Informationen dazu vorenthalten wurden. Nur so kann man sich erklären, dass in der LOHHAUSEN-Studie eine unverbindlich-allgemein gehaltene Instruktion

»Ihre Aufgabe ist es, für das Wohlergehen der Stadt in der näheren und ferneren Zukunft zu sorgen. Was Sie dafür unternehmen, ist Ihre Sache.« (Dörner, Kreuzig, Reither & Stäudel, 1983, S. 107) von fast allen Versuchspersonen ähnlich gedeutet wurde – wohlgemerkt ähnlich, aber nicht unbedingt identisch.

Polytelie im Sinne einander widersprechender Ziele findet sich eher, je konkreter Ziele formuliert werden. Auf abstrakter Ebene mag man in den Zielen übereinstimmen (»Gewinn maximieren«), aber sobald Ziele konkreter werden (»*meinen* Gewinn maximieren«), können Widersprüche auftauchen, die zu Kompromissen zwingen. Gerade im Kontext politischer Entscheidungen (z. B. Ausbau Flughafen Frankfurt) kann es sinnvoll sein, zur Klärung kontradiktorischer Ziele auf Mediationsverfahren zurückzugreifen, die bei Familienrechtsstreitigkeiten heute bereits erfolgreich eingesetzt werden (Montada & Kals, 2001).

4.1.6 Abschließende Überlegungen zu den Kennzeichen

Bei genauerer Betrachtung dieser Merkmalsliste kommt man allerdings zu folgenden drei Schlüssen. Erstens sind die Anforderungen der Komplexität und Vernetztheit konzeptuell kaum voneinander zu unterscheiden. Angesichts der unklaren Definition des Komplexitätsbegriffs scheint es mir sinnvoller, den operational besser fassbaren Begriff der Vernetztheit zu verwenden. Vernetztheit ist ein charakteristisches Attribut komplexer Systeme. Vernetztheit bedeutet, dass zwei oder mehr Variablen untereinander direkte oder indirekte Abhängigkeiten aufweisen. Aus diesem Merkmal resultiert für die Vp die Anforderung, sich über die Struktur des Systems und die vorliegenden Abhängigkeiten ein Bild zu machen.

Zweitens ist festzuhalten, dass es sich beim Merkmal Dynamik um das zweite zentrale Bestimmungsstück eines komplexen Systems neben seiner Vernetztheit handelt. Während die Vernetztheit vor allem *strukturelle* Aspekte des Systems charakterisiert, kommt mit Dynamik der *prozessuale* Aspekt eines Systems in Form seiner zeitlichen Charakteristik ins Spiel. Hieraus resultiert die Anforderung an die Vp, sich Gedanken über die zeitliche Entwicklung des Systems zu machen, neben den kurzzeitigen also etwa auch längerfristige Auswirkungen bestimmter Eingriffe zu bedenken.

Drittens handelt es sich bei den Anforderungen der Intransparenz und Polytelie nicht um Merkmale, die einem System inhärent sind, sondern um die Frage, wie ein System der bearbeitenden Person zugänglich gemacht wird bzw. mit welcher Zielsetzung diese an die Steuerung und Kontrolle des Systems herangeht. In einer intransparenten Situation sind Struktur und Zustand des Systems nicht völlig offen zugänglich; in einer polytelischen Situation wird die Kontrolle des Systems nicht auf eine isolierte Zielvariable beschränkt, sondern auf mehrere gleichzeitig zu steuernde Größen. Diese beiden Anforderungen sind daher als losgelöst von dem jeweiligen System zu betrachten, da sie unabhängig von dem gewählten System manipuliert werden können. Im Unterschied dazu stehen die Kriterien der Vernetztheit und Dynamik, die als zwei zentrale Bestimmungsstücke eines komplexen Systems betrachtet werden dürfen, da sie die systeminhärenten Anforderungen repräsentieren.

Festzuhalten ist also: Von den fünf als charakteristisch für komplexe Szenarios erachteten Merkmalen bleiben im Wesentlichen zwei Aspekte übrig, die als zentrale systemseitige Merkmale herangezogen werden und die nicht mit »Papier-und-

Bleistift«-Techniken realisiert werden können, sondern zu ihrer Realisierung geradezu einen Computereinsatz verlangen: Vernetztheit und Dynamik. Die beiden anderen charakteristischen Anforderungen (Polytelie und Intransparenz), die im Kontext komplexer Mikrowelten besondere Aufmerksamkeit verdienen, können auch unabhängig von computersimulierten Szenarios realisiert werden.

Ein letzter Aspekt betrifft die Abhängigkeit von Komplexität und Intransparenz, auf die Putz-Osterloh (1995, S. 406) verweist. Nach ihrem Dafürhalten kann ein System seine maximale Komplexität erst bei maximaler Transparenz entfalten, während umgekehrt Intransparenz die Komplexität eines Systems verdecken kann (vgl. auch Putz-Osterloh & Bott, 1990). Dieser berechtigte Einwand zeigt, dass die hier dargestellten Anforderungsdimensionen mit Vorsicht zu behandeln sind. Und selbstverständlich ließen sich noch andere Abhängigkeiten als die von Putz-Osterloh hervorgehobenen finden, z. B. zwischen Vernetztheit und Dynamik. Dennoch sind die Dimensionen nützlich, da sie Ordnung in einen ansonsten noch weniger überschaubaren Bereich bringen.

Die von Frensch und Funke (1995, S. 18) gelieferte *Definition* komplexen Problemlösens (*complex problem solving*, CPS) erweist sich auch aus heutiger Sicht als brauchbare Zusammenfassung der beteiligten Einflussfaktoren:

> »CPS occurs to overcome barriers between a given state and a desired goal state by means of behavioral and/or cognitive, multi-step activities. The given state, goal state, and barriers between given state and goal state are complex, change dynamically during problem solving, and are intransparent. The exact properties of the given state, goal state, and barriers are unknown to the solver at the outset. CPS implies the efficient interaction between a solver and the situational requirements of the task, and involves a solver's cognitive, emotional, personal, and social abilities and knowledge.«

4.2 Historische Entwicklung

Folgt man Buchner (1995), so hat die (kurze) Geschichte der Forschung zum komplexen Problemlösen zwei europäische »Wurzeln«: Die eine besteht in Broadbents Forschung über verschiedene Gedächtnissysteme aus den 70er Jahren (Berry & Broadbent, 1984, 1988; Broadbent, 1977; Broadbent & Aston, 1978; Broadbent, Fitzgerald & Broadbent, 1986; Hayes & Broadbent, 1988) und baut auf formalen Aufgabenanalysen auf, die andere besteht in Dörners etwa zur gleichen Zeit durchgeführten Forschungen über die Struktur intelligenten Verhaltens in komplexen Anforderungssituationen (Dörner, 1981; Dörner, Kreuzig et al., 1983; Dörner & Wearing, 1995) und richtet sich auf die Suche nach interindividuellen Unterschieden. Die zuerst genannte Richtung (Broadbent) ist der experimentellen Forschung verpflichtet und benutzt daher sehr einfache dynamische Aufgabenstellungen (z. B. ein einfaches Transportsystem oder eine einfache Zuckerfabrik); die zweite Richtung (Dörner) stellt ein stärker exploratives Vorgehen dar, wie an der mehr als 2000 Variablen umfassenden simulierten Kleinstadt Lohhausen zu erkennen ist. Beiden Richtungen gemeinsam ist der Rückgriff auf unerfahrene Versuchspersonen. Damit unterscheiden sich diese Zugänge deutlich von den in den USA präferierten Expertenstudien (vgl. Sternberg, 1995).

Zugang 1 – Allgemeinpsychologische Perspektive: Systematische Manipulation von Szenarios. Broadbents Arbeiten führten zur Konzeption zweier verschiedener Lernmodi, eines expliziten und eines impliziten Lernmodus. Der explizite Modus bezieht sich auf das verbalisierbare Wissen, das eine Person über das zu explorierende System erwirbt und das in regelhafter Form vorliegt (wenn-dann-Aussagen). Der implizite Modus stellt eine Art Kontingenzdetektion dar, der man sich weniger deutlich bewusst ist und die sich über Handlungen (z. B. Steuerungseingriffe) manifestiert, deren Gründe nur schwer anzugeben sind (eine Art von Intuition also). Broadbent und Berry begründen diese beiden Modi aus Dissoziationsbefunden: Versuchspersonen können zwar ein System steuern (implizites Lernen), aber Fragen über die Struktur des Systems nur schlecht beantworten (kaum explizites Lernen). Zu diesen Dissoziationsstudien sind in der Zwischenzeit eine Reihe von Nachfolgeuntersuchungen durchgeführt worden, die trotz heterogener Befundlage als Hinweis auf die Existenz verschiedener Wissensarten interpretiert werden dürfen (für einen Überblick siehe Berry & Broadbent, 1995).

Zugang 2 – Differenzialpsychologische Perspektive: Suche nach interindividuellen Unterschieden. Dörners Arbeiten haben sowohl zu einer intensiven Diskussion über die Schwächen gegenwärtiger Intelligenztests als auch zu einer handlungstheoretischen Analyse des Verhaltens in komplexen Umwelten geführt (Dörner, 1986, 1996; Dörner & Kreuzig, 1983; Dörner, Schaub & Strohschneider, 1999). In den frühen Arbeiten von Dörner und Mitarbeitern stand die Enttäuschung über die niedrige prädiktive Potenz traditioneller Intelligenztests hinsichtlich des Problemlösens in alltäglichen Situationen im Vordergrund. Anstatt zur Untersuchung des Problemlösens Aufgaben zu verwenden, die man als eher akademisch bezeichnen könnte, schlug Dörner einen alternativen Zugang vor: Die Konstruktion komplexer alltäglicher Problemlösungen in Form simulierter Szenarios, mit denen Versuchspersonen unter kontrollierten Laborbedingungen zu interagieren hatten (siehe Brehmer & Dörner, 1993; Brehmer, Leplat & Rasmussen, 1991).

Versuchspersonen, die mit diesen Szenarios umgingen, waren tatsächlich mit anderen Anforderungen konfrontiert, als sie in Intelligenztests gestellt werden: a) Die Vernetztheit zwischen einer großen Zahl von Variablen und die dadurch erzeugte Komplexität zwingen die handelnde Person zu einer Reduktion der großen Menge an Informationen und zur Antizipation von Nebenwirkungen; b) die dynamische Art der Problemstellung verlangt sowohl die Vorhersage zukünftiger Entwicklungen (eine Art von Planung) als auch die langfristige Kontrolle von Entscheidungen; c) die Intransparenz der Szenarios erfordert die systematische Sammlung von Informationen; d) die Präsenz multipler Ziele (Polytelie) erfordert die sorgfältige Ausarbeitung von Prioritäten und ein Ausbalancieren widersprüchlicher, konfligierender Ziele.

Vergleicht man diese Beschreibung der Anforderungen, wie sie im Rahmen der Forschung zum komplexen Problemlösen gestellt werden, mit den Anforderungen aus dem Bereich »naturalistic decision making« (NDM), fallen eine Reihe von Ähnlichkeiten ins Auge. Folgt man Zsambok (1997, S. 4), konzentriert sich NDM auf die Art und Weise, wie Menschen ihre Erfahrungen nutzen, um Entscheidungen unter alltäglichen Feldbedingungen zu treffen. Schlüsselfaktoren dieses Ansatzes werden dabei gesehen a) in der Existenz schlecht strukturierter Probleme, b) in unsicheren, dynamischen Umgebungen, c) in wechselnden schlecht definierten oder konfligierenden Zielen, in der Existenz von d) Handlungs- und Feedback-Schleifen, e) Zeitdruck, f) hohen Risiken, g) mehreren Beteiligten und h) Normen

und Zielen innerhalb der jeweiligen Organisationsform. Die Forschung zum Umgang mit komplexen Problemen steht also derjenigen zur NDM sehr nahe, auch wenn beide wechselseitig noch wenig Kenntnis voneinander genommen haben (vgl. Harvey, 2001; Maule, 2001). Publikationstechnisch fand die Forschung zum komplexen Problemlösen bislang ihren Höhepunkt erst Mitte der 1990er Jahre (siehe Funke, 1999) – möglicherweise erfordert die Rezeption dieser Arbeiten also einfach noch mehr Zeit.

Aus heutiger Sicht sind vor allem für den zweiten Zugang – Erforschung der interindividuellen Unterschiede – die fachimmanenten und die fachexternen Ursachen zu erkennen, die die Aufmerksamkeit auf den Umgang von Menschen mit komplexen Problemen gelenkt haben. *Fachimmanent* ist die Kritik an traditionellen Intelligenztests (sog. GIGO-Argument: »garbage in, garbage out«), die sich sowohl auf die angeblich mangelnde prädiktive Validität für wichtige Situationen als auch auf die methodischen Probleme der Faktorenanalyse, die zur Ermittlung von Strukturen der Intelligenz herangezogen wurde, stützte (zur Kritik siehe z. B. Dörner & Kreuzig, 1983; Kreuzig, 1979). *Fachextern* war die Situation zu Beginn der 1970er Jahre durch die Rohöl-Krise (»Ölpreis-Schock«) wie auch durch Erkenntnisse über die Folgen ungebremsten Wachstums gekennzeichnet, wie sie in den Berichten des »Club of Rome« zum Ausdruck kamen (z. B. Meadows et al., 1972). Darin tauchten ernsthafte Zweifel auf, ob Menschen überhaupt prinzipiell derart globale Probleme bewältigen könnten, ob also die Unfähigkeit zum Umgang mit komplexen Problemen gar eine »anthropologische Konstante« sei.

4.3 Kontroverse Standpunkte zur Forschungsmethodik

Von Anbeginn der Arbeiten zum komplexen Problemlösen ging es nicht nur um eine inhaltliche Erweiterung des Gegenstandsbereichs der Denkpsychologie, sondern auch um die Frage, wie sich der neu entdeckte Gegenstand am besten methodisch erschließen lasse. Insbesondere Dörner machte sich dafür stark, zunächst Phänomene zu beschreiben und »Schmetterlinge zu sammeln« (so Dörner, 1983). Das in der empirisch-experimentell orientierten Psychologie zur Verfügung stehende Methodeninventar in Form von Untersuchungsdesigns und Auswertungsmethoden (insbesondere varianzanalytische Techniken) lehnte er radikal ab, da sie dem Gegenstand unangemessen seien. In seinem programmatischen Ansatz »Zur Philosophie der Verwendung von Mikrowelten« stellt Dörner (1992) sein Prinzip der Kondensation gegen das klassische Reduktionsprinzip der Dissektion. Was ist damit gemeint?

Wissenschaft muss ihren Gegenstand vereinfachen, Modelle der Wirklichkeit bilden, die deshalb Modelle sind, *weil* sie die Realität reduziert haben auf das, was wichtig ist. So ist z. B. für die Frage, ob und wie schnell ein Apfel zu Boden fällt, seine Farbe völlig irrelevant – dafür muss man wissen, wie stark die Anziehungskraft wirkt. Typische Reduktionstechnik der Wissenschaft ist die Analyse einzelner Teile, von Dörner »Dissektion« genannt. Dissektion bedeutet das Zerlegen in Einzelteile und deren genaue Analyse. Die Reduktion erfolgt also durch ein Auf-

teilen des Gegenstands in möglichst separate und unabhängige Subsysteme (etwa die Zerlegung des menschlichen Körpers in verschiedene Organe und Körperteile, die dann separat untersucht werden). Im Unterschied dazu sieht er die »Kondensation« als eine Reduktionstechnik an, bei der ein »vergröbertes, holzschnittartiges Abbild« des »Urbilds« hergestellt wird, ein Abbild, das die *Konstellation* einzelner Elemente beibehält.

Für die Erforschung menschlichen Problemlösens bieten sich nach seinem Dafürhalten computersimulierte Mikrowelten an, weil die verschiedenartigen Tätigkeiten (z. B. Informationen sammeln, Hypothesen bilden, Planungen anstellen, Entscheidungen treffen) in kondensierter Form erhalten bleiben. Ein »dissezierendes« Vorgehen würde nur eine einzelne Funktion (z. B. den Entscheidungsprozess) herausgreifen. Bei dieser Analyse könnte dessen Zusammenwirken mit anderen Prozessen aus dem Blick geraten.

In einem ironischen Beitrag hat Dörner (1989a) die experimentelle Methodik kritisiert: Am Beispiel einer fiktiven Roboter-Schildkröte, die überraschend entdeckt wird und deren Funktionsweise erschlossen werden soll, demonstriert er das Versagen einfacher Versuchspläne, die die inneren Zustände der Schildkröte ignorieren; erfolgreich ist dagegen die Strategie eines kleines Kindes, das der Schildkröte einfach zusieht und sie damit verstehen lernt. Dass in dieser Karikatur der Forschungswirklichkeit die Funktionsweise eines zustandsabhängigen Automaten vergeblich in einem einfachen Reiz-Reaktions-Paradigma abzubilden versucht wird, erscheint allerdings eher als Fehler der Modellbildung und nicht als Fehler von experimentellen Zugangstechniken, die Dörner hierfür m. E. zu Unrecht verantwortlich macht.

Forschungsmethodisch sollten verschiedene Aspekte der Methodendebatte getrennt werden: 1. die Frage nach dem »richtigen« Forschungsgegenstand, 2. die Frage nach der »richtigen« Art der Theorie und 3. die Frage nach der geeigneten Methode zur Prüfung der Theorie. Auf alle drei Fragen soll nachfolgend eingegangen werden.

4.3.1 Der »richtige« Gegenstand

Gegenstandsdebatten sind Zeichen einer lebendigen Wissenschaft. In der Gedächtnispsychologie etwa hat Neisser (1982) darauf aufmerksam gemacht, dass entscheidende Fragen zum Gedächtnis nur unzureichend gestellt und kaum erforscht sind. Sein Vorwurf, dass die Gedächtnispsychologie zu weit von der Lebenswirklichkeit entfernt sei, hat eine lebensnähere Forschung stimuliert (vgl. etwa Cohen, 1989; Harris & Morris, 1984). Ganz ähnlich hat übrigens Bartlett (1932) den Erfolg des Ebbinghaus'schen (1885/1971) Forschungsprogramms mit seinen Konsonant-Vokal-Konsonant-Trigrammen (z. B. »NOL«, »LUZ«, »MOV«) zur möglichst störungsfreien Untersuchung von Gedächtnisleistungen in Zweifel gezogen: Nur in wenigen Alltagssituationen liegt sinnfreies Lernmaterial vor; in die meisten Lernsituationen bringen wir Vorwissen (z. B. in Form von Schemata) mit ein. Diesen Sachverhalt auszublenden, wäre in der Tat unglücklich.

In ähnlicher Weise ist eine Gegenstandsdebatte in der Urteils- und Entscheidungsforschung entbrannt, die eine stärker naturalistische Orientierung verlangt (z. B. der Reader von Zsambok & Klein, 1997). Klassische Entscheidungsforschung (z. B. Edwards, 1954) konfrontiert Versuchspersonen mit artifiziellen

Lotterien – welche Validität haben also Untersuchungen, die mit diesem Paradigma arbeiten? Wie Maule (2001) zu Recht anmerkt, muss die Entscheidungsforschung differenzierter als bisher betrieben werden: 1. Es geht nicht nur um extern verfügbar gemachte Informationen, sondern auch um die intern herangezogenen in Form von Wissen. 2. Es geht nicht nur um die singuläre Entscheidung in *einer* Situation (»Welche Lotterie würden Sie bevorzugen?«), sondern es sind Entscheidungen in vielen verschiedenen Situationen zu beachten. 3. Entscheidungen sind oftmals voneinander abhängig – während früher überwiegend statische Urteilssituationen untersucht wurden, geht das Interesse nunmehr in Richtung *dynamische* Urteilssituationen.

Für die Denk- und Problemlöseforschung ist es daher nur allzu verständlich, dass die Validität von Untersuchungen an Streichholzproblemen für das Lösen der großen Menschheitsprobleme in Frage gestellt bzw. abgelehnt wird. Doch muss man aufpassen: Natürlich sind Mikrowelten wie LOHHAUSEN oder SCHNEIDERWERKSTATT semantisch reichhaltiger als ein Puzzle-Problem, aber sind sie damit schon gleich lebensnäher? Wer von uns wird denn Bürgermeisterin einer Kommune oder Manager einer Firma? Und wo gibt es Kommunen, die ihre Spitzenkraft mit unbeschränkter Macht und ohne jede Kontrolle agieren lassen? Wo gibt es Firmen, die sich nicht mit Mitbewerbern, gesetzlichen Mindestlöhnen und Kündigungsschutz auseinander setzen müssen?

Wer auf die gesteigerte Validität der simulierten Mikrowelten pocht, wird bei genauem Hinsehen enttäuscht. Zwar ist der Validitätsaspekt einer semantisch reichen, interaktiven dynamischen Umwelt erfüllt, aber dies bedeutet noch nicht Alltagsnähe, wie gelegentlich behauptet wird. Die Gegenstandsdebatte hilft hier zu klären, welche Aspekte der Wirklichkeit abgebildet werden sollen und welche vernachlässigt werden können.

4.3.2 Die »richtige« Art der Theorie

Muss eine Theorie für den Umgang mit komplexen Problemen selbst komplex sein? Wird komplexes Verhalten von komplexen Systemen hervorgebracht? Erkenntnisse aus der Systemtheorie – insbesondere der Chaos-Forschung (vgl. Kriz, 1992) – machen deutlich, dass sehr einfache Gleichungen (ein Beispiel dafür ist die sog. Verhulst-Dynamik) höchst komplexes Systemverhalten bedingen können (vgl. Dörner & Schaub, 1992, S. 64). Aber auch einfache finite Automaten (Dörner, 1985a) können ein Verhalten hervorbringen, das erst bei Beachtung des Kontexts (also des inneren Systemzustands) verständlich wird.

Behavioristische Reiz-Reaktions-Modelle dürften als theoretische Grundlage des problemlösenden Denkens kaum in Frage kommen: Sie ignorieren innere Systemzustände. Dies ist bei kognitiven Theorien anders: dort werden interne Zustände als Erklärung zugelassen und herangezogen (z. B. die Dringlichkeit einer bestimmten Absicht, vgl. Dörner, 1982). Das Problem hierbei ist jedoch: Wie lassen sich die Konstrukte und die angenommenen Prozesse empirisch verankern?

Das eben erwähnte, sehr präzise formulierte Modell der Absichtsregulation von Dörner (1982; siehe auch Dörner, Schaub, Stäudel & Strohschneider, 1988) ist ein gutes Beispiel dafür. Das Konstrukt »Auswahldruck einer Absicht« wird in Analogie zu motivationspsychologischen Erwartungs-mal-Wert-Modellen als Produkt von Wichtigkeit, Dringlichkeit, Erfolgswahrscheinlichkeit und Erledigungswert

(ein Maß für die Abarbeitung von Absichten) plus einem Aktualitätsgewicht formalisiert, ergibt sich also aus fünf anderen Konstrukten, deren empirische Verankerung unklar bleibt. So lobenswert die Formalisierung ist (sie ermöglicht konkrete Vorhersagen und ist damit prinzipiell falsifizierbar), so problematisch bleibt deren Prüfbarkeit am »Stachel der Empirie«, wenn die Quantifizierung der Konstrukte zum Prozess der Absichtsbehandlung im Dunklen bleibt. Mit einer einmaligen Messung wäre es ja nicht getan, aber selbst die wäre nicht problemlos möglich.

Wie muss nun also die Art der Theorie sein? Auf jeden Fall muss sie das verhaltenserzeugende System beschreiben und erklären können. Dörner (1999) hat dies in seinem »Bauplan für eine Seele« ausführlich versucht (vgl. Kapitel 2.5.6). Festzuhalten bleibt hier lediglich, dass eine Theorie über problemlösendes Denken in komplexen Situationen nicht grundsätzlich anders als andere psychologische Problemlösetheorien zu sein braucht. So hat z. B. Bredenkamp (1990; siehe auch Bredenkamp, Klein, Hayn & Vaterrodt, 1988) eindrucksvoll demonstriert, dass die kognitiven Prozesse eines Rechenkünstlers beim Ziehen der 137. Wurzel aus einer 1000-stelligen Zahl (Rechenzeit im Normalfall knapp eine Minute, mit 70–80% Wahrscheinlichkeit für ein richtiges Resultat)[15] keine »neue« kognitive Psychologie verlangen, sondern mit bekannten Prozesstheorien aufgeklärt werden können. Es kommt also dort keinesfalls zu einem qualitativen Sprung – dies ist beim Lösen komplexer Probleme ebenfalls nicht zu erwarten.

4.3.3 Geeignete Methoden zur Prüfung von Theorien

In ihrer inzwischen über 100-jährigen Geschichte hat die Psychologie eine umfangreiche Palette qualitativer und quantitativer Verfahren entwickelt. Insbesondere die Methode des planvollen Experiments hat die naturwissenschaftlich orientierte Psychologie weitergebracht und zahlreiche Gesetze aufgedeckt, die heute unsere Lehrbücher füllen.

Kann man Theorien über die Bearbeitung komplexer Probleme experimentell prüfen? Ich meine ja! Gute Theorien erkennen wir daran, dass sie bestimmte Ereignisse verbieten (z. B. verbietet die Gravitationstheorie, dass mein Apfel nach oben entschwebt, wenn ich ihn loslasse). Schlechte Theorien sind dagegen mit allem, was kommt, verträglich (vgl. die Einführung zu Kapitel 2). Hat man also eine gute Theorie, ist vor dem Hintergrund des Kritischen Rationalismus sensu Popper nicht die Suche nach theoriebestätigenden Ereignissen angesagt, sondern die Suche nach den verbotenen Instanzen. Diese Falsifikationsmethodologie kann überall dort, wo starke Theorien existieren, eingesetzt werden, also auch bei der Prüfung von Theorien zum Lösen komplexer Probleme. Gelegentlich wird argumentiert, die experimentell notwendige Zerlegung der Variablen in abhängige und unabhängige widerspräche dem Systemcharakter einiger Theorien, die z. B. Feedback-Prozesse annehmen. So plausibel diese Überlegung erscheint, so deutlich ist

15 Da bei der »Berechnung« Heuristiken zum Einsatz kommen, führen diese in einigen Fällen zu Fehlern – faktisch werden von den 1000 Ziffern lediglich die ersten 5-7 und die letzten 3 betrachtet, um den Lösungsraum zwischen 19.587.130 und 19.919.117 einzuengen. Wie zu erkennen ist, stehen zwar die ersten beiden Ziffern der Lösung (19) bereits fest, aber es bleiben immer noch 331.987 mögliche Lösungen übrig!

aber auch, dass einzelne Teile des systemhaft funktionierenden Wirkungsgefüges durchaus zum Zweck der Modellprüfung derart zerlegt werden können. So kann etwa der Regelkreis einer Heizungsschaltanlage durch gezielte Impulse (= UV) stimuliert werden, um deren Effekte an den Steuerungsgrößen (= AV) zu überprüfen.

Systemische Betrachtung und die experimentelle Analyse von Systemen widersprechen sich nicht, sondern ergänzen einander. Die Ansicht, dass experimentelle Verfahren im Kontext von Systemen unangebracht wären, übersieht die Existenz zahlreicher Analyseverfahren in der Systemtheorie (z. B. in Goodwin, Graebe & Salgado, 2001; Johannsen, 1993).

Wissenschaftliche Theorien entstammen verschiedenen erkenntnistheoretischen Grundlegungen und Menschenbildern. Drei wichtige Ansätze werden in Box 4 vertieft: Kausalanalyse, Handlungstheorie und Systemtheorie.

Box 4 Kausalanalyse, Handlungstheorie und Systemtheorie.

Kausalanalyse. Kausalanalysen stellen den bevorzugten Hintergrund naturwissenschaftlicher Experimente dar. Dabei wird angenommen, dass beobachtete Effekte (Wirkungen) auf sie verursachende Bedingungen (Ursachen) zurückgeführt werden können. Dieser Ursache-Wirkungs-Ansatz ist insbesondere in der Frühzeit naturwissenschaftlicher Forschung erfolgreich gewesen und hat die Grundlagen einer aufgeklärten Gesellschaft gelegt. Kausalanalysen sind eng mit der Methode des Experiments verbunden. In einem Experiment werden Kausalhypothesen geprüft, indem systematische *Bedingungsvariation* betrieben wird (Manipulation von unabhängigen Variablen) und die Auswirkungen dieser Manipulation festgestellt werden (Erhebung von abhängigen Variablen). Wichtig ist, dass die Untersuchungsobjekte (z. B. Menschen) zufällig den Bedingungen zugewiesen werden *(Randomisierung).* Gefordert wird zudem, dass Wiederholungen eines Experiments zu prinzipiell gleichen Ergebnissen führen müssen *(Replizierbarkeit)*.

Dieser kausalanalytische Standpunkt lässt sich gut mit einem Reiz-Reaktions-Ansatz verbinden. Die »Außensicht« auf menschliche Versuchsobjekte ist nicht notwendig mit diesem Ansatz verbunden – auch die zwischen Stimulus und Response vermittelnden kognitiven Prozesse können kausalanalytisch untersucht werden. Die mit diesem Zugang erzielten Erkenntnisse prägen große Teile unseres aktuellen Wissensstandes.

Handlungstheorie. Von ganz anderer Art ist ein Zugang über Begründungsmuster. Ausgehend von handlungstheoretischen Überlegungen, nach denen es der Psychologie vor allem um Handlungen und weniger um Verhalten geht, werden Absichten und Gründe für Handlungen zu wichtigen Erkenntniszielen. Nicht um Reiz-Reaktionsketten, sondern um Intentions-Aktions-Muster geht es hier, womit zum Ausdruck kommen soll, dass handelnde Subjekte Ziele und Absichten verfolgen, die ihre Handlungen (und Unterlassungen) steuern.

Nach diesem Ansatz kommt es also darauf an, die von einem handelnden Subjekt geltend gemachten Handlungsbegründungen zu erfahren – Gründe, die nur aus Sicht der ersten Person vollständig erfahrbar sind und die aus der Außenperspektive der dritten Person nur partiell zu erschließen bzw. zu vermuten sind. Solche Begründungsmuster setzen einen steuernden Willen, Bewusstsein und Reflexivität voraus und sind daher fast ausschließlich im Humanbereich anwendbar.

Systemtheorie. Kausalanalysen und Suche nach Begründungsmustern sind insofern kompatibel, als beide von einer prinzipiellen Zerlegbarkeit der Geschehnisse in unabhängige (verursachende) und abhängige (verursachte) Ereignisse ausgehen. Systemtheoretische Analysen stellen diese Zerlegung in Frage. In einem System kann das, was eben noch als Ursache angenommen wurde, aufgrund von Rückkopplungsprozessen plötzlich zum Effekt werden. So ist es etwa in Räuber-Beute-Systemen nicht sehr sinnvoll, von Ursachen (gestiegene Räuberzahlen) und Wirkungen (sinkende Beutezahlen) zu sprechen, wenn im weiteren Verlauf aufgrund gesunkener Beute die Räuber auszusterben drohen und dadurch den Beutetieren wieder Lebensraum verschaffen.

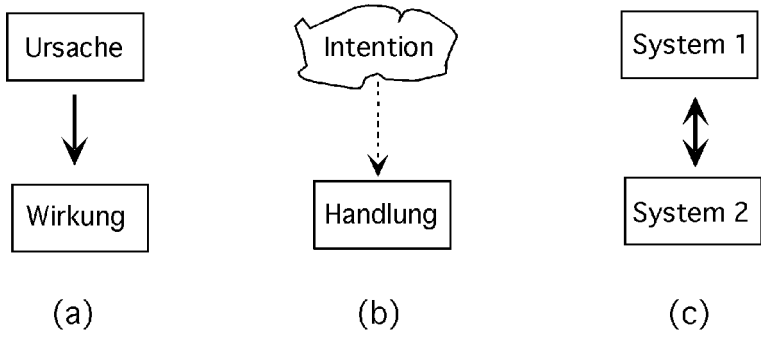


Abbildung 27 Schematische Darstellung der Kernannahmen von a) Kausalanalyse, b) Handlungstheorie und c) Systemtheorie.

Wie Abbildung 27 zeigt, ist der Pfeil bei b) gestrichelt, um das schwierige Leib-Seele-Problem anzudeuten: Wie kann etwas Geistiges etwas Körperliches bewirken? Doch zur Diskussion dieses Themas ist hier nicht der geeignete Ort (zur Vertiefung siehe McGinn, 2001). Bei c) können anstelle von »System 1 und 2« die im Beispiel genannten Begriffe von Räuber und Beute eingesetzt werden. Beide können selbst wieder in Subsysteme zerlegt werden, die untereinander in Beziehung stehen.

Wichtig ist noch, dass die eingangs erwähnte Methode des Experiments nicht nur dem Kausalansatz vorbehalten ist. Auch bei der Suche nach vermuteten Ursachen kann man experimentieren[16], wie dies etwas bei Nisbett und Wilson (1977) geschah, um zu zeigen, dass sich Versuchspersonen über die Gründe bestimmter Handlungen täuschen (dies heißt natürlich nicht, dass sie sich *immer* täuschen, sondern dass Experimentatoren Bedingungen erzeugen können, unter denen diese und andere Täuschungen auftreten). Und auch Systemanalytiker bedienen sich experimenteller Bedingungsvariation, um die wechselseitigen Abhängigkeiten in einem System transparent werden zu lassen.

16 Trotz dieser Aussage ist nicht zu leugnen, dass handlungstheoretischer Ansatz und die Methode des Experiments »in einer Art Spannungsverhältnis zueinander« stehen (vgl. Kaminski, 1976, S. 12).

4.3.4 Abschließende Bemerkungen zur Kontroverse

Wie bei jedem neuen Forschungsgegenstand sind in der Anfangszeit bis zur Etablierung erster Standards Debatten über den Gegenstand selbst wie auch über die richtige Art, ihn zu erforschen, selbstverständlich und notwendig. Selbstverständlich, weil die *scientific community* sich erst einmal Klarheit darüber verschaffen will, worum es denn bei »dem Neuen« geht; notwendig, weil erst im dialektischen Widerstreit verschiedener Positionen neue Wege sichtbar werden.

Genau dies ist auch im Feld des Umgangs mit komplexen Problemen geschehen. Dabei war die Bestimmung des Gegenstands die leichtere und unstrittigere Aufgabe, wohingegen über die angemessenen Forschungsmethoden weniger leicht Konsens herzustellen ist. Anstatt hier einen der diskutierten Zugänge herauszuheben, scheint mir eine liberale Position – wie so oft – erstrebenswert. Auf die Frage, welche der verschiedenen Zugangsweisen zu bevorzugen sei, muss die Antwort wohl lauten: Idealerweise sollten *alle* Zugänge zum Gegenstand ausgeschöpft werden!

Dieser pluralistische Standpunkt steht in Einklang mit den Vorschlägen von Sternberg und Grigorenko (2001), die – in anderem Kontext – für eine »unified psychology« eintreten und hinsichtlich der dafür einzusetzenden Methoden wie folgt argumentieren (S. 1072 f.): »The truth is that no method will provide a panacea: Different methods have different advantages and disadvantages, and, by using multiple methods, one capitalizes on the strengths of the methods while helping to minimize the effects of their weaknesses«.

4.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel behandelt Paradigmen und Befunde zum Lösen komplexer Probleme. Deren zentrale Eigenschaften, die sich deutlich von denjenigen einfacher Probleme abheben, lassen sich auf die systeminhärenten Merkmale Vernetztheit und Dynamik sowie auf die untersuchungsabhängig variierbaren Merkmale Intransparenz und Polytelie kondensieren (siehe Kapitel 4.1).

Ein Blick in die Geschichte dieses jungen Forschungszweigs zeigt in Europa zwei unterschiedliche Zugänge zum komplexen Problemlösen: einmal die differenzialpsychologisch motivierte Suche nach interindividuellen Unterschieden, zum anderen die allgemeinpsychologisch motivierte Suche nach wichtigen Eigenschaften dynamischer Systeme und deren Auswirkungen auf den Problemlöseprozess. Beide Zugänge ergänzen einander (siehe Kapitel 4.2).

Die zum Erkenntnisgewinn notwendige Methodik ist durchaus kontrovers diskutiert worden in der Auseinandersetzung um kondensierendes bzw. dissoziierendes Vorgehen: Während die Kondensation eine Vereinfachung unter Beibehaltung wichtiger Komponenten bedeutet (»holzschnittartiges Abbild«), ist das dissoziierende Vorgehen analytisch und richtet sich auf Details unter Vernachlässigung des Ganzen. Eng damit verbunden ist die Frage, ob das Lösen komplexer Probleme experimentell untersuchbar sei. Die Quintessenz dieser Debatte läuft auf einen

liberalen Standpunkt hinaus, der Erkenntnis aus möglichst vielen Quellen schöpft (siehe Kapitel 4.3).

Weiterführende Literatur

Zu den zwei Forschungstraditionen siehe Buchner (1995) sowie den Beitrag von Sternberg (1995), der die amerikanische Sicht verdeutlicht. Zur methodischen Kontroverse siehe Dörner (1983, 1992) und die Entgegnung von Funke (1995a).

5 Das Lösen komplexer Probleme: Paradigmen und Befunde

5.1 Realitätsnahe Szenarios
- 5.1.1 Das Lohhausen-Szenario oder: Wie Studierende zu Bürgermeistern wurden
- 5.1.2 Das Schneiderwerkstatt-Szenario oder: Das scheinbare Versagen von IQ-Tests
- 5.1.3 Das Entwicklungshilfe-Szenario Moro oder: Die Blindheit von Experten
- 5.1.4 Befunde aus Untersuchungen mit realitätsnahen Szenarios

5.2 Szenarios auf der Basis formaler Modelle
- 5.2.1 Lineare Strukturgleichungsmodelle – Dynamis-Ansatz
- 5.2.2 Finite Automaten
- 5.2.3 Befunde aus Untersuchungen mit Szenarios auf der Basis formaler Modelle
- 5.2.4 Über die Beziehung zwischen Wissen und steuerndem Handeln

5.3 Befunde zu Personmerkmalen
- 5.3.1 Die Intelligenz-Kontroverse
- 5.3.2 Expertise
- 5.3.3 Übungseffekte
- 5.3.4 Klinische Gruppen
- 5.3.5 Strategien

5.4 Befunde zu Situationsmerkmalen
- 5.4.1 Art der Aufgabenstellung
- 5.4.2 Stress
- 5.4.3 Individuelles versus Gruppen-Problemlösen
- 5.4.4 Transparenz
- 5.4.5 Art der Informationsdarbietung

5.5 Befunde zu Systemmerkmalen
- 5.5.1 Vernetztheit
- 5.5.2 Eigendynamik
- 5.5.3 Zeitverzögerte Rückmeldungen
- 5.5.4 Semantische Einkleidung

5.6 Befunde zu Interaktionseffekten
- 5.6.1 Person und Situation
- 5.6.2 Situation und System
- 5.6.3 Person und System

5.7 Offene Fragen
- 5.7.1 Eigenständigkeit des Konstrukts
- 5.7.2 Bereichsspezifität versus Generalisierbarkeit
- 5.7.3 Evaluationskriterien

5.8 Zusammenfassung

Genauso wie im Bereich einfacher Probleme haben sich auch im Bereich des komplexen Problemlösens bestimmte Untersuchungsparadigmen etabliert. Unsere Darstellung unterteilt die Paradigmen nach realitätsnahen Szenarios einerseits und nach artifiziellen Szenarios auf der Basis formaler Systeme andererseits. Diese Unterteilung sollte aber nicht als scharfe Abgrenzung gesehen werden. Sie ist insofern künstlich und willkürlich, da zum einen auch die realitätsnahen Szenarios artifiziell sind (sie »verschleiern« dies aufgrund aufwändigerer Semantik nur besser) und zum anderen für viele artifizielle Systeme mit etwas Wohlwollen kompatible natürliche Systeme gefunden werden könnten.

5.1 Realitätsnahe Szenarios

Die ersten Studien zum komplexen Problemlösen versuchten in eindrucksvoller Weise die komplexe Wirklichkeit ins Labor zu holen: Mit dem von Dörner programmierten Szenario SCHNEIDERWERKSTATT (TAILORSHOP) wurde eine kleine Management-Umgebung geschaffen, in der Probanden Rohmaterial einkaufen sowie mittels vorhandener Maschinen und Arbeiter Hemden produzieren und anschließend verkaufen mussten. Mit der ebenfalls in seiner Arbeitsgruppe erstellten Simulation LOHHAUSEN ging es von der Ebene einer kleinen Produktionsfirma noch eine Stufe weiter, nämlich zur Nachbildung einer kleinen Kommune gleichen Namens, der die Versuchspersonen als Bürgermeister vorstanden und um deren Wohlergehen sie sich zu bemühen hatten. Schließlich wurde als dritter Prototyp die Simulation eines kleinen afrikanischen Stammes (Tanaland, Dagu bzw. Moro) produziert, bei der die Versuchsperson die Rolle eines Entwicklungshelfers einzunehmen hatte.

Auf alle drei Szenarios soll nachfolgend genauer eingegangen werden, da sie die Initialarbeiten darstellten, auf die sich später Nachfolger wie Kritiker bezogen. In einem gewissen Sinn stellen diese Szenarios Instantiierungen des Konzepts »Komplexes Problemlösen« dar, wie es in den 70er Jahren von Dörner begründet wurde. Die amerikanische Forschung mit semantisch reichhaltigen Problemen (z. B. Bhaskar & Simon, 1977) ist damit nur bedingt vergleichbar, da deren Szenarien wesentlich beschränkter ausfielen.

5.1.1 Das LOHHAUSEN-Szenario oder: Wie Studierende zu Bürgermeistern wurden

Das Bürgermeister-Szenario LOHHAUSEN ist in mancherlei Hinsicht bemerkenswert: a) Es stellt bis heute vom Umfang her mit rund 2000 beteiligten Variablen eines der aufwändigsten Szenarios (gemessen an der Zahl beteiligter Variablen) dar; b) das Szenario wurde während der Bearbeitung durch die 48 studentischen Versuchspersonen von 1200 auf 2000 Variablen erweitert, d. h., es »wuchs« während der Datenerhebung um 67%! Diese Besonderheit erklärt sich dadurch, dass im Laufe der Untersuchungen neue Module hinzuprogrammiert wurden, die den Wünschen einzelner Versuchspersonen nach bestimmten sinnvollen (aber noch nicht implementierten) Maßnahmen Rechnung tragen sollten. Natürlich verletzt dies Grundprinzipien der Versuchsgestaltung, ist aber angesichts des bahnbrechenden und damit primär heuristischen Charakters der Untersuchung weniger tragisch.

Nicht rekordverdächtig, aber wahr: LOHHAUSEN ist bis heute nicht repliziert worden (und wird wohl auch nicht mehr repliziert werden können, da die Programmierumgebung auf einem Großrechner nicht mehr zur Verfügung steht). Die damalige Notwendigkeit des Einsatzes eines Großrechners hatte im Übrigen zur Folge, dass die Versuchspersonen nicht direkt mit dem System interagieren konnten, sondern die Versuchsleiter eine zentrale Rolle übernahmen: Sowohl die Wünsche der Versuchspersonen als auch das Feedback des Systems konnten nur über diese Zwischenstation vermittelt werden – und zwischen Eingabe und Ausgabe konnte durchaus einige Zeit verstreichen.

Bei LOHHAUSEN handelt es sich um das erste Szenario, das von der Forschungsgruppe um Dörner in Angriff genommen wurde (Dörner, 1979, 1980, 1981; Dörner, Kreuzig, Reither & Stäudel, 1981; Dörner & Stäudel, 1979), auch wenn die ausführlichen und systematischen Darstellungen erst sehr viel später erfolgten (zusammenfassende Darstellung: Dörner, Kreuzig et al., 1983).

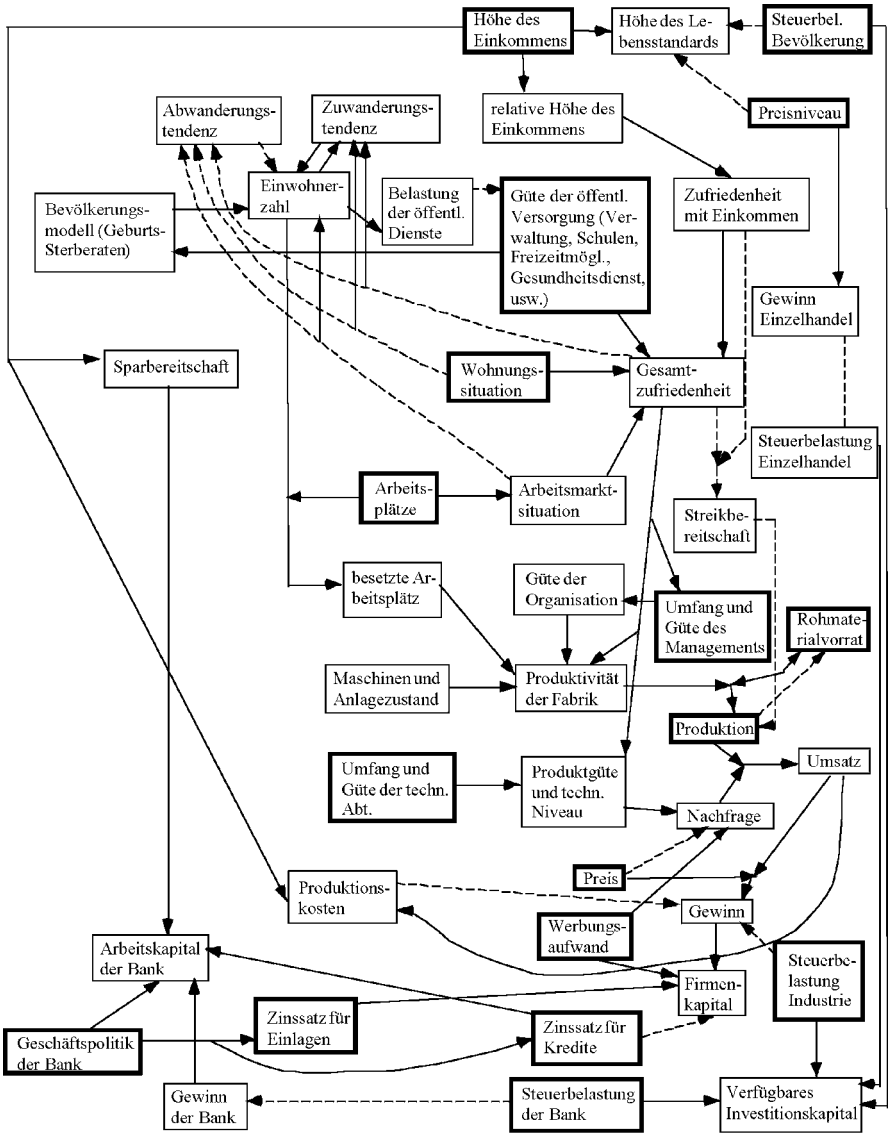


Abbildung 28 Grobstruktur des LOHHAUSEN-Systems (nach Dörner, Kreuzig et al., 1983, S. 110): 44 der rund 2000 Variablen. Fett markiert: Eingriffsmöglichkeiten der Versuchspersonen; gestrichelt: negative Wirkungen.

Der Name LOHHAUSEN[17] steht für die Simulation einer mitteleuropäischen Kleinstadt gleichen Namens, in der Versuchspersonen die Rolle des Bürgermeisters für einen Simulationszeitraum von 10 Jahren übernehmen sollten (Dörner, Kreuzig et al., 1983). Nach der bei Dörner (1981, S. 165) gegebenen Beschreibung hat die Stadt etwa 3500 Einwohner und lebt hauptsächlich von der stadteigenen Uhrenfabrik. Neben der Stadtverwaltung gibt es Arztpraxen, Einzelhandelsgeschäfte, eine Bank, Schulen, Kindergärten usw. Im Computermodell wurden nicht nur die ökonomischen Beziehungen abgebildet, sondern auch soziale, demografische und psychologische Variablen (z. B. Zufriedenheit der Einwohner). Versuchspersonen konnten in vielfältiger Weise in das System eingreifen: Sie konnten die Produktions- und Absatzpolitik der städtischen Fabrik beeinflussen, sie konnten Steuersätze ändern, Arbeitsplätze für Lehrer und Erzieherinnen schaffen, Arztpraxen einrichten und verpachten, Wohnungsbau betreiben, für Freizeiteinrichtungen sorgen usw. Die in Abbildung 28 dargestellte Grobstruktur mit gut 40 Variablen stellt eine erhebliche Vereinfachung des rund 2000 Variablen umfassenden Gesamtsystems dar.

Der im Abschnittstitel erwähnte Untertitel »Wie Studierende zu Bürgermeistern wurden« hebt auf die Besonderheit ab, dass hier – im Unterschied zu vielen amerikanischen Expertenstudien mit wissensintensiven Domänen – Laien als Versuchspersonen herangezogen wurden, die mit ihren ganz alltäglichen Routinen und ohne jede Schulung oder Vorbereitung Führungsaufgaben zu übernehmen hatten, was ja nach Sternberg (1995) eine der Besonderheiten europäischer im Vergleich zu amerikanischer Forschung im Umgang mit komplexen Problemen ist. Neuere amerikanische Überblicke zum computergestützten Messen der Problemlösekompetenz (z. B. Baker & O'Neil, 2002) ignorieren übrigens zumeist die europäischen Studien.

5.1.2 Das SCHNEIDERWERKSTATT-Szenario oder: Das scheinbare Versagen von IQ-Tests

Das System SCHNEIDERWERKSTATT stellt ein frühkapitalistisch organisiertes Unternehmen dar, in dem Rohmaterial von Arbeitern an Produktionsmaschinen zu Hemden verarbeitet wird, die auf dem Markt verkauft werden müssen. Das System besteht insgesamt aus 24 Variablen, von denen 11 durch Maßnahmen der Probanden direkt beeinflusst werden können. Kernvariable des Systems ist das Kapital, das mit 15 der 24 Variablen in Verbindung steht. Ohne Eingriffe in das System würde die SCHNEIDERWERKSTATT in Kürze Konkurs anmelden müssen, da die laufenden Kosten (Lagerkosten, Lohnkosten, Miete) schnell in die negativen Zahlen führen. Dies lässt sich vermeiden, indem Rohmaterial eingekauft wird, die Maschinen gewartet werden und den Arbeitern ein vernünftiger Lohn gezahlt wird. Außerdem muss der Hemdenpreis marktfähig gemacht werden. Abbildung 29 zeigt die Variablen der SCHNEIDERWERKSTATT und ihre Verknüpfungen.

17 Nicht zu verwechseln mit dem Düsseldorfer Stadtteil Lohausen, in dem der Autor dieses Buches seine Kindheit und Jugend verbrachte.

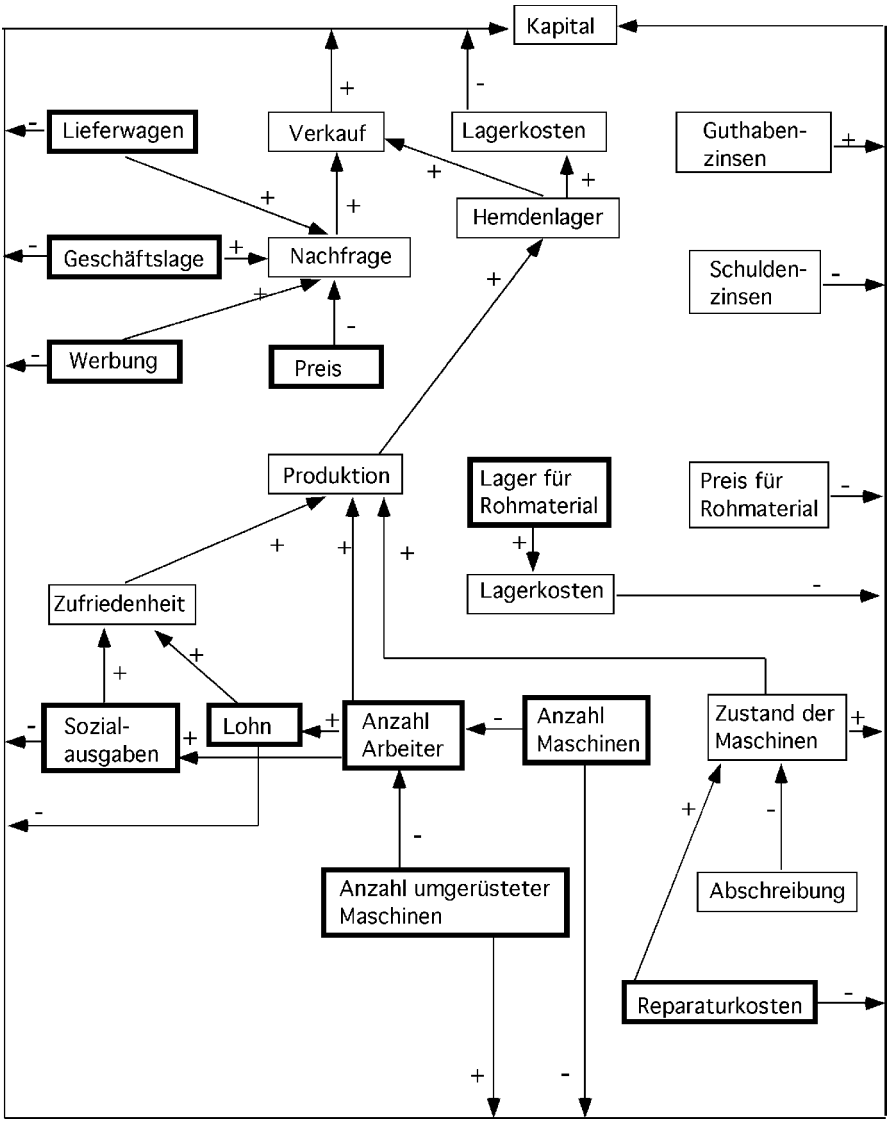


Abbildung 29 Die Variablen des SCHNEIDERWERKSTATT-Szenarios und ihre Verknüpfungen. Die dick umrandeten Variablen sind direkt beeinflussbar (N = 11). Ein »+« bedeutet eine positive, ein »-« eine negative Beziehung (nach Putz-Osterloh, 1981, S. 85).

Aufgabe des Problemlösers ist es, die SCHNEIDERWERKSTATT über einen entsprechend ausgedehnten Simulationszeitraum hinweg so zu führen, dass nachhaltig Gewinn erwirtschaftet wird (Putz-Osterloh & Lüer, 1981, S. 313–315).

In seiner ursprünglichen Form existierte dieses von Dietrich Dörner programmierte System als Programm auf einem Taschenrechner TI 59, das allerdings 1982 von mir in ein BASIC-Programm übersetzt und damit auf dem Bildschirm eines Kleinrechners bedienbar gemacht wurde. Die Ursprungsvariante, die in den Arbeiten von Putz-Osterloh (1981; Putz-Osterloh & Lüer, 1981) zum Einsatz kam, erlaubte keine direkten Eingriffe der Versuchspersonen in das Programm, sondern benötigte zwischengeschaltete Versuchsleiter. Wie die bei Funke (1983) publizierten Details des Systems deutlich machen, sind nicht nur an mehreren wichtigen Stellen Zufallsfunktionen implementiert, sondern auch nichtlineare Funktionen, die zumindest eine lineare Optimierung des Systems unmöglich machen.

In der Zwischenzeit ist das ursprüngliche Programm SCHNEIDERWERKSTATT in vielen Varianten erschienen (z. B. Funke, 1982; Süß & Faulhaber, 1990) – eine Reihe von Szenarios mit anderen Titeln gehen in ihrer Grundstruktur auf das Originalsystem zurück (z. B. HEIZÖLHANDEL; TEXTILFABRIK).

Das im Abschnittstitel erwähnte Versagen der IQ-Tests hängt mit den ersten publizierten Arbeiten zur SCHNEIDERWERKSTATT zusammen, in denen geringe bis keine Korrelationen zwischen Leistungsparametern des Szenarios und IQ-Werten gefunden wurden (Putz-Osterloh, 1981; Putz-Osterloh & Lüer, 1981). Dieser Befund trat später auch bei anderen Szenarien auf. Vom »scheinbaren« Versagen ist die Rede, weil der ursprüngliche Befund einer Null-Korrelation heute anders erklärt wird und sich die Befundlage durch weitere Studien geändert hat. Das Szenario SCHNEIDERWERKSTATT ist eng mit dieser Kontroverse verbunden, die weiter unten (siehe Kapitel 5.3.1, Die Intelligenz-Kontroverse) ausführlicher abgehandelt wird.

5.1.3 Das Entwicklungshilfe-Szenario MORO oder: Die Blindheit von Experten

Das überaus beliebte Programm MORO (vgl. etwa Endres & Putz-Osterloh, 1994; Jansson, 1994; Kotkamp, 1999; Putz-Osterloh, Bott & Houben, 1988; Rigas, 2000; Schaub & Strohschneider, 1992; Schmuck & Strohschneider, 1995; Stäudel, 1987; Strohschneider, 1986, 1994; Strohschneider & Güss, 1999; Tisdale, 1990) simuliert in holzschnittartiger Weise die Situation eines kleinen Nomadenstammes der Sahel-Zone in der südlichen Sahara. In diesem Szenario haben Akteure praktisch diktatorische Möglichkeiten, in den Gang des Geschehens einzugreifen. Zugleich bekommen sie relativ schnell Rückmeldung über die Effekte ihres Handelns und können daher auch Einblicke in nicht bedachte Implikationen ihrer Entscheidungen nehmen.

Das Szenario MORO verlangt von den Probanden, sich in die Rolle eines Entwicklungshelfers in Westafrika einzudenken. Dort leben am Südrand der Sahara die Moros, ein Halbnomadenstamm, der von Rinderzucht und Hirseanbau lebt. Die Stammesgruppe umfasst zu Beginn der Simulation etwa 650 Menschen, denen es nicht besonders gut geht. Die Rinder, von denen sie sich ernähren, sind klein und oft schlecht ernährt. Dem Nomadenbrauchtum entsprechend lassen die Moros ihre Rinderherden in der Nähe der einzelnen Wasserstellen weiden, wechseln aber die Stellen häufiger. Eine bestimmte Anzahl von Rindern, die der eigenen Ernährung dienen, wird jährlich geschlachtet. All das ermöglicht ein Leben hart am Existenzminimum. Zudem wird ein großer Teil des Viehbestandes jährlich durch

die Rinderschlafkrankheit vernichtet, die durch die Tse-Tse-Fliege verbreitet wird. Auch von Hungerkatastrophen bleibt der Stamm nicht verschont. Etwa 5 Quadratkilometer des insgesamt 1000 Quadratkilometer umfassenden Gebietes konnten bislang in Hirsefelder umgewandelt werden, die der Ernährung dienen. Medizinische Versorgung jenseits der Naturheilkunde fehlt den Moros.

Die MORO-Simulation besteht aus mehreren untereinander verbundenen Modellen (WasserKreislauf, Vegetation, Rindervermehrung, Tse-Tse-Fliegen, Bevölkerung, Ernährung, Arbeit, Geld). Eine aktuelle Variante von MORO ist als öffentlich zugängliche Diagnose- und Trainingssoftware unter dem Namen MOROLAND bzw. SYRENE erschienen (Lantermann, Döring-Seipel, Schmitz & Schima, 2000). Kapitel 6.5.3 beschreibt das Training und gibt eine Bezugsadresse an.

Die im Abschnittstitel erwähnte Blindheit von Experten geht auf eine Studie von Reither (1981) zurück, in der er Novizen und Entwicklungshilfe-Experten beim Bearbeiten eines Entwicklungshilfe-Szenarios verglich und erstaunt feststellen musste, dass neben der Ignoranz von Novizen gegenüber wichtigen Problemen im Szenario auch eine Blindheit der Experten zu konstatieren war, die in der mangelnden Anpassung vertrauter Routinen an sich verändernde Bedingungen bestand.

5.1.4 Befunde aus Untersuchungen mit realitätsnahen Szenarios

Aus der Vielzahl berichteter Einzelbefunde sollen hier vier Bereiche herausgegriffen werden: Die Notfallreaktion des intellektuellen Systems, der Umgang mit Zielen, der Umgang mit Informationen sowie der Umgang mit Zeit und Zeitabläufen. Eine detaillierte Darstellung findet sich bei Dörner (1989b).

Notfallreaktion des intellektuellen Systems. Eine der auffälligen Erscheinungen beim Umgang mit dem komplexen Szenario LOHHAUSEN war die Tatsache, dass viele Probanden stressähnliche Symptome zeigten. Im Unterschied zu normalen Stressreaktionen wurde hier aber das veränderte *kognitive* Geschehen näher beleuchtet und mit dem Begriff der »intellektuellen Notfallsituation« gekennzeichnet. Eine solche Notfallsituation führt nach Dörner zu drei verschiedenen Konsequenzen: a) zur Senkung des intellektuellen Niveaus, b) zu schnellem Handeln und c) zur Degeneration der Hypothesenbildung. Unter der *Senkung des intellektuellen Niveaus* wird ein Absinken der Selbstreflexionen, ein Absinken intendierter sowie realisierter Absichten (d. h., von insgesamt weniger Absichten werden *noch* weniger umgesetzt) sowie eine zunehmende Stereotypisierung verstanden. Die *Tendenz zu schnellem Handeln* erhöht die Risikobereitschaft, die Regelverstöße sowie Fluchttendenzen. Die *Degeneration der Hypothesenbildung* besteht darin, dass wesentlich globalere Hypothesen gebildet und in deformierter Weise (d. h. vor allem unvollständig) geprüft werden, hinzu kommen eine Verschanzungstendenz, nach der keine Falsifikation mehr erfolgt sowie eine Entkonkretisierung von Zielen.

Das Konzept der Notfallreaktion des intellektuellen Systems macht in eindrucksvoller Weise deutlich, dass in Stresssituationen nicht nur emotionale Reaktionen einsetzen, sondern dass diese emotionalen Veränderungen auch im kognitiven System negative Konsequenzen nach sich ziehen. Allerdings muss kritisch angemerkt werden, dass dieses Phänomen zunächst nur eine Interpretation von Beobachtungen darstellt und keinesfalls auf erhärteten Daten beruht. In welcher systematischen Weise die geschilderten Symptome auftreten, bleibt unklar; dies

führt zu vielen offenen Fragen (Gelten die Symptome für alle Personen gleichermaßen? Treten sie immer alle gemeinsam auf? Usw.).

Bedeuten derartige Phänomene eigentlich, dass experimentelle Forschung zu komplexen Problemen nicht möglich sei? Box 5 geht dieser Frage nach.

Box 5 Über die Notwendigkeit testtheoretischer Analysen komplexer Mikrowelten.

Psychologische Forschung besteht im Wesentlichen darin, die Reaktionen von Versuchspersonen unter kontrollierten Bedingungen zu beobachten und zu erfassen und diese empirischen Befunde als Korrektiv für die versuchsleitenden Theorien zu verwenden. Auch wenn es in der Forschung zum komplexen Problemlösen sehr wohl Zweifler gegeben hat, die experimentell kontrollierte Forschung mit derartigen Mikrowelten aus grundsätzlichen Erwägungen heraus für unsinnig hielten (vgl. Dörner, 1989a), zeigt doch die inzwischen große Zahl an Experimenten in diesem Bereich, dass diese Meinung eher als Warnung vor *schlecht* gemachten Experimenten dienen sollte.

Was hier vertieft werden soll, ist die Frage danach, was der Begriff »unter kontrollierten Bedingungen« bedeutet. Insbesondere soll hier auf eine Bedeutung abgehoben werden, die in der bisherigen Forschung häufig übersehen wurde. Experimentelle Kontrolle heißt nicht nur Kontrolle der experimentellen Treatments, sondern heißt natürlich auch Kontrolle des Untersuchungsmaterials, dem die Versuchspersonen ausgesetzt werden. Für die komplexen Mikrowelten bedeutet das: Die Eigenschaften des Stimulusmaterials müssen genau bekannt sein, um die aus dessen Bearbeitung resultierenden Effekte adäquat interpretieren zu können.

Ein Beispiel: Konstruiert man eine Mikrowelt mit explosionsartigen Entwicklungsverläufen und hoher Sensitivität der Variablen, so braucht man sich nicht zu wundern, wenn naive Personen an der Kontrolle eines derartigen Systems scheitern. Umgekehrt: Bastelt man ein »zahmes« System und konstatiert erfreuliche Testleistungen, verwundert auch dieses nunmehr andersartige Ergebnis nicht.

Welche Konsequenz ist hieraus für die Kontrolle der Eigenschaften von Mikrowelten zu ziehen? Eigentlich eine sehr nahe liegende, nämlich eine Analyse von Mikrowelten analog zur testtheoretischen Analyse von Fragebogentests. Bei einem psychometrisch konstruierten Fragebogen werden Item für Item die Itemstatistiken herangezogen, um die Tauglichkeit jeder einzelnen Frage zu überprüfen. Nun gibt es bei komplexen Mikrowelten keine voneinander unabhängigen »Items« im klassischen Sinn; eine Itemanalyse ist nicht möglich. Aber: Natürlich ist eine Systemanalyse möglich!

Solche Systemanalysen stellen sorgfältige Untersuchungen der jeweiligen Mikrowelt dar, die bestimmte Eigenschaften und Besonderheiten erläutern. Diese sind für das Verständnis des Umgangs der Probanden mit dem System von großer Bedeutung. Die Semantik des Systems ist eine derartige Größe, über deren Bedeutung zahlreiche Experimente (z. B. Beckmann, 1994; Funke, 1992, Exp. 4 & 5; Hesse, 1982) Auskunft geben. Worüber allerdings fast gar nichts publiziert wird, sind die Eigenschaften, die sich aus der formalen Struktur eines Systems ergeben. Häufig findet man unscharfe Beschreibungen von Mikrowelt-Eigenschaften wie z. B. »reagiert träge«, »verhält sich stabil«, »führt schnell zu äußerst bedrohlichen Entwicklungen«, die allerdings die phänomenologische Beschreibungsebene nicht überwinden.

Fortschrittlichere Analysen finden wir dort, wo in Simulationen die Auswirkungen bestimmter Eingriffsstrategien vor jeder Empirie geprüft werden. So gibt es z. B. gelegentlich Aussagen darüber, wie sich ein System entwickeln würde, wenn gar nicht eingegriffen wird (sog. »Nulllauf« des Systems). Dies ist insofern wichtig, als nach einer ganzen Reihe von Untersuchungen diejenigen Probanden besser abzuschneiden scheinen, die weniger Eingriffe produzieren und damit das System nicht zu sehr »beschädigen«. Solche Systemanalysen helfen auch, die Auswirkungen bestimmter Eingriffsstrategien auf die abhängigen Variablen besser zu verstehen. Hierzu liefert die Detailanalyse von Süß, Kersting und Oberauer (1991, 1993; Süß, Oberauer & Kersting, 1993) zu den Erfolgsfaktoren beim Umgang mit der SCHNEIDERWERKSTATT (vgl. Kapitel 5.3.1) einen positiven Beleg.

Zu den testtheoretisch wichtigen Forderungen gehört auch diejenige nach dem Nachweis der Reliabilität verwendeter Erfolgskriterien. Seit dem ersten Hinweis auf die Reliabilitätsproblematik (Funke, 1983) sind zwischenzeitlich zahlreiche Studien vorgelegt worden (Kersting & Süß, 1995; Müller, 1993; Putz-Osterloh & Haupts, 1989; Rigas, Carling & Brehmer, 2002; Ruben & Lederman, 1982; Schaub, 1990; Schoppek, 1991; Strohschneider, 1986), die jedoch meistens nur für Verhaltens-, selten aber für Systemdaten reliable Messungen nachweisen. Ausbleibende Korrelationen zwischen unreliablen Erfolgskriterien und Drittvariablen erlauben keine inhaltlichen Aussagen mehr, sondern sind Methodenartefakte.

Umgang mit Zielen. Ein weiterer Befund betrifft den Umgang mit Zielen. Das unscharf gehaltene Ziel bei LOHHAUSEN »Sorge für das Wohlergehen der Einwohner!« muss eigentlich in handhabbare Teilziele dekomponiert werden. Nach Dörner (1989b, S. 87 f.) fiel dies den Versuchspersonen schwer. Anstelle einer notwendigen Komponentenanalyse (»Was sind wichtige Facetten des Wohlergehens?«) wurde ein »Reparaturdienstverhalten« gezeigt, das im Wesentlichen in der Suche nach Missständen und dem Versuch ihrer Beseitigung bestand. Gelöst werden damit allenfalls offensichtliche Probleme sowie solche, für die man gerade Lösungen zur Hand hat. Längerfristige Planungen sind damit ebenso wenig möglich wie gezielte Schwerpunktsetzungen.

Umgang mit Informationen. In einer komplexen Situation muss der richtige Auflösungsgrad gefunden werden. Weder ein Zuviel noch ein Zuwenig an Informationen wäre wünschenswert. In einer Studie mit dem Szenario TANALAND haben Dörner und Reither (1978) etwa festgestellt, dass von der ersten bis zur sechsten (letzten) Sitzung eine kontinuierliche Verringerung der Anzahl gestellter Fragen eintrat. Bei der SCHNEIDERWERKSTATT fand Putz-Osterloh (1981), dass »gute« Versuchspersonen insgesamt nach mehr Variablen fragten als »schlechte«, unter intransparenten Bedingungen weniger Fragen stellten als unter transparenten.

Aber nicht nur die Quantität eingeholter Informationen ist wichtig, sondern auch deren Qualität. Während am Anfang bei Dörner und Reither (1978) eher »status-quo«-Fragen gestellt wurden, verschob sich dies im Lauf der Szenariobearbeitung hin zu Veränderungsfragen. Auch Strohschneider (1986) berichtet über derartige Verschiebungen des Frageverhaltens im Versuchsverlauf und merkt zudem an, dass derartige Verhaltensdaten zuverlässiger seien als Daten der Systemsteuerung.

Umgang mit Zeit und Zeitabläufen. Am Beispiel der Aids-Epidemie erläutert Dörner (1985c) die generelle Neigung von Menschen, nichtlinear ablaufende

Wachstums- oder Zerfallsprozesse linear zu extrapolieren und damit massive Fehleinschätzungen in Kauf zu nehmen (vgl. dazu Koch, L'Age-Stehr, Gonzalez & Dörner, 1987). Anhand eines einfachen ökologischen Räuber-Beute-Systems konnten Dörner und Preußler (1990) zeigen, dass den Versuchspersonen die Steuerung dieses zeitdynamischen Systems schwer fiel. Von den je zweistufig (vorhanden/nicht vorhanden) manipulierten Faktoren »Zeitdruck«, »Totzeit«, »Forderung einer Prognose« und »Rückmeldeverzögerung« erwies sich letzterer als besonders wirkungsvoll: Wenn eine um zwei Takte verzögerte Rückmeldung über den Systemzustand gegeben wurde, waren nicht nur die Entscheidungszeiten deutlich verlängert, sondern es kam auch zu größeren Sollwertabweichungen.

Auch die Arbeit von Preußler (1985) liefert wichtige Informationen darüber, wie Zeit extrapoliert wird. Anhand der Prognose von Räuber-Beute-Zahlen kommt sie zu einem Modell, wonach durch lineare Extrapolation zwischen Anfangs- und Endwert sowie unter Hinzuziehung eines Korrekturwerts aufgrund bisheriger Prognosefehler das tatsächliche Schätzverhalten ihrer Versuchspersonen gut approximiert werden kann (vgl. auch Dörner, 1989b, S. 215 f.).

Andere Fehler im Umgang mit Zeit betreffen ebenfalls Entwicklungen eines Systems, diesmal aber die längerfristigen. In MORO erfahren viele Versuchspersonen den Eintritt von Katastrophen (siehe z. B. Stäudel, 1987). Die dort im Szenario vorkommenden Rinder-, Grundwasser- oder Bevölkerungskatastrophen sind jeweils Ergebnis einer falsch eingeschätzten Entwicklungsdynamik, die harmlos und wunschgemäß beginnt (mehr Rinder auf den Feldern; mehr Wasser durch Brunnen; mehr Moros durch bessere Fleisch- und Wasserversorgung), aber auf längere Sicht ins Gegenteil umschlägt (Rinder finden nicht genug zu fressen und sterben; Grundwasserspiegel wird abgesenkt und Brunnen versiegen; Moros sterben infolge mangelnder Nahrung). Gut gemeinte Aktionen schlagen aufgrund der Systemdynamik plötzlich in ihr Gegenteil um, weil die längerfristige Entwicklung nicht bedacht wurde.

Ein letzter Hinweis zum Umgang mit Zeit: Wenn eine zeitkritische Anforderung gestellt wird, kann sich die Forderung nach gleichzeitigem lauten Denken als nachteilig erweisen. Dickson, McLennan und Omodei (2000) haben dies am Beispiel ihres Szenarios FIRE FIGHTING experimentell untersucht. Ihre Versuchspersonen mussten während der Bearbeitung zeitkritischer Brände entweder schweigen, ihre Gedanken äußern oder zugleich ihre Entscheidungen begründen. Die Schweige-Gruppe schnitt am besten ab, die Begründungs-Gruppe am schlechtesten. Unter Zeitdruck stört diese Messmethode also klar den Problemlöseprozess.

Hinweis: Eine Reihe der von der Dörner-Gruppe produzierten Szenarios liegt im Netz unter der Adresse http://www.uni-bamberg.de/~ba2dp1/software.html als Voll- oder Demo-Version zum Download bereit.

5.2 Szenarios auf der Basis formaler Modelle

Als Reaktion auf die ad-hoc-Konstruktion komplexer Szenarios hat es recht bald schon erste Gegenbewegungen gegeben, die auf die Notwendigkeit einer präzisen Formalisierung komplexer Anforderungen hingewiesen haben (Funke, 1984; Hüb-

ner, 1987; Thalmaier, 1979). Die semantische Einkleidung wird dabei im Interesse einer präziseren Gestaltung der Aufgabenumgebung (*task environment*) der formalen Struktur nachgeordnet. Insofern ähnelt dieses Vorgehen durchaus demjenigen, was bei einfachen Problemen gemacht wird.

Konkret bedeutet dies für die Systemkonstruktion: Zunächst wird eine formale Struktur festgelegt, für die dann im nächsten Schritt eine passende Semantik gesucht wird (oder auch nicht: In diesem Ansatz wird den Versuchspersonen oftmals die Künstlichkeit des zu explorierenden Systems explizit mitgeteilt). Im Fall der bereits oben beschriebenen Forschung mit realitätsnahen Szenarios ist der Weg genau umgekehrt: Zunächst wird ein möglichst interessanter Realitätsbereich ausgewählt, dem dann später eine formale Modellierung unterlegt wird. Diese versucht, die wichtigen Eigenschaften des Realitätsbereichs abzubilden, was aber keinesfalls immer gut gelingt – tatsächlich wurden artifizielle Systeme (Programme) geschaffen, die unter dem Deckmantel der Realitätsnähe kuriose Ergebnisse produzierten. So ist es etwa beim ursprünglichen SCHNEIDERWERKSTATT-Szenario möglich, durch einen exorbitanten Einsatz von Lieferwagen, an den der Programmierer wohl nicht gedacht hatte, die Nachfrage exorbitant zu steigern. Solche »Fehler« bei der Abbildung eines Realitätsbereichs können beim formalen Ansatz nicht auftreten.

Aus heutiger Sicht haben sich zwei Formalismen bewährt, die zwei der wichtigsten Anforderungsdimensionen eines komplexen Problems (Vernetztheit und Dynamik) realisieren helfen: zum einen der *Ansatz linearer Strukturgleichungen* für Systeme mit kontinuierlichen Variablen (vgl. Funke, 1985, 1993a), zum anderen die *Theorie finiter Automaten* für Systeme mit diskreten Variablen (vgl. Buchner & Funke, 1993; Funke & Buchner, 1992). Beide Ansätze werden nachfolgend genauer vorgestellt.

Die beiden Paradigmen »lineare Strukturgleichungen« und »finite Automaten« sind generell (nicht nur in diesem Kontext) hilfreich bei der Modellierung von Zusammenhängen zwischen mehreren Variablen und deren Auswirkungen über die Zeit hinweg. Während man es bei den linearen Strukturgleichungen mit Variablen zu tun hat, die Intervallskalenniveau aufweisen müssen, fordern die finiten Automaten lediglich Nominalskalenniveau und können somit qualitative Aspekte abbilden, die in diskreten Abstufungen vorkommen (auch Ordinaldaten lassen sich darin abbilden). Wir beginnen zunächst mit der Darstellung der Strukturgleichungssysteme und gehen dann auf finite Automaten ein.

5.2.1 Lineare Strukturgleichungsmodelle – DYNAMIS-Ansatz

Eine Reihe alltäglicher Aktivitäten (z. B. Radfahren, Autofahren) wie auch Tätigkeiten am Arbeitsplatz (Anlagensteuerung bei Kraftwerken, Steuern von CAD-Maschinen, Lenken von Fahrzeugen) enthalten Steuer- und Regelungsprozesse, bei denen es vor allem auf die quantitative Abstufung bestimmter Eingriffe ankommt. Nicht nur technische, sondern auch ökologische Systeme machen es erforderlich, zunächst die Funktionsweise des fraglichen Systems oder Systemausschnitts kennen zu lernen, bevor dann zielführend eingegriffen werden kann. Einen der in vielen Wissenschaften erfolgreichen Wege zur Abbildung von Systemen mit quantitativen Variablen und zur Untersuchung von deren Eigenschaften stellt das allgemeine lineare Modell dar (siehe z. B. Werner, 1997). Zunächst wird das formale

System vorgestellt, dann kommen die daraus ableitbaren Anforderungen an Problemlöser zur Sprache. Beides zusammen macht den DYNAMIS-Ansatz aus (so benannt nach der Software, mit der beliebige Szenarien innerhalb des formalen Rahmens konstruiert werden können).

Das formale System

Wie sieht ein solches lineares Gleichungssystem für einen Problemlöser konkret aus? Typischerweise wird den Versuchspersonen als Einführung in die Problemstellung erklärt, dass sie in einem noch unbekannten System einzelne Variablen (sog. exogene Variablen) verändern können, die dann andere Variablen (sog. endogene Variablen) beeinflussen. Die Grundstruktur für ein derartiges einfaches lineares System ist in Abbildung 30 exemplarisch an einem Vier-Variablen-System dargestellt (vgl. Vollmeyer & Funke, 1999).

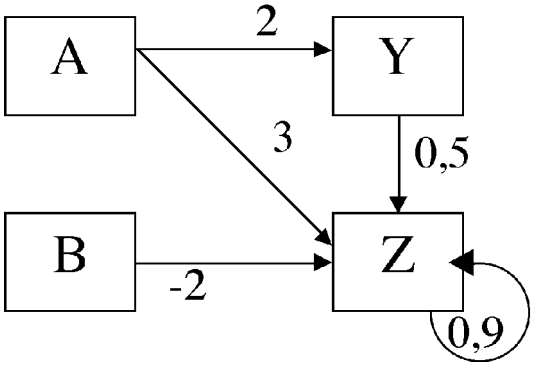


Abbildung 30 Struktur eines einfachen linearen Systems mit zwei exogenen Variablen A und B sowie zwei endogenen Variablen Y und Z, die gemäß der angegebenen gerichteten Kanten (= kausale Verbindungen zwischen den Variablen) und deren Gewichten untereinander verknüpft sind.

Hier sind A und B die exogenen Variablen, die auf die endogenen Variablen Y und Z wirken. Die Zahlen an den Pfeilen geben Gewichte an, mit denen die jeweilige exogene auf die endogene Variable wirkt. Formal ist das System durch zwei Gleichungen beschreibbar (für jede endogene Variable wird genau eine Gleichung benötigt), nämlich:

$$Yt+1 = 2 * At \qquad (1)$$

$$Zt+1 = 3 * At - 2 * Bt + 0{,}5 * Yt + 0{,}9 * Zt \qquad (2)$$

Dabei gibt der Index jeder Variable den jeweiligen Zeitpunkt (t bzw. t+1) des Systems an, der in diskreten Stufen getaktet wird. Aus Gleichung (1) ergibt sich, dass sich der Wert der Variable Y zum Zeitpunkt t+1 errechnet aus dem Wert der Variable A zum Zeitpunkt t, multipliziert mit 2. Die Gleichung (2) verdeutlicht, dass die endogene Variable Z zum einen von den beiden exogenen Variablen A und B mit Gewicht 3 bzw. -2 beeinflusst wird, zum anderen zusätzlich von der anderen endogenen Variable Y (Gewicht 0,5) sowie von ihrem eigenen vorangegangenen Zustand abhängt (Gewicht 0,9).

Meistens wird so ein System am Computer dargeboten, wobei durch die Darbietung erkennbar ist, welche Variablen manipuliert werden können. Nicht erkennbar ist, ob und welche exogene Variable welche endogene Variable beeinflusst. In manchen Systemen wirken endogene Variablen auf andere endogene Variablen (sog. Nebenwirkungen; im Beispielsystem als Wirkung von Y auf Z implementiert, vgl. Abbildung 30) oder eine endogene Variable verändert sich konstant, auch wenn das System nicht manipuliert wird (sog. Eigendynamik; im Beispielsystem als Wirkung von Z auf sich selbst implementiert, vgl. Abbildung 30). Durch gezielte Verwendung und Manipulation solcher Systemmerkmale können beliebig komplexe lineare Gleichungssysteme im Rahmen des DYNAMIS-Ansatzes (siehe z. B. Funke, 1985, 1993a; Funke & Steyer, 1985) konstruiert werden.

Bis hierhin ist der Ansatz unpsychologisch, da er zunächst nur eine formale Beschreibung einer Klasse von Systemen liefert. Psychologisch wird er durch zusätzliche Annahmen darüber, wie Menschen mit derartigen Systemen umgehen, konkret: wie sie in solchen Szenarien Wissen erwerben und in Steuerungssituationen zur Anwendung bringen.

Die Anforderungen

Bsp: Stellen wir uns vor, wir müssten in einem Ferienhaus im Ausland herausfinden, wie die Heizungsanlage funktioniert. Wir finden Schalter und Regler, deren Beschriftung wir nicht verstehen. Was machen wir? Wir probieren verschiedene Einstellungen aus und beobachten die eintretenden Effekte. Am Ende des Urlaubs wissen wir, wie man die Temperatur so einstellt, dass weder unangenehme Kälte noch übermäßige Erwärmung uns plagen.

Diese durch Ziele gesteuerten Tätigkeiten lassen sich abstrakt beschreiben als 1. Wissenserwerb und 2. Wissensanwendung. *Wissenserwerb* bezieht sich dabei auf die Identifikation des Systems, mit dem man es zu tun hat, *Wissensanwendung* dagegen auf die Kontrolle dieses Systems im Hinblick auf ein (durch den Versuchsleiter) gesetztes Ziel. Beide Aspekte sind beim alltäglichen Umgang mit einem System miteinander verwoben, da meist schon die ersten Schritte des Wissenserwerbs unter der Vorgabe bestimmter Ziele stehen. So will ich etwa im Regelfall *nicht* herausfinden, wie die Heizungsanlage aufgebaut ist und funktioniert, sondern es geht mir primär um die rasche Herstellung einer angenehmen Temperatur. Da es sich aber um zwei klar unterscheidbare Tätigkeiten handelt, ist es für die diagnostische Situation wichtig, die beiden Aspekte voneinander zu trennen. Wie dies geschehen kann, wird in den nächsten Abschnitten geschildert.

Identifikation eines Systems (Wissenserwerb). Da in vielen alltäglichen Situationen auf Vorwissen zurückgegriffen werden kann, ist bereits der Wissenserwerb von der Nutzung dieses Wissens geleitet. Besonders in Fällen, wo nur *ein* Bearbeitungsdurchgang möglich ist (solche Situationen wurden in vielen Untersuchungen zum komplexen Problemlösen realisiert, Bsp. LOHHAUSEN), spielt die Anwendung von Vorwissen natürlich eine entscheidende Rolle bei den ersten Schritten des Wissenserwerbs (vgl. Süß, 1999).

Die Wissenserwerbssituation ist eine komplexe Lernsituation, in der die Vernetztheit und die Dynamik des jeweiligen Systems festzustellen sind. Die Erfassung der strukturellen Aspekte eines Systems (= Vernetztheit) kann allerdings nicht losgelöst von der Erfassung der prozessualen Aspekte dieses Systems (= Dynamik) erfolgen, da sich die Variablen des Systems nur im zeitlichen Verlauf analysieren lassen. Bezogen

auf lineare Strukturgleichungen bedeutet Identifikation des Systems: Finde heraus, wie die exogenen Variablen auf die endogenen wirken und wie die endogenen Variablen sich untereinander beeinflussen. Hierfür ist eine entsprechende Identifikationsstrategie zu entwerfen, da bei komplexeren Systemen eine einzelne Intervention und das Muster der daraus resultierenden Änderungen nicht aussagekräftig sind. Erst aufeinander abgestimmte Muster von Eingriffen (z. B. Strategie der isolierenden Bedingungsvariation) erlauben kausale Interpretationen der Datenvektoren.

Bei linearen Strukturgleichungssystemen kann das Identifikationsproblem in mehrere Teilziele zerlegt werden: Festzustellen sind a) die Existenz einer Relation zwischen zwei Variablen, b) deren Richtung (positives oder negatives Vorzeichen), sowie c) deren genaue Spezifikation in Form des Gewichtungsfaktors, mit dem die erste Variable auf die zweite oder auch auf weitere Variablen einwirkt. Mit diesen Annahmen verbunden sind Vorstellungen darüber, wie die genannten Merkmale repräsentiert sein könnten (vgl. Funke, 1992, Kap. 3) und wie entsprechend diesen Repräsentationsannahmen eine theoriegeleitete Wissensdiagnostik aussehen könnte (z. B. nach Funke, 1985, als Kausaldiagramm-Diagnostik zur Erfassung expliziten Systemwissens). Die formulierten Repräsentationsannahmen sehen qualitativ verschiedene Stufen des erworbenen Wissens vor, zu denen Relations-, Vorzeichen- und Wirkstärken-Wissen gehören. Diese Wissensarten beziehen sich auf verschiedene Differenzierungsgrade des erworbenen Systemwissens, die im Rahmen der Wissensdiagnostik unterschieden werden können. Hinsichtlich der dafür verwendeten Kausaldiagramm-Diagnostik, die von Kluwe (1988, S. 371) wegen ihres hohen Aufforderungsgehalts kritisiert wurde, liegen inzwischen sowohl überzeugende Reliabilitätsstudien vor (Müller, 1993) als auch Studien, in denen dieser Wissenserwerb erfolgreich multinomial modelliert wurde (Beckmann, 1994).

Kontrolle eines Systems (Wissensanwendung). Wissensanwendung stellt das vorhandene bzw. erworbene Wissen in einen instrumentellen Zusammenhang: Das Wissen soll genutzt werden, um einen bestimmten Systemzustand zunächst herzustellen und dann gegebenenfalls längerfristig aufrechtzuerhalten. Dieser zuletzt genannte Aspekt spielt vor allem bei solchen Systemen eine wichtige Rolle, bei denen durch die Eigendynamik des Systems ein stabiler Zustand nur durch ständiges Eingreifen sichergestellt werden kann.

Bezogen auf lineare Strukturgleichungssysteme bedeutet Kontrolle des Systems, den oder die Eingriffsvektoren zu spezifizieren, die einen gegebenen Ausgangszustand in den gewünschten Zielzustand überführen, und sodann den oder die Eingriffsvektoren zu bestimmen, die den Zielzustand aufrechterhalten. Die Messung der Steuerungsqualität erfolgt hier durch die Bestimmung des Abstands zwischen dem gewünschten und dem erreichten Zustand.

Zum Verhältnis von Wissenserwerb und Wissensanwendung. Natürlich stellt sich rasch die Frage, in welchem Verhältnis Wissenserwerb und Wissensanwendung stehen. Die naive Annahme, vorangehender Wissenserwerb sei notwendige und hinreichende Bedingung für erfolgreiche Wissensanwendung, ist zumindest durch einige Studien in Frage gestellt worden. Wie bereits weiter oben dargestellt, fanden etwa Berry und Broadbent (1984, 1987b, 1988) wiederholt Dissoziationen zwischen der durch Steuerungsleistungen manifestierten Wissensanwendung und dem durch die Versuchspersonen verbalisierbaren Wissen. Diese Befunde werden zwischenzeitlich jedoch anders interpretiert (vgl. Buchner, Funke & Berry, 1995; Haider, 1992, 1993), nämlich als Effekte unterschiedlich tiefer Systemexplorationen. Weiterhin machen eine Reihe neuerer Arbeiten (Beckmann, 1994;

Funke, 1992; Kersting, 1999b; Müller, 1993; Preußler, 1996, 1998; Sanderson, 1989; Süß, 1999) klar, dass durchaus substanzielle positive Korrelationen zwischen Wissenserwerb und Steuerleistung zu finden sind und vor allem dann auftreten, wenn die Lernenden zum Wissenserwerb angeregt wurden, entsprechende Erfahrungen sammeln konnten und wenn die Erfassung des erworbenen Wissens hinreichend spezifisch erfolgt. Auf einige der hier genannten Untersuchungen wird in Kapitel 5.2.4 genauer eingegangen, das sich mit diesem Thema nochmals befasst.

Einordnung

Der Ansatz, menschlichen Umgang mit dynamischen Systemen aus der Perspektive linearer Strukturgleichungssysteme zu betrachten, ist aus mehreren Gründen nützlich: Erstens legt auch dieser Ansatz bestimmte Annahmen über Lernprozesse und die mentale Repräsentation des erworbenen Systemwissens nahe. Zweitens lassen sich daraus Methoden der Wissensdiagnostik ableiten. Drittens schließlich erlaubt der formale Ansatz die systematische Konstruktion und Beschreibung ganzer Klassen von Systemen und damit von experimentellen Aufgaben. Aufgrund ihrer Universalität könnten DYNAMIS-Szenarios durchaus als »Drosophila« (Fruchtfliege, das »Haustier« der Genetiker) der Forschung Verwendung finden.

Hinweis: Die DYNAMIS-Software liegt im Netz unter der Adresse http://dynamis.uni-hd.de/ und steht sowohl in Form einer Tabellenkalkulation (Excel-Makro) als auch in Form eines Java-Applets zur Verfügung und erlaubt die Simulation beliebiger Szenarien im Rahmen des Ansatzes linearer Strukturgleichungen.

5.2.2 Finite Automaten

Viele alltäglich genutzte technische Systeme wie Fahrkartenautomaten, Video- und Faxgeräte, Fotokameras, Getränke- oder Parkautomaten, aber auch Computerbetriebssysteme, Anwendungsprogramme und viele weitere, auf den ersten Blick sehr unterschiedlich erscheinende Systeme (z. B. bestimmte Formen sozialer Interaktionen) auf ganz unterschiedlichen Komplexitätsstufen sind auf einer abstrakteren Ebene durch eine Reihe gemeinsamer Eigenschaften charakterisiert (vgl. Buchner, 1999): a) Sie nehmen nur eine begrenzte (finite) Anzahl von Zuständen an. b) Aus einem gegebenen Zustand können sie in einen darauf folgenden Zustand entweder durch eine Benutzereingabe (bei einer Anwendungssoftware etwa das Drücken einer Taste) oder durch einen autonomen Prozess gelangen (bei einem Fahrkartenautomaten etwa das selbstständige Zurücksetzen in den Ausgangszustand nach einer festgelegten Zeit ohne Münzeinwurf). c) In Abhängigkeit von Eingabe und erreichtem Zustand wird anschließend normalerweise ein Ausgabesignal produziert (z. B. standardisierte Antwort des Finanzamtes auf eine Bürgeranfrage während der Bearbeitung von Steuerunterlagen). Solche Systeme lassen sich auf formaler Ebene als finite Automaten darstellen.

Das formale System

Ein deterministischer finiter Automat ist definiert durch eine endliche Menge X von *Eingabesignalen*, eine endliche Menge Z von *Zuständen*, eine endliche Menge Y von *Ausgabesignalen* und durch zwei Funktionen (z. B. Hopcroft & Ullman,

1988, S. 15 f.). Die *Übergangsfunktion* stellt eine Abbildung von *Z*x*X* auf *Z* dar; sie bestimmt, welchen Zustand der Automat als Konsequenz des in einem bestimmten Zustand eingegebenen Zeichens annimmt. Die *Ergebnisfunktion* stellt eine Abbildung von *Z*x*X* auf *Y* dar; sie bestimmt, welches Zeichen der Automat als Konsequenz des in einem bestimmten Zustand eingegebenen Zeichens ausgibt. Ein Spezialfall liegt vor, wenn das Ausgabezeichen nur von dem erreichten Zustand, nicht aber von der vorangegangenen Eingabe abhängt. Hier wird die Ergebnisfunktion durch eine *Markierfunktion* ersetzt, die den Zustand mit einem Ausgabesignal verknüpft.

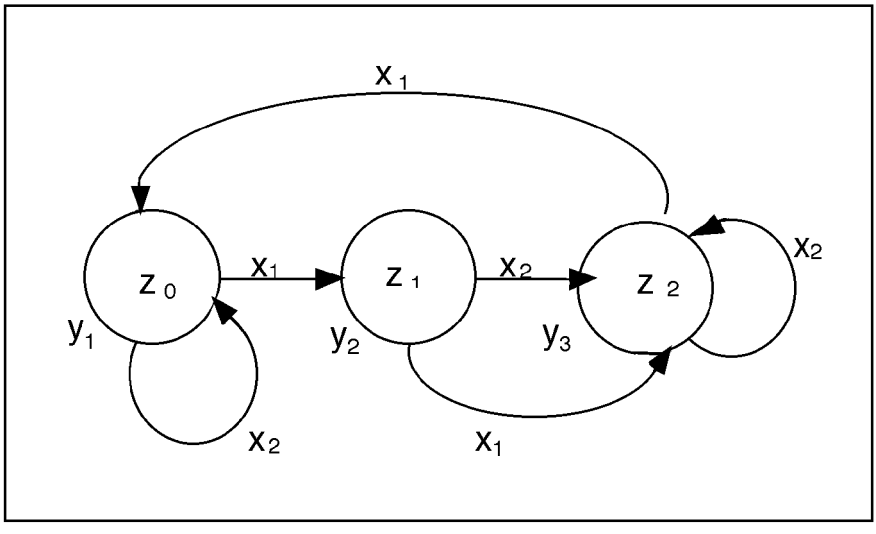


Abbildung 31 Graphische Repräsentation des finiten Automaten mit drei Zuständen (z_0, z_1 und z_2) und zwei Eingabemöglichkeiten (x_1, x_2) aus Tabelle 7. Die Ausgabezeichen (y_1, y_2, y_3) sind links neben die zugehörigen Zustandsknoten gesetzt.

Finite Automaten werden häufig als Zustandsübergangsmatrizen oder als gerichtete Graphen dargestellt. Jede Darstellungsform veranschaulicht bestimmte Eigenschaften des Systems besonders gut (vgl. Buchner & Funke, 1992; Funke & Buchner, 1992). Tabelle 7 enthält zum Beispiel die Zustandsübergangsmatrix eines fiktiven Systems, dessen graphische Repräsentation in Abbildung 31 enthalten ist.

Tabelle 7 Zustandsübergangsmatrix eines (fiktiven) finiten Automaten mit drei Zuständen (z_0, z_1 und z_2) und zwei Eingabemöglichkeiten (x_1, x_2). Jedem Zustand ist ein Ausgabezeichen (y_1, y_2, y_3) zugeordnet. Die Matrixzellen geben an, in welchen Zustand der Automat bei Wahl einer Eingabe als Nächstes wechseln wird (vgl. Abbildung 31).

Zustände / Ausgaben	Eingaben	
	x_1	x_2
z_0 / y_1	z_1 / y_2	z_2 / y_3
z_1	z_2	z_0
z_0	z_2	z_2

Die Anforderungen

Wissenserwerb. Bei finiten Automaten ist das Identifikationsproblem nicht so einfach zu zerlegen wie bei den vorhin dargestellten Strukturgleichungssystemen: In diesem Fall ist – zumindest prinzipiell – die gesamte Zustandsübergangsmatrix zu identifizieren. Allerdings kann die Existenz wiederkehrender Muster in der Matrix (strukturelle Redundanz) deren Identifikation erheblich erleichtern, sofern diese erkannt werden. Auch hier ergibt sich aus diesen Vorstellungen nahtlos die Annahme, dass die Zustandsübergangsmatrix subjektiv repräsentiert sein muss. Daraus folgen natürlich zwangsläufig bestimmte Verfahren zur Wissensdiagnostik (z. B. Erfassung von Ausschnitten der »subjektiven« Zustandsübergangsmatrix, vgl. Funke & Buchner, 1992).

Wissensanwendung. Bezogen auf finite Automaten bedeutet Kontrolle des Systems die Realisierung einer Sequenz von Eingabezeichen, mittels derer der gegebene Ausgangszustand in den gewünschten Zielzustand überführt werden kann. Anders als bei Strukturgleichungssystemen ist hier in der Regel das Verbleiben im Zielzustand keine besondere Anforderung, da das System im einmal erreichten Zielzustand verharrt. Die Messung erfolgt durch Bestimmung der Schrittzahl von Start- zum Zielzustand und dem Vergleich dieses Kennwerts mit der optimalen Schrittzahl bei vollständiger Kenntnis der Zustandsübergangsmatrix.

Einordnung

Es kann sehr nützlich sein, dynamische Systeme als finite Automaten aufzufassen, weil dadurch wichtige Eigenschaften des zu bearbeitenden Problems offenkundig und leicht zugänglich werden. So konnten etwa Funke und Gerdes (1993) durch die Rekonstruktion der in einem Manual erläuterten Zustandsübergänge eines Videorekorders als Übergänge eines finiten Automaten (Szenario Videorekorder) und durch deren Abgleich mit den tatsächlich implementierten Übergängen nicht nur Fehler in der Handanweisung aufdecken, sondern auch eine verbesserte Darstellung der Bedienungslogik darauf gründen. Buchner, Funke und Berry (1995) konnten das dynamische System Sugar Factory von Broadbent und Aston (1978) als finiten Automaten rekonstruieren und gelangten dadurch zu einem

neuen Verständnis häufig berichteter Dissoziationsphänomene bei diesem System. Berichtet wurde nämlich von Untersuchungen mit der SUGAR FACTORY, in denen ein überraschendes Auseinanderklaffen der Leistungen beim Steuern der simulierten Fabrik (= Können, implizit) und bei der nachträglichen Beantwortung von Fragen über deren Funktionsweise (= Wissen, explizit) konstatiert wurde (vgl. Berry & Broadbent, 1984, 1987a, 1988): Gute Steuerung ging paradoxerweise mit geringem Wissen über das System einher, hohes Wissen dagegen mit schlechter Steuerung. Diese Dissoziation, die als Beleg für die Existenz zweier verschiedener Lernprozesse und zweier Gedächtnissysteme herangezogen wurde und dadurch theoretisch weit reichende Schlussfolgerungen bewirkte (zum impliziten Lernen siehe Frensch & Rünger, 2003), erfuhr unter dem Blickwinkel der finiten Automaten eine neue, wesentlich einfachere Interpretation: Danach scheint es geradezu zwangsläufig, dass Personen, die das Zuckersystem gut steuern und sich daher oft im Zielzustand befinden, genau deswegen weniger Wissen über *andere* Zustandsübergänge dieses Automaten erwerben und daher in der anschließenden Befragung schlecht abschneiden; umgekehrt verhält es sich bei denjenigen, die nur selten den Zielzustand erreichen.

Eine Reihe weiterer nützlicher Aspekte dieses Werkzeugs für die Problemlöseforschung (z. B. Annahmen über Lernprozesse und die mentale Repräsentation, Methoden der Wissenserfassung, systematische Konstruktion und Beschreibung ganzer Klassen von Systemen) sind bei Buchner (1999) näher beschrieben. Festzuhalten ist auch, dass die Konzeption eines Problemraums und seiner Zustände, die von Newell und Simon (1972) vorgeschlagen wurde (vgl. Kapitel 2.5.2), hervorragend zu diesem Formalismus passt, der ja ebenfalls von Zuständen und dem Wechsel dazwischen spricht.

5.2.3 Befunde aus Untersuchungen mit Szenarios auf der Basis formaler Modelle

Bereits in den frühen Arbeiten der Bonner Arbeitsgruppe (Funke, Kleinemas, Müller) wurden Nachweise dafür erbracht, dass bestimmte formale Systemattribute (wie z. B. Anzahl der Nebenwirkungen, Ausmaß an Eigendynamik) Auswirkungen auf die Identifikation und Kontrolle eines unbekannten Systems besitzen (vgl. für einen Überblick Funke, 1992, 1993a). Da in diesen Experimenten mit artifiziellen Kleinsystemen zum ersten Mal überhaupt systematisch die Systemattribute variiert wurden, sind diese Ergebnisse eigentlich nicht überraschend. Analysiert man die Ergebnisse über die Auswirkungen verschiedener Systemattribute auf Wissenserwerb und Wissensanwendung genauer, könnte ein naiver Betrachter den Eindruck gewinnen, hier würden Trivialitäten angehäuft nach dem Motto »Eine Erhöhung der Anzahl von X verschlechtert die Bearbeitung« (für X setze man ein: Nebenwirkungen, Eigendynamik, Zeitverzögerung etc.). Wäre dies alles, müsste man diesem Eindruck fast Recht geben, obwohl auch die Überprüfung von alltagspsychologischen Erkenntnissen zu den Aufgaben einer empirischen Wissenschaft gehört.[18]

18 Der Physik kreidet man es ja auch nicht an, wenn dort erforscht wird, wie sich bei steigender Füllung eines Kessels der Druck erhöht.

Zu den inhaltlich interessanten Annahmen zählt die »Kompensationshypothese« (Funke, 1992, Kap. 4.4; Müller, 1993), nach der bestimmte Wirkungen eines Systems, die von den Versuchspersonen nicht korrekt erkannt werden, an anderer Stelle der mentalen Repräsentation (dem »subjektiven Kausalmodell«) fehlerhaft hinzugefügt werden. Ein Beispiel: Wenn etwa in einem System wie SINUS eine Nebenwirkung von einer Variable Y1 auf eine zweite Variable Y2 vorliegt derart, dass immer ein bestimmter Anteil von Y1 der Variable Y2 hinzugefügt wird und Y1 nicht Null gesetzt wird, könnte der resultierende Effekt (Anstieg bei Y2) – fehlerhaft – durch eine Eigendynamik auf Seiten von Y2 erklärt werden. Die Kompensationshypothese impliziert damit, dass auch fehlerhafte Modelle unter bestimmten Umständen eine gewisse Plausibilität und Erklärungskraft besitzen. Erst strenge Tests (Falsifikationen) würden die Fehlerhaftigkeit eines derartigen Modells erweisen.

5.2.4 Über die Beziehung zwischen Wissen und steuerndem Handeln

Experimentelle Untersuchungen im Bereich des komplexen Problemlösens müssen nicht notwendigerweise mittels Varianzanalyse ausgewertet werden, mit der Haupteffekte und Interaktionen aufgedeckt werden können. Müller (1993) war einer der ersten, der LISREL-Methoden zur Analyse kausaler Beziehungen beim komplexen Problemlösen verwendet hat. Mit LISREL können komplexere Kausalannahmen simultan geprüft werden (vgl. Schönemann & Borg, 1996).

Müller wollte die Steuerungsleistung seiner Versuchspersonen aus ihrem Systemwissen vorhersagen. Auf der Basis des DYNAMIS-Ansatzes konstruierte er ein abstraktes Szenario SAB, bei dem die Versuchspersonen in einer abstrakten Maschine mit Reglern auf Instrumente einwirken konnten. Abbildung 32 zeigt das Display dieses Szenarios.

```
SAB                                          Durchgang 1
-------------------------------------------------------------------
Woche.....              1        2
-------------------------------------------------------------------
Zustand:

Instrument A.......    1400     1600
Instrument B.......    1200     1200
Instrument C.......    1000     1000
Instrument D.......     900     1020

Maßnahmen:

Regler 1 ............
Regler 2 ............
Regler 3 ............
Regler 4 ............
-------------------------------------------------------------------
Zielwerte:
A: 700  B: 600  C: 500  D: 450   (weiter mit beliebiger Taste)
```

Abbildung 32 Abstraktes Szenario SAB nach Müller (1993).

Um die Prinzipien der »latent-state-trait theory« (Steyer, Schmitt & Eid, 1999) nutzen zu können, erhob Müller zu zwei verschiedenen Zeitpunkten das Systemwissen seiner Versuchspersonen und ihre Steuerungsfähigkeit an zwei verschiedenen, aber formal identischen Systemen (Problemisomorphen). Mit diesem Design kann man *States* (situationsabhängige Zustände) und *Traits* (überdauernde Eigenschaften) unterscheiden. Abbildung 33 zeigt das vereinfachte LISREL-Modell, das mit den Daten gut zusammenpasst (von Müller als »reduziertes Modell B« bezeichnet). LISREL-Modelle entsprechen konfirmatorischen Faktoranalysen, bei denen hypothetisch angenommene Kausalbeziehungen zwischen »latenten« Variablen überprüft werden können. Die latenten Variablen müssen an gemessene »manifeste« Variablen geknüpft sein (vgl. Schönemann & Borg, 1996).

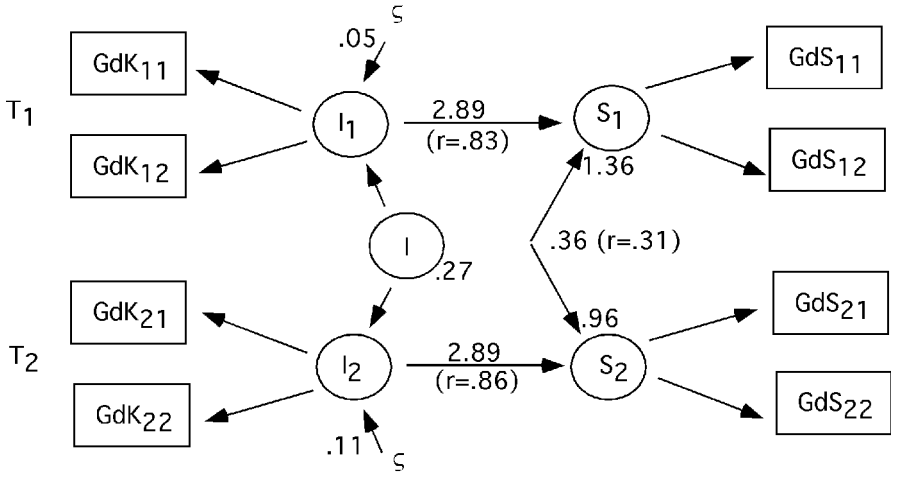


Abbildung 33 Vereinfachtes LISREL-Modell über den Zusammenhang zwischen den manifesten Variablen (in Vierecken dargestellt) Systemidentifikation (Güte der Kausaldiagramme, GdK) und Systemsteuerung (Güte der Systemsteuerung, GdS). Die Indizes 1 und 2 stehen für den Messzeitpunkt bzw. die Art des Systems. Die in den Kreisen abgebildeten latenten Variablen I (Identifikation) und S (Steuerung) haben ebenfalls Zeitindizes. Modellanpassung: Chi-Quadrat = 18.46 (df = 24, p = .78); AGFI = .92 (nach Müller, 1993, S. 102).

Das Modell aus Abbildung 33 zeigt eine latente Trait-Variable I, welche die Fähigkeit der Probanden zur Identifikation von Kausalrelationen beschreibt. Diese Fähigkeit beeinflusst auf direktem Wege die State-Variablen der Identifikationsleistungen zu den Zeitpunkten 1 und 2 (I1 und I2). Beide haben jeweils direkte und starke Effekte auf die Zustandsvariablen für die Steuerungsleistung zu den jeweiligen Zeitpunkten (S1 und S2), die untereinander mäßig korreliert sind.

Bei I handelt es sich um eine latente Trait-Variable. In eckigen Boxen sind die manifesten Variablen eingetragen, mit Kreisen sind die State- und Trait-Variablen abgebildet. Box 6 erläutert die Vorteile der Latent-State-Trait-Theorie detaillierter.

Box 6 Latent-State-Trait-Theorie.

Die Latent-State-Trait-Theorie bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich: Fehler-, State- und Trait-Komponenten können differenziert werden, was insofern wichtig ist, als psychologische Hypothesen sich zumindest implizit auf Traits oder States beziehen. In Bezug auf den Zusammenhang zwischen komplexem Problemlösen und Intelligenz ist zum Beispiel klar, dass sich der postulierte Zusammenhang auf zwei Trait-Variablen bezieht. Niedrige Korrelationen zwischen Problemlösen und Testintelligenz können entweder durch große Messfehler (niedrige Reliabilität der Problemlöseindikatoren), große Situationsabhängigkeit (hohe Spezifität der Problemlöseleistungen) oder durch stochastisch unabhängige Trait-Variablen (Intelligenztests und komplexe Probleme sind zweierlei!) zustande kommen. Der Vorteil dieser Methode besteht vor allem darin, dass Messfehler (vor allem korrelierte!) geschätzt werden können und ein Zwang zur Explikation von Messmodellen besteht. Darüber hinaus sind Korrelationen zwischen latenten Variablen wesentlich interessanter als Korrelationen zwischen manifesten. Die Trennung von Struktur- und Messmodell ermöglicht eine präzisere Darstellung als die klassische Ebene manifester Variablen und der Verwendung von Korrelationstechniken. Nachteil der Technik ist zum einen die Erfordernis großer Stichprobenzahlen, zum anderen auch das Vorliegen mindestens zweier Messzeitpunkte. Eine ausführlichere Bewertung zum Einsatz von LISREL-Verfahren im Bereich des komplexen Problemlösens findet man bei Müller (1993, S. 107–110).

Das von Müller (1993) beschriebene Modell einer Trait-Variable »Identifikation«, von der alle übrigen Effekte abhängen, kann mit einem Modell zweier Trait-Komponenten (Identifikation *und* Steuerung) konfrontiert werden – auch dieses zweite Modell ist mit den Daten verträglich! Allerdings begründet er ausführlicher, warum das in Abbildung 33 gezeigte Modell *einer* Trait-Variable besser geeignet scheint: Die durch Systemidentifikation nicht erklärte Kovarianz der States S1 und S2 ist seiner Meinung nach eher technisch als inhaltlich zu interpretieren, empirisch sind die beiden Modelle nicht zu unterscheiden. Das reduzierte Modell B, das Müller favorisiert, sticht insofern positiv hervor, als eine Reihe Alternativmodelle weniger gut zu den Daten passen. So lässt sich beispielsweise weniger gut die Systemidentifikation aus der Systemsteuerung vorhersagen (Umkehrung der Wirkungsrichtung), auch der Verzicht auf die Trait-Variable I passt ebenso wenig zu den Daten, als wenn an Stelle der direkten Wirkung von I auf S nur Kovarianzen zwischen den States Ii und den States Si angenommen werden.

Preußler (1996) hat mit der Dynamis-Variante LINAS gearbeitet, um den Zusammenhang zwischen Wissenserwerb und Steuerungsleistung zu erforschen. Dabei kamen zwei Arten von Wissenstests zum Einsatz: a) Zur Erfassung expliziten Systemwissens wurde eine »Paar-Aufgabe« verwendet, bei der Variablenpaare, die aus je zwei der insgesamt sieben Systemvariablen gebildet wurden, auf ihre kausale Verbindung hin zu beurteilen waren; 21 der insgesamt 37 präsentierten Paare hingen tatsächlich kausal voneinander ab, die restlichen 16 Paare nicht. b) Zur Erfassung impliziten Systemwissens wurde eine lexikalische Entscheidungsaufgabe konstruiert, bei der die elf Variablennamen des LINAS-Szenarios (z. B. »Fontil«) sowie ähnlich lautende Distraktoren (z. B. »Sontil«) mehrfach kurzfristig (1 sec) dargeboten wurden. Es musste jeweils möglichst schnell entschieden werden, ob

die Buchstabenfolge einen vorkommenden Variablennamen darstellte oder nicht. Manipuliert wurde experimentell eine Unterstützung des Wissenserwerbs, indem in einer Übungsphase die Effekte jeweils einzelner Inputvariablen erläutert wurden. Dieses Treatment wirkte sich nur auf das implizite Wissen aus, nicht aber auf die Steuerleistung. Kritisch anzumerken bleibt, dass die mit der Methode der lexikalischen Entscheidung erhobene Diagnose impliziten Wissens nur Oberflächenwissen berührt, das für die Systemsteuerung von untergeordneter Bedeutung sein dürfte.

Dass Strukturwissen eine wichtige Rolle bei der Steuerung eines komplexen Systems spielt, konnte Preußler (1998) ebenfalls anhand der DYNAMIS-Variante LINAS zeigen. Zwei Versionen von LINAS kamen zum Einsatz, in denen jeweils vier Input- und drei Outputvariablen beteiligt waren. Die Inputvariablen konnten ganzzahlige Werte zwischen +10.000 und –10.000 annehmen, die Outputvariablen Werte zwischen +99.999.999 und –99.999.99. Die zugrunde liegenden Gleichungen für LINAS-1 lauten:

1. Trimol (t) = Trimol (t-1) + 0.1 * Ordal (t-1) + Bulmin (t-1) – Grilon (t-1) + Grilon (t-2) + Eltan (t-1)
2. Ordal (t) = 0.1 * Ordal (t-1) – 0.9 * Pernal (t-2) + 2 * Bulmin (t-1) + Dulan (t-1) + Eltan (t-1)
3. Pernal (t) = 0.9 * Pernal (t-1) + Grilon (t-1)

In diesem System wirken sich Änderungen bei den Inputvariablen Grilon und Bulmin im Verlauf eines Durchgangs stets auf zwei der drei Outputvariablen aus.

Die Gleichungen für LINAS-2 lauten geringfügig anders:

4. Trimol (t) = Trimol (t-1) + 0.1 * Ordal (t-1) – Bulmin (t-1) – Dulan (t-1) – Grilon (t-1) + Grilon (t-1) + Grilon (t–2)
5. Ordal (t) = 0.1 * Ordal (t-1) – 0.9 * Pernal (t-2)
6. Pernal (t) = 0.9 * Pernal (t-1) + Grilon (t-1)

Hier kann Trimol unabhängig von Ordal gesteuert werden, wenn nur Bulmin und Dulan zur Steuerung genutzt werden. Ordal kann nur über die zeitverzögerte Wirkung von Pernal kontrolliert werden, was die Steuerung erheblich erschwert. In zwei Experimenten wurde den Experimentalgruppen in der Phase des Wissenserwerbs besondere Zuwendung zuteil: Im ersten Experiment mussten sie sich solange mit den Übungsaufgaben beschäftigen, bis sie die richtige Lösung gefunden hatten; im zweiten Experiment wurde nach mehreren Fehlversuchen die richtige Lösung vorgeführt. Die Versuchspersonen der Kontrollgruppe wurden dagegen vom Erwerb von Strukturwissen durch andere Vorgaben abgelenkt. Erwartungsgemäß verfügten die Experimentalgruppen über mehr Strukturwissen, was sich positiv sowohl auf die anschließende Systemsteuerung als auch auf die Bearbeitung eines Transfer-Problems auswirkte. In diesen Experimenten erwies sich somit das explizite Wissen über die Systemstruktur als zentral für die Steuerung des komplexen dynamischen Systems.

In einer weiteren Studie mit dem LINAS-System konnte Preußler (1997) die Bedeutung von Lernkontexten auf den Wissenserwerb demonstrieren. Lernkontexte wurden dadurch variiert, dass entweder nur steuerungsrelevante Outputvariablen des Systems präsentiert wurden (einfacher Kontext) oder zusätzlich irrelevante Variablen hinzugefügt wurden (multipler Kontext). Vor dem Hintergrund

von Swellers Theorie kognitiver Belastung (vgl. Kapitel 2.5.4) stellen Problemlösen und Wissenserwerb über ein Problem zwei interferierende Anforderungen dar. Daher sollte die Zugabe irrelevanter Variablen zu einer verschlechterten Erkenntnis der allgemeinen Systemstruktur führen. Gleichzeitig helfen die irrelevanten Variablen jedoch, die Wirkung von Inputvariablen besser zu verstehen und damit spezifisches Systemwissen zu fördern. Tatsächlich konnte die Experimentalgruppe (diejenige mit den irrelevanten Variablen) das System am Ende der 8 Durchgänge besser steuern als die Kontrollgruppe. Über die gesamten 8 Durchgänge hinweg gab es allerdings keine signifikanten Unterschiede. Im multiplen Kontext fiel der Erwerb von Strukturwissen wie erwartet geringer aus, da sich hier die höhere kognitive Belastung ausgewirkt haben dürfte. Fazit dieses Experiments: Multipler Kontext fördert den Erwerb spezifischen Steuerungswissens, behindert dagegen den Erwerb des Strukturwissens.

Vollmeyer und Burns (1996) haben in zwei Experimenten mit der in Abbildung 34 gezeigten DYNAMIS-Variante BIOLOGY LAB-D[19] die Auswirkungen unterschiedlicher Hypotheseninstruktionen und Zielspezifität untersucht.

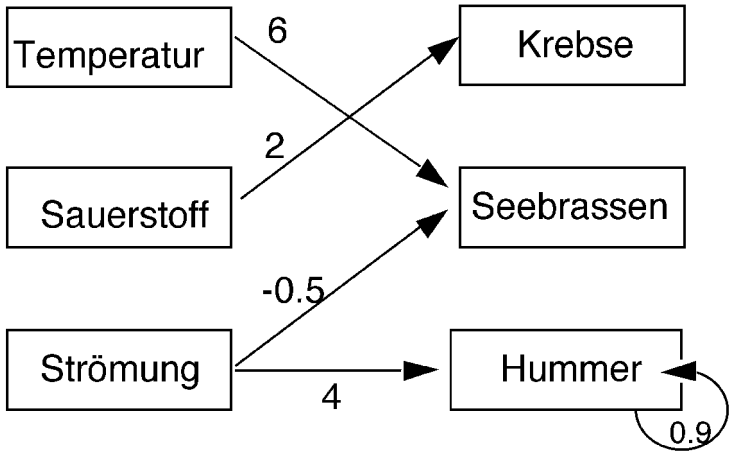


Abbildung 34 Kausaldiagramm des Szenarios BIOLOGY LAB-D von Vollmeyer und Burns (1996).

Vor dem Hintergrund des Dual-Space-Modells von Klahr und Dunbar (vgl. Kapitel 2.5.3) erwarteten sie, dass die Vorgabe einer Hypothese im Vergleich zu keiner Vorgabe die Suche im Hypothesenraum stimulieren würde, dadurch zu mehr Systemwissen und damit auch zu besserer Systemsteuerung führen sollte. Die Versuchsbedingung mit spezifischem Ziel sah vor, dass schon während des Wissenserwerbs die später zu erreichenden Zielwerte bekannt waren und geübt werden konnten, während die Gruppe mit unspezifischem Ziel diese Zielwerte erst vor der

19 Der Zusatz D steht für Deutsche Variante, die sich nicht unbeträchtlich von derjenigen unterscheidet, die bei Vollmeyer et al. (1996) zum Einsatz kam und ebenfalls BIOLOGY LAB benannt wurde.

abschließenden Steuerungsphase erhielt. Erwartungskonform resultierten zwei Haupteffekte: Die Gruppe mit spezifischen Zielen war besser in der Erreichung der Zielwerte, die Gruppe mit angeregter Hypothesensuche war besser als die Gruppe ohne. Allerdings blieb dieser Effekt nicht mehr signifikant, wenn man die richtig instruierten Wissensbestandteile bei der Gütebestimmung ausblendete. Daher führten Vollmeyer und Burns ein zweites Experiment durch, bei dem die instruierte Hypothese entweder ein richtiges oder ein falsches Gewicht angab bzw. nur die Relation erwähnte. Trotz eines gewissen Deckeneffekts (das System wurde gegenüber dem Exp. 1 leichter gemacht) zeigt sich, dass die Vorgabe von richtigen wie falschen Hypothesen zu besserer Verarbeitung führt als wenn nur eine Relation erwähnt wird. Bemerkenswert ist, dass der Effekt verbesserten Wissens gerade nicht bei der Variable auftritt, über die unterschiedlich viel Information geliefert wird, sondern sich bei den anderen Systemvariablen zeigt.

Den Einfluss des Wissenserwerbs auf die Problemlöseleistung im komplexen Szenario MultiFlux hat Kröner (2001) in drei aufeinander aufbauenden Untersuchungen geklärt (vgl. auch Kapitel 6.4.4, wo das Szenario genauer dargestellt wird). Das durch Exploration erworbene Systemwissen korreliert eindrucksvoll zwischen 0.65 und 0.76 mit der Steuerungsleistung. Dieses Ergebnis besagt: Wer gutes Wissen über das fragliche Szenario erworben hat, steuert es auch besser.

Schließlich sind noch Befunde von Kluge (2003) zu erwähnen, wonach der Zusammenhang zwischen Wissenserwerb und Steuerungsleistung durch die Schwierigkeit moderiert wird. In ihrem System ColorSim liegt die Korrelation zwischen beiden Variablen für das leichte bzw. mittelschwere Szenario bei 0.70 bzw. 0.68, für das schwierige Szenario sinkt sie dagegen auf 0.44. Bei der schwierigeren Variante wird das »Rauschen« größer, und andere korrelationssenkende Faktoren kommen hinzu (z. B. steigt die zur Exploration benötigte Zeit nicht entsprechend an).

Wurden bislang Ergebnisse aus Arbeiten präsentiert, die sich mit Strukturgleichungssystemen vom Typ Dynamis beschäftigten, sollen wenigstens an einem Beispiel Ergebnisse aus Arbeiten erwähnt werden, die sich im formalen Rahmen finiter Automaten bewegen. Zurückgegriffen wird hier auf eine Arbeit von Funke und Gerdes (1993), in der es um die theoriegeleitete Gestaltung von Manualen für Videorekorder geht. Die Untersuchung wird in Box 7 dargestellt.

Die Brücke zwischen (quantitativen) Strukturgleichungssystemen und (qualitativen) finiten Automaten schlägt Hawighorst (1998, S. 91), der davon ausgeht, dass eine adäquate mentale Repräsentation eines zu steuernden komplexen Systems qualitativ sein müsse, da sich in den Kausaldiagrammen der Versuchspersonen oftmals nur qualitative Angaben wiederfinden und auch Experten nur zwei fundamentale Aspekte zur Regelung verwenden: Trend einer Größe und Abstand einer Größe vom Sollwert (vgl. Soltysiak, 1988, 1989). Unter Verwendung der Rough-Set-Theorie (Pawlak, 1991) versucht Hawighorst auf der Basis von Einzelerfahrungen der Versuchspersonen, die in einer Datentabelle abgelegt sind, qualitative Verallgemeinerungen und Vorhersagen logisch abzuleiten. Ausgehend von den Systemdaten der 80 Versuchspersonen von Funke (1992), die mit dem Szenario Sinus gearbeitet hatten, wurden auf der Grundlage sog. »Redukte« (Menge aller unentbehrlichen Relationen) virtuelle Kausaldiagramme konstruiert (»was die Versuchspersonen hätten aus ihren Systemdaten ableiten können«) und mit den realen Kausaldiagrammen verglichen. Dabei zeigte sich eine außerordentlich hohe Übereinstimmung. Hawighorst folgert daraus, dass auf einer gröberen (qualitati-

Box 7 Gestaltung von Manualen für Videorekorder: ein Beispiel von Funke und Gerdes (1993).

Bedienungsanleitungen für technische Geräte sind oft unverständlich, unvollständig oder enthalten sogar falsche Elemente. Obwohl inzwischen Empfehlungen zur äußeren Gestaltung (Layout, Schriftarten etc.) und zur Textformulierung existieren (Groeben, 1982; Groeben & Christmann, 1989), besteht bezüglich der Auswahl der Inhalte keine Klarheit. Hier kann die Theorie finiter Automaten weiterhelfen: Konzipiert man das zu beschreibende Gerät (z. B. einen Videorekorder) als endlichen Automaten, kann zunächst eine vollständige und korrekte Transitionsmatrix erstellt werden, die alle relevanten Eingaben (Tasten), Ausgaben (Rückmeldungen) und Zustandsübergänge enthält. Entsprechend den Empfehlungen von Funke und Gerdes (1993, S. 45 f.) sind dann 5 Konstruktionsschritte zu unterscheiden:

1. Die Eingabeelemente (Tasten und Schalter) werden nach Lage und Bedeutung genau beschrieben.
2. Die Ausgabeelemente (Rückmeldungen und Anzeigen) werden ebenfalls genau beschrieben, da sie die einzige Möglichkeit bieten zu kontrollieren, in welchem Zustand sich das Gerät gerade befindet. Dies ist für die Kontrolle erfolgreichen Handelns auf Nutzerseite wichtig.
3. Es werden die Zielzustände festgelegt, die ein Benutzer haben kann (z. B. Timerprogrammierung oder Nachvertonung). Ausgehend vom Startzustand können dann kürzeste Wege angegeben werden, mit denen ein gewünschter Zielzustand erreichbar ist. Die Wege sind als Sequenzen von Eingaben und Folgezuständen zu beschreiben (Bsp.: »Drücken Sie die Taste EIN/AUS, um das Gerät einzuschalten. Die rote Betriebslampe leuchtet auf.«).
4. Der in Schritt 3 aufgrund der Transitionsmatrix festgelegte kürzeste Weg wird in prozeduralen Text überführt.
5. Zusätzlich zu den bisher beschriebenen Zustandsübergängen sind weitere Informationen in systematischer Weise zu geben: a) eine Beschreibung der allgemeinen Funktion von Tasten unabhängig von ihrem Zustand; b) eine allgemeine Beschreibung der verschiedenen Anzeigen und ihrer Symbole; c) eine vorangestellte allgemeine Erklärung der betreffenden Funktion bzw. des ganzen Geräts (ein Videorekorder ist nicht einfach nur eine »große flache Digitaluhr«, wie eine naive Nutzerin einmal meinte). Mit dieser Erklärung wird ein mentales Modell des betreffenden Geräts vermittelt, das nicht nur im Fall einer Fehlbedienung herangezogen werden muss.

Im konkreten Fall des Experiments von Funke und Gerdes (1993) wurde ein nach diesen Kriterien erstelltes Manual (NEU) mit dem traditionellen Manual (ALT) verglichen. Aufgabe der 40 mit Videorekordern unerfahrenen Versuchspersonen war es, nach Lektüre des jeweiligen Manuals (20 Versuchspersonen lasen NEU, 20 ALT) 12 Programmieraufgaben zu erledigen (die ersten 6 mit, die anderen ohne Manual). Gemessen wurden Zeitdauer und Tastendrücke. Vor allem bei den ersten 6 Aufgaben, die mit Manual zu bewältigen waren, zeigten sich für die Gruppe NEU deutliche Vorteile bei Zeit wie Schrittzahl. Auch eine nachfolgende Wissensdiagnostik ergab, dass die NEU-Versuchspersonen eine bessere Repräsentation (ein besseres mentales Modell) entwickelt hatten.

ven) Analyseebene präzisere Vorhersagen möglich seien. Leider hat sein Vorgehen bis heute keine Nachahmung gefunden, sodass die Tauglichkeit dieses Ansatzes bislang nicht mit anderen Datensätzen nachgewiesen werden konnte.

5.3 Befunde zu Personmerkmalen

Wie bereits dargestellt wurde, hat sich die frühe Forschung zum komplexen Problemlösen vor allem auf die Untersuchung der Testintelligenz als wichtigster Prädiktor-Variable bezogen. Zusätzlich fallen in diesen Bereich auch Studien zum Vergleich von Experten und Novizen sowie Analysen klinischer Gruppen. Andere untersuchte Personenfaktoren sind Selbstreflexion (Dörner & Schölkopf, 1991), Wertorientierung (Reither, 1985), Emotionen (Dörner, 1993) sowie Sprachmerkmale (Roth, 1985, 1987).

5.3.1 Die Intelligenz-Kontroverse

Eine der frühen Arbeiten zur Frage des Prädiktionswerts von Intelligenzmaßen für das Bearbeiten komplexer Problemstellungen stammt von Putz-Osterloh (1981; vgl. auch Putz-Osterloh & Lüer, 1981). Putz-Osterloh ging es um die Frage, welche Problemlöseleistungen durch einen Intelligenztest prädizierbar oder inwiefern umgekehrt Intelligenztestresultate durch Leistungen bei komplexen Problemstellungen validierbar seien. Ausgehend von einer Anforderungsanalyse in beiden Bereichen kommt sie zu folgender Liste von Gemeinsamkeiten und Unterschieden:

- Gemeinsam ist beiden Anforderungen das Analysieren von Variablen, das Aufdecken von Beziehungen zwischen Variablen, das Suchen nach Regeln für deren Veränderungen und das Ziehen von Analogieschlüssen.
- Die Anforderungen unterscheiden sich insofern, als beim komplexen Problem zusätzlich das Aufstellen und Ableiten von Problemlösungszielen, die Auswahl zielführender Handlungen sowie die aktive Beschaffung von Informationen über das komplexe System hinzukommen.

Je nach der Gewichtung der Gemeinsamkeiten (bzw. der Unterschiede) sind unterschiedlich hohe Zusammenhänge zwischen beiden Konstruktbereichen zu erwarten.

In ihrer eigenen Untersuchung zog sie auf Seiten der komplexen Problemstellung das Szenario SCHNEIDERWERKSTATT (vgl. Kapitel 5.1.2) heran, zur Messung der Intelligenz dienten die »Advanced Progressive Matrices« (APM, Raven, 1962), bei denen das Konstruktionsprinzip zur Erstellung einer 3x3-Matrix graphischer Elemente zu erkennen war. Insgesamt 83 Studierende (von denen aber nur 48 verwertbare Daten lieferten) hatten unter folgenden drei Bedingungen die SCHNEIDERWERKSTATT für einen Simulationszeitraum von 24 Monaten zu bearbeiten (durchschnittliche Bearbeitungszeit 2–3 Stunden): intransparente Bedingung ohne Zielvorgabe, intransparente Bedingung mit Zielvorgabe Kapitalmaximierung sowie transparente Bedingung. Transparenz bedeutete hier, dass Hinweise über die

Beziehungen zwischen Variablen gegeben wurden. Da sich später herausstellte, dass die Gruppe ohne Zielvorgabe kein erkennbar anderes Ziel als das der Kapitalvermehrung zu verfolgen schien, wurden die beiden Intransparenz-Bedingungen zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst.

Erwartet wurde, dass sich eine Korrelation zwischen Testintelligenz und Problemlösen nur unter der Transparenz-Bedingung zeigen würde, da dort die Anforderungen am ehesten vergleichbar seien. Unter Intransparenz sollte dagegen die Korrelation geringer ausfallen, da die Unterschiede in den Anforderungen vergrößert sind. Die Summe richtig gelöster APM-Aufgaben wurde als abhängige Variable auf Seiten der Intelligenz herangezogen, die Anzahl der Monate mit einem Aufwärtstrend bei der zentralen Variable »Kapital« diente als Indikator für den Problemlöseerfolg.

Die zwischen beiden Variablen ermittelte Rangkorrelation betrug unter Transparenz ($N = 13$) $\tau = -0.01$, unter Intransparenz ($N = 35$) $\tau = -0.22$ ($p = 0.06$). Das heißt: Wenn überhaupt ein Zusammenhang nachzuweisen ist (unter Intransparenz wird das gängige Signifikanzkriterium $p < 0.05$ knapp verfehlt), dann geht er in die entgegengesetzte Richtung, also je testintelligenter die Studierenden, umso schlechter ihre Kapitalvermehrung.

In einer Folgestudie von Putz-Osterloh und Lüer (1981), an der 70 Studierende teilnahmen, die über 15 Simulationsmonate hinweg die SCHNEIDERWERKSTATT zu steuern hatten und ebenfalls mittels APM hinsichtlich ihrer Intelligenz getestet wurden, ergaben sich bei leicht veränderten Versuchsbedingungen etwas andere Ergebnisse. Die Transparenz-Bedingung wurde insofern präzisiert, als den Personen unter dieser Bedingung eine Grafik mit den Verbindungen aller Variablen vorgelegt wurde, wie sie weiter vorne als Abbildung 29 bereits zu sehen war; die Intransparenz-Bedingung wie auch das Gütemaß blieben unverändert. Hier ergab sich eine Rangkorrelation von Null unter der Intransparenz-Bedingung, während die Transparenz-Bedingung mit $\tau = 0.31$ diesmal einen signifikant positiven Bezug zwischen Testintelligenz und komplexer Problemlöseleistung aufwies.

Die Erklärung für diesen Befund eines Moderator-Effekts der Transparenz lautet: Wenn das komplexe Problem intransparent dargeboten wird, muss sich die Testperson um Informationsbeschaffung kümmern. Diese Anforderung gibt es nicht im Intelligenztest, wo alle Informationen auf einem silbernen Tablett dargeboten werden. Der Test ähnelt dagegen der transparenten Problempräsentation, wo es weniger darum geht, Informationen zu beschaffen als vielmehr darum, deren Beziehungen untereinander zu analysieren. Je ähnlicher aber die Anforderungen von Intelligenztest und komplexem Problem ausfallen, umso höher ist die Korrelation zwischen beiden Konstrukten. Ein alternatives Intelligenzkonzept, das beide Bereiche stärker zusammenführt, hat Dörner unter dem Begriff der »operativen Intelligenz« vorgestellt. Es ist in Box 8 näher beschrieben.

Box 8 Dörners Konzept der »operativen Intelligenz«.

In seinem Beitrag »Diagnostik der operativen Intelligenz« macht Dörner (1986) noch einmal seinem Unbehagen an der psychometrischen Intelligenzforschung Luft. Insbesondere kritisiert er die mangelnde Beachtung von Prozessen, die zu intelligenten Resultaten führen. Die Konzentration auf Geschwindigkeit und Genauigkeit, die traditionell die beiden Schwerpunkte psychometrischer Intelligenzmessung darstellen, ignoriert nach seinem Dafürhalten Prozesse wie Umsicht (im Sinne der Antizipation von Neben- und Fernwirkungen), Steuerungsfähigkeit der kognitiven Operationen und Verfügen über Heurismen. Diese in traditionellen Messinstrumenten fehlenden Aspekte bezeichnet er als die »operativen« Merkmale der Intelligenz.

Als ihm interessant erscheinende Indikatoren für operative Intelligenzmerkmale kommen – neben einer differenzierten Analyse von Systemverlaufsparametern – vor allem die beiden Verhaltensmerkmale »Fragen« und »Entscheidungen« in Frage. Das Frageverhalten ist insofern informativ, als die Informationsbeschaffung differenziert werden kann hinsichtlich Zustandsfragen (»Wie viele Arbeitslose haben wir heute?«), Dependenzfragen (»Wovon hängt Arbeitslosigkeit ab?«), Effektanzfragen (»Was bewirkt Arbeitslosigkeit?«), Komponentenfragen (»Was gehört dazu?«), Subordinationsfragen (»Was sind untergeordnete Aspekte?«) oder Superordinationsfragen (»Was sind übergeordnete Aspekte?«). Neben der *Art* der Fragen kann man auch den *Ort* der Frage bestimmen, d. h. den Punkt, auf den sich die jeweilige Frage richtet. Auch das Entscheidungsverhalten lässt sich nach *Ort* und *Dosierung* unterscheiden. Da sowohl Fragen als auch Entscheidungsmerkmale kontextabhängig zu interpretieren sind, wird eine automatische Diagnostik durch Erhebung von Einzelindizes erschwert. Aber natürlich kann man versuchen, die Interaktion von Fragen und darauf folgenden Entscheidungen näher zu bestimmen. Bei Dörner und Wearing (1995, S. 74 f.) findet sich z. B. eine interessante Darstellung der Übergänge zwischen verschiedenen Interaktionsformen. Die in Abbildung 35 a) und b) dargestellten Zustandsübergänge zwischen fünf verschiedenen Arten der Informationsverarbeitung machen interessante Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Versuchspersonen bei LOHHAUSEN deutlich.

Strohschneider (1990, 1991b) hat den prädiktiven Wert der Testintelligenz für die Vorhersage des Problemlöseerfolgs unter zwei experimentellen Bedingungen verglichen. Seine Versuchspersonen hatten das abstrakte System VEKTOR zu bearbeiten, bevor sie sich mit dem semantisch reichen Entwicklungshelferszenario MORO befassen mussten. Der Berliner Intelligenzstrukturtest (BIS, Jäger, Süß & Beauducel, 1997) wurde zur Erfassung der Intelligenz herangezogen (siehe Box 9). Für das semantisch reichhaltige MORO-System zeigten sich alle sieben Subskalen des BIS als signifikante Korrelate mit einem generellen Maß der Steuerungsleistung; das gleiche Befundmuster ergab sich für das VEKTOR-System, hier waren allerdings nur sechs der sieben BIS-Subskalen signifikant mit dem Gütemaß korreliert. Strohschneider schließt aus diesem Befund, dass Testintelligenz tatsächlich ein signifikanter Prädiktor der komplexen Problemlöseleistung sei. Im Vergleich der beiden Systeme fand Strohschneider allerdings, dass die Leistung nicht signifikant korreliert war. Dies deutet darauf hin, dass offensichtlich verschiedene Anforderungen gestellt wurden, die nicht auf eine einheitliche Fähigkeit zum Lösen komplexer

Probleme zurückgeführt werden können.

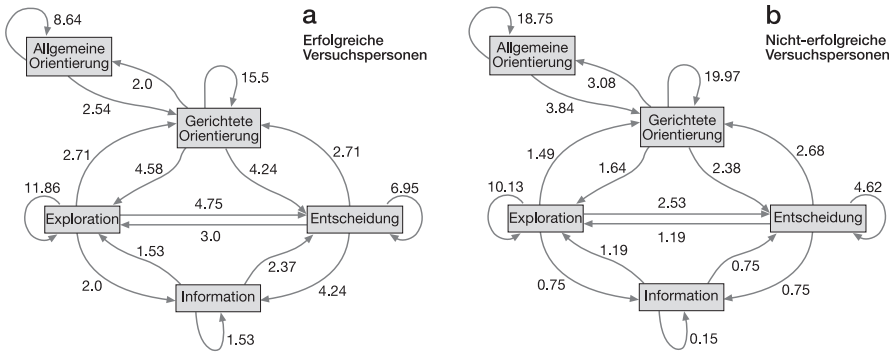


Abbildung 35 Übergänge in Prozent zwischen fünf verschiedenen Arten der Informationsverarbeitung aus der LOHHAUSEN-Studie: a) erfolgreiche Probanden, b) weniger erfolgreiche Probanden (nach Dörner & Wearing, 1995, S. 75).

In dieser Abbildung werden die relativen Übergangshäufigkeiten zwischen allgemeiner Orientierung (AO, z. B. »Gibt es ein Theater in der Stadt?«), gerichteter Orientierung (GO, z. B. »Wie hoch ist die Einkommensteuer?«) oder Exploration (z. B. »Was wären die Konsequenzen einer generellen Steuererhöhung?«) sowie der Information, die der Versuchsleiter gibt, und dem Treffen einer Entscheidung gezeigt. Die Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Probanden liegen vor allem darin, dass die Erfolgreichen zwischen den verschiedenen Stationen hin und her springen, während die weniger Erfolgreichen länger an den einzelnen Stationen verweilen (Übergang AO-AO 8.64% versus 18.75%; Übergang GO-GO 15.5% versus 19.97%). Interessant ist auch, dass die erfolgreichen Probanden nach einer Entscheidung Informationen einholen (4.24%), während die weniger erfolgreichen Probanden dies kaum tun (0.75%).

Dieses Beispiel verdeutlicht, was Dörner mit dem Konzept der operativen Intelligenz erfassen möchte: Nicht die Ergebnisse bestimmter intelligenter Tätigkeiten, sondern die Koordination bestimmter Einzeltätigkeiten (im Beispiel die verschiedenen Arten der Informationsverarbeitung), die ein ganz bestimmtes Ergebnis erst möglich machen und hinsichtlich derer sich Menschen erkennbar unterscheiden.

Mit seinem Konzept der operativen Intelligenz weist Dörner sicherlich auf eine Schwäche traditioneller Intelligenzdiagnostik hin – allerdings ist die als Alternative angebotene Form der detaillierten, kontextabhängigen Analyse von Verhaltensindizes zumindest unter praktischen Gesichtspunkten außerordentlich schwierig. Vielleicht ist dies einer der Gründe dafür, dass es bis heute kein Testverfahren zur Erfassung operativer Intelligenz gibt.

Süß, Kersting und Oberauer (1991, 1993; Süß, Oberauer et al., 1993) untersuchten ebenfalls den Stellenwert der Testintelligenz für die Vorhersage komplexer Problemlösefähigkeiten. In ihrer Studie benutzten sie das bereits vorgestellte Sys-

tem SCHNEIDERWERKSTATT unter intransparenten Bedingungen. Alle Probanden bearbeiteten auch den Berliner Intelligenzstrukturtest (BIS). Bei Verwendung herkömmlicher Erfolgsmaße der SCHNEIDERWERKSTATT (Gesamtkapital am Ende der Simulation, Anzahl der Simulationsmonate mit Gewinn) ergaben sich keine signifikanten Korrelationen zu den Intelligenzskalen. Vor dem Hintergrund der Vermutung, dass die traditionellen Erfolgsmaße wenig reliabel sein könnten, haben die Autoren andere Formen der Operationalisierung von Erfolg in der SCHNEIDERWERKSTATT überprüft. Basierend auf einer Aufgabenanalyse fanden sie heraus, dass erfolgreiche Probanden mit zwei kaum erfolgreich zu vereinbarenden Zielen zu kämpfen hatten: Hemdenverkauf und Gewinnspanne. Gewinn in der SCHNEIDERWERKSTATT ergibt sich als Produkt aus der Anzahl verkaufter Hemden und der Gewinnspanne pro verkauftem Hemd. Da aus systemimmanenten Gründen eine positive Gewinnspanne pro verkauftem Hemd nur in einem schmalen Wertebereich möglich ist, ansonsten aber negative Gewinnspannen resultieren, kommt es zu dem paradoxen Befund, dass Personen es zwar schaffen, viele Hemden zu verkaufen, sich damit aber aufgrund der negativen Gewinnspanne schaden. Durch diese Situation kommt es also dazu, dass Problemlöser mit ihrem Erfolg in einem Teilziel (Maximierung des Hemdenverkaufs) den Erfolg im anderen Teilziel (Gewinnspanne pro verkauftem Hemd) wieder verlieren. So schneiden gute Problemlöser, die immerhin in *einem* der beiden Bereiche erfolgreich sind, im Endergebnis ebenso schlecht ab wie schlechte Problemlöser, die *beide* Teilziele verfehlt haben.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegung haben Süß, Oberauer und Kersting (1993) eine neue abhängige Variable, nämlich die Summe aus Anzahl verkaufter Hemden und der Gewinnspanne anstelle der bisherigen Produktbildung gewählt. Dieses neu gebildete Erfolgsmaß korreliert signifikant mit der BIS-Skala Kapazität (siehe Box 9) und zeigt damit, dass eine angemessene Operationalisierung der Erfolgsmaße in den komplexen Szenarios eine wichtige Voraussetzung für das Auffinden von Korrelationen zu Intelligenzskalen ist. Die das Szenario SCHNEIDERWERKSTATT begleitende Wissensdiagnostik ist bei Kersting und Süß (1995) beschrieben.

Box 9 Berliner Intelligenzstrukturmodell.

Jäger (1982) hat ein deskriptives Intelligenzmodell vorgestellt, das unter dem Namen »Berliner Intelligenzstrukturmodell« (BIS) bekannt geworden ist. Das hinter dem BIS stehende Intelligenzmodell geht davon aus, dass intelligente Leistungen dadurch zustande kommen, dass bestimmte Operationen auf bestimmte Inhalte angewendet werden. Dieser bimodale Ansatz (Trennung von Operation und Inhalt) führt dazu, dass aus der Kombination von Operation und Inhalt jeweils bestimmte Leistungsanforderungen konstruiert werden können. Als *Operationen* werden unterschieden: Bearbeitungsgeschwindigkeit (B), Gedächtnis (G), Einfallsreichtum (E) und Verarbeitungskapazität (K). Als *Inhalte* werden unterschieden: figural bildhafte (F), verbale (V) und nummerische (N). Abbildung 36 zeigt die Kreuzkombination der vier Operations- mit den drei Inhaltsklassen.

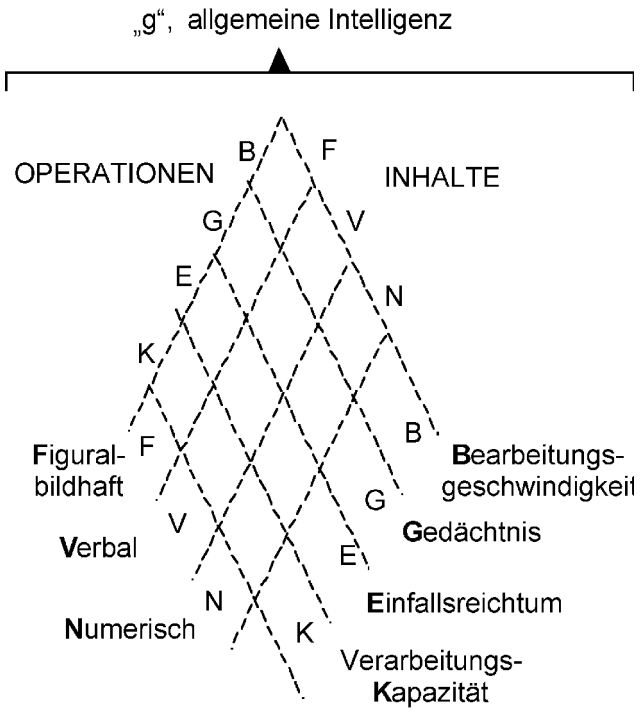


Abbildung 36 Bimodales Intelligenzstrukturmodell nach Jäger (1982).

Diese modulare Konzeption führt dazu, dass man Intelligenzleistungen auf verschiedenen Stufen bestimmen kann: Entweder nimmt man einzelne Zellen dieser Matrix (z. B. EN, Einfallsreichtum bei nummerischem Material), oder man aggregiert wahlweise über Inhalte (z. B. V als Gesamtmaß für den Umgang mit verbalem Material) oder über Operationen (z. B. K als Indikator für die Verarbeitungskapazität). Fasst man die 12 verschiedenen Teilleistungen zusammen, lässt sich durchaus ein Indikator der »allgemeinen Intelligenz« (g) bestimmen. Der BIS wurde im Jahre 1997 als reguläres Testverfahren veröffentlicht (Jäger et al., 1997) und erlaubt eine entsprechend differenzierte Intelligenzmessung. Diese steht in deutlichem Unterschied etwa zur Erfassung der Intelligenz mittels den *Standard Progressive Matrices* (SPM) bzw. den *Advanced Progressive Matrices* (APM) von Raven (1962). Dort erfolgt die Intelligenzmessung über die Bearbeitung sog. Matrizenaufgaben, bei denen in einer 3x3-Matrix ein Element freigehalten ist, das sich durch Anwendung von Regeln logisch aus den acht vorhandenen Elementen ergibt (vgl. zu Intelligenzkonzeptionen und Messverfahren auch Funke & Vaterrodt-Plünnecke, 1998).

Eine neuere Studie von Wittmann und Süß (1999) geht der Frage nach dem Konstrukt einer generellen Problemlösefähigkeit und den kognitiven Voraussetzungen für komplexes Problemlösen nach. In einer dreitägigen Untersuchung hatten 136

Mannheimer Studenten drei realitätsnahe Simulationen zu bearbeiten, je zwei Mal und mit wechselnden Startwerten die Simulation POWERPLANT (Wallach, 1998) sowie die Berliner Version der SCHNEIDERWERKSTATT (Süß & Faulhaber, 1990) und – nur einmal – das Simulationsprogramm LEARN (Milling, 1996), das ähnlich wie LOHHAUSEN über rund 2000 Variablen verfügt. Die Testpersonen mussten zusätzlich den Intelligenztest BIS-4 (Jäger et al., 1997) bearbeiten, zudem neun Aufgaben aus der Arbeitsgedächtnis-Testbatterie (Oberauer & Süß, 1996).

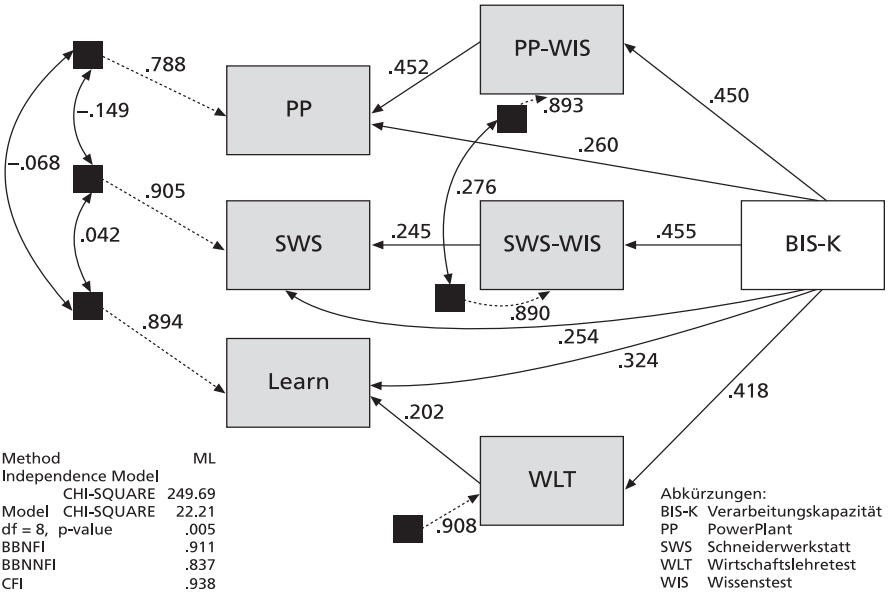


Abbildung 37 Vorhersage der Problemlöseleistungen in den Szenarios POWERPLANT (PP), SCHNEIDERWERKSTATT (SWS) und LEARN durch Verarbeitungskapazität (BIS-K) und systemspezifisches Wissen (WLT, SWS-WIS, PP-WIS; nach Süß, 1999, S. 225).

In dieser Untersuchung zeigte sich, dass für alle drei Szenarios die Faktorwerte der operativen Fähigkeit »Verarbeitungskapazität« (BIS-K) einen substanziellen Prädiktor der Problemlöseleistungen darstellten. Mindestens ebenso einflussreich ist aber auch das systemspezifische Wissen. Bildet man ein über alle drei Szenarios aggregiertes Problemlösemaß, beträgt die Korrelation r = .56, d. h., rund 32% der Kriteriumsvarianz können durch K erklärt werden. Die operative Fähigkeit »Bearbeitungsgeschwindigkeit« (B) erweist sich dagegen als unbedeutender Prädiktor der komplexen Problemlösefähigkeit mit nur 4,7% Aufklärung der Kriteriumsvarianz. Dafür steht die Arbeitsgedächtniskapazität (die Kapazität zum simultanen Speichern und Verarbeiten sowie Koordinieren von Information; nicht in Abbildung 37 aufgeführt) mit dem aggregierten Problemlösegütemaß in einer hohen Beziehung (r = .53). Dabei scheint die Arbeitsgedächtniskapazität noch über K hinausgehende Varianzanteile eigenständig erklären zu können. Werden BIS-K und Wissensleistungen aus den drei Problemlösekriterien herauspartialisiert, sinken die vorher vorhandenen signifikanten Interkorrelationen zwischen den drei Maßen auf

nichtsignifikante Werte nach Null. Wittmann und Süß (1999) sowie Süß (1999) ziehen aus diesen Ergebnissen den Schluss, dass man zwar prinzipiell Hinweise auf die Eigenständigkeit eines Konstrukts »Komplexe Problemlösefähigkeit« finden könne, die Zusammenhänge aber genauso gut durch Intelligenz, durch Rückgriffe auf Testintelligenz und auf bereichspezifisches Wissen erklärbar seien. Die Frage nach der Eigenständigkeit eines derartigen Konstrukts wird weiter unten noch einmal aufgegriffen (vgl. Kapitel 5.7.1).

5.3.2 Expertise

Natürlich stellte sich schon früh die Frage, ob Experten auf einem Gebiet im Umgang mit entsprechenden Szenarien erfolgreicher als Novizen seien. Reither (1981) hat das Entwicklungshelfer-Szenario DAGU herangezogen, um die Leistung erfahrener Entwicklungshelfer (10 Jahre Erfahrung in Dritte-Welt-Ländern) mit denjenigen von Absolventen zu vergleichen, die gerade ihren ersten Einsatz als Entwicklungshelfer vor sich hatten. Sowohl die Experten als auch die Novizen arbeiteten bei diesem Szenario in Dreiergruppen. Als Hauptergebnis von Reithers Studie zeigt sich, dass Experten eine größere Vielzahl von Aktionen und eine größere Bereitschaft zum Treffen von Entscheidungen bereits zu Beginn aufweisen, aber die Studie zeigt auch, dass Experten lediglich Standardstrategien verwenden und nicht in der Lage sind, sich veränderten Aufgabenbedingungen anzupassen. Reither nennt dieses Verhalten »blindness of the specialists« (vgl. auch Frensch & Sternberg, 1989). Auffällig war neben diesen strategischen Unterschieden zwischen Experten und Novizen die Tatsache, dass *beide* Gruppen mit dem System schlecht umgingen. Sowohl bei Novizen wie bei Experten sank die Zahl der Einwohner im simulierten Landstrich dramatisch nach 20 Jahren als Folge von Hungerkatastrophen. Dieser Befund wirft natürlich die Frage auf, ob erfahrene Experten tatsächlich nicht in der Lage waren, diese Entwicklung vorherzusehen, oder ob das simulierte System die Wirklichkeit nicht in einer validen Form abbildet.

Schaub und Strohschneider (1992) haben untersucht, ob Manager und Studierende sich beim Bearbeiten des MORO-Szenarios unterscheiden. In Moro müssen Probanden ebenfalls die Rolle eines Entwicklungshelfers in Afrika übernehmen. Die Autoren berichten, dass die Manager insgesamt eine ausführlichere Exploration des Szenarios vornehmen und sich vorsichtiger an die Aufgabenstellung anpassen. Im Schnitt erzielen Manager – kaum überraschend – bessere Resultate als Studenten. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Manager im Schnitt 25 Jahre älter waren als die Studierenden und daher größere Lebenserfahrung besaßen.

Mit der konfundierten Variable »Lebensalter« ist auch die Expertise-Studie von Putz-Osterloh (1987; Putz-Osterloh & Lemme, 1987) behaftet, die 30 Wirtschaftsstudenten (Durchschnittsalter 22 Jahre) mit 7 Wirtschaftsprofessoren (Durchschnittsalter 45 Jahre) bei dem Bearbeiten der Szenarios SCHNEIDERWERKSTATT und Moro verglich. Sechs der sieben Experten erreichten bei der SCHNEIDERWERKSTATT höhere Gütewerte als die Hälfte der Nichtexperten; bei MORO dagegen zeigten sich keine unterschiedlichen Effekte von Expertise. Die Experten erzielen bei vergleichbaren Mengen erfragter Daten deutlich bessere Repräsentationen. Außerdem verbalisieren sie allgemeine Ziele ihres Vorgehens häufiger und bewerten ihr eigenes Vorgehen positiver.

5.3.3 Übungseffekte

Während die Expertise-Studien Personen verglichen, die eine vergleichsweise umfangreiche Erfahrung mit einem bestimmten Bereich aufweisen (in der Expertise-Forschung wird als Kriterium oft von dem Betrag von 10.000 Stunden Beschäftigung mit einem Fachgebiet als Kriterium für Expertise gesprochen), geht es in Studien zu Übungseffekten um wesentlich kürzere Zeiträume. Aber natürlich sollte auch die wiederholte Bearbeitung eines Szenarios zu Übungseffekten und damit zu besserer Problemrepräsentation und -bearbeitung führen. Dies konnte in einer ganzen Reihe von Studien demonstriert werden, bei denen Versuchspersonen das gleiche Szenario mehrfach bearbeiten mussten (z. B. Dörner & Pfeifer, 1992; Funke, 1985; Heineken, Arnold, Kopp & Soltysiak, 1992). Ganz allgemein scheint es so zu sein, dass Wissen ein bedeutsamer Prädiktor der Steuerungsleistung ist (Funke, 1992; Putz-Osterloh, 1988), auch wenn Dissoziationen zwischen den beiden Variablen beim komplexen Problemlösen häufig berichtet wurden (Berry & Broadbent, 1984; Broadbent et al., 1986; Hayes & Broadbent, 1988). Allerdings gibt es auch kritische Bemerkungen zu diesen Dissoziationsbefunden (Buchner et al., 1995; Haider, 1992, 1993; Sanderson, 1989).

5.3.4 Klinische Gruppen

In einer prospektiven Längsschnittstudie haben Fritz und Funke (1988, 1990) die Qualität komplexen Problemlösens bei Schülern mit minimalen cerebralen Dysfunktionen (MCD) und Kontrollschülern verglichen, die hinsichtlich IQ, Alter und Geschlecht vergleichbar waren. Die Versuchspersonen hatten das DYNAMIS-Szenario ÖKOSYSTEM zunächst zu explorieren und dann zu steuern. Hinsichtlich des Wissenserwerbs gab es keine bedeutsamen Unterschiede zwischen der MCD- und der Kontrollgruppe. Wohl aber waren die Strategien zwischen beiden Gruppen deutlich unterschiedlich: In der Kontrollgruppe wurden häufiger isolierte Bedingungsvariationen ausgeübt, mit denen die kausalen Relationen zwischen den Variablen leichter aufzudecken waren (die Kontrollgruppe verwendete diese Strategie dreimal so häufig wie die MCD-Gruppe). Auch in Hinblick auf die Systemsteuerungsleistung gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede, obwohl in der Kontrollgruppe etwa 20% den Zielzustand wenigstens einmal erreichten, während dies keiner der MCD-Testpersonen gelang.

5.3.5 Strategien

Schmuck (1992, 1995) hat mit einem selbst entwickelten Instrument den Grad gemessen, mit dem Probanden spontan exekutive Kontrolle ausüben. Hoch und niedrig effiziente exekutiv kontrollierende Personen wurden dann in ihren Leistungen beim FEUER-Szenario verglichen, bei dem die Versuchspersonen unter Zeitdruck ein ausgebrochenes Feuer bekämpfen mussten (siehe zur ausführlicheren Beschreibung Kapitel 5.5.3 und 6.3.3). Die hoch effizienten Probanden zeigten von Anfang an bessere Leistungen, brauchten aber auch mehr Zeit und machten insgesamt mehr Eingriffe in das System. Diese Versuchspersonen zeigten auch eine größere Verhaltensvariabilität als die wenig effizienten Personen. Schmuck

ist der Meinung, dass diese strategischen Unterschiede die niedrigen Stabilitätswerte erklären könnten, die in einer Reihe von Studien gefunden wurden (ähnlich argumentieren Ringelband, Misiak & Kluwe, 1990). Diese Erklärung beruht allerdings auf der Annahme, dass das von Schmuck entwickelte Messinstrument eine reliable Differenzierung zwischen den Probanden möglich macht – eine Annahme, die noch zu demonstrieren ist.

Vollmeyer und Holyoak (1993) haben die Strategien von Probanden bei der Exploration, Kontrolle und Vorhersage eines unbekannten dynamischen Systems namens BIOLOGY LAB (eine DYNAMIS-Variante) untersucht. Testpersonen wurden entsprechend ihres Explorationsverhaltens klassifiziert als entweder 1. Nutzende einer »wissenschaftlichen« Vorgehensweise, 2. Nutzende mit einer systematischen Variation von Strategien oder 3. Nutzende mit unsystematischen Strategievariationen. Wie vermutet wurde, führten die Strategien 1 und 2 zu einer besseren Repräsentation des Systems und auch zu einer besseren Vorhersage von Systemzuständen. Allerdings wurden keine Gruppenunterschiede hinsichtlich der Steuerungsleistung gefunden. Die Autoren interpretieren ihre Ergebnisse dahingehend, dass für die drei verschiedenen Aufgaben jeweils verschiedene Arten von Wissen notwendig sei.

Putz-Osterloh (1983) hat sich ebenfalls für Strategieanalysen zur Erklärung individueller Unterschiede stark gemacht. Mithilfe des DYNAMIS-Szenarios LINAS fand sie bedeutsame Verbesserungen im Strukturwissen bei Probanden, die effiziente Strategien zur Intervention nutzten – ein Befund, der zu den eben berichteten Befunden von Vollmeyer und Holyoak (1993) passt.

Mit dem Szenario LINAS hat auch Schoppek (2002) gearbeitet und sich über das Wissen Gedanken gemacht, das man zur erfolgreichen Kontrolle dynamischer Systeme benötigt. Neben zwei als einflussreich angesehenen Wissensarten, dem *Input-Output-Wissen* (repräsentiert spezifische Eingriffswerte mit den dazugehörigen Ausgabewerten) und dem *Strukturwissen* (allgemeines Wissen über die beteiligten Variablen und deren Kausalbeziehungen untereinander) postuliert er eine weitere Klasse: das *strategische Wissen*. Dieses Wissen bezieht sich auf Schrittabfolgen bzw. allgemeiner auf die Vorgehensweise zur Erledigung einer Aufgabe. Zur Annahme einer dritten Wissensart kommt er, weil eine experimentelle Manipulation des Strukturwissens (eine Gruppe erhält systemrelevantes Strukturwissen, eine Kontrollgruppe nicht) zwar einen (trivialen) Unterschied im Ausmaß verfügbaren Wissens bedingt, aber erstaunlicherweise keine Auswirkungen auf die Steuerungsqualität hat. Dass die Kontrollgruppe ohne Strukturwissen gut steuert, wird auf während des Versuchs erworbene strategische Wissenselemente zurückgeführt. Allerdings bleibt die Frage offen, wie genau dieses strategische Wissen von den beiden anderen Wissensformen abgegrenzt werden kann.

Rollett (2002, 2003) beschäftigt sich mit dem strategischen Verhalten bei der Bearbeitung des (in Kapitel 5.2.4 näher beschriebenen) komplexen dynamischen DYNAMIS-Systems BIOLOGY LAB von Vollmeyer, Burns und Holyoak (1996). Ziel ist es, den Lern- und Problemlöseprozess mit prozessnah operationalisierten Variablen exakter zu modellieren, als dies mit den bisher in diesem Kontext verwendeten globalen Maßen möglich ist. Dazu wurde zunächst ein mehrdimensionales Schema entwickelt, um jeden einzelnen explorierenden Systemeingriff einer Versuchsperson auf seinen strategischen Gehalt hin zu analysieren (»Qualität des Strategieeinsatzes«). Außerdem wurde ermittelt, wie viel der erzeugten (d. h. potenziell nutzbaren) Informationen auch tatsächlich ausgeschöpft wurden (»Qua-

lität der Informationsnutzung«). Ziel dieses Vorgehens ist es, die Qualität des individuellen Strategieeinsatzes und die Qualität der während der Exploration erzeugten Information über das System jeweils unabhängig von der eigentlichen Explorationsleistung der Versuchsperson beschreiben zu können. Gleichzeitig ist es durch den Vergleich der von den einzelnen Versuchspersonen in der Exploration erzeugten, potenziell nützlichen Systeminformation mit der von ihnen tatsächlich genutzten Information möglich, Aussagen über das individuelle Informationsmanagement zu treffen und auf diese Weise differenzierte Modelle des Explorations- bzw. Steuerungsprozesses zu entwickeln. Erste Ergebnisse an N = 207 Versuchspersonen zeigen, dass ein sehr hoher Anteil (rund 90%) der beobachtbaren Leistungsvarianz bei den Lern- und Steuerleistungen durch die strategischen Kenngrößen und deren Interaktion aufgeklärt werden kann. Auch eine Typologie von Versuchspersonen wird damit unterstützt (Rheinberg, Vollmeyer & Rollett, 2002). Einschränkend bleibt jedoch festzuhalten, dass mit der verhaltensnahen Beschreibung einzelner Eingriffe nur bedingt komplexere Strategien identifiziert werden können. Unbestritten bleibt aber der Gewinn an Varianzaufklärung, der mit dieser Prozedur verbunden ist (vgl. auch Rheinberg, Vollmeyer & Rollett, 2000; Vollmeyer, Rollett & Rheinberg, 1998).

5.4 Befunde zu Situationsmerkmalen

Studien, welche die Rolle von Situationsfaktoren beim komplexen Problemlösen erforschen, beziehen sich auf eine Reihe experimentell variierter Variablen wie z. B. Art der Aufgabenstellung, Effekte lärminduzierten Stresses, individuelles versus Gruppen-Problemlösen, Transparenz der Systemvariablen oder auch die Art der Systemdarbietung. Auf alle Bereiche soll kurz eingegangen werden.

5.4.1 Art der Aufgabenstellung

Funke und Müller (1988) haben ein DYNAMIS-Szenario mit dem Namen SINUS verwendet, bei dem die Versuchspersonen zunächst für vier Durchgänge das System explorieren sollten, bevor sie dann im fünften Durchgang vorgegebene Zielwerte zu erreichen hatten. Abbildung 38 zeigt das Kausaldiagramm dieses Systems, das von den Versuchspersonen zu entdecken war und aus zwei voneinander unabhängigen Teilsystemen (Olschen und Gaseln haben mit den anderen vier Variablen nichts zu tun) unterschiedlicher Komplexität besteht.

Die Hälfte der Versuchspersonen konnte aktiv eingreifen, die andere Hälfte konnte dagegen den Eingriffen einer anderen Person nur passiv zuschauen (*joked control design*: Es werden »experimentelle Zwillinge« gebildet, bei denen der eine Zwilling passiv das beobachtet, was der andere Zwilling an aktiven Eingriffen getätigt hat). Abhängige Variablen waren zum einen der Wissenserwerb, zum anderen die Steuerungsleistung. Im Ergebnis zeigt sich, dass die aktive Interventionsmöglichkeit zu besserer Steuerleistung führte, aber die Menge verbalisierbaren Wissens geringer ausfiel. Überraschenderweise waren diejenigen Beobachter, die generell schlechte Steuerungsleistung erbrachten, besser in der Konstruktion

von Kausaldiagrammen. Wie es scheint, haben die Beobachter Wissen über die Systemvariablen und deren Beziehungen erworben, aber nicht gelernt, wie man das System kontrolliert.

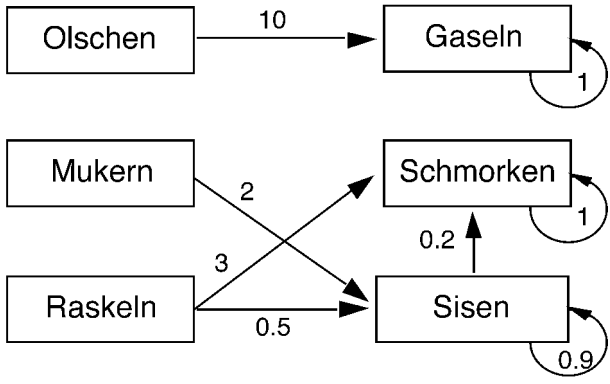


Abbildung 38 Das von den Versuchspersonen zu entdeckende Kausaldiagramm des SINUS-Szenarios: Mit drei fiktiven Lebewesen (den exogenen Variablen) können drei andere Lebewesen (die endogenen Variablen) beeinflusst werden. Die Zahlenwerte an den Kanten entsprechen dem Gewicht der jeweiligen Beziehung. Das zugehörige Display zeigt Abbildung 41 (Seite 188).

Berry (1991) führte eine ähnliche Studie mit dem System SUGAR PRODUCTION und PERSONAL INTERACTION durch. In ihrem ersten Experiment hatten die Probanden einem Experimentator zuzusehen, der mit dem System interagierte, bevor sie selbst das System zu steuern hatten. Es schien auf den ersten Blick, als ob die Probanden durch bloße Beobachtung nichts lernen würden, weder in Bezug auf die Steuerungsleistung noch in Bezug auf das anschließend erfasste Wissen. In einem zweiten Experiment konnte Berry allerdings zeigen, dass auch die Beobachter etwas lernten, wenn nämlich die Systemverknüpfungen, die zuvor unauffällig waren, salient (d. h. wahrnehmbar) wurden. Diese Manipulation erwies sich bei beiden abhängigen Variablen (Kontrollleistung und verbalisiertes Wissen) als erfolgreich.

5.4.2 Stress

Dörner und Pfeifer (1992) haben die Wirkung geräuschinduzierten Stresses auf die Bearbeitung eines komplexen Problems untersucht. Sie verwendeten eine Variante des FEUER-Szenarios von Brehmer und Mitarbeitern (Brehmer, 1995; Brehmer & Allard, 1991). Aufgabe der Probanden war es, nacheinander fünf verschiedene Feuer entweder unter Bedingungen weißen Rauschens (alle hörbaren Frequenzen sind mit gleicher Amplitude vertreten) oder unter stillen Bedingungen zu bekämpfen. Der Zeitdruck war in beiden Bedingungen gleich. Auf pauschaler Ebene fand sich kein Unterschied zwischen beiden Bedingungen in Bezug auf Erfolg und Fehler.

Detailliertere Analysen, die sich auf die taktischen Entscheidungen der Probanden bezogen, konnten jedoch zeigen, dass die Fehlerart (nicht die Menge) durch den Lärm beeinflusst wurde. Die lärmgestressten Probanden machten zum Beispiel fehlerhafte Dosierungen ihrer Feuerbekämpfungsmaßnahmen und zeigten insgesamt einen eher reaktiven Bearbeitungsstil, der nicht vorausschauend plant, sondern auf eingetretene Ereignisse reagiert.

Viel markanter als die gerade berichteten Befunde sind die Stresseffekte, die durch die Untersuchungssituation selbst in Form der Konfrontation mit einem schwierigen Problem ausgelöst werden. Dörner et al. (1983, S. 427) beschreiben das Phänomen der »Notfallreaktion des kognitiven Systems« (NRK, bei Dörner, 1981, noch – unzutreffend, da Intellekt kaum eine Rolle spielt – als »intellektuelle Notfallreaktion« bezeichnet) wie folgt: »Die NRK ist u.E. eine genetisch vorgegebene Reaktion auf unspezifische Gefahrensituationen und ihr Zweck ist die Herstellung einer Bereitschaft für *schnelle* und *allgemeine* Reaktionen. ... Die NRK besteht darin, dass neben einer allgemeinen *Aktivierung* eine *Externalisierung* der Verhaltenssteuerung erfolgt und außerdem eine *Voraktivierung allgemeiner*, d. h. von keinen oder wenigen spezifischen Bedingungen abhängiger Verhaltensweisen.« (zu Details der NRK siehe Kapitel 5.1.4). Der hier beschriebene, mit Unlust einhergehende Kontrollverlust wird abhängig gemacht von der aktuellen Kompetenz des Individuums, mit einer schwierigen Situation umzugehen. Dieses Konzept nennt Stäudel (1987) »heuristische Kompetenz« (siehe auch Dörner, Reither & Stäudel, 1983).

Die Effekte der NRK sind dramatisch und liegen auf mehreren Ebenen. Charakteristisch hierfür sind a) die *Senkung des intellektuellen Niveaus*, die sich im Absinken der Selbstreflexionen, dem Absinken von Absichten und Vornahmen, einer Stereotypisierung und dem Absinken *realisierter* Absichten zeigt; b) die *Tendenz zu schnellem Handeln*, die sich in einer Erhöhung der Risikobereitschaft, erhöhten Regelverstößen und erhöhten Fluchttendenzen zeigt; sowie c) der *Degeneration der Hypothesenbildung*, die sich in globalerer Hypothesenbildung und deformierterer Prüfung, wachsender Verschanzungstendenz (Verzicht auf Falsifikationen) und einer Entkonkretisierung von Zielen niederschlägt.

Die NRK zeigt in besonderer Weise die Notwendigkeit, kognitive, motivationale und emotionale Aspekte der Problembearbeitung simultan zu verfolgen. Problemlösen ist eben nicht nur pure Kognition, wie es auch in den Ansätzen zur Kognitiven Modellierung zumeist unterstellt wird (siehe Kapitel 2.6), sondern erzeugt Emotionen als Begleiterscheinungen, die ihrerseits wiederum auf das kognitive Geschehen verändernd rückwirken (siehe auch Kuhl, 1983).

5.4.3 Individuelles versus Gruppen-Problemlösen

Gruppenleistung wird bestimmt durch a) Merkmale der Gruppenmitglieder (z. B. Vorwissen, Intelligenz) und b) Merkmale der Gruppe und des Gruppenprozesses. Die Forschung zu Gruppenprozessen unterscheidet drei wesentliche Merkmale von Gruppen: *Kommunikations- und Führungsstrukturen* (Rollen- und Machtverteilung, Kooperation vs. Wettbewerb, Aufgabenverteilung), *Interaktionsmuster* (z. B. Dialogform, Umgang mit Kritik) sowie *Gruppenkohäsion bzw. Gruppenklima* (Stimmung in der Gruppe). Überlegungen gehen dabei in die Richtung, dass Gruppenleistung sich nicht einfach aus dem Potenzial des besten Mitglieds ergibt,

sondern durch Prozessverluste (z. B. mangelhafte Koordination, Motivationseinbußen) beeinflusst wird. Empirische Untersuchungen haben entsprechend gezeigt, dass Gruppenleistungen gegenüber Einzelleistungen in bestimmten Aufgabenbereichen zurückstehen. Neben Prozessverlusten werden dafür Phänomene wie die Extremisierung der Standpunkte und das Gruppendenken verantwortlich gemacht.

Sollte man also überhaupt Problemlösen in Gruppen betreiben? Dafür sprechen folgende Argumente: a) Gruppen schneiden beim komplexen Problemlösen besser ab als Einzelpersonen, »wenn das zur Entscheidung anstehende Problem so komplex ist, dass es die Kapazität des qualifiziertesten einzelnen übersteigt« (Rosenstiel, 1992, S. 329); b) politische Rücksichten und demokratische Prinzipien sprechen für Gruppenentscheidungen; c) Gruppenentscheidungen werden häufig besser akzeptiert. Wie sieht dieses Bild beim Einsatz komplexer Probleme aus?

Köller, Dauenheimer und Strauß (1993) verglichen Gruppen mit Individuen beim Bearbeiten komplexer Probleme. In einer ersten Sitzung bearbeiteten alle Probanden individuell das Szenario HEIZÖLHANDEL. Das Ergebnis dieser Systembearbeitung wurde verwendet, um die Probanden als gute oder schlechte Problemlöser entsprechend dem Median der Verteilung zu klassifizieren. Daraufhin wurden in einer zweiten Sitzung Versuchspersonen an das Szenario TEXTILSHOP gesetzt, entweder individuell oder in Dyaden, die entweder aus zwei schlechten oder zwei guten Problemlösern bestanden. Es zeigte sich, dass die individuelle Problemlöseleistung schlechter ausfiel als die Leistungen der Zweiergruppen. Bei diesen schien es keine Rolle zu spielen, ob sie aus guten oder schlechten Problemlösern zusammengesetzt waren.

Leutner (1988) hat mit Schülern gearbeitet, die eine Variante der SCHNEIDERWERKSTATT entweder individuell oder in Dreiergruppen bearbeiteten. Im Unterschied zur vorangehenden Arbeit zeigt sich hier, dass der Wissenserwerb bei individueller Bearbeitung signifikant höher ausfiel als bei Gruppen; lediglich mit Blick auf die Steuerungsleistung gab es keinen Unterschied (für nähere Beschreibungen siehe auch Leutner, 1992).

Badke-Schaub (1993) untersuchte die Problemlösestrategien von Einzelpersonen und Gruppen, die mit einer AIDS-Simulation konfrontiert wurden. Die Probanden hatten Vorbeugemaßnahmen vorzuschlagen, die die weitere Ausbreitung dieser Epidemie verhindern sollten. Badke-Schaub fand, dass Gruppen zwar ein Problem in Bezug auf ein gemeinsames Ziel haben, dafür aber Vorteile in Bezug auf das Auffinden problemrelevanter Informationen. Gruppen produzierten insgesamt auch mehr Lösungsvorschläge, fanden es dafür aber schwieriger, einen oder mehrere dieser Vorschläge auszuwählen.

Endres und Putz-Osterloh (1994) haben Gruppen- und Einzelleistungen beim Bearbeiten zweier komplexer Szenarios (MORO, TAILORSHOP) untersucht. Eine erste Hypothese betraf die Erwartung, wonach die Gruppenleistung durch die jeweiligen Einzelleistungen (z. B. bereichsspezifisches Vorwissen, kommunikative Kompetenz) beeinflusst werden sollte. Tatsächlich erreichten die untersuchten Gruppen insgesamt entweder deutlich höhere oder deutlich niedrigere Werte als Einzelpersonen. Die erfolgreichen Gruppen setzten sich dabei vor allem aus erfolgreichen Einzelpersonen zusammen, aber umgekehrt waren die erfolglosen Personen auf unterschiedliche Gruppen verteilt. Auf einen kurzen Nenner gebracht: Einzelerfolg determiniert Gruppenerfolg, aber Gruppen*miss*erfolg kommt

durch unterschiedliche Ursachen zustande – ein Befund, der auf negative Effekte der Gruppeninteraktion hindeutet.

Eine zweite Hypothese betraf die Frage, ob eine kooperativ strukturierte Gruppe gegenüber einer wettbewerbsorientierten Gruppe besser abschneiden würde. Die experimentelle Variation der Gruppenstruktur hatte jedoch keinen Einfluss auf die Verteilung der Gruppenleistung: Hohe und niedrige Leistungen waren etwa gleich häufig. Die Gruppenstruktur bestimmt allerdings die Interaktion: Integratives Vorgehen mit Gruppenleiter hatte einen harmonischeren Gruppenprozess zur Folge.

Eine dritte Hypothese ging davon aus, dass bestimmte Interaktionsmuster in der Gruppe (z. B. subjektiv höheres Kohäsionserleben, Kommunikation im Dialog und Vorkommen kritischer Äußerungen) erfolgreiche von weniger erfolgreichen Gruppen unterscheiden sollten. Diese Erwartung wurde nicht bestätigt: Unterschiedliche Interaktionsmuster hatten keinen Einfluss auf die Problemlöseleistung. Boos Scharpf und Fisch (1991) kommen diesbezüglich allerdings zu einem anderen Ergebnis: In ihrer Untersuchung hatte die Interaktion sehr wohl einen deutlichen Effekt.

Zusammenfassend zeigt das Experiment von Endres und Putz-Osterloh (1994) also: Sicherster Prädiktor für die Gruppenleistung beim Lösen komplexer Probleme ist offensichtlich das individuelle Vorwissen. In anderen Situationen oder bei anderen Aufgaben wäre es aber durchaus vorstellbar, dass sich die Gruppenstruktur (über die Interaktion) produktiv auf die Leistung auswirkt.

Am Beispiel konstruktiven Problemlösens in Gruppen haben Stempfle und Badke-Schaub (2002a, 2002b) interessante Überlegungen vorgestellt. Insgesamt drei Gruppen zu je 4–6 Maschinenbau-Studierenden sollten ein Grobkonzept für ein Sonnenplanetarium entwickeln. Das Kommunikationsverhalten wurde sorgfältig protokolliert und hinsichtlich zugrunde liegender Denk- und Handlungsprozesse analysiert. Sie kommen zu dem Schluss, dass zwei verschiedene Arten des Problemlösens stattfinden (die von den Gruppen in unterschiedlichen Anteilen realisiert werden), nämlich einerseits eine Art »Routine-Problemlösen«, bei der es zu schnellen Bewertungen von Lösungen und zu raschem Erfolg kommt, andererseits eine Art elaborierten Problemlösens, bei der Lösungsvorschläge zunächst einer gründlichen Analyse unterzogen werden, bevor es zu Bewertungen kommt. Insgesamt sehen sie in eng verzahnten Abfolgen von Analyse- und Bewertungstätigkeiten das »Herzstück« kollektiver Problemlöseprozesse.

Weitere Untersuchungen zum Problemlösen in Gruppen finden sich unter dem Stichwort »Soziales Faulenzen« in Kapitel 6.3.3.

5.4.4 Transparenz

Putz-Osterloh und Lüer (1981) untersuchten den Effekt der Transparenz auf die Problemlösequalität beim Szenario SCHNEIDERWERKSTATT. Eine Gruppe erhielt das System unter intransparenten Bedingungen: Probanden bekamen hier nur eine Mitteilung darüber, welche Maßnahmen möglich waren. Eine zweite Gruppe erhielt eine graphische Darstellung fast aller Systembeziehungen. Nach 15 Simulationsmonaten erzielten die Probanden unter der transparenten Bedingung bessere Leistungsergebnisse. Außerdem war die Testleistung nur unter der Transparenzbedingung mit Maßen der Testintelligenz korreliert, unter Intransparenz dagegen

nicht. Putz-Osterloh und Lüer (1981) haben diese Korrelation auf die Äquivalenz der beiden Aufgabenstellungen (transparente Problemsituation und transparenter Intelligenztest) zurückgeführt. In beiden Fällen lag die zu bearbeitende Information den Probanden vor und musste nur noch ausgewertet werden; im Fall des intransparenten Problems war dagegen noch zusätzliche Informationsbeschaffung notwendig, die beim Intelligenztest entfiel.

Eine Replikationsstudie von Funke (1983) warf allerdings Zweifel an der Generalität dieser Aussage auf: Der moderierende Effekt der Transparenz auf die Beziehung zwischen Testintelligenz und komplexem Problemlösen ging verloren, nachdem Probanden aus einem weit größeren Range an IQ-Werten ausgewählt wurden. In der Studie von Putz-Osterloh und Lüer (1981) waren es Studierende, die hinsichtlich der Intelligenzleistung außerordentlich homogen verteilt waren und daher keine großen Korrelationskoeffizienten erzielen konnten.

Putz-Osterloh (1993b) hat erneut die Transparenz des Systems durch die Darbietung von Strukturdiagrammen manipuliert. Unter Rückgriff auf ein DYNAMIS-Szenario wurden wiederum zwei Gruppen gebildet, von denen die Experimentalgruppe ein Strukturdiagramm mit den Variablenbeziehungen erhielt, das die Kontrollgruppe nicht sehen konnte. Es ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen, weder hinsichtlich der Aufgabenbearbeitung noch der Strategieauswahl. Allerdings zeigte sich ein Effekt bei einer nachfolgenden Transferaufgabe mit einem modifizierten System, wonach die Experimentalgruppe die Kontrollgruppe auf beiden Indikatoren schlug. Putz-Osterloh schloss aus diesen Ergebnissen, dass Wissenserwerb keine notwendige Vorbedingung für gute Steuerungsleistung ist. Nach ihrer Meinung sind die angewandten Strategien von größerer Bedeutung für die Vorhersage von Leistungsunterschieden.

5.4.5 Art der Informationsdarbietung

Hübner (1987, 1988) führte ein Experiment durch, in dem 20 Probanden einen simulierten Gasabsorber zu steuern hatten. Der Systemzustand wurde entweder im analogen (Grafik) oder nummerischen Format (Zahlen) dargeboten. Es zeigte sich, dass die abhängige Variable Steuerungsleistung bei der Analog-Gruppe signifikant besser ausfiel und diese Gruppe zugleich weniger Zeit benötigte als diejenige mit nummerischer Darbietung.

Hammond, Hamm, Grassia und Pearson (1997) gehen davon aus, dass bestimmte Arten der Informationsdarbietung jeweils eine andere Art der Informationsverarbeitung provozieren. Sie unterscheiden ein Kontinuum zwischen den Endpolen »analytisches Vorgehen« und »intuitives Vorgehen« (siehe die ausführlichere Darstellung der Theorie von Hammond in Kapitel 2.5.8) und haben für eine Studie Aufgaben ausgewählt, die 21 männliche Straßenbau-Experten zu bearbeiten hatten. Von ihrer Tiefenstruktur her induzierten diese Aufgaben entweder Intuition (Beurteilung der Schönheit eines Streckenabschnitts; keine Kriterien, kaum quantifizierbar), Quasi-Rationalität (Beurteilung der Sicherheit eines Streckenabschnitts; einige Kriterien) oder analytisches Vorgehen (Beurteilung der Verkehrskapazität eines Streckenabschnitts; bekannter Algorithmus). Diese drei Aufgaben wurden allerdings in jeweils drei Erscheinungsformen (Oberflächenstruktur) präsentiert: als Filmmaterial, in Form von Säulenbalken wichtiger Daten oder als Gleichungen mit den gleichen Variablennamen, die als Balken verwendet

wurden. Erwartet wurde, dass sowohl Oberflächen- als auch Tiefenmerkmale entsprechende Vorgehensweisen induzieren, dass bei Übereinstimmung beider Merkmale die beste Leistung auftritt, dass analytisches Vorgehen eher fehleranfällig ist und dass zur Leistungsvorhersage ausschließlich die Art der Informationsdarbietung bekannt sein muss, die kognitiven Aktivitäten des Individuums also nicht beachtet werden müssen.

Ihre Ergebnisse fassen Hammond et al. in sechs Punkten zusammen: 1. Sowohl Oberflächen- als auch Tiefenmerkmale evozieren die jeweils entsprechenden kognitiven Aktivitäten. 2. Beim Vergleich der drei Vorgehensweisen innerhalb einzelner Personen zeigt sich, dass intuitives und quasi-rationales Vorgehen nicht nur die Qualität analytischen Vorgehens erreicht, sondern dieses gelegentlich sogar übertrifft. 3. Analytisches Vorgehen produziert extremere Fehler. 4. Je größer die Übereinstimmung zwischen Aufgabeneigenschaften und Eigenschaften der kognitiven Aktivität, umso besser die erzielte Leistung. 5. Die Übereinstimmung zwischen Oberflächen- und Tiefenmerkmalen bewirkt keine nennenswerten Zugewinne. 6. Die Erfassung von Oberflächen- und Tiefenmerkmalen durch einen »Task Continuum Index« (TCI) erlaubt eine perfekte Rangordnung der Aufgaben entsprechend den Anforderungen, zusammen mit dem »Cognitive Continuum Index« (CCI) ist eine Vorhersage des Gesamtergebnisses möglich.

5.5 Befunde zu Systemmerkmalen

Experimentelle Forschung über Systemattribute hat sich konzentriert auf Merkmale wie Vernetztheit, Eigendynamik, Feedback-Verzögerung und semantische Einkleidung.

5.5.1 Vernetztheit

Systematische Analysen des schwierigkeitserzeugenden Faktors »Vernetztheit« hat Funke (1985) mit der DYNAMIS-Variante ÖKOSYSTEM durchgeführt. Ausgehend von einem gering vernetzten Grundsystem wurden zusätzlich zwei zunehmend vernetzte Varianten erzeugt. Abbildung 39 zeigt die drei verschiedenen Varianten.

Beide abhängigen Variablen dieser Untersuchung, Systemwissen und Steuerungsleistung, reagieren hypothesenkonform: Mit steigender Vernetztheit sinken Systemwissen und Steuerungsleistung, wobei beim Systemwissen nochmals unterschieden werden kann zwischen Relationswissen (wurde zwischen zwei Variablen ein Zusammenhang gesehen?), Vorzeichenwissen (hat die erkannte Relation das richtige Vorzeichen?), und Stärkewissen (hat der Gewichtungsfaktor die richtige Größe?).

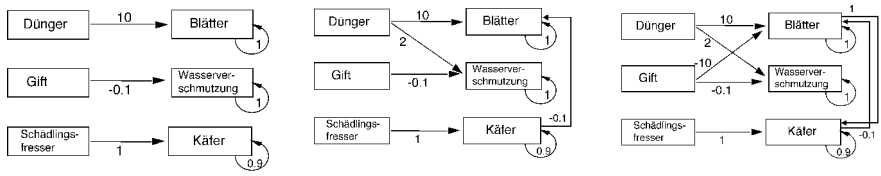


Abbildung 39 Szenario ÖKOSYSTEM mit a) einfacher, b) mittlerer und c) hoher Vernetztheit (nach Funke, 1985).

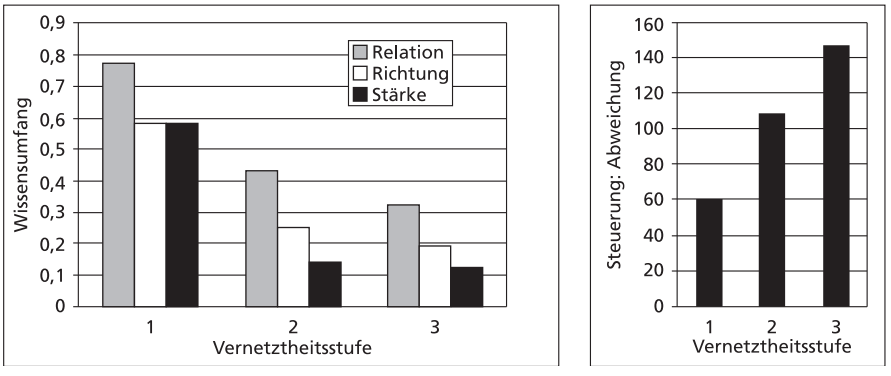


Abbildung 40 Wissenserwerb (links) und Steuerungsleistung (rechts, als Abweichungsrangsummen) in Abhängigkeit von der Vernetztheit im Szenario ÖKOSYSTEM (nach Funke, 1985).

Zwischen diesen drei Wissensarten besteht ein monotoner Unterschied derart, dass das Relationswissen stets größer als das Vorzeichenwissen und dieses stets größer als das Stärkewissen ist. Dies ist allerdings durch die Logik der Wissensbestimmung bedingt, da z. B. das Erkennen eines richtigen Vorzeichens das Erkennen der Relation voraussetzt. Allerdings hätten ungünstigstenfalls die Werte für alle drei Wissensarten gleich ausfallen können, nämlich dann, wenn kein über das Relationswissen hinausgehendes, präziseres Wissen erworben worden wäre; dies war nicht der Fall.

5.5.2 Eigendynamik

In einer Serie von Experimenten hat Funke (1993a) systematisch verschiedene Systemvariablen anhand von DYNAMIS-Szenarios (vgl. Kapitel 5.2.1) untersucht. Eine der untersuchten Einflussgrößen war die Eigendynamik des Systems (Experiment 2). Eigendynamik ist dann gegeben, wenn ein System seinen Zustand zum Zeitpunkt t ändert, unabhängig von den Eingriffen, die zu früheren Zeitpunkten gemacht wurden. Eigendynamik kann also auch dann auftreten, wenn gar keine aktiven Interventionen in einem System getätigt werden. Viele natürliche Systeme zeigen diese Eigenschaft und verlangen damit vom Bediener, die durch die Eigendynamik entstehenden Veränderungen vorherzusehen (vgl. de Keyser, 1990). Fun-

ke (1993a) benutzte das DYNAMIS-Szenario SINUS, ein künstliches System, welches das Wachstum von Lebewesen auf einem fremden Planeten in Form dreier endogener und dreier exogener Variablen manipuliert.

SINUS	Durchgang 1				
Woche...	1	2	3	4	5
Zustand:					
Gaseln.....	1600	1700	1800	1900	2000
Schmorken..	900	957	1013	1055	1096
Sisen.....	300	293	286	281	306
Maßnahmen:					
Olschen....	10	10	10	10	
Mukern.....	12	11	13	28	
Raskeln....	-1	-1	-5	-5	

Durch Drücken der Leertaste eine der Maßnahmen auswählen, evtl. einen neuen Wert eingeben und dann „return" drücken

Abbildung 41 Display des SINUS-Szenarios (nach Funke, 1993a). Die dahinter liegende Kausalstruktur zeigt Abbildung 38 (Seite 181).

Es gab neben einer Kontrollbedingung ohne Eigendynamik zwei Gruppen mit verschiedenen Graden von Eigendynamik. Die Ergebnisse zeigen, dass erhöhte Eigendynamik mit einem Abfall der Steuerungsleistung einhergeht, obwohl die Leistung bei der Exploration der Systemzusammenhänge nicht beeinträchtigt wurde. Dies könnte dafür sprechen, dass sich das Systemattribut der Eigendynamik auf die beiden Prozesse der Systemidentifikation bzw. Systemsteuerung unterschiedlich auswirkt (vgl. auch Funke, 1992, Exp. 3).

5.5.3 Zeitverzögerte Rückmeldungen

Reichert und Dörner (1988) haben ein Szenario KÜHLHAUS konstruiert, das aus einem einfachen Regelkreis besteht, bei dem man durch Manipulation einer Stellgröße Einfluss auf die Kühlhaustemperatur (die Regelgröße) nehmen kann.[20] Zusätzlich spielt die Außentemperatur als Störgröße eine Rolle. Insgesamt N = 54 Studierende sollten für 100 Zeittakte die Steuerung dieses Systems übernehmen, wobei die Stellgröße mit einer Zeitverzögerung von drei Zeittakten wirkte, d. h. eine Festlegung zum Zeitpunkt t trat erst zum Zeitpunkt t+3 in Kraft. Dies wussten die Versuchspersonen aber nicht. Als Ergebnis zeigte sich: Alle Versuchsperonen

20 Dieses Szenario findet sich auch in den Studien von Andresen und Schmid (1993), Knoblich und Rhenius (1995) sowie Strohschneider und Güss (1998).

lernen etwas beim Umgang mit dem System – nur wenige allerdings (N = 11) werden durch zwei unabhängige Beurteiler in ihren Gesamtsteuerungsleistungen als erfolgreich bezeichnet. Woran liegt das? Ein Vergleich der erfolgreichen mit den wenig erfolgreichen Personen zeigt, dass die verzögerte Rückmeldung große Schwierigkeiten machte. Ungeduldige Stellrad-Veränderungen nach vermeintlich ausbleibenden Effekten (die sich ja erst nach 3 Takten zeigen würden) führen zu einer Orientierung »am Augenblick«. Gute Personen greifen wenig ein und verändern das System nur langsam. Dadurch werden die Eingriffseffekte besser sichtbar.

Heineken et al. (1992) überprüften die Wirkung von Zeitverzögerungen auf das Problemlösen bei einem ähnlichen System namens TEMPERATUR, bei dem die Probanden für 1200 Simulationstakte die Temperatur eines künstlichen Systems zu steuern hatten. Feedback über die erzielte Interventionsleistung erfolgte entweder unmittelbar oder nach kurzer Verzögerung oder nach langer Verzögerung. Die Hälfte der Probanden war im Vorhinein darüber informiert, welche Verzögerungsbedingung vorlag. Heineken et al. berichten, dass mit zunehmender Verzögerung die Qualität der Systemkontrolle abnimmt und die vorher gegebene Information über die Verzögerung ohne Wirkung bleibt. Überraschend ist, dass auch in der Bedingung mit starker Zeitverzögerung die Probanden, wenngleich nach langer Übungszeit, in der Lage waren, das System zu steuern (vgl. dazu auch Kapitel 6.1.1). Feedback-Verzögerungen können also die Lerngeschwindigkeit beeinflussen, aber verhindern offensichtlich nicht den Erwerb der Steuerungsfähigkeit eines solchen zeitverzögerten Systems.

Weitere Studien zur Rückmeldeverzögerung finden sich bei Funke (1985), Matern (1979) und bei Brehmer (Brehmer, 1989, 1990, 1992; Brehmer & Allard, 1987, 1991). Insbesondere die umfangreichen Arbeiten von Brehmer dokumentieren die negativen Effekte von Feedbackverzögerungen. In allen vier Experimenten, über die bei Brehmer (1995) berichtet wird, kommt es zu Verschlechterungen in dem von ihm verwendeten Szenario FIRE FIGHTING. Für die Versuchsperson geht es darum, in Echtzeit auf simulierte Feuer zu reagieren, die mittels Einsatzfahrzeugen bekämpft werden können. Tückischerweise bricht kurze Zeit nach dem ersten Feuer ein zweites aus, aber an entfernter Stelle. Die dort ermittelten abhängigen Variablen (Verlust einer Basisstation, Verlust an verbrannter Fläche) weisen durchgängig auf Probleme der Probanden infolge zeitverzögerter Rückmeldung hin. Solche Verzögerungen können an drei Stellen der Feedback-Schleife auftreten: a) *Totzeit* entsteht, wenn ein Einsatzfahrzeug nicht unmittelbar nach dem Einsatzbefehl startet; b) eine *Zeitkonstante* entsteht, wenn der Zustand des Systems sich erst nach bestimmter Zeit entsprechend einem Eingriff ändert; c) *Informationsverzögerung* entsteht dadurch, dass ein Einsatzfahrzeug mit Verspätung seinen Standort bzw. seine Aktivitäten rückmeldet.

In *Experiment 1* wurde ein verzögertes Feedback mit einer Kontrollbedingung ohne Verzögerung verglichen. Rückmeldeverzögerung wurde dadurch manipuliert, dass die Einsatzfahrzeuge entweder direkt über Ort und Tätigkeit Auskunft geben oder erst mit einer Verzögerung von 20 bzw. 40 Sekunden. Bedauerlicherweise reagieren die Versuchspersonen nicht mit strategischen Änderungen auf die Situation mit Verzögerung, sondern verhalten sich – der Situation unangemessen – wie die Kontrollgruppe, in der es keine Verzögerung gab. In *Experiment 2* wurden die Versuchspersonen wechselnden Bedingungen (mit und ohne Verzögerung) ausgesetzt. Es zeigte sich, dass nur beim Wechsel von Verzögerung zu Nicht-Verzögerung eine Verbesserung eintrat. *Experiment 3* verglich zum einen die Art der Simula-

tionstaktung, Echtzeit (*clock driven*) versus Ereignis-abhängig (*event driven*), zum anderen die Art der Verzögerung (keine Verzögerung, Totzeit oder Informationsverzögerung). Hinsichtlich der Taktung ergab sich für die (wegen des geringeren Zeitdrucks leichtere) ereignisabhängige Variante zwar eine 25%ige Verbesserung beim Flächenverlust, aber weder erfolgte schnelleres Lernen noch kamen andere Strategien zum Einsatz. Hinsichtlich der Verzögerungsvarianten schnitt die Totzeit-Variante am schlechtesten ab. *Experiment 4* schließlich verglich informierte versus uninformierte Probanden unter Totzeit- bzw. Informationsverzögerungs-Bedingung. Der Hinweis auf die Verzögerung blieb ohne jede Bedeutung, die Totzeit-Bedingung war erneut schwieriger als die Variante mit Informationsverzögerung.

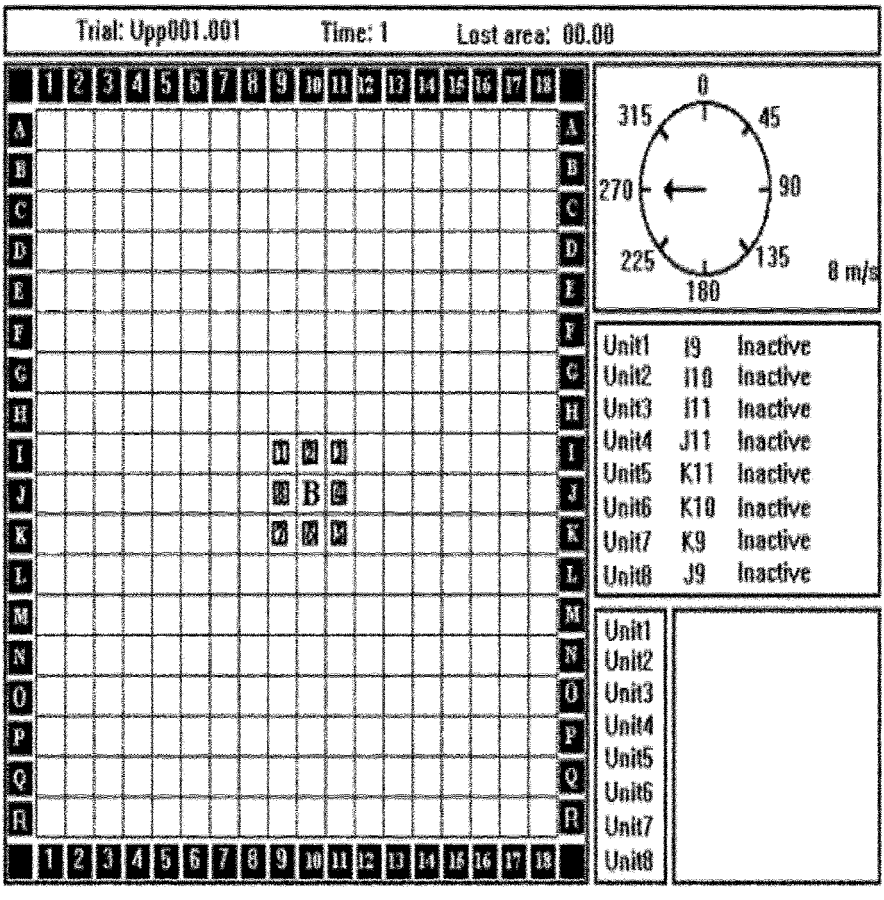


Abbildung 42 Ausgangszustand des Szenarios FIREFIGHTING von Brehmer und Mitarbeitern: links die in Quadranten eingeteilte Spielfläche mit der Basis im Zentrum, rechts oben die Angabe zur Windrichtung, in der Mitte Angaben zum Standort und zur Tätigkeit von acht Löscheinheiten, unten ein Feld zur Befehlseingabe (aus Rigas et al., 2002).

Brehmers Schlussfolgerungen aus diesen Befunden: Generell haben Feedbackverzögerungen starke negative Effekte auf das Problemlösen in dynamischen Umgebungen. Dies liegt nicht etwa daran, dass die Verzögerungen nicht erkannt wurden; vielmehr scheint es den Testpersonen schwer gefallen zu sein, Modelle für solche verzögerten Wirkungen zu entwickeln, die nicht direkt erkennbar waren. In praktischer Hinsicht bedeutet das, von den internen Verzögerungen in einem System soviel wie möglich transparent zu machen.

Zu ähnlichen Schlussfolgerungen gelangt auch Sterman (1989), der mit dem ökonomischen Simulationsmodell Investment Accelarator dynamische Kapital- und Warenflüsse 36 Zyklen lang durch 49 Studierende steuern ließ. Die Probanden mussten absatzbedingte Senkungen im Warenbestand durch vermehrte Produktion auffangen und hatten sämtliche benötigten Informationen zur Hand. Dennoch erzeugten sie erhebliche Schwankungen um den optimalen Zielwert herum. Eine seiner Erklärungen für diesen Fehler: Probanden erliegen einer »misperception of feedback from decisions to the environment«, d. h., sie erkennen bestimmte Feedback-Schleifen in dem Szenario falsch bzw. unvollständig und attribuieren Effekte falsch.

Die Auswirkungen negativer Feedback-Schleifen untersuchte Huber (1995, Exp. 5) mit der mehrstufigen Entscheidungsaufgabe Breeding Lizards (»Brütende Eidechsen«). Dabei geht es für die Versuchsperson darum, eine vom Aussterben bedrohte Eidechsen-Art durch Zucht im Freiland zu vermehren; nur eine begrenzte Zahl der Tiere lebt noch im Labor, vermehrt sich dort aber nicht. Das zur Aufzucht geeignete Gebiet ist mit Risiken für die Tiere behaftet (Vulkane, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten ausbrechen; Räuber-Tiere, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten die Eidechsen fressen). Über einen Brutzeitraum von 20 Zyklen muss man nun Tiere aus dem Labor ins Freiland aussetzen und die Zahl der Eidechsen erhöhen. In einer Variante dieses Problems, das in mehreren Untersuchungen eingesetzt wurde (Huber, 1994, in press; Huber, Debeutz, Pratscher & Quehenberger, 1990), hing die Anzahl der (bedrohlichen) Räuber-Tiere von der Zahl der im vorherigen Takt vorhandenen Eidechsen ab. Je mehr Eidechsen es also gab, umso wahrscheinlicher wurde ein Raub. Eine gute Strategie wäre also, mit einem Einsatz von wenigen Eidechsen pro Zyklus zu arbeiten.

Die Versuchspersonen hatten mit dieser negativen Feedback-Schleife große Schwierigkeiten. Nur die Hälfte von ihnen entdeckte überhaupt deren Existenz, und das erst nach wiederholter Bearbeitung der Aufgabe. Wer die Feedback-Schleife entdeckte, traf zwar bessere Entscheidungen, aber auch diese waren keinesfalls optimal. Die Entdecker unterschieden sich von den Nicht-Entdeckern vor allem in sprachlichen Merkmalen der protokollierten Laut-Denk-Daten: Sie analysierten die Situation häufiger, formulierten mehr Hypothesen und begründeten ihre Entscheidungen sorgfältiger. Sie wiesen damit Merkmale auf, die auch in anderen Arbeiten mit komplexen Problemen als Kennzeichen guter Problemlöser gelten.

Die von Huber verwendete mehrstufige Entscheidungsaufgabe ist ein gutes Beispiel dafür, wie man einfache Entscheidungssituationen der Laborforschung in Richtung auf mehr Komplexität und Dynamik (bei den Breeding Lizards vor allem realisiert) verändern kann. Huber (1995, S. 170) diskutiert Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen komplexen Problemen und mehrstufigen Entscheidungsaufgaben und erläutert die Vorteile dieses Paradigmas. In Richtung Routine-Entscheiden (Betsch, Haberstroh & Höhle, 2002) geht auch das Szenario Commerce von Betsch, Glöckner und Haberstroh (2000).

5.5.4 Semantische Einkleidung

Hesse (1982) hat die Effekte zweier verschiedener semantischer Einkleidungen bei ein und demselben zugrunde liegenden System untersucht. Sein EPIDEMIE-Szenario simuliert die Ausbreitung einer Krankheit in einer kleinen Stadt. In einer Bedingung arbeiten die Probanden als Leiter einer Gesundheitsbehörde, die den Ausbruch einer Grippewelle verhindern sollen. In der zweiten Bedingung ist diese Krankheit als lebensbedrohende Pocken-Epidemie bezeichnet. Die Änderung in der Semantik hat massiven Einfluss auf das Verhalten der Probanden: In der gefährlicheren Pocken-Situation sind die Probanden unter anderem viel stärker beteiligt und nehmen sich erheblich mehr Zeit für ihre Entscheidungen. Gleichungen und Variablen dieses Systems findet man übrigens bei Spies und Hesse (1987, S. 429 f.) beschrieben.

Eine weitere interessante Studie zur semantischen Einkleidung wurde von Beckmann (1994; vgl. auch Beckmann & Guthke, 1995) berichtet. Der Autor vergleicht zwei verschiedene Einkleidungen (KIRSCHBAUM versus MASCHINE) des gleichen zugrunde liegenden Systems in ihren Auswirkungen auf Wissenserwerb und Steuerungsleistung. Abbildung 43 zeigt das Display dieses Szenarios, das auf der Basis des DYNAMIS-Ansatzes erstellt wurde.

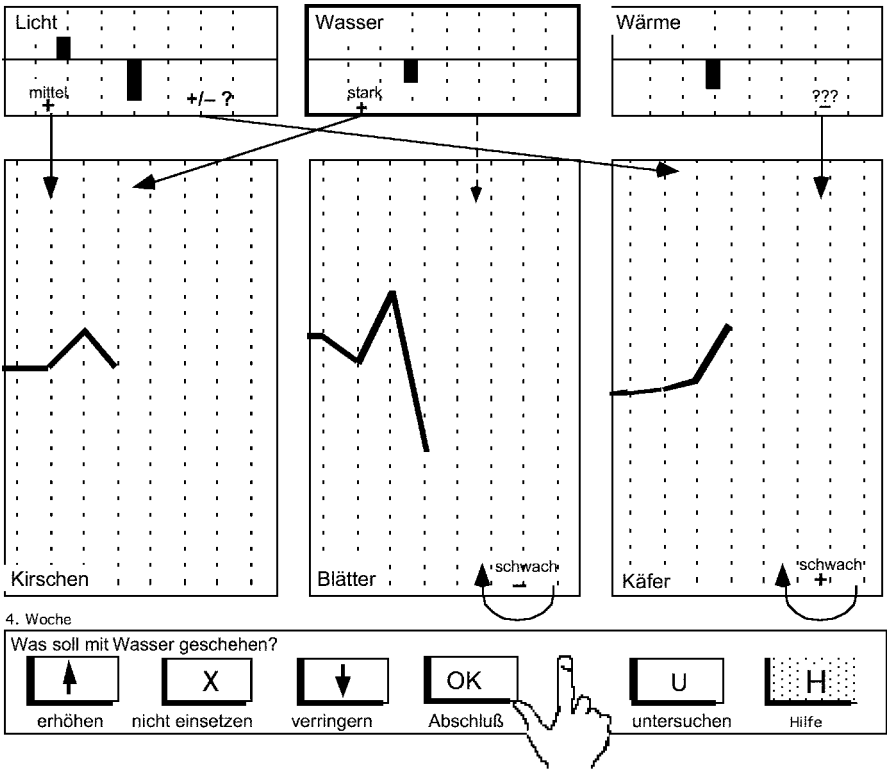


Abbildung 43 Display des Szenarios KIRSCHBAUM von Beckmann (1994).

Die Testpersonen sollten in einem Steuerdurchgang mit den exogenen Variablen »Licht«, »Wasser« und »Wärme« gezielt Einfluss nehmen auf die endogenen Variablen »Kirschen«, »Blätter« und »Käfer«, nachdem sie vorher die Systemzusammenhänge explorieren durften und dabei Wissen erwerben konnten. Es zeigt sich, dass die semantisch reichhaltigere Einkleidung KIRSCHBAUM die (jugendlichen) Versuchspersonen davon abhält, effiziente, analytische Wissenserwerbstrategien einzusetzen. Dies tun sie nur in der abstrakteren Version MASCHINE. Dieser Befund ist nicht gänzlich überraschend – glaubt man, Zusammenhänge aufgrund der semantischen Einkleidung bereits erschließen zu können, verzichtet man auf deren intensive Exploration.

Problemisomorphe im Sinne von Hayes und Simon (1976) wurden auch von Berry und Broadbent (1984), Funke und Hussy (1984) sowie von Huber (1994, 1995) verwendet (zu Problemisomorphen siehe auch Kapitel 3.4).

5.6 Befunde zu Interaktionseffekten

Interaktionseffekte zwischen Person-, Situations- und System-Merkmalen sind seltener erforscht als die jeweiligen Haupteffekte. Dennoch gibt es vereinzelt Interaktionsstudien, über die nachfolgend berichtet werden soll.

5.6.1 Person und Situation

Rost und Strauß (1993) haben die Interaktion zwischen der Art der Informationsdarbietung (nummerisch versus graphisch) und der Art des induzierten mentalen Modells (propositional versus analog) untersucht, indem sie ein einfaches Simulationssystem namens SHOP verwendeten. Ihre Studie zeigt die Nützlichkeit von Interaktionsanalysen im Bereich der komplexen Problemlöseforschung. Annahme der Autoren war nämlich, dass ein bestimmtes Präsentationsformat (nummerische oder graphische Version) nur dann die Leistung beeinflussen sollte, wenn dieses Format mit demjenigen übereinstimmt, in dem das intern repräsentierte Wissen abgelegt ist. Diese interne Repräsentation wurde in ihrer Studie durch eine kurze Trainingssitzung induziert, in der die Testpersonen über das System nachdenken sollten. Hierzu konnten sie je nach Versuchsbedingung entweder Propositionen (wenn-dann-Aussagen) oder graphische Netzwerke benutzen, bei denen die Knoten die einzelnen Variablen darstellten, die durch kausale Verknüpfungen verbunden waren. Rost und Strauß (1993) nahmen an, dass eine propositionale Repräsentation des Systemwissens am besten zu nummerischer Darbietung und umgekehrt die analoge Repräsentation am besten zu einer graphischen Präsentation passt. Zentrale abhängige Variable in ihrem Szenario war ein Geldbetrag. In jedem der 25 Simulationsdurchgänge konnte die abhängige Variable Problemlösequalität um 1 erhöht werden, wenn der Geldbetrag gesteigert wurde, ansonsten kam es zu einem Abzug von 1 Punkt, im Falle ausbleibender Veränderung wurde auch kein Punktwert verändert. Die Ergebnisse des Experiments zeigt Abbildung 44.

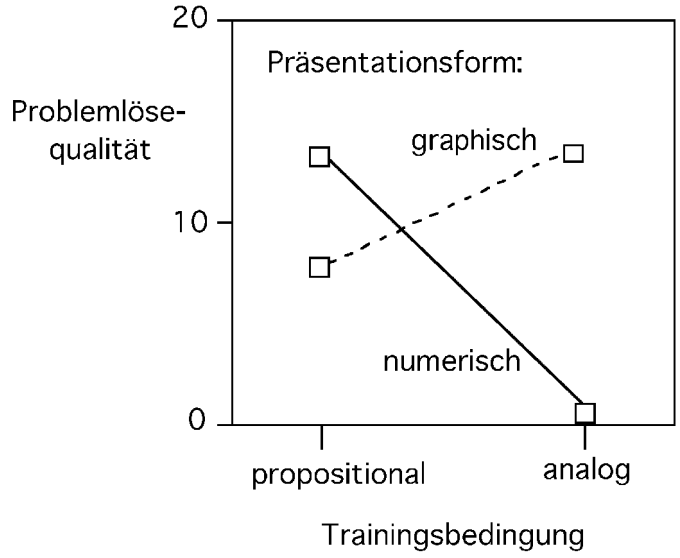


Abbildung 44 Interaktion zwischen Trainingsart und Präsentationsformat bei der abhängigen Variable Problemlösequalität (nach Rost & Strauß, 1993, S. 80).

Es zeigt sich eine signifikante disordinale Interaktion zwischen der Art der Informationsdarbietung und der Art des Trainings. Die Interaktion zwischen Person (dem Repräsentationsformat) und Situation (dem Präsentationsformat) in Abbildung 44 zeigt, dass erwartungsgemäß die analog trainierten Probanden bei der graphischen Darbietung die besten Ergebnisse erzielten, die propositional Trainierten dagegen von der nummerischen Präsentation profitierten. Allerdings war der Einfluss des Präsentationsformates bei der propositionalen Trainingsgruppe insgesamt weniger stark als bei der Analoggruppe. Einfacher gesagt: Mit graphischer Präsentation kommt am besten klar, wer analog trainiert wurde; umgekehrt: wer propositional trainiert wurde, hat bei nummerischer Systemdarbietung Vorteile.

5.6.2 Situation und System

Dass die Unterscheidung von Systemmerkmalen (im Sinne von formalen Eigenschaften eines Szenarios) und Situationsmerkmalen (im Sinne unterschiedlicher Darbietung desselben Systems) zu interessanten Ergebnissen führen kann, macht ein aufwändiges Experiment von Kluge (2003) deutlich. Die Autorin geht unter Anwendungsaspekten der Frage nach, welche Form der Wissensvermittlung über die Struktur komplexer Probleme den Umgang mit ihnen erleichtert. Hintergrund dafür ist der hohe Automatisierungsgrad moderner Produktionsanlagen, der ein aktives Eingreifen der Leitwarte erst im Stör- bzw. Notfall vorsieht. Die überwiegende Tätigkeit des Personals in der Leitwarte besteht in einer beobachtenden

bzw. diagnostischen Haltung, die kaum zu aktiven praktischen Erfahrungen mit dem System führt (»ironies of automatization«, vgl. Bainbridge, 1987). Gleichzeitig ist die Komplexität moderner Anlagen erheblich gestiegen, und vom Personal wird eine adäquate kognitive Repräsentation verlangt. Sieht man Menschen in derartigen Kontexten als Regler, können die grundlagenwissenschaftlich postulierten Prozesse der Identifikation und Kontrolle komplexer Systeme problemlos in den erwähnten Anwendungsbereichen wieder gefunden werden. Wie der Wissenserwerb in Abhängigkeit vom Komplexitätsgrad eines Systems optimal gestaltet werden kann, ist daher Kluges Ausgangsfrage.

In einem 3x3-Design variierte sie die Schwierigkeit der von ihr eingesetzten DYNAMIS-Variante COLORSIM in drei Stufen (leicht, mittel, schwierig), definiert durch den Anteil richtiger Lösungen, der als Erwartungswert bei zufälligem Agieren bestimmt wurde (vgl. hierzu Strauß, 1993). Abbildung 45 zeigt die drei verschiedenen Kausalstrukturen, die von Kluge gewählt wurden.

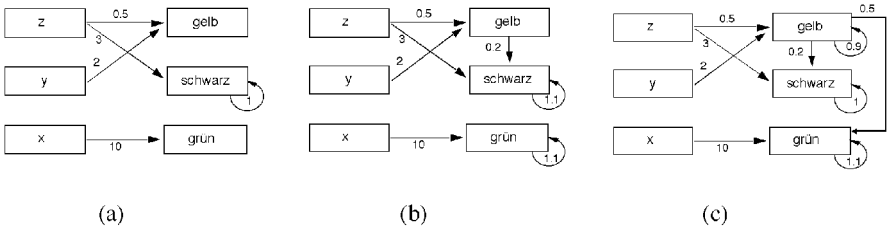


Abbildung 45 Kausaldiagramme von drei unterschiedlich schwierigen Versionen des Szenarios COLORSIM von Kluge (2003).

Neben der experimentellen Variation des Schwierigkeitsgrades wurden drei verschiedene Wissenserwerbsformen realisiert: erklärende Bildschirmmaske (EBM), »guided exploration« (GE; eine systematische Einführung in das Szenario mit aktiven Explorationsbausteinen) sowie eine Kombination beider Formen (EBM-GE). Diese 3x3 = 9 Versuchsbedingungen wurden zudem gedoppelt, da 9 Experimentalgruppen (N = 276) erst *nach* der Steuerungsphase einen Wissenstest absolvieren mussten, wohingegen die 9 Vergleichsgruppen (N = 220) den Wissenstest *vor* der Steuerungsphase zu bearbeiten hatten. Diese Manipulation sollte die Frage prüfen, inwiefern ein Wissenstest nach einer Lernphase und vor der Steuerungsphase einen reaktiven Effekt zeigt (also erst durch die Diagnostik Wissenserwerb stimuliert wird).

Welche Ergebnisse zeigen sich? Zunächst einmal ergab sich, dass die drei verschiedenen Schwierigkeitsgrade von COLORSIM hinsichtlich der Steuerungsleistung wie erwartet monoton ansteigen, wobei sich der Unterschied von mittel zu schwierig allerdings schwächer bemerkbar macht als der zwischen leicht und mittel. Die interne Konsistenz als Reliabilitätsindikator weist für alle drei Schwierigkeitsgrade sehr zufrieden stellende Werte zwischen 0.90 und 0.97 auf. Auch der Wissenstest variiert erwartungskonform mit dem Schwierigkeitsgrad und korreliert signifikant mit der Steuerungsleistung, mit 0.70 in der einfachen, 0.68 in der mittleren und 0.44 in der schwierigen Variante. Dabei liegen die Reliabilitäten des

Wissenstests für die einfache Version bei 0.84, für die mittlere bei 0.85 und für die schwierige bei 0.86.

Neben diesen deutlichen Schwierigkeitseffekten sind die Befunde zu den drei Wissenserwerbsformen EBM, GE sowie EBM-GE von Interesse. Dabei zeigt sich, dass nicht eine der drei Instruktionsvarianten generell den anderen überlegen ist, sondern dass vielmehr die Wirksamkeit einer Lernmethode mit der Schwierigkeit des Systems interagiert. Für die leichte Schwierigkeit erweisen sich alle drei Methoden als gleichermaßen wirksam in Bezug auf die erzielte Steuerleistung, beim Wissenserwerb ist GE etwas schlechter. Bei mittlerer Schwierigkeit ist GE sowohl für Wissenserwerb als auch für Steuerleistung weniger gut geeignet, EBM-GE ist effektiver. Bei hoher Schwierigkeit ist keines der drei Verfahren optimal; vermutlich wären hier, so Kluge, mehr Zeit und gestufte Trainings besser.

Insgesamt zeigt diese interessante Arbeit die Notwendigkeit von differenzierten Aussagen, die das Schwierigkeitsniveau des eingesetzten Systems reflektieren. Hält man die Systemschwierigkeit konstant, wie dies in den meisten Untersuchungen der Fall ist, lassen sich Effekt-Aussagen nur für die jeweilige (zumeist unbekannte) Schwierigkeitsstufe treffen.

5.6.3 Person und System

Mit der Interaktion von System und Person beschäftigt sich die Arbeit von Otto, Döring-Seipel und Lantermann (2002). Sie variieren in einem 2x2-Versuchsplan das Systemmerkmal »Schwierigkeit« des Szenarios Moroland, indem sie eine Variante mit hoher Komplexität (= normale Spielbedingung) einer solchen mit geringerer Komplexität gegenüberstellen (hier können nur drei der fünf Eingriffsbereiche manipuliert werden); auf Seiten des Personmerkmals teilen sie ihre insgesamt N = 63 studentischen Versuchspersonen anhand des Persönlichkeitsmerkmals »emotionsbezogene Klarheit« per Mediansplit in zwei Gruppen mit hoher bzw. niedriger Klarheit. Das Merkmal der Klarheit stellt eine Komponente des Meta-Mood-Konzepts der emotionalen Intelligenz von Salovey und Mayer (1990) dar, das im deutschen Sprachraum mit einem speziellen Fragebogen erfasst werden kann (Otto, Döring-Seipel, Grebe & Lantermann, 2001). Dieser erfasst neben der Klarheit der Emotionswahrnehmung auch die Aufmerksamkeit für emotionale Inhalte und die Beeinflussbarkeit von Emotionen.

Otto et al. (2002) haben nun hinsichtlich der Bedeutung der Klarheitsskala aufgrund theoretischer Annahmen eine typische Interaktionshypothese formuliert: Nur unter erhöhter Komplexität sollte die Klarheitsdisposition den Versuchspersonen einen Vorteil beim Problemlösen liefern, nicht aber bei weniger komplexen Problemsituationen. Erwartet wurde also, dass in der Bedingung hoher Komplexität die Gruppe von Versuchspersonen mit hoher Klarheit einen Vorteil gegenüber den weniger Klaren besitzt, wohingegen unter der Bedingung verringerter Komplexität sich kein Unterschied zwischen beiden Gruppen zeigen sollte.

Als Ergebnis ihres Experiments zeigt sich, dass hoch klarheitsdisponierte Versuchspersonen geeigneteres Problemlöseverhalten in der hoch komplexen Situation zeigen als niedrig klarheitsdisponierte Versuchspersonen. Zudem zeigen sie generell die besseren Leistungen und sind in besserer Stimmung. Von besonderem Interesse ist die Vorhersagekraft der emotionalen Intelligenz im Vergleich zu traditionellen Intelligenzkomponenten wie dem zugleich miterhobenen Faktor

»Verarbeitungskapazität« aus dem BIS (siehe Kapitel 5.3.1): Tatsächlich ist eine Leistungsvorhersage durch *beide* Komponenten unabhängig voneinander möglich (sie addieren sich also in ihrem Effekt und ersetzten sich nicht gegenseitig), darüber hinaus sind beide Komponenten etwa von gleichem Gewicht.

Problematisch bleibt die Abstufung des Komplexitätsfaktors: Ob hier wirklich zwei stark unterschiedliche Bedingungen realisiert oder nicht vielmehr zwei geringfügig unterschiedene Varianten eines insgesamt sehr komplexen Problems verglichen wurden, bleibt zu klären. Eine Steigerung des Schwierigkeitsgrades würde den gefundenen Effekt allerdings nicht zum Verschwinden bringen, sondern ihn im Gegenteil noch vergrößern.

5.7 Offene Fragen

Nach dieser Darstellung der verschiedenen Ansätze zum Umgang mit komplexen Problemen, der Schilderung von Kontroversen und der Präsentation von Befunden ist es an der Zeit, einige offene Fragen aufzuwerfen. Hierzu zählt die Frage nach der Eigenständigkeit des Konstrukts »Komplexe Problemlösefähigkeit«, die Frage nach dessen Bereichsspezifität bzw. Generalisierbarkeit und die Frage nach den Evaluationskriterien, anhand derer Erfolg im Umgang mit einem komplexen Problem erfasst werden kann.

5.7.1 Eigenständigkeit des Konstrukts

Bei aller Freude über eine neu eroberte Domäne der Problemlöseforschung, deren Inbesitznahme durch die Forschung längst überfällig war, bleibt natürlich die Frage offen, ob es Grund zu der Annahme eines eigenständigen Konstrukts »Komplexe Problemlösefähigkeit« gibt. Es müsste dann nämlich deutlich gemacht werden, worin sich etwa »einfaches« von »komplexem« Problemlösen unterscheidet – eine Abgrenzung, die bis heute nicht auf der Ebene kognitiver Prozesse, sondern lediglich auf der Ebene von Anforderungen erfolgt ist (siehe dazu Kapitel 4.1).

Noch weitergehend stellt sich die Frage, ob es überhaupt berechtigt ist, Intelligenz und Problemlösen als zwei separate Konstrukte aufzufassen, oder ob nicht Problemlösen vielmehr als prozessbezogene Ausprägung struktureller Intelligenzkomponenten anzusehen ist. Hier kommt man allerdings schnell in das Dilemma unterschiedlicher Intelligenzkonzeptionen: Anstelle eines einheitlichen Intelligenzkonzepts wird heute das Konzept multipler Intelligenzen favorisiert (zum Überblick siehe Funke & Vaterrodt-Plünnecke, 1998), was Kritiker wie Weber und Westmeyer (2001) auf den Plan ruft, die schon eine »Inflation der Intelligenzen« befürchten. Obwohl es gute Gründe für die Einführung neuer Intelligenzkonzeptionen geben mag (z. B. höhere Alltagsnähe, höhere prädiktive Validität im Bereich des beruflichen Erfolgs oder Entdeckung ungenutzter Begabungsressourcen), sehen Weber und Westmeyer Probleme bei der methodischen Umsetzung alternativer Intelligenzkonzeptionen, zu denen sie auch das bereits erwähnte Konzept der »operativen Intelligenz« von Dörner (1986) zählen. Bisher sei es nicht gelungen, »überzeugende Verfahren zur Erfassung der jeweiligen Konzepte zu entwickeln«

(S. 257). Drei Anforderungen seien bei Intelligenzmessungen zu erfüllen: a) die Messung einer Leistung, b) der Nachweis konvergenter und diskriminanter Validität sowie c) die Feststellung der Güte des gezeigten Verhaltens (was gerade bei Verfahren zur Erfassung emotionaler Intelligenz auch ein Normproblem ist). Sie konstatieren zusammenfassend: »Auch Dörner (1986) ist hinsichtlich der operativen Intelligenz konkrete Verfahren zu ihrer Messung, die nicht an konkrete Problemlöseszenarios gebunden und in ihren Ergebnissen generalisierbar sind, schuldig geblieben.« (S. 259).

Eine empirisch begründete Kritik an der Eigenständigkeit eines möglichen Konstrukts »komplexe Problemlösefähigkeit« wird von Süß (2001, S. 127 f.) vorgetragen. In mehreren Studien (zusammenfassend Süß, 1996, 1999), in denen neben simulierten Computerszenarios unterschiedlicher Art auch eine differenzierte Erfassung von Testintelligenz sowie Vorwissen erfolgte, konnte die gesamte zeitlich stabile Problemlösevarianz durch Intelligenz und Vorwissen aufgeklärt werden – braucht man dann noch ein eigenständiges Konstrukt »Komplexe Problemlösefähigkeit« neben Intelligenz und Wissen?

Auf diese Frage ist aus meiner Sicht eine endgültige Antwort erst dann zu erwarten, wenn detaillierte Prozessmodelle des komplexen Problemlösens vorliegen, die sich von solchen des einfachen Problemlösens unterscheiden. Momentan ist nur sicher, dass mit dem Begriff »Komplexes Problemlösen« neuartige und eigenständige Anforderungen an die problemlösende Person gestellt werden, wie sie in der klassischen Tradition der Problemlöseforschung nicht vorkommen. Ob zur Bewältigung dieser Anforderungen andersartige kognitive Prozesse nötig sind, wird sich noch zeigen müssen.

5.7.2 Bereichsspezifität versus Generalisierbarkeit

Eine der entscheidenden (und bis jetzt nicht verlässlich entschiedenen) Fragen betrifft die Generalisierbarkeit eines eventuell eigenständigen Konstrukts »Komplexe Problemlösefähigkeit«. Gerade beim Problemlösen (und zwar nicht nur beim komplexen Problemlösen) scheint es eine stillschweigende Übereinkunft der Forschenden zu geben, derzufolge es sich hierbei um ein domänenübergreifendes Konzept handeln müsse (der »General Problem Solver« auf S. 61 f. ist ja schon seinem Namen nach direkter Ausdruck einer derartigen Meinung). Demgegenüber ist die empirische Erforschung dieses Tatbestands (gibt es tatsächlich eine generelle Problemlösekompetenz?) fast nicht existent.

Die Frage der Bereichsspezifität muss natürlich auch unter dem Blickwinkel diskutiert werden, inwiefern tatsächlich allgemeine Strategien losgelöst von Wissen existieren können. Die Frage lautet hier also: Wie eng sind Wissen über den jeweiligen Gegenstand und in dem Gegenstandsbereich übliche bzw. mögliche Strategien miteinander verknüpft? Inwieweit gibt es – wie der GPS nahe legt – eine von Wissenselementen *unabhängige* Methode zur Lösung von Problemen?

Auch hier ist erneut auf die bereits erwähnten Befunde von Kersting (1999b), Kröner (2001), Süß (1996) und anderen zu verweisen, wonach bereichsspezifisches Vorwissen substanzielle und von Testintelligenz unabhängige Anteile an den Erfolgsmaßen komplexer Szenarios aufklärt. Offensichtlich ist es genau die Verbindung von (bereichsspezifischem) Wissen und (genereller) Intelligenz, die in Problemlöseszenarios zum Erfolg führt.

5.7.3 Evaluationskriterien

In den frühen Ergebnisdarstellungen der Untersuchungen zum Lösen komplexer Probleme war vom Scheitern der Versuchspersonen die Rede. Dabei wird mehr oder weniger implizit ein Evaluationskriterium zugrunde gelegt, wonach bessere von schlechteren Lösungen unterschieden werden können. Solche Evaluationskriterien sind problematisch, wie das Beispiel der Urteils- und Entscheidungsforschung zeigt: Unter welchen Bedingungen lassen sich intuitive Urteile über Wahrscheinlichkeiten mit analytischen Vorgehensweisen (z. B. dem Bayes-Theorem folgend) vergleichen, und was sagen diese Vergleiche aus?

Offensichtlich stoßen deskriptive, präskriptive und normative Modelle aufeinander, wie sie von Baron (1988, S. 16 f.) unterschieden werden: Deskriptive Modelle beschreiben, wie Menschen normalerweise denken, präskriptive Modelle beschreiben, wie Menschen denken *sollten*, und normative Modelle, wie man gemäß einem analytischen Standard denken kann:

> »Descriptive models specify what people in a particular culture actually do, and how they deviate from the normative models. Prescriptive models are designs or inventions, whose purpose is to bring the results of actual thinking into closer conformity to the normative model. If prescriptive recommendations derived in this way are successful, the study of thinking can help people to become better thinkers« (Baron, 1988, S. 18).

Hammond et al. (1997) warnen davor, Vergleiche zwischen einer intuitiv urteilenden Person und einem analytischen Urteil auf der Basis normativer Modelle vorzunehmen, um daraus auf die mangelnde Rationalität der Person zu schließen. Sie bezeichnen derartige Vergleiche als indirekt im Unterschied zu direkten Vergleichen, bei denen ein und dieselbe Person intuitiv bzw. analytisch eine Aufgabe bearbeitet. Indirekte Vergleiche leiden ihrer Ansicht unter drei Schwachpunkten: 1. Es ist nicht immer eindeutig, welches normative Modell für eine bestimmte Anforderung heranzuziehen ist; 2. bei einem derartigen Vergleich ist der Sieger bereits vorab festgelegt, da normative Modelle die bestmögliche Leistung beschreiben und Personen daher allenfalls heranreichen, aber nie besser sein können; 3. normative Modelle werden immer unter der Annahme berechnet, dass alle Informationen vorhanden sind und die Berechnung fehlerfrei abläuft – beide Aspekte können bei Menschen fehlerbehaftet sein.

Schließlich ist die Suche nach aussagefähigen Kenngrößen der Leistung von Versuchspersonen hinsichtlich Wissenserwerb und Steuerungsleistung beim Umgang mit Szenarios nach wie vor ein Problem. Howie und Vicente (1998) weisen auf eine Vielzahl bestimmbarer Kenngrößen hin und betonen die Notwendigkeit, sich genau zu überlegen, welches Maß den interessierenden Effekt am besten abbildet (vgl. auch Dörner, 1986).

5.8 Zusammenfassung

Dargestellt wurde in diesem Kapitel die Vielfalt der Untersuchungsparadigmen, zu denen realitätsnahe Szenarios wie LOHHAUSEN oder TAILORSHOP (siehe Kapitel 5.1) und Szenarios auf der Basis formaler Modelle wie Strukturgleichungsmodelle oder finite Automaten gehören (siehe Kapitel 5.2). Die mit den verschiedenen

Paradigmen ermittelten Befunde lassen sich danach unterteilen, ob sie schwerpunktmäßig Personmerkmale, Situationsmerkmale oder Systemmerkmale untersuchen.

- Zu den Personmerkmalen zählen etwa Intelligenz, Übung und Expertise; aber auch spezielle klinische Gruppen oder unterschiedlich erfolgreiche Strategien gehören zu den erforschten Themen (siehe Kapitel 5.3).
- Zu den Situationsmerkmalen zählen Faktoren wie die Art der Aufgabenstellung, Stress, Transparenz, Einzel- oder Gruppenarbeit oder die Art der Informationsdarbietung (siehe Kapitel 5.4).
- Zu den Systemmerkmalen zählen Aspekte wie Eigendynamik, zeitverzögerte Rückmeldungen oder semantische Einkleidung eines Systems (siehe Kapitel 5.5).
- Schließlich wird über Studien berichtet, die eine Interaktion der genannten Einflussbereiche untersucht haben (siehe Kapitel 5.6).

Zum Schluss des Kapitels werden offene Fragen bei der Erforschung des Umgangs mit komplexen Problemen behandelt wie etwa diejenige nach der Eigenständigkeit des Konstrukts, seiner möglichen Bereichsspezifität oder den Evaluationskriterien, nach denen gute von schlechten Lösungen unterschieden werden können (siehe Kapitel 5.7).

Weiterführende Literatur

Die LOHHAUSEN-Studie ist kompakt beschrieben bei Dörner (1981). Technische Details zum TAILORSHOP sind bei Funke (1983, 1986, Kap. 4) nachzulesen. Der Strukturgleichungsansatz findet sich detaillierter bei Funke (1993a), die Theorie finiter Automaten beschreibt Buchner (1999). Ältere Befundübersichten findet man bei Funke (1988, 1991, 1995b). Zur damaligen Intelligenzkontroverse siehe Dörner und Kreuzig (1983), Jäger (1984) und Tent (1984); aus heutiger Sicht Süß (1999) oder Wenke, Frensch und Funke (in press).

6 Problemlösendes Denken aus Sicht verschiedener Teildisziplinen

6.1 Allgemeinpsychologische Befunde: Wechselwirkungen mit verschiedenen psychischen Funktionen
  6.1.1 Lernen und Gedächtnis
  6.1.2 Emotion und Motivation
  6.1.3 Zusammenfassung
6.2 Entwicklungspsychologische Befunde: Problemlösen unter dem Aspekt der Lebensspanne
  6.2.1 Denken und Problemlösen im Kindesalter
  6.2.2 Denken und Problemlösen im höheren Alter
  6.2.3 Ein Spezialfall: Weisheit
  6.2.4 Zusammenfassung
6.3 Sozialpsychologische Befunde: Problemlösen in Gruppen
  6.3.1 Problemlösen in Gruppen
  6.3.2 Kleingruppenforschung und Interaktion
  6.3.3 »Soziales Faulenzen«
  6.3.4 Zusammenfassung
6.4 Differenzialpsychologische Befunde: Unterschiede beim Problemlösen zwischen verschiedenen Personen
  6.4.1 Klassifikation von problemlösenden Personen
  6.4.2 Testintelligenz
  6.4.3 Expertise
  6.4.4 Generalisierte Selbstwirksamkeitserwartungen
  6.4.5 Testpsychologische Diagnostik des Problemlösens
  6.4.6 Zusammenfassung
6.5 Pädagogisch-psychologische Befunde: Unterrichtung und Training von Denken und Problemlösen
  6.5.1 Erfolge und Misserfolge von Problemlöse-Trainings
  6.5.2 Problemlösen als Schlüsselqualifikation in Schulleistungsstudien
  6.5.3 Training mit Actor von Lantermann et al.
  6.5.4 Zusammenfassung
6.6 Arbeits- und organisationspsychologische Befunde: Denken und Problemlösen in der Arbeitswelt
  6.6.1 Problemlösen bei der Störungsdiagnostik technischer Systeme
  6.6.2 Strategische Unternehmensentscheidungen
  6.6.3 Erfassung komplexen Problemlösens bei Führungskräften
  6.6.4 Zusammenfassung
6.7 Klinisch-psychologische Befunde: Pathologie des Denkens und Problemlösens
  6.7.1 Störungen der exekutiven Funktionen nach Hirnschäden
  6.7.2 Denkstörungen aus psychiatrischer Sicht
  6.7.3 Prozessmodell gestörter Handlungskontrolle von Norman und Shallice
  6.7.4 Zusammenfassung
6.8 Denken und Problemlösen im Kulturvergleich
  6.8.1 Strohschneiders Vergleich deutsch-indischer Denkstile
  6.8.2 Zusammenfassung
6.9 Zusammenfassung

Um eine geordnete Darstellung zahlreicher und heterogener Forschungsarbeiten zu leisten, wird im nachfolgenden Kapitel eine Strukturierung ausgewählter Untersuchungen zum Problemlösen nach Grundlagen- und Anwendungsfächern vorge-

nommen, so wie wir unser Fach auch im Rahmen der universitären Lehre segmentieren. Im Grundlagenbereich gehören dazu neben der Allgemeinen Psychologie die Fächer Entwicklungspsychologie, Sozialpsychologie sowie Differenzielle Psychologie und Persönlichkeitspsychologie. Im Anwendungsbereich, der im darauf folgenden Teil dargestellt wird, sollen dann die drei großen Teilgebiete der Pädagogischen Psychologie, der Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie sowie der Klinischen Psychologie beleuchtet werden.

6.1 Allgemeinpsychologische Befunde: Wechselwirkungen mit verschiedenen psychischen Funktionen

Viele der bisher vorgestellten experimentellen Untersuchungen zum Lösen komplexer Probleme stammen aus dem Bereich der Allgemeinen Psychologie. Dennoch sollen hier noch einmal ein paar Studien herausgegriffen werden, die exemplarisch den Einfluss bestimmter Größen wie Lernen, Emotion und Motivation auf das Problemlösen dokumentieren.

6.1.1 Lernen und Gedächtnis

In einer systemtheoretisch inspirierten Arbeit haben Heineken, Arnold, Kopp und Soltysiak (1992) die Frage geprüft, ob die Befunde zur fehlerhaften Kontrolle dynamischer Systeme (»Logik des Misslingens«, Dörner, 1989b) nicht auf die Tatsache zurückgeführt werden könnten, dass die zum Lernen der Regelhaftigkeiten notwendige Zeit einfach zu kurz ausgefallen war. Folgerichtig gestalteten die Autoren ein Experiment, in dem 36 Versuchspersonen insgesamt 6 Durchgänge zu je 200 Interaktionen mit einem dynamischen System TEMPERATUR zu bearbeiten hatten. Dieses System bestand aus einer Strukturgleichung, in der die zu regelnde Temperatur im Wesentlichen von der Temperatur zum vorherigen Zeittakt sowie einer manipulierbaren Stellgröße abhing, die entweder mit 0, 2 oder 8 Takten Verzögerung Wirkung entfaltete. Wenig überraschend war der Befund, dass Zeitverzögerung die Steuerungsleistung verschlechterte (vgl. hierzu auch Kapitel 5.5.3). Interessant ist hier vielmehr der Nachweis, dass mit zunehmender Übung sowohl die Güte der Regelung zugenommen als auch die Latenz der Entscheidungszeiten abgenommen haben. Dies galt auch unter den Bedingungen zeitverzögerter Wirkungen. Allerdings waren sich die Versuchspersonen der zugrunde liegenden Regelungsfunktion auch dann nicht bewusst. Ein Hinweis auf die verborgenen Zeitverzögerungen erwies sich nicht als effektiv. Dennoch ziehen die Autoren den optimistischen Schluss (S. 147): »Die dargestellten Befunde zeigen, dass der Mensch sich eigentlich recht vernünftig verhält und strategisch vorgeht.«

Den Einfluss des Gedächtnisses auf das Bearbeiten des komplexen Szenarios MONDLANDUNG konnten Hussy und Granzow (1987) nachweisen, indem sie die Größe des externen Gedächtnisses (die auf dem Bildschirm sichtbaren Probleminformationen) und damit indirekt die Belastung des internen Gedächtnisses

manipulierten. In ihrem Experiment wurden unter anderem die Faktoren »Transparenz« (verstanden als Vollständigkeit des Informationsangebots zur Problemstruktur) sowie »Zwischenergebnisse« (verstanden als Informationsangebot zu den Konsequenzen von Systemeingriffen) variiert. Dadurch konnten sowohl Informationsüberangebote als auch Informationsdefizite kontrolliert untersucht werden. Insgesamt 160 Personen nahmen an dem über dreistündigen Experiment teil, bei dem das dynamische System neunmal nacheinander bearbeitet wurde. Gemessen wurde die Abweichung von einem vorgegebenen Zielpunkt der Systemsteuerung. Tatsächlich ergeben sich neben trivialen Übungseffekten keinerlei sonstige Haupteffekte oder Wechselwirkungen. Allerdings ändert sich dieses Bild, wenn man die zusätzlich erhobene Information zur Impulsivität bzw. Reflexivität (gemessen mit dem Test *Matching Familiar Figures*, MFF) der Testpersonen berücksichtigt: Impulsive profitieren besonders von der Transparenz, Reflexive können die Zwischenergebnisse besser ausnutzen. Die Autoren ziehen daraus den Schluss, dass bestimmte Informationsangebote dann gedächtnisentlastend und hilfreich sind, wenn man sie aufgrund der (durch die Bearbeitung entstehenden) Problemvertrautheit effizient nutzen kann; andernfalls tragen sie zu einer Belastung bei und behindern den Problemlöseprozess.

6.1.2 Emotion und Motivation

Dass Emotionen kognitive Prozesse beeinflussen, ist vielfach nachgewiesen worden (z. B. Bless & Ruder, 2000; Fiedler, 1988, 2000; Spies, 1990; Spies & Hesse, 1986). In den zugrunde gelegten theoretischen Modellen wird postuliert, dass mit verschiedenen emotionalen Zuständen jeweils andere Verarbeitungsmodi angestoßen werden: Kuhl (1983) vermutet bei positiven Emotionen einen intuitiv-holistischen, bei negativen Emotionen einen analytisch-sequenziellen Verarbeitungsmodus. Ganz ähnlich sieht Fiedler (2000) eine eher intuitive, heuristische Vorgehensweise bei positiver Stimmung (*loosening*), bei negativer Stimmung dagegen eher systematische, detailorientierte Prozesse (*tightening*).

Wie sehen die Nachweise emotionaler und motivationaler Effekte im Bereich des problemlösenden Denkens aus? Gerade im Bereich komplexer Problemstellungen wurde bereits frühzeitig ein massiver Einfluss postuliert und demonstriert (z. B. Dörner, 1985b, 1993, 1998; Dörner, Reither et al., 1983; Dörner et al., 1988; Stäudel, 1987). Die in Kapitel 5.4.2 dargestellte Notfallreaktion des kognitiven Systems ist zu großen Teilen eine Folge der emotionalen Konsequenz daraus, dass der Umgang mit der komplexen Anforderung zu einem Misserfolg wird.

Die Auswirkungen motivationaler Zustände auf komplexe Szenarios haben Hesse, Spies und Lüer (1983) in einer interessanten Studie nachgewiesen. In ihrer EPIDEMIE-Simulation (vgl. Kapitel 5.5.4) haben sie unterschiedliche Grade an Betroffenheit induziert, indem sie einmal von einer harmlosen Grippeepidemie, das andere Mal von einer gefährlichen Pockenepidemie sprachen. Die Auswirkungen auf Bearbeitungsstil und Ergebnis waren erheblich: Das Szenario einer lebensbedrohlichen Pockenepidemie motivierte die Versuchspersonen zu stärkerem Engagement und bewirkte, dass sie sich erheblich länger Zeit für die Bearbeitung ließen (vgl. auch Hesse et al., 1983). In der Konsequenz zeigten sich dort auch die besseren Problemlöseleistungen, was sowohl am Krankenstand als auch an weiteren wichtigen Systemkennwerten abgelesen werden konnte, die zu einem pauscha-

len Gütekriterium zusammengefasst wurden. Interessant ist dabei der differenzielle Effekt für Personen mit Erfolgs- bzw. Misserfolgsorientierung (mittels TAT bestimmt): Für Erfolgsorientierte ist der Unterschied zwischen geringer und hoher Betroffenheit stärker ausgeprägt als für Misserfolgsorientierte.

Neuere Arbeiten zum Einfluss von Motivation auf Erwerb und Anwendung von Wissen bei computersimulierten Szenarien stammen von Vollmeyer und Rheinberg (1998). Unter Verwendung des DYNAMIS-Szenarios BIOLOGY LAB (vgl. Kapitel 5.2.4) haben sie pfadanalytisch die Bedeutung der Eingangsmotivation wie auch des motivationalen Zustands während der Bearbeitung auf Wissenserwerb und Steuerungsleistung nachweisen können (vgl. auch Görn, Vollmeyer & Rheinberg, 2001; Vollmeyer & Rheinberg, 1998). Mithilfe von Daten zur Systematizität des Vorgehens, des erworbenen Wissens und des motivationalen Zustands konnten auch über eine Clusteranalyse fünf verschiedene »Lernertypen« anhand des jeweiligen Prozessverlaufs unterschieden werden (Rheinberg et al., 2002).

Niemivirta (2002) hat mit dem DYNAMIS-Szenario MED-LAB, einer Variante des BIOLOGY LAB, die Auswirkungen zweier verschiedener Instruktionen auf 15-jährige Schüler untersucht, die entweder aufgabenbezogen (»Lerne das System kennen!«) oder selbstbezogen (»Ich messe Deine Intelligenz!«) mit dem System konfrontiert wurden und es zunächst drei Runden lang explorieren durften, ehe sie vorgegebene Zielwerte erreichen mussten. Wie erwartet, zeigte sich unter aufgabenbezogener Instruktion eine deutlich bessere Systemexploration, während sich unter selbstbezogener Instruktion die Versuchspersonen vor allem durch niedrigere Erfolgserwartungen auszeichneten. Niemivirta betont damit wie Vollmeyer et al. die Notwendigkeit, unterschiedliche Zielorientierungen zu berücksichtigen, aus denen ganz unterschiedliche motivationale Lagen resultieren.

Spering (2001) untersuchte den Einfluss positiver und negativer Emotionen auf die Bearbeitung eines komplexen Problems unter Berücksichtigung der Kompetenz- und Kontrollüberzeugungen als Traits (vgl. auch Spering, Wagener & Funke, under review). 74 studentische männliche und weibliche Probanden bearbeiteten das computersimulierte Szenario FSYS 2.0 (Wagener & Conrad, 1997; Wagener & Wittmann, 2002) über 50 Simulationstakte hinweg. Mit diesem Szenario lassen sich Aussagen sowohl über die Problemlösegüte als auch das Problemlöseverhalten (z. B. Informationsmanagement) treffen (Näheres dazu in Kapitel 6.4.5). Emotionen wurden vor Beginn des Szenarios und nach der Hälfte der Bearbeitung experimentell durch Leistungsfeedback induziert und begleitend durch Fragebögen zu sieben Zeitpunkten erhoben. Kompetenz- und Kontrollüberzeugungen wurden mittels einer für den Kontext des Problemlösens modifizierten Version des Fragebogens zu Kompetenz- und Kontrollüberzeugungen (FKK, Krampen, 1991) erfasst.

Die Ergebnisse dieses Experiments zeigen überraschend, dass Emotionen keinen Effekt auf die Problemlösegüte hatten. Auf der Ebene des Problemlöseverhaltens führten negative Emotionen jedoch zu einer stärker informationsgeleiteten Vorgehensweise. Internal kontrollüberzeugte Probanden wiesen ein besseres Informationsmanagement sowie eine höhere Problemlösegüte auf als external Kontrollüberzeugte, wobei Kontrollüberzeugungen in Bezug auf die Problemlösegüte die Rolle einer Moderatorvariable einnehmen.

Möglicherweise war für dieses überraschende Ergebnis das verwendete Emotionsinduktionsverfahren verantwortlich, dessen Wirkung nicht nachhaltig genug gewesen sein mag. Auch könnte das verwendete Szenario trotz seines hohen

Realitätsgehalts zu wenig Risiko- und Konfliktpotenzial besessen haben, um den Einfluss von Emotionen auf die Problemlöseleistung sichtbar zu machen. Die Interaktion von Emotion und Kognition bedarf auf jeden Fall weiterer Untersuchung.

6.1.3 Zusammenfassung

Es ist nicht verwunderlich, dass psychische Fundamentalfunktionen wie Lernen und Gedächtnis oder Emotion und Motivation einen Einfluss auf das Lösen komplexer Probleme nehmen. Die vorgestellten Beispiele demonstrieren dies eindrücklich. Allerdings ist die Art dieser Wirkungen, wie das Beispiel der Emotion zeigt, nicht in jedem Fall eindeutig.

Weiterführende Literatur

Handlungstheoretisch orientierte Rahmenmodelle, die auf die Integration der verschiedenen psychischen Funktionen Wert legen, findet man in Arbeiten der Dörner-Gruppe (z. B. Dörner et al., 1988).

6.2 Entwicklungspsychologische Befunde: Problemlösen unter dem Aspekt der Lebensspanne

Problemlösendes Denken findet während der gesamten Lebensspanne statt. Auch wenn sich die Komplexität der Anforderungen und die Möglichkeiten zum Umgang mit diesen mit steigendem Lebensalter erhöhen mögen, so sprechen wir doch heute bereits vom »kompetenten Säugling« (z. B. Dornes, 1992), um unseren gestiegenen Respekt vor den Leistungen von Personen dieser Altersgruppe auszudrücken. Nachfolgend sollen einige Erkenntnisse zum Planen und Problemlösen bei Kindern sowie bei älteren Menschen berichtet werden, die uns einen kleinen Einblick in unterschiedliche Entwicklungsstufen geben.

6.2.1 Denken und Problemlösen im Kindesalter

Untersuchungen zum problemlösenden Denken bei Kindern sind nicht sehr zahlreich. Einige Untersuchungen liegen zum analogen Problemlösen vor (z. B. Pauen, 1997; Pauen & Wilkening, 1997) und versuchen etwa, physikalische Modellannahmen von Kindern zu beleuchten; darauf wird hier nicht näher eingegangen. Der Schwerpunkt der nachfolgenden Darstellung liegt auf dem Aspekt der Entwicklung von Planungskompetenz als einer wesentlichen Komponente des Problemlösens (vgl. Fritz & Funke, 2003).

Planungskompetenz entwickelt sich bereits in der frühen Kindheit, gestützt und geleitet durch die Vorgaben der Eltern zur Strukturierung von Handlungen und durch ihr handlungsbegleitendes Sprechen. So gilt der Erwerb der Sprache als

wesentlicher Faktor für die Entwicklung des Planens. Sprache unterstützt den Aufbau von Repräsentationen und hilft dem Kind dadurch, Verhalten zu antizipieren, anstatt Problemlösungen durch Versuch und Irrtum herbeizuführen.

Planungskompetenz wird nicht unabhängig von den eigenen Lebensbedingungen und dem Stellenwert, der dem Planen in diesen Lebensbedingungen zukommt, erworben. Der Erwerb von Planungskompetenz ist verknüpft mit den individuellen Erfahrungen und den spezifischen Anforderungen und Situationen, in denen entsprechende Voraussetzungen erworben werden. Je nach den Domänen, in denen Wissen erworben und Erfahrung in Begriffen von Ursache und Wirkung gefasst wird, ist auch die Entwicklung der exekutiven Funktionen bereichsspezifisch ausgeprägt (vgl. Schneider & Lockl, in press).

Eine interessante Taxonomie über Kriterien, nach denen sich die Entwicklung vollziehen kann, hat de Lisi (1987) vorgelegt. Orientiert an dieser Taxonomie kann der Entwicklungsverlauf aufgezeigt werden in a) der Zunahme mentaler Repräsentationen (Aufbau von Gedächtnisstrukturen); b) in der Ablösung von der Kontextgebundenheit (Transfer von Erkenntnissen); c) im Grad der Elaboriertheit der Repräsentation (Differenziertheit der Gedächtnisspuren); d) im Grad der Differenzierung der Planungsphasen (Planerstellung, Planüberwachung, Plankontrolle). Die Entwicklung planerischer Kompetenzen könnte sich vor diesem Hintergrund in drei Schritten vollziehen (Brown, 1984; de Lisi, 1987; Fritz & Hussy, 2000), die nachfolgend kurz skizziert werden: a) Planen als Sequenz offenen Verhaltens (assoziative Phase); b) Planen als überlegte Sequenz offenen Verhaltens (deliberate Phase); c) Planen als überlegte Repräsentation und strategiegeleitete Evaluation (elaborierte Phase).

Bis heute existiert jedoch kein allgemein akzeptiertes Modell über die Entwicklungsvoraussetzungen des Planens und über die Abfolge, in der Planungskompetenzen erworben werden. Entwicklungspsychologische Untersuchungen zur Entwicklung prozeduraler Komponenten beschränken sich auf die Erfassung von Überwachungsprozessen (*monitoring*). Kontroll- und Selbstregulationsprozesse werden bislang lediglich durch Untersuchungen zur Verteilung der Aufmerksamkeit (*allocation of study time*) und zum Wissen, wann eine Aufgabe bewältigt wird, erfasst. Spezifische Untersuchungen zu Planungsprozessen stehen hier noch aus (Schneider & Lockl, in press).

Anders ist es mit Untersuchungen zur Entwicklung von Planungskompetenzen aus kognitionspsychologischer Sicht (vgl. Dreher & Oerter, 1987; Friedman, Scholnick & Cocking, 1987; Kluwe & Modrow, 1988; Kreitler & Kreitler, 1987; Pea & Hawkins, 1987; Rattermann, Spector, Grafman, Levin & Harward, 2001; Scholnick & Friedman, 1993; Sydow, 1990). Eine Zusammenfassung der dort gefundenen Befunde lässt die nachfolgend dargestellte zeitliche Systematik im Entwicklungsverlauf erkennen.

Bereits im *Vorschulalter* (ab 3 Jahren) beginnen Kinder zu planen, wenn die Aufgaben nicht zu komplex sind und aus Bereichen stammen, die sie kennen. Die Kinder können das Handlungsziel antizipieren und Aufgaben im konkreten Handeln nacheinander abarbeiten. Die Prozesse des Handelns und Planens sind noch nicht getrennt (vgl. Piaget, 1980).

Bei Kindern im *Grundschulalter* (ab 6 Jahren) lässt sich beobachten, dass sie sich vor der Aufgabenbearbeitung mit dem Problem auseinander setzen (mentale Repräsentation) und einige Schritte in der Vorstellung planen. Das Auftauchen der repräsentationalen Komponente hat zwei wichtige Aspekte: a) Es kann nun über

den Plan (nicht mehr nur über das Ziel) kommuniziert werden, b) die Plan-Erstellung ist nun differenziert von der Plan-Ausführung. Steigerungen in der Effektivität von Aufgabenbearbeitungen kommen daher auch durch das Einsetzen von Kontroll- und Überwachungsprozessen zustande. In einer Studie von Fritz und Hussy (2000) zeigte sich, dass bei gut der Hälfte der 6- bis 9-jährigen Kinder eine hohe Lösungsgüte weniger durch eine vorausschauende Planung und eine geschickte Strategie als vielmehr durch eine sorgfältige Überwachung der Bearbeitung zustande kam. Das bedeutet: Hier kommen bereits überprüfende Feedback-Schleifen zum Einsatz, wie weiter oben schon angedeutet wurde. Diese beschränken sich allerdings auf die Ausführung des gefundenen Plans, nicht darauf, die Effektivität des Plans gegenüber anderen Möglichkeiten, das Ziel zu erreichen, zu evaluieren. Planverbesserungen können jedoch in Kommunikation mit einer kompetenten Person entstehen.

Neben der bewussten Planung und Überwachung der Aufgabenbearbeitung sind leistungssteigernde Wirkungen auch dem erwachenden metakognitiven Wissen zuzuschreiben. Gemeint ist die allmähliche Ausbildung eines realistischen Verständnisses des eigenen kognitiven Systems und des Nutzens von Strategien. In einer Untersuchung mit Erstklässlern erwies sich das metakognitive Wissen der Kinder zum Begriff Planen als ausschlaggebend für den Erfolg in einem Training zur Verbesserung der Planungsfähigkeit (Fritz, Hussy & Bartels, 1997).

Mit der *Adoleszenz* (ab 11 Jahren) wird der Planungsprozess flexibler: Es geht nicht mehr um die Erstellung eines Plans, sondern darum, einen guten oder gar den besten Plan zu finden. Pläne werden daher nicht unbedingt vollständig vor der Umsetzung in die Handlung erstellt, sondern es entstehen, je nach Anforderung, Teil-Pläne, die in einen Gesamt-Plan integriert werden. Diese Teil-Pläne sind auf unterschiedlichen Ebenen (konkret, bildlich, symbolisch, abstrakt) formuliert und können unterschiedlich differenziert sein (von grob bis fein). Vor ihrer Ausführung können die Pläne mental erprobt und durch abstrakte Überlegungen evaluiert werden. Während der Plan-Ausführung kommt es zu einer Re-Evaluation des Problemraums, in dem die aktuellen Erfahrungen in den Plan einbezogen werden und eine Revision des Plans möglich ist. Auf dieser Ebene kann auch über den Plan kommuniziert werden. Planungsprozesse auf dieser Ebene sind gekennzeichnet durch die Auseinandersetzung mit Informationen auf übergeordneter Ebene, durch die Fähigkeit, Entwürfe in eine Hierarchie von Sub-Zielen einzuordnen, und durch Evaluationsprozesse höherer Abstraktheit. Ein bei Erwachsenen gefundener Tatbestand (Goldin & Hayes-Roth, 1980), wonach gute Planer auch bei der Verbalisierung ihres Vorgehens Äußerungen höherer Abstraktheit treffen (Nennen von Kriterien, die den Entscheidungen zugrunde liegen; Angeben der Methoden, die eingesetzt werden sollen) konnte in dieser Altersgruppe (11 bis 12 Jahre) allerdings noch nicht nachgewiesen werden. Für Elfjährige ist Planen etwas Hypothetisches, bei dem auch Prüf- und Vergleichsprozesse von Bedeutung sind (Kreitler & Kreitler, 1987). Schulkinder sehen auf der Metaebene Problemlösestrategien als den besten Weg, um mit Ärger umzugehen (Saarni, 1997).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Entwicklung von Planungskompetenzen bereits in der frühen Kindheit erfolgt und im Wesentlichen in einer Zunahme mentaler Repräsentationen (quantitativ wie qualitativ) und im Aufbau abstrakter Kontroll- und Evaluationsprozesse (im Sinne von Metakognition) besteht.

6.2.2 Denken und Problemlösen im höheren Alter

Studien zum Umgang älterer Menschen mit computersimulierten Szenarios sind bislang nicht durchgeführt worden. Die vorgelegten Übersichten von Rabbitt (1977) und Kluwe (1986) beziehen sich daher auf einfache Problemstellungen. Kluwe fasst den diesbezüglichen Stand wie folgt zusammen:

> »The solution search, given well-defined problems, is not very well organized, it is inefficient, redundant, and finally not very successful. This behavior emerges earlier in age when complexity of the task is increased. Specific advice for note taking and for an overall strategic approach do not necessarily improve the performance of old subjects with regard to the tasks studied here. The causes for the poor pattern of problem-solving performance are not known« (Kluwe, 1986, S. 519).

Vermutungen bestehen, dass mangelnde Anwendung heuristischer Suchmethoden oder die fehlerhafte Enkodierung des Problems für die beobachteten Minderleistungen verantwortlich sind. Auch Schwierigkeiten beim Unterscheiden relevanter und irrelevanter Informationen können das Verstehen eines Problems erschweren.

Allerdings haben Expertise-Studien wie die von Charness (1981a, 1981b, 1982) gezeigt, dass ältere Schachexperten ihre Züge schneller auswählen als jüngere, ohne sich dabei in der Qualität zu unterscheiden. Die Anzahl abgerufener Chunks steigt mit dem Alter, die Größe der Chunks sinkt dafür. Charness vermutet, dass hier kompensatorische Mechanismen am Werke sind.

Schließlich sind für problemlösendes Denken auch metakognitive Prozesse verantwortlich, die sich auf die Einschätzung und Überwachung der eigenen kognitiven Aktivitäten beziehen (siehe z. B. Schneider & Lockl, in press; Schneider & Uhl, 1990). Ältere Menschen erwarten im Unterschied zu jüngeren z. B. ein Nachlassen ihrer Gedächtnisleistungen; dies kann einen Problemlöseprozess durchaus negativ beeinflussen, obwohl die Einschätzung falsch sein mag. Die stärkere Überwachung angesichts vermuteter Schwächen könnte ebenfalls negative Auswirkungen haben, da implizite Komponenten weniger gut zum Tragen kommen, wenn auf sie geachtet wird (vgl. Reber, 1967; Reber & Kotovsky, 1997).

6.2.3 Ein Spezialfall: Weisheit

Baltes und Smith (1990, S. 104) vom Berliner Max-Planck-Institut ordnen Weisheit dem Bereich der *kristallinen* Intelligenz zu, die auf Sprachverständnis und erfahrungsgeleitetem Sachwissen beruht (»Pragmatik«), im Unterschied zur *fluiden* Intelligenz, die schlussfolgerndes Denken abbildet (»Mechanik«). Sie definieren Weisheit als »ein Expertenwissen, das zur Bearbeitung grundlegender Lebensfragen befähigt und sich in außergewöhnlich guten Urteilen und Ratschlägen manifestiert«. Weisheit zeichnet sich danach durch folgende Merkmale aus: 1. reiches Faktenwissen über Lebensverlauf und Lebenslagen, 2. reiches prozedurales Wissen über Lösungsstrategien für Lebensprobleme (womit komplexe Probleme gemeint sind), 3. Lebensspannen-Kontextualismus: Kenntnis von Lebenskontexten und ihren entwicklungsmäßigen Bezügen, 4. Relativismus: Wissen um die Unterschiede in Werten und Prioritäten, 5. Ungewissheit: Wissen um die relative Unbestimmtheit und Unvorhersagbarkeit des Lebens und die Art, damit umzugehen. Die Kriterien 1. und 2. sind nach Baltes, Lindenberger und Staudinger (1995) Basiskriterien, die restlichen drei sog. Metakriterien.

Weisheit entsteht nach den Vorstellungen der Berliner Gruppe in Abhängigkeit von drei Faktoren, nämlich von a) allgemeinen Faktoren (z. B. das generelle kognitive Niveau und die geistige Gesundheit), b) spezifischen Expertentumfaktoren (z. B. Lebenserfahrung) sowie c) modifizierenden und begünstigenden Faktoren (z. B. Ausbildung, Alter und beruflicher Status). Alter ist deswegen ein begünstigender Faktor, weil die Genese von Weisheit mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden ist.

Versucht wurde auch, Weisheit empirisch zu messen (z. B. Maercker, Böhmig-Krumhaar & Staudinger, 1998). Die Erfassung von Weisheit erfolgte über Fragen zu schwierigen Lebensproblemen fiktiver Personen; die Antworten auf die Fragen wurden anhand der fünf oben genannten Weisheitskriterien beurteilt. Interessanterweise fanden sich keine signifikanten Altersunterschiede in der weisheitsbezogenen Leistung. Ältere Personen sind also nicht automatisch weiser als jüngere, jedoch lassen sich auch keine Abbauprozesse feststellen.

6.2.4 Zusammenfassung

Problemlösendes Denken verändert sich mit dem Lebensalter. Nicht nur die Kompetenzen nehmen zu, sondern auch die Komplexität der bearbeitbaren Probleme wächst durch steigende Anforderungen an die Handlungsregulation. Die im Alter eintretenden Veränderungen liegen wohl nicht nur auf kognitiver, sondern auch auf metakognitiver Ebene und werden durch falsche Erwartungen bezüglich vermuteter Abbauprozesse ungünstig beeinflusst. Dabei entsteht gerade im höheren Alter eine Fähigkeit zur Problemlösung, die mit dem Begriff der »Weisheit« ausgezeichnet wird. Nicht besprochen wurden negative Alterseffekte, die in Beeinträchtigungen der exekutiven Funktionen und des Gedächtnisses bestehen (vgl. Baeckman, Small & Wahlin, 2001).

Weiterführende Literatur

Zum Überblick Oerter und Dreher (1998). Mehr über Weisheit bei Staudinger und Baltes (1996) oder Sternberg (1990).

6.3 Sozialpsychologische Befunde: Problemlösen in Gruppen

Grundsätzlich wird bei Gruppenleistungen in der Tradition von Steiner (1972) von Prozessverlusten ausgegangen, ein Begriff, der die Leistungseinbußen von Gruppen auf Motivations- und Koordinationsverluste zurückführt. Wie Reimer (2001) ausführt, gibt es unter bestimmten Bedingungen allerdings auch Leistungsvorteile, die durch gesteigerte Motivation und die Möglichkeit, die Fehler einzelner in der Gruppe kompensieren zu können, erklärt werden. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die zwei Forschungsstränge (1) Problemlösen in Gruppen sowie 2. Kleingruppenforschung und Interaktion gegeben. Außerdem wird das Thema 3. Soziales Faulenzen näher beleuchtet.

6.3.1 Problemlösen in Gruppen

Viele Probleme werden gemeinsam mit anderen Menschen bearbeitet. Nachfolgend werden zwei Bereiche – kollaboratives Problemlösen in Leistungskontexten sowie Problemlösen in politischen Kontexten – ausführlicher dargestellt.

Kollaboratives Problemlösen

Kollaboratives Problemlösen, also Problemlösen in Gruppen ist der Untersuchungsgegenstand von Barron (2000), die verschiedene Dreiergruppen von Schülern mit Planungs- und Rechenproblemen in angewandtem Kontext konfrontiert hat. Die Schüler sahen ein 15-minütiges Abenteuervideo »Journey to Cedar Creek«, in der die Leitfigur morgens mit dem Boot seinen Anleger verlässt, um ein altes Kabinenboot zu besichtigen. Die zwei kritischen Elemente, die in ihrer qualitativen Studie näher zu bearbeiten waren, bezogen sich auf die Frage, ob der Held noch vor Einbruch der Dunkelheit wieder zurück sein könnte und ob das Benzin dafür reichen würde.

Zwei extreme Dreiergruppen wurden von ihr verglichen: Triade 1 hat für das gerade beschriebene Problem korrekte Lösungsvorschläge generiert, geprüft und dokumentiert, wohingegen Triade 2 zwar Vorschläge produzierte, diese aber grundlos verwarf und auch kaum dokumentierte. Aus dem Vergleich dieser beiden Extremgruppen kommt Barron zu dem Schluss, dass drei wesentliche Faktoren den Erfolg des Gruppengeschehens bestimmen: 1. die Wechselseitigkeit des Austauschs, 2. das Erreichen einer gemeinsamen Aufmerksamkeitslenkung und 3. die Ausrichtung der Gruppenmitglieder auf gemeinsame Ziele der Problemlösung.

Mit Problemlöseprozessen in Zweier-Gruppen (im Vergleich zu Einzelpersonen) befasst sich das Experiment von Reimer (2001; vgl. auch Reimer, Opwis & Bornstein, 2002). Die Versuchspersonen lernten zunächst einzeln entweder eine nützliche oder eine umständliche Strategie zum Bearbeiten des Turms von Hanoi und entwickelten eine entsprechende Routine. Anschließend an diese Lernphase mussten die Versuchspersonen in einer Testphase vier Aufgaben bearbeiten, entweder einzeln oder als Paar ohne Kommunikationsmöglichkeit. Es zeigt sich ein Phänomen, das Reimer als *Akzentuierung* bezeichnet: Gemeint ist damit der Befund, dass Versuchspersonen mit nützlicher Routine einen Paarvorteil erfahren (das Paar ist besser als die Einzelperson), während Paare mit umständlicher Routine starke Prozessverluste (z. B. durch notwendig werdende Kommunikation) erfahren.

Eine Leistungssteigerung tritt auch dann ein, wenn die Gruppe kommunizieren kann. Reimer, Neuser und Schmitt (1997) zeigten, dass der Turm von Hanoi dann besser bearbeitet wird, wenn in der Planungsphase kommuniziert werden konnte. Kommunikation in der Ausführungsphase scheint nach ihren Befunden dagegen zu Leistungseinbußen zu führen.

Problemlösen in internationalen Beziehungen: Das Phänomen »groupthink«

Ein interessanter Anwendungsfall komplexen Problemlösens in Gruppen liegt im Bereich politischer Entscheidungen über internationale Beziehungen. Wie Voss et al. (1991) deutlich machen, hat man in der Vergangenheit außenpolitische Konflikte als Machtkampf zwischen Staaten angesehen. Moderne kognitionspsy-

chologische Betrachtungsweisen legen dagegen Wert darauf, dass derartige Konflikte und entsprechende Entscheidungen nicht von Staaten, sondern von den handelnden Personen bearbeitet bzw. getroffen wurden. Dieser kognitive Zugang betrachtet politische Entscheidungen somit als Ergebnis eines Problemlöseprozesses, bei dem in aller Regel eine Reihe von Entscheidungsträgern beteiligt ist. Als Beispiele verweisen Voss et al. (1991) auf die amerikanische Intervention in Korea 1950, aus der der Korea-Krieg entstand, sowie auf die Kuba-Krise 1962, die gerade noch einmal friedlich beigelegt werden konnte; in beiden Fällen liegen umfangreiche Dokumentationen vor, die ausgewertet werden konnten. Zudem haben Voss et al. (1991) Laut-Denk-Daten herangezogen aus einer interkulturellen Vergleichsstudie zur Reduzierung der atomaren Bedrohung (Vergleich vier australischer und vier amerikanischer Versuchspersonen) sowie aus einer Novizen-Experten-Studie zur Bewertung der – zum Untersuchungszeitpunkt noch hypothetischen – Problematik einer deutsch-deutschen Wiedervereinigung.[21]

Beispiel 1: Korea-Krise 1950–1953. Ein paar Befunde aus diesen Analysen sollen hier beispielhaft berichtet werden. Die Analyse der Korea-Krise (im Juni 1950 marschieren Truppen aus dem kommunistischen Nord-Korea in das prowestlich gestimmte Südkorea ein; daraufhin beschließt die Truman-Administration den Einmarsch amerikanischer Truppen, die erfolglos am 38. Breitengrad kämpfen und am 19.7.1953 einem Waffenstillstand zustimmen, der die Nord-Süd-Grenze auf den 38. Breitengrad festlegt) verdeutlicht, dass in einer relativ homogenen Berater-Gruppe nur wenig Alternativen generiert wurden. Durch eine einseitige Repräsentation des Problems (trotz der strategischen Bedeutungslosigkeit von Südkorea für die USA wird dort eine sowjetische Einflussnahme vermutet, der man aus prinzipiellen Gründen begegnen möchte) wird zudem nur eine einzige Lösung (nämlich die kriegerische Intervention) ernsthaft erwogen und dann auch realisiert. Die einmal getroffene Bewertung »kommunistische Aggression« legt allen Folgeentscheidungen eine Beschränkung auf, die über mehrere Jahre hinweg nicht mehr in Frage gestellt wird.

Janis (1982) bezeichnet die in dieser und anderen Gruppensituationen sichtbar gewordenen sozialen Beeinträchtigungen des Problemlösens als »groupthink«. Dieses Gruppendenken charakterisiert er als »deterioation of mental efficiency, reality testing, and moral judgement that results from in-group pressures« (S. 9). Das Streben nach Uniformität und Einhalten von Normen in der Gruppe erweist sich als abträglich für den Prozess. Schaden nimmt dieser Problemlöseprozess nach Janis in sieben Punkten: 1. Gruppenentscheidungen schränken den gesamten Raum der zu prüfenden Handlungsmöglichkeiten auf einige wenige Optionen ein; 2. die Gruppe überwacht ihre Ziele nicht richtig; 3. die Gruppe versäumt es, den von der Mehrheit favorisierten Lösungsweg kritisch zu bewerten; 4. Alternativen, die bereits am Anfang verworfen wurden, werden nicht wieder aufgegriffen; 5. Gruppenmitglieder holen nur selten Expertenrat von außerhalb; 6. Gruppenmitglieder verwenden wenig Energie darauf, Fakten oder Meinungen näher zu betrachten, die nicht ihren anfänglichen Präferenzen entsprechen; 7. die Gruppe verwendet wenig

21 Auf S. 155f. beschreiben Voss et al. (1991) ein Szenario zur Wiedervereinigung Deutschlands im Zuge eines (fiktiven) AKW-Unfalls an der deutsch-deutschen Grenze bei Kassel. Amüsanterweise wird dort auch das Presseorgan »Frankfurter Allgemeine Zeitung« erwähnt, mit dem kleinen Doppelfehler »Allgeheimne Zeitung«.

Zeit für die Beratung über Dinge, die die geplanten Entscheidungen verhindern könnten.

Beispiel 2: Kuba-Krise 1962. Während sich der Korea-Fall als Beispiel für den Schaden von Gruppendenken anführen lässt, zeigt das Beispiel der Kuba-Krise 1962 einen anderen Verlauf. Zum Hintergrund: Während des Kalten Kriegs zwischen den USA und der Sowjetunion berichtet die CIA dem damaligen Präsidenten Kennedy am 16.10.1962, dass sowjetische Angriffsraketen auf Kuba stationiert würden. Die Militärs sahen darin eine akute Bedrohung der amerikanischen Sicherheit wegen der Verkürzung der Vorwarnzeiten. In dem von Kennedy zusammengestellten Krisenstab waren aber nicht nur Militärs vertreten, die für einen »chirurgischen« Luftangriff auf Kuba plädierten, sondern auch z. B. der Staatssekretär des Verteidigungsministeriums, McNamara, der in diesen Raketen keinen Unterschied zu denen erkennen konnte, die sowieso schon auf sowjetischen U-Booten vor Amerikas Küsten stationiert waren. Die Abwägung einer ganzen Reihe von Alternativen führte schließlich zur Entscheidung, eine Blockade Kubas vorzunehmen, die durch das Einlenken Chruschtschows (Abzug der Raketen) nach einer Woche beendet werden konnte und damit die Gefahr eines möglichen atomaren Kriegs zwischen den Supermächten deutlich reduzierte. In diesem Fall trat kein nachteiliges Gruppendenken auf. Als Gründe dafür vermuten Voss et al. (1991, S. 148 f.), dass von Anfang an aufgrund sehr unterschiedlicher Bewertungen variierende Problemrepräsentationen existierten, die keine einseitige Lösung favorisierten und daher das Erzeugen einer größeren Alternativenzahl begünstigten. Außerdem bediente sich der Krisenstab zahlreicher Quellen von außen.

Schlussfolgerungen. Die von Voss et al. vertretene These ist, dass bei derartigen Konflikten die anfängliche Repräsentation des Problems das Erzeugen verschiedener Lösungsalternativen determiniert. Bei manchen Problemen kommt es darauf an, möglichst mehrere Alternativen zur Verfügung zu haben. Gerade offene Probleme im sozialen, politischen oder ökonomischen Umfeld lassen sich eher zur Lösung führen, wenn verschiedene Optionen zur Wahl stehen. Das Erzeugen von Alternativen kann als kreativer Teil einer Problemlösung angesehen werden und hängt natürlich mit der Problemrepräsentation zusammen. Voss et al. (1991, S. 123) führen als (Negativ-)Beispiel Überlegungen zur Erhöhung der Produktivität in der sowjetischen Landwirtschaft an: Die damit befassten sowjetischen Experten waren sich einig, dass das Produktivitätsproblem aufgrund fehlender Technologie in der Agrarwirtschaft besteht. Hierzu (und nur hierzu!) wurden dann zahlreiche Verbesserungs- und Umsetzungsvorschläge gemacht.

In dieser Situation wurden gerade *nicht* verschiedene Alternativen erzeugt, sondern vielmehr wurde eine Repräsentation zugrunde gelegt, bei der genau *eine* Ursache (fehlende Modernisierung) und daraus resultierend genau *eine* Maßnahme (technologische Nachrüstung) abgeleitet wurden. Voss et al. schließen daraus, dass im Fall einer Repräsentation, die bereits auf eine Lösung hinweist, auf das Generieren weiterer Alternativen verzichtet wird. Diese werden nur dann erzeugt, wenn die Repräsentation keine (oder keine eindeutige) Lösung enthält.

6.3.2 Kleingruppenforschung und Interaktion

In einer Pilotstudie mit 16 Schülerinnen und Schülern einer 10. Klasse wurde das Konzept der »partizipatorischen Simulation« von Colella (2000) erprobt. Im

Rahmen des Biologieunterrichts zum Thema »Krankheitsausbreitung« wurde den Teilnehmenden die Aufgabe gestellt, mit möglichst vielen anderen Mitspielenden in Kontakt zu treten, ohne dabei zu »erkranken«. Alle Mitspielenden trugen ein Funkgerät (*thinking tag*), das die Anzahl der Kontakte erfasste und für alle sichtbar anzeigte. Den Teilnehmenden wurde mitgeteilt, dass einer der Mitspielenden »infiziert« sei. Eine »Erkrankung« wurde – ebenfalls für alle sichtbar – durch Leuchtdioden auf dem Funkgerät angezeigt. Die Teilnehmenden wussten nichts über die Latenzzeit des simulierten Virus (3 Minuten) noch über die Verbreitung (jede Person mit Virus konnte auch während der unsichtbaren Latenzzeit eine andere Person anstecken; bei Kontakt war das Infektionsrisiko 100%). Außerdem wussten sie nicht, dass alle Mitspielenden, die eine 1 oder 2 an erster Position ihrer Spielernummer trugen (also Spieler 1, 2, 11, 12, 21, usw.), immun gegen das Virus waren und es auch nicht auf andere Spieler übertrugen.

Aufgabe der Spielenden war es, die Eigenarten des simulierten Systems zu erkunden, also Hypothesen zu bilden und diese zu testen. Dazu wurden an verschiedenen Tagen Wiederholungen dieses Spiels vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass die Spielenden tief in die Simulation eintauchten, gemeinsam Daten analysierten und Versuchspläne entwarfen, um ein konsistentes Modell zu erstellen. Von Runde zu Runde wurde das Vorgehen systematischer, bis am Ende nach sechs Spielrunden die zugrunde liegenden Regeln identifiziert waren.

Die hier dargestellte Variante einer partizipatorischen Simulation ist in mehrfacher Hinsicht bemerkenswert: Die Mitspielenden sind nicht am Bildschirm einem simulierten System ausgesetzt, sondern *sind* dieses System selbst. Durch diesen Rollenspiel-Charakter der Simulation wird ein hoher Grad an Beteiligung (»Immersion«) erreicht. In der direkten Interaktion mit anderen Mitspielenden wird die Umwelt erkundet und analysiert. Das Bilden von Hypothesen und deren Prüfung wird in der Gruppe geübt. Speziell im pädagogischen Kontext dürfte diese Technik eine interessante Vermittlungsform komplexer, dynamischer Sachverhalte darstellen (vgl. auch Resnick & Wilensky, 1998).

6.3.3 »Soziales Faulenzen«

Soziales Faulenzen (*social loafing*) tritt auf, wenn Individuen in kollektiver statt koaktiver Weise zusammenarbeiten, d. h., ohne für ihre individuellen Beiträge zum Gruppenprodukt verantwortlich gemacht zu werden. Typisches Beispiel für ein *kollektives* Produkt ist die Arbeit einer Kommission, deren Ergebnis nicht auf die individuellen Beiträge zurückgeführt wird. *Koaktives* Produkt ist dagegen die Leistung eines Fußballteams, bei der der Anteil einzelner Spieler sehr wohl differenziert beurteilt werden kann.

Soziales Faulenzen wird von Latané, Williams und Harkins (1979) als Resultat eines Motivationsverlusts beschrieben und negativ bewertet. Die empirischen Nachweise zu diesem Phänomen wurden allerdings auf der Basis einfacher Aufgaben geführt. Jackson und Williams (1985) konnten bei schwierigen Aufgaben dagegen zeigen, dass kollektive Arbeitsbedingungen bessere Leistungen erzielten als koaktive. Hier lag es nahe, die Auswirkungen unterschiedlicher Arbeitsbedingungen beim Lösen komplexer Probleme zu untersuchen.

Feuchter (2001) hat zu diesem Zweck 120 Versuchspersonen mit dem Szenario Networked Fire Chief (NFC) von Omodei und Wearing (1995a, 1995b) kon-

frontiert. Je drei Versuchspersonen bearbeiten koaktiv (= individuelle Leistung zählt) oder kollektiv (= nur Gruppenleistung zählt) den Ausbruch der Feuersbrünste auf den ihnen zugewiesenen Segmenten des Spielfelds (siehe Abbildung 46).

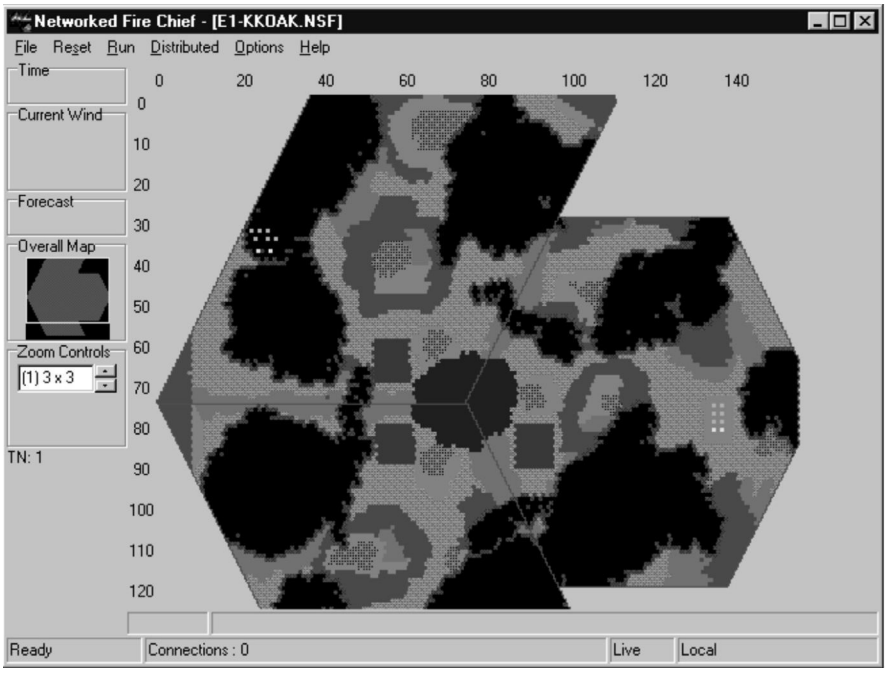


Abbildung 46 Display der Feuer-Situation NETWORKED FIRE CHIEF für eine der drei Versuchspersonen: Im fortgeschrittenen Stadium sind bereits Teile der Fläche verbrannt (schwarz), grau in der Mitte ist der Wasservorrat zum Auftanken der Löschfahrzeuge; diese sind als kleine Punkte kaum erkennbar im oberen linken Teil von den Flammen eingeschlossen, im rechten Teil dagegen auf sicherem Grund. Die Aufteilung der Gesamtfläche in drei Segmente ist gut zu erkennen.

Gemessen wurde der *Aufwand* in terminis von Befehlen und die *Leistung* in terminis von geretteter Fläche. Unter einer leichten Bedingung des NETWORKED FIRE CHIEF stand den Löscheinheiten unbegrenzt Benzin für die Löschfahrzeuge zur Verfügung, unter der schwereren Bedingung mussten die Versuchspersonen regelmäßig ihre Treibstoffvorräte auffrischen. Das Ergebnis dieses Experiments ist in Abbildung 47 dargestellt.

Wie zu erkennen ist, tritt einerseits ein Effekt des sozialen Faulenzens ein: Der Aufwand liegt in der kollektiven Bedingung deutlich unterhalb derjenigen in der koaktiven Bedingung. Die Leistung allerdings fällt annähernd gleich (unter der einfachen Bedingung) bzw. sogar besser aus (unter der schweren Bedingung). Betrachtet man das Verhältnis von Aufwand und Leistung, also die Effizienz, sieht

man die Überlegenheit der kollektiven Bedingung, die sich unter der komplexen Bedingung sogar noch verschärft zeigt.

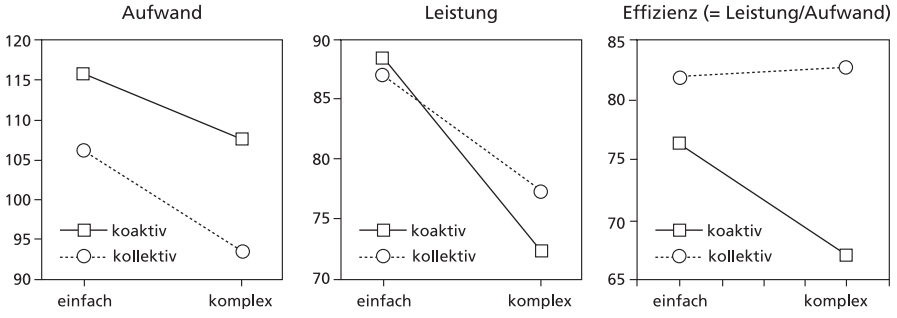


Abbildung 47 Aufwand (= Befehle), Leistung (= gerettete Fläche in %) sowie Effizienz (= Verhältnis von Aufwand zu Leistung) der NFC-Problemlösung für koaktive versus kollektive Bedingungen, getrennt nach einfacher (Benzin unbegrenzt) und komplexer (Benzin begrenzt) Versuchsbedingung.

Heißt das, dass man bei komplexen Problemen vom sozialen Faulenzen profitiert? Feuchter hat ihr Buch jedenfalls als »Lob des sozialen Faulenzens« betitelt und fordert zu Recht eine Neubewertung des Phänomens. Möglicherweise ist es gerade in komplexen Situationen sinnvoll, anderen, die es besser können, den Vortritt zu lassen. Kritisch anzumerken bleibt die Frage nach der Operationalisierung »einfacher« und »komplexer« Anforderungen: Sind diese wirklich so unterschiedlich, wie es die sprachlichen Etiketten suggerieren? Tatsächlich unterschied sich nämlich die komplexe Bedingung von der einfachen nur dadurch, dass bei den Löschfahrzeugen zusätzlich zum Befüllen mit Wasser auch deren Benzinversorgung beachtet werden musste.

Wetzel (1998) berichtet Befunde aus einem Experiment, bei dem 35 Expertengruppen, trainierte Gruppen und Kontrollgruppen mit jeweils drei Mitgliedern beim Bearbeiten eines komplexen juristischen Problems unter kooperativen oder wettbewerbsmäßigen Bedingungen untersucht wurden. Im Hinblick auf den Gruppenprozess und die Qualität der Problemlösung wurden folgende drei Hauptergebnisse ermittelt: 1. Unter kooperativen Bedingungen resultierten bessere Leistungen als unter kompetitiven Bedingungen. 2. Expertengruppen erbrachten die besten, aber auch die schlechtesten Leistungen. 3. Trainings führten unter kooperativen Arbeitsbedingungen zu guten Problemlösungen, unter kompetitiven Bedingungen dagegen zu schlechten. Darüber hinaus hatten Wettbewerb und Kooperation vielfältige Einflüsse auf den Gruppenprozess.

6.3.4 Zusammenfassung

Die sozialpsychologische Dimension fügt den Erkenntnissen der Problemlöseforschung interessante Weiterungen hinzu. Die berichteten Phänomene wie »groupthink« oder »social loafing« zeigen, dass Problemlösen durch die Mitwir-

kung anderer Personen erhebliche Veränderungen erfahren kann. Ob dies allerdings durchweg negative Konsequenzen hat, ist nicht endgültig ausgemacht. Zu beiden Phänomenen gibt es auch Hinweise auf positive Auswirkungen.

Weiterführende Literatur

Zu Problemlösen in politischen Kontexten ist Janis (1982) ein Klassiker. Über den Umgang von Organisationen mit Komplexität informiert ein Reader von Fisch und Boos (1990). Zu Entscheidungen in Verwaltungsorganisationen siehe den wieder aufgelegten Klassiker von Simon (1997). Beck (2001) geht auf die Sozialpsychologie kollektiver Entscheidungen ein. Badke-Schaub (2001a, 2001b, 2001c) behandelt Problemlöseprozesse in Konstruktionsgruppen unter Feldbedingungen.

6.4 Differenzialpsychologische Befunde: Unterschiede beim Problemlösen zwischen verschiedenen Personen

Die differenzielle Fragestellung hat sich von Anfang an als eine treibende Kraft in diesem Forschungsbereich erwiesen und viele Studien hervorgebracht. Neben der Frage nach einer Klassifikation von Problemlösern (Typensuche) ist vor allem die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Testintelligenz und komplexem Problemlösen kontrovers diskutiert worden (z. B. Dörner, 1984; Jäger, 1984; Tent, 1984). Aber auch Vergleiche von Laien und Experten haben interessante Erkenntnisse geliefert. Schließlich sind testpsychologische Verfahren zu erwähnen, die nach psychometrischen Kriterien für die Individualdiagnostik konstruiert wurden.

6.4.1 Klassifikation von problemlösenden Personen

Problemlöse-Typen. Wie weiter oben (Kapitel 1.4) bereits festgestellt, ist eine Klassifikation von Problemen notgedrungen auf bestimmte Annahmen über die problemlösende Person angewiesen. Erst vor dem Hintergrund von deren Kenntnissen und Fertigkeiten wird verständlich, ob bestimmte Anforderungen als Aufgabe mit Routinecharakter (*epistemische* Anforderung) oder als Problem mit Nicht-Routinecharakter (*heuristische* Anforderung) gesehen werden müssen. Nahe liegend ist daher, die eben dargestellte Klassifikation von Problemen durch eine Klassifikation von Problemlösenden zu ergänzen. Lantermann, Papen und Sieber (2002) versuchen dies mit ihren clusteranalytisch gewonnenen Handlungstypen (den »Vorsichtigen«, den »Flüchtigen«, den »Unentschlossenen«, den »Draufgängern« und den »Ausgewogenen«; vgl. auch Kapitel 6.5.3). Ältere Ansätze greifen auf den kognitiven Stil (Hunt, Krzystofiak & Yousry, 1989) oder Persönlichkeitsinventare (Davis, Grove & Knowles, 1990) zurück, bei denen Problem-»Finder« den Problem-»Lösern«, intuitiv-holistisch operierende Personen den analytisch-elementar Vorgehenden gegenübergestellt werden. Sternberg (1994) hat eigene Fragebögen zum »Thinking Style« vorgestellt (siehe auch Grigorenko & Sternberg, 1995; Sternberg, 1996), die im Rahmen seiner Theorie men-

taler Selbstkontrolle (Sternberg, 1988) bestimmte Einstellungen und Haltungen messen sollen.

Bewertung. Die geschilderten eigenschaftsorientierten Ansätze sind in Zeiten moderner Interaktionstheorien (Wechselwirkung von Person und Situation) in Misskredit geraten, da sie zu wenig flexibel erscheinen und sich zumeist »nur« an Verhaltensunterschieden festmachen, nicht aber an den diesen zugrunde liegenden innerpsychischen Prozessen. Auch wenn Amelang und Bartussek (2001, S. 551 f.) gerade das Konstrukt kognitiver Stile für weiter untersuchenswert halten, scheint mir dies nur bedingt richtig: Solange darüber keine Prozessannahmen gemacht werden, wie einzelne der sog. Stilmerkmale die Informationsverarbeitung konkret beeinflussen, bleibt man auf der Ebene oberflächlicher Unterschiede bei der Beantwortung von Fragebogenitems. Theorien zum problemlösenden Denken sollten *erklären*, wodurch derartige Verhaltensunterschiede determiniert sind.

Geschlechts- bzw. Gendereffekte. Auf der Suche nach stil- oder typbildenden Merkmalen ist auch das (biologische) Geschlecht von Versuchspersonen bzw. die soziale Konstruktion dieses Merkmals (*gender*, vgl. Eckes & Trautner, 2000) in die Aufmerksamkeit der Problemlöseforschung geraten. Drei ausgewählte jüngere Studien machen deutlich, dass Geschlechts- bzw. Gendereffekte auch in diesem Bereich zu beachten sind.

Underwood, Underwood und Wood (2000) haben Geschlechtseffekte beim Bearbeiten eines rechnergestützten sprachlichen Problems untersucht. Sie ließen Schülerinnen und Schüler sowohl einzeln als auch in gleichgeschlechtlichen oder gemischten Zweiergruppen arbeiten. Gemessen wurde bei den Teams das Ausmaß sprachlicher Interaktion und der Kooperation. Generell zeigten sich die Dyaden den Einzelbearbeitern in der Problemlösung überlegen. Bei den Dyaden fiel lediglich die verringerte sprachliche Interaktion und Kooperation in den gemischten Zweiergruppen auf, aber selbst dort gab es keine Leistungsunterschiede zu den gleich geschlechtlichen Dyaden.

Adrianson (2001) ließ sechs Doktoranden und Doktorandinnen entweder im Dialog (*face-to-face,* FtF) oder computervermittelt (*computer mediated communication*, CMC) an zwei mehrdeutigen Problemen arbeiten. In der CMC-Bedingung konnten die Versuchspersonen entweder anonym bleiben oder unter ihrem wahren Namen arbeiten. Es zeigte sich, dass in der FtF-Bedingung Frauen mehr kommunizierten und ein ungestörteres Ich-Bewusstsein aufwiesen als unter den CMC-Bedingungen. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Studie aufgrund der geringen Fallzahlen nicht sehr weit reichend.

Walker, Irving und Berthelsen (2002) haben bei umfangreicheren Kindergarten-Stichproben (179 Fünfjährige, davon 91 Jungen) Gendereffekte beim sozialen Problemlösen unter sorgfältig kontrollierten Bedingungen untersucht. Insgesamt acht problematische soziale Situationen, die im Kindergarten typisch auftreten konnten (Beschädigen des Objekts eines Anderen, Nicht-Mitspielen-Wollen etc.) waren zu beurteilen und die dort aufgeworfenen Probleme zu lösen; die Antworten wurden nach einem Kodierungsschema klassifiziert. Die fiktiven Situationsschilderungen bezogen sich auf ein »Täter«- und ein »Opfer«-Kind, deren Geschlecht einmal männlich, das andere Mal weiblich war; in der Hälfte der Fälle waren die beiden Beteiligten gleichen Geschlechts, in der anderen Hälfte ungleich. Als Ergebnis zeigte sich: Mädchen sind generell kompetenter als Jungen, obwohl sie vergleichbare Strategien benutzten. Sie schlugen eher prosoziale Lösungen vor, während Jungen eher zu aggressiven Lösungsalternativen tendierten. Außerdem spielte

das Geschlecht der fiktiven Akteure zusätzlich eine Rolle neben dem Geschlecht der Versuchsperson (zu Details siehe Walker et al., 2002).

6.4.2 Testintelligenz

Die Frage nach der Bedeutung von Testintelligenz für das Lösen komplexer Probleme stand von Anfang an im Fokus der Aufmerksamkeit. Die Untersuchungen über den Einfluss der Testintelligenz beim komplexen Problemlösen haben allerdings seit dem Beginn der Debatte (Dörner & Kreuzig, 1983; Jäger, 1984) zu einer wesentlichen Differenzierung geführt. Wurde in der Anfangszeit der traditionellen, psychometrischen Intelligenzforschung noch der Kampf angesagt (Dörner, 1986, S. 293, sprach von einer »quantificatio praecox«), hat sich zwischenzeitlich das Bild deutlich gewandelt. In einer neueren Übersicht macht Süß (1999, S. 221) deutlich, dass bei einer differenzierten Evaluation der Befundlage die gut begründete Stellungnahme erlaubt sei: »Intelligenz ist ein valider Prädiktor für komplexe Problemlöseleistungen«. Dies ist insofern interessant, als in einer vorangegangenen Literaturübersicht von Kluwe, Misiak und Haider (1991; vgl. auch Kluwe, Schilde, Fischer & Oellerer, 1991) noch von Korrelationen um 0 herum gesprochen wurde (von wenigen Ausnahmen in der Größenordnung von 0.40 bis 0.50 einmal abgesehen). Tatsächlich haben sich erst in den 1990er Jahren mit verbesserten Verfahren vermehrt positive Zusammenhänge gezeigt (Beckmann, 1994; Kersting, 1999b; Schoppek, 1996; Süß, 1996).

Die differenzialpsychologische Sicht macht Unterschiede in der Testintelligenz verantwortlich für Leistungsdifferenzen beim Bearbeiten komplexer Probleme. Dass problemlösendes Denken zur Intelligenz in besonderer Beziehung steht, ist auch den Ausführungen von Sternberg (1982, S. 225) zu entnehmen, wenn er schreibt:

> »Reasoning, problem solving, and intelligence are so closely interrelated that it is often difficult to tell them apart. ... Whatever *intelligence* may be, *reasoning* and *problem solving* have traditionally been viewed as important subsets of it. Almost without regard to how *intelligence* has been defined, *reasoning* and *problem solving* have been part of the definition.«

Allerdings helfen Sternbergs Betrachtungen nicht bei einer Klärung der Zusammenhänge. Hier ist die wissenspsychologische Umformulierung des Zusammenhangproblems durch Süß (1996, S. 86) hilfreich. Nach seinen Vorstellungen ist das Erlernen des erfolgreichen Umgangs mit einem komplexen System am ehesten als »Fertigkeitserwerbsprozess« zu beschreiben. Das bedeutet: Ausgehend von dem Vorwissen, das die Instruktion aktiviert, werden Hypothesen über das System entwickelt und getestet, die zunehmend präziser werden. Dafür wird die Verarbeitungskapazität (also die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses) verantwortlich gemacht. Wird das Problem soweit durchdrungen, dass keine Barrieren mehr vorliegen, tritt nach fortgeschrittenem Wissenserwerb an die Stelle der Verarbeitungskapazität die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung als dann wichtigste Leistungsdeterminante. Dieses Phasenmodell bestimmt den Vorhersagewert von Testintelligenz also nach dem Zeitpunkt: in der anfänglichen Orientierungsphase mit instabilem Verhalten niedrig, später steigend – und zwar zunächst für die Komponente des Arbeitsgedächtnisses, später für die Komponente der Geschwindigkeit.

Die Vorstellung einer phasenabhängig wirksamen Intelligenzkomponente beim problemlösenden Denken von Süß entspricht einer Hypothese, die nach Leutner (2002) als »Raaheim-Hypothese“,4,0,2>Elshout-Raaheim-Hypothese« bezeichnet werden sollte, da sie erstmals von Elshout (1987) und Raaheim (1988) formuliert wurde. Danach ist der korrelative Zusammenhang zwischen Problemlösen und Intelligenz am besten durch eine invertiert U-förmige Beziehung zu beschreiben, d. h., bei mittlerem Vorwissen über das Problem kommt es zu einem maximalen Zusammenhang, während bei niedrigem Vorwissen (Anfangsphase einer Problembearbeitung) bzw. hohem Wissen (Endphase) die Korrelation sinken sollte.

Dass die differenzielle Wirkung der Testintelligenz auf das Problemlösen entsprechend der Elshout-Raaheim-Hypothese vom Zeitpunkt der Bearbeitung eines komplexen Problems abhängt, konnte Leutner (2002) in zwei Experimenten mit dem Szenario »Hunger in Nordafrika« (siehe hierzu auch Kapitel 6.5.2) demonstrieren. Im ersten Experiment wurde bei N = 200 Studierenden im *between-subjects*-Design das Vorwissen manipuliert. Das Korrelationsmuster zwischen Testintelligenz und Problemlöseerfolg entsprach fast vollständig den Vorhersagen. Am zweiten Experiment nahmen 28 junge Erwachsene teil. Sie hatten in einem *within-subjects*-Design das gleiche computersimulierte Problem zu 10 Zeitpunkten (jeweils 30 Minuten freie Exploration und 20 Minuten Test unter der Vorgabe, so gut wie möglich zu agieren) verteilt über vier Tage zu bearbeiten. Tatsächlich ergibt sich über die 10 Messungen hinweg zwar kein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang, aber innerhalb der jeweiligen Messungen an einem Tag sinkt die Korrelation zwischen Testintelligenz und Problemlöseerfolg ganz im Sinne der Hypothese von anfänglich 0.30 auf annähernd Null.

Der differenzielle Wert der Testintelligenz für die Vorhersage problemlösenden Denkens erweist sich damit als abhängig vom Wissen der Person, das sich über die Zeit hinweg verändern kann. Wenn kaum Vorwissen über ein komplexes Problem vorliegt (oder umgekehrt viel Wissen darüber verfügbar ist), taugt ein derartiges computersimuliertes Szenario nicht als Messersatz für Testintelligenz, wie es im Rahmen eignungsdiagnostischer Bestrebungen manchmal intendiert ist (z. B. Funke, 1993b, 1995c, 1995d). Dies untermauert die Kritik am vorschnellen Einsatz computersimulierter Szenarios in der Eignungsdiagnostik (Funke, 1995a, 1998; Kersting, 1999a, 2001; Kluwe, 1990). Zugleich weist dieses Argument auf das differenzielle Merkmal »Expertise«, dem sich der nächste Abschnitt widmet.

6.4.3 Expertise

Folgt man Sweller (1988, S. 258 f.), so hat sich die Expertiseforschung vor allem mit den Einflüssen des Gedächtnisses und der Problemlöse-Strategien im Vergleich von Novizen und Experten befasst. Zusätzlich zu diesen Vergleichsstudien liegen auch Befunde aus reinen Expertenstudien zum Problemlösen vor. Auf die drei genannten Bereiche wird nachfolgend eingegangen.

Gedächtnis

De Groot (1966) hat den Einfluss der Gedächtnisleistung auf das Problemlösen in einer Vergleichsstudie zwischen Schach-Novizen und Schach-Experten untersucht und dabei festgestellt, dass nicht die *Breite* (= zu einem Zeitpunkt viele Alterna-

tiven prüfen) oder *Tiefe* der Suche (= einen Zug mehrere Züge weit vorausplanen) die beiden Gruppen unterschied, sondern ihre Behaltensleistung für sinnvolle Schachpositionen. Der dabei beobachtete Expertenvorteil schwand jedoch, sobald Zufallsanordnungen der Schachfiguren zu behalten waren. Ganz ähnlich fanden Chase und Simon (1973) zwar keine Unterschiede in der Anzahl an Chunks, wohl aber hinsichtlich deren Größe: Von den Experten wurden wesentlich größere Chunks gebildet.

Problemlöse-Strategien

Die nordamerikanische Problemlöseforschung hat nach den Arbeiten zum Problemraum-Modell von Newell und Simon (1972) die Grundlagenforschung im Bereich des Problemlösens aufgegeben zugunsten einer Forschung, die das wissensintensive Problemlösen in bestimmten Realitätsbereichen (»Domänen«) untersucht. Diese Forschungsrichtung ist unter dem Begriff »Expertiseforschung« aufgetreten und hat insbesondere aus dem Vergleich von Novizen und Experten eines Bereichs interessante Erkenntnisse gewonnen (siehe Sternberg, 1995). Einen Überblick dazu gibt es in dem von Sternberg und Frensch (1991) herausgegebenen Reader, der detaillierte Studien aus so verschiedenen Expertise-Bereichen wie Lesen (Stanovich & Cunningham, 1991), Rechnen (Sokol & McCloskey, 1991), Schreiben (Bryson, Bereiter, Scardamalia & Joram, 1991), Spielen (Frensch & Sternberg, 1991), mechanischen Problemen (Hegarty, 1991), Computer-Interaktionen (Lesgold & Lajoie, 1991), politischen Entscheidungen (Voss et al., 1991), Management-Problemen (Wagner, 1991) oder juristischen Problemen (Amsel, Langer & Loutzenhiser, 1991) versammelt.

Kennzeichnend für Experten ist die Verwendung einer *Vorwärtsstrategie*, bei der auf umfangreiches Fall- und Hintergrundwissen zurückgegriffen und dieses Wissen auf das Problem angewendet wird. Novizen ohne entsprechende Wissensbasis verwenden eher eine *Rückwärtsstrategie*, die vor allem auf Mittel-Ziel-Analysen zurückgreift (vgl. Simon & Simon, 1978). Ein erfahrener Mediziner etwa geht von allen Patientendaten aus, die ihm zugänglich sind (z. B. äußeres Erscheinungsbild, subjektiv berichtete Beschwerden, Krankengeschichte, Laborbefunde, Röntgenbilder), und zieht daraus seine Schlüsse. Novizen nehmen dagegen einzelne, isolierte Symptome und schließen von dort aus rückwärts auf dahinter liegende Krankheitsprozesse.

Hinsley, Hayes und Simon (1977) fanden, dass kompetente Problemlöser kryptarithmetische Probleme mit hoher interindividueller Übereinstimmung klassifizieren konnten. Physikexperten klassifizierten in der Studie von Chi, Glaser und Rees (1982) physikalische Problemstellungen nach ihrer Lösungsmethode (z. B. »haben mit Energieerhaltung zu tun«), der Tiefenstruktur also, während Novizen sich eher an Oberflächenmerkmalen orientierten (»haben mit schiefer Ebene zu tun«).

Reine Expertenstudien

Lusk und Hammond (1991) haben in einer qualitativen Studie vier Wetter-Experten bei der Vorhersage von gefährlichen Sturmwinden (*microbursts*) untersucht. Die Experten erhielten geschichtete Radarscans potenzieller Sturmzellen, die sie durchsehen sollten, um anschließend eine Wahrscheinlichkeitsaussage über einen Sturm in den nächsten zehn Minuten zu machen. Für verschiedene Sturm-Cues

(spezifische meteorologische Parameter wie Drehung, Konvergenz, absteigender Kern etc.) sollte zu verschiedenen Darbietungszeitpunkten ein quantitatives Urteil abgegeben werden, sodass die Urteile der vier Experten im Verlauf der Zeit analysiert werden konnten. Als Ergebnis zeigt sich zum einen eine nur mäßige Übereinstimmung der Expertenurteile (zwischen 0.40 und 0.60), zum anderen, dass ein Updating der Informationen zu kaum höherer Genauigkeit führt, obwohl sich die Experten fälschlicherweise sicherer fühlen.

Lusk und Hammond ziehen daraus den Schluss, dass der weit verbreitete Glaube unter Experten, mit mehr Daten bessere Vorhersagen machen zu können, nicht durch ihre Ergebnisse gestützt wird. Außerdem problematisieren sie die geringe Übereinstimmung der Experten: Wenn in der Forschung zur Künstlichen Intelligenz – wie häufig praktiziert – nur ein Experte bei der Bildung von Expertensystemen herangezogen wird, kann dies erhebliche Probleme verursachen; würde ein anderer Experte zu Rate gezogen, würden andere Regeln implementiert, die zu anderen Vorhersagen kämen!

6.4.4 Generalisierte Selbstwirksamkeitserwartungen

Das Konstrukt der generalisierten Selbstwirksamkeitserwartung (Schwarzer, 1994), das auf die kognitiv-soziale Theorie von Bandura (1979) zurückgeht, stellt die subjektive Überzeugung einer Person dar, schwierige Anforderungen aufgrund eigenen Handelns bewältigen zu können. Die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit erscheint in zwei Facetten: Bei der Konsequenzerwartung (Handlungsergebnis-Erwartung, *outcome expectancy*) wird davon ausgegangen, dass es überhaupt Handlungen gibt, die bestimmte Ergebnisse bewirken (»Wenn ich den Hammer verwende, dann kann ich den Nagel einschlagen«); bei der Kompetenzerwartung (Selbstwirksamkeitserwartung, *self efficacy*) geht es um die für sich selbst angenommene Fähigkeit, eine Handlung zum Ziel zu bringen (»Ich bin mir sicher, mit dem Hammer den Nagel einschlagen zu können«). Dabei bestimmt der Grad der Selbstwirksamkeit das Ausmaß der Anstrengung und die Ausdauer bei der Problemlösung. Kompetenzerwartungen beeinflussen die Auswahl von Situationen, in die sich eine Person begibt. Sie lassen sich nach Größe (Niveau), Allgemeinheit (Globalität) und Stärke (Gewissheit) unterscheiden.

Die 1981 von Jerusalem und Schwarzer konstruierte Skala »Allgemeine Selbstwirksamkeitserwartung« bildet das Konstrukt auf einem Fragebogen mit 20 Items ab (für einen Überblick siehe Schwarzer, 1992), von denen eine 1999 entwickelte Kurzversion mit nur 10 Items die »Generalisierte Kompetenzerwartung« misst.

Allgemeine Selbstwirksamkeit nach Jerusalem und Schwarzer, revidierte Version 1999:

1. Wenn sich Widerstände auftun, finde ich Mittel und Wege, mich durchzusetzen.
2. Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.
3. Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.
4. In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.
5. Auch bei überraschenden Ereignissen glaube ich, dass ich gut mit ihnen

zurechtkommen kann.
6. Schwierigkeiten sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann.
7. Was auch immer passiert, ich werde schon klarkommen.
8. Für jedes Problem kann ich eine Lösung finden.
9. Wenn eine neue Sache auf mich zukommt, weiß ich, wie ich damit umgehen kann.
10. Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern.

Wie aus der Inspektion der Items zu erkennen ist, bezieht sich die Selbstwirksamkeitserwartung darauf, als wie gut jemand seinen Umgang mit (komplexen) Problemen einschätzt. Für die Diagnostik von Problemlösefähigkeiten bietet sich hier also ein subjektiver Indikator an. Eine derartige Selbsteinschätzung zu Kontrollüberzeugungen beim Problemlösen liefert auch der IPC-PL von Krampen (1986).

6.4.5 Testpsychologische Diagnostik des Problemlösens

Zum Zwecke der testpsychologischen Diagnostik des Problemlösens in komplexen Umgebungen sind eine Vielzahl von computersimulierten Szenarios produziert worden, von denen die meisten nie auf die Werkbank der Forschung gelegt wurden und die daher hinsichtlich ihrer eignungsdiagnostischen Verwendbarkeit einen ungeprüften Status einnehmen. Dies ist schon früh kritisiert worden (Funke, 1998; Kluwe, 1990; Müller & Funke, 1995), hat aber keine Wirkung gezeigt. Überblicke wie die von U. Funke (1993b), Hasselmann (1993), Strauß und Kleinmann (1995) oder jüngst Wagener (2001a) zeigen den Bedarf und den aktuellen Stand nur unzureichend, da Personalentwickler und Unternehmensberater meist ihr eigenes Szenario im Angebot haben.

Nachfolgend werden vier unterschiedliche Ansätze zur testpsychologischen Diagnostik des problemlösenden Denkens vorgestellt, von denen der letzte völlig auf den Rechnereinsatz verzichtet. Die übrigen drei dagegen benutzen computersimulierte Szenarios, um Aussagen über die Problemlösefähigkeit beim Umgang mit komplexen Anforderungen in dynamischen Situationen zu machen.

»Team Performance Assessment Technology« (TPAT) von Swezey et al.

Mit der »Team Performance Assessment Technology« (TPAT) von Swezey et al. (2000) liegt eine Computersimulation vor, mit der sowohl Einzel- als auch Teamleistungen in einer komplexen Umgebung erfasst werden sollen. Die Autoren beschreiben eine Software, die aus vier Modulen besteht (*scenario builder*, *session supervisor*, *session participant*, *session analysis*) und eine Weiterentwicklung der »Strategic Management Simulations« (SMS) (Streufert, Nogami, Swezey, Pogash & Piasecki, 1988; Streufert, Pogash & Piasecki, 1988) zu sein scheint. Mit diesen Teilen wird ein Geiselrettungsszenario namens Hexi in einem hypothetischen Dritte-Welt-Land realisiert, an dem insgesamt 9 Personen in verschiedenen Funktionen teilnehmen müssen (stehen weniger Personen zur Verfügung, werden die Aufgaben der fehlenden Personen vom Rechner simuliert). Neben selbst getroffenen Entscheidungen und deren Konsequenzen müssen die Problemlöser auch mit vorgegebenen standardisierten Ereignissen umgehen, durch die

Vergleichbarkeit hergestellt werden soll. Die Auswertung basiert auf der Grundlage von Zeit-Ereignis-Matrizen, mit denen die gesamten Entscheidungen visualisiert werden können.

Bedauerlicherweise geben die Autoren keinerlei Hinweise zu testtheoretischen Kennwerten ihres Verfahrens, so wie auch insgesamt die Beschreibung des Systems und die Darstellung von Ergebnissen aus dessen Einsätzen karg ausfallen.

Intelligenzdiagnostik per Computersimulation: MULTIFLUX von Kröner

Mit dem expliziten Ziel einer simulationsbasierten Intelligenzdiagnostik hat Kröner (2001) das System MULTIFLUX entwickelt, bei dem die Attraktivität von Computersimulationen mit der diagnostischen Qualität herkömmlicher Intelligenztests verbunden werden sollte. Grundlegend sind die Kontrolle des Vorwissens und die Trennung der Systembearbeitung in Explorations- und Steuerungsphasen. Kröner verwendet ein Szenario auf der Basis linearer Strukturgleichungen (vgl. Kapitel 5.2.1), in dem analog zum Vorgehen von Müller (1993) ein abstraktes Maschinenmodell zugrunde gelegt wird. Bei dieser fiktiven Maschine wirken vier Regler auf vier Instrumente. Versuchspersonen haben 45 Minuten Zeit, das Szenario zu explorieren und zu steuern. Eine Display-Variante dieses Szenarios zeigt Abbildung 48.

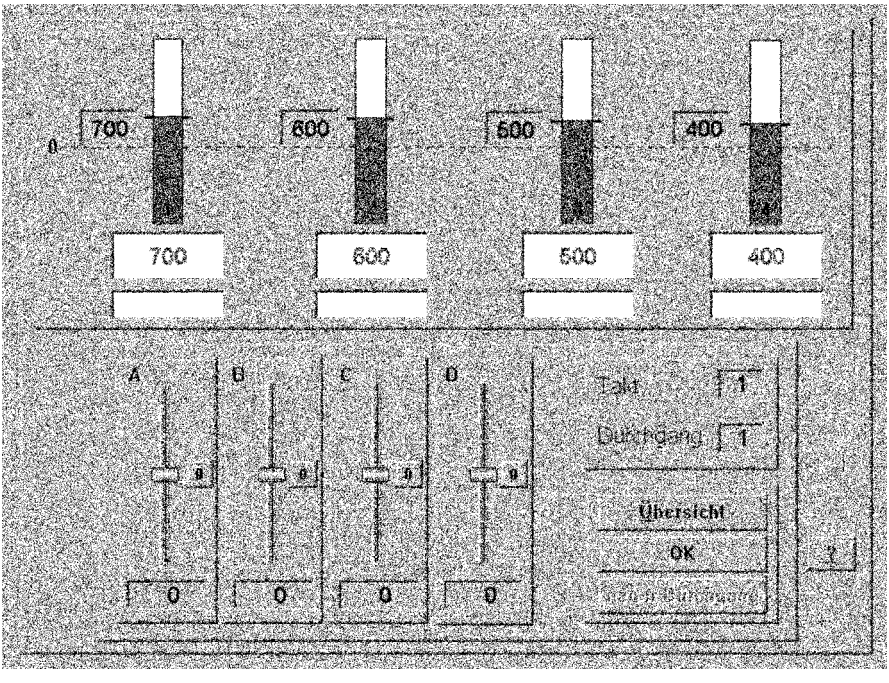


Abbildung 48 Display-Variante des von Kröner (2001) entwickelten Szenarios MULTIFLUX. Im oberen Teil sieht man vier Instrumente, die mit den vier Reglern im unteren Teil gesteuert werden können.

In insgesamt drei Studien konnte Kröner bei 28 Studierenden, 96 Gymnasiasten der Sekundarstufe 2 sowie 101 Schülern der Jahrgangsstufen 10–12 neben MULTIFLUX-Kennwerten auch Intelligenz (gemessen mit dem BIS, siehe Box 9) und Vorwissen (= Wissenserwerb in der Explorationsphase) erheben. Zusammenfassend zeigt sich, dass geschickt explorierende Versuchspersonen mehr Systemwissen erwerben und dadurch MULTIFLUX besser steuern. Testintelligenz in Form von APM wie auch BIS-K wirkt sich positiv auf Explorationsstrategie, Wissenserwerb und Steuerungsleistung aus. Die interne Konsistenz der MULTIFLUX-Testscores erweist sich mit $0.82 < \alpha < 0.93$ als akzeptabel, auch die Retest-Reliabilität liegt mit $r = 0.60$ bis 0.65 in akzeptablem Rahmen. Nach Kröners Meinung steht MULTIFLUX somit als diagnostische Alternative zu herkömmlichen Intelligenztests zur Verfügung.

Diagnostik operativer Intelligenz mit FSYS von Wagener

Aus ähnlichen Motiven wie Kröner hat Wagener (2001b; Wagener & Conrad, 1997; Wagener & Wittmann, 2002) ein Szenario FSYS entwickelt, mit dem eine psychometrisch fundierte Diagnostik der operativen Intelligenz sensu Dörner (1986) möglich gemacht werden sollte. Abbildung 49 zeigt einen Screenshot des Systems.

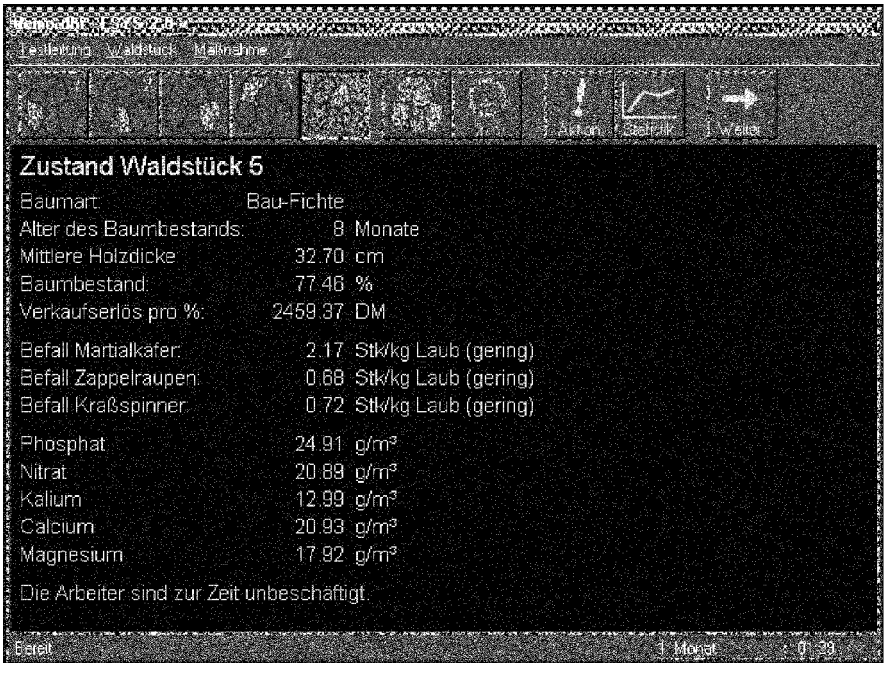


Abbildung 49 Screenshot des Szenarios FSYS von Wagener (2001b).

Aufgabe des Teilnehmers bei FSYS ist die erfolgreiche Führung eines simulierten forstwirtschaftlichen Betriebs. In den fünf Waldstücken kann der Teilnehmer Bäume pflanzen, aufziehen und abholzen. Dabei muss er sich gegen Schädlinge

wehren und auf die Qualität des Bodens achten. Nach Bearbeitung einer Einführung, die ca. 20 Minuten dauert, beginnt der eigentliche Test. Dazu stehen maximal 90 Minuten zur Verfügung.

Vorwissenseffekte werden durch Verlagerung in eine hypothetische Zukunft vermieden. Um bei dem Test erfolgreich zu sein, muss sich der Teilnehmer zunächst in der für ihn neuen Umwelt orientieren. Anschließend sind die richtigen Maßnahmen zu treffen, deren Resultate regelmäßig kontrolliert werden müssen. Daraus wiederum kann sich neuer Handlungsbedarf ergeben.

Neben den Angaben über das erfolgreiche Erreichen des vorgegebenen Ziels (Maximierung des Gesamtvermögens des Unternehmens) liefert FSYS noch Auskunft über Verhaltensstile bei der Problemlösung. Dazu gehören unter anderem Strategie und Umfang der Informationsbeschaffung sowie die Qualität der Entscheidungen. Dadurch kann das Problemlöseverhalten jedes Teilnehmers auf über 10 Skalen detailliert beschrieben werden. Die Messwerte können wahlweise kriterienorientiert oder in Bezug zu einer wählbaren Normierungsstichprobe angegeben werden.

Die Paralleltest-Reliabilität wurde mithilfe der Parallelversion FSYS-Farm (zeitlicher Abstand ca. ein Monat) ermittelt. Sie liegt für das Gesamtergebnis (Parameter SKAP) bei r = 0.81 (N = 21). Die Detailskalen sind erwartungsgemäß weniger reliabel (Werte im Bereich von 0.50 bis 0.70).

Zur Validitätsprüfung wurde die Szenarioleistung mit Testintelligenz in Beziehung gesetzt. Eine Stichprobe von N = 49 Personen bearbeitete neben FSYS den BIS-4. Es ergaben sich erwartungskonform mittelstarke Korrelationen zwischen allgemeiner Verarbeitungskapazität (K), nummerischer Verarbeitungskapazität (KN) sowie Geschwindigkeit (B) einerseits und FSYS-Leistungen andererseits: Das Gesamtergebnis im Planspiel (SKAPKOR) korreliert mit BIS-K zu r = 0.33 und mit BIS-KN zu r = 0.40. Die Maßnahmenqualität wird ebenfalls wesentlich durch BIS-K und teilweise auch BIS-B beeinflusst: Fehlervermeidung korreliert mit KN zu r = 0.44, Prioritätensetzung mit KN zu r = 0.43. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit B im BIS-4 beeinflusst das Endergebnis (SKAPKOR) nicht.

In der Gesamtbewertung zeigt sich damit ein Messinstrument, das theoriegeleitet konstruiert wurde und in Hinblick auf Reliabilität wie Validität erste brauchbare Kennwerte vorlegen kann. Weitere Validitätsdaten wären allerdings wünschenswert.

Ansatz des Problemkonstruierens von Nährer

Einen interessanten Weg zur Problemlöse-Diagnostik hat Nährer (1988) vorgeschlagen: Anstatt Versuchspersonen Problemstellungen zur Lösung vorzulegen, hat er seine Probanden aufgefordert, unterschiedlich schwierige Problemstellungen zu entwerfen. Ausgangspunkt seiner Überlegung ist die Tatsache, dass man analog zur Fähigkeit des Problemlösens auch von einer *Fähigkeit zum Problemkonstruieren* sprechen kann. Nährer ist der Ansicht, dass beim Konstruieren die untere Schwelle des vorhandenen Wissens erfasst werden könne – untere Schwelle deshalb, weil beim Lösen möglicherweise zusätzliches Wissen zum Einsatz kommen kann, das der Problemlöser nicht vollständig beherrscht und deshalb nicht zum Konstruieren nutzen kann.

In seiner Untersuchung ließ Nährer 90 Versuchspersonen zunächst vier unterschiedlich schwierige »Drehrichtungsitems« konstruieren, bei denen Räder auf

Achsen durch Keilriemen bzw. Zahnräder untereinander verbunden waren. Vorherzusagen war die Drehrichtung eines bestimmten Elements der Konstruktion, wenn ein anderes Element in eine definierte Richtung gedreht wurde. Abbildung 50 zeigt ein Exemplar einer derartigen Konstruktion.

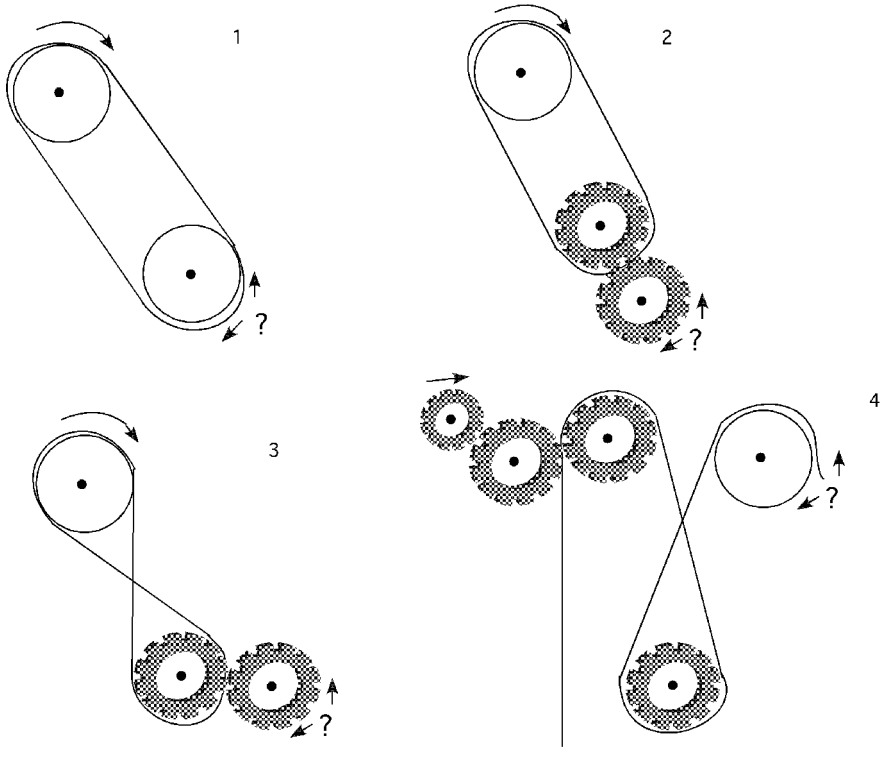


Abbildung 50 Von 1. nach 4. ansteigender Schwierigkeitsgrad einer Konstruktion von Drehrichtungsitems (die gezeigte Konstruktion stammt von Vp 58 aus Nährer, 1988, S. 445).

Für die Konstruktion der vier Items (ein sehr leichtes, ein leichtes, ein schwieriges und ein sehr schwieriges) hatten die Testpersonen zehn Minuten Zeit. Danach sollten sie selbst neun Drehrichtungsitems lösen, die aus drei bis sieben Rädern bestanden.

Während die Lösungsleistung einfach als Anzahl richtiger Lösungen bei den neun Aufgaben definiert war, musste die Konstruktionsleistung etwas aufwändiger bestimmt werden. Mit dem Indikator MAX wurde die Anzahl der Verbindungen bei der schwierigsten der vier Konstruktionen bestimmt, mit GES die Gesamtzahl aller Verbindungen in allen vier Items, mit DIF die Differenz der Verbindungszahl zwischen schwierigstem und leichtestem Item. Alle drei Konstruktionsmaße korrelieren in ähnlicher Höhe zwischen 0.51 und 0.54 mit der Lösungsleistung.

Der von Nährer (1988) beschriebene Weg stellt auch vor diesem empirischen Hintergrund einen diagnostischen Zugang dar, den man weiter elaborieren könnte.

Das Problem der Bewertung bzw. Klassifikation könnte man – wie Nährer andeutet – einem Expertensystem übergeben, das die den Konstruktionen zugrunde liegenden Regeln zu rekonstruieren erlaubt. Damit wäre dieser Zugang allerdings nicht mehr als Problemlöse-, sondern als Wissensdiagnostik zu bezeichnen.

6.4.6 Zusammenfassung

Die differenzialpsychologische Perspektive weist darauf hin, dass nicht nur Probleme unterschiedliche Eigenschaften aufweisen können, sondern auch die Problemlösenden selbst keinesfalls als homogen anzusehen sind. Objektive Merkmale wie Expertise und Intelligenz, aber auch subjektive Größen wie Selbstwirksamkeitserwartungen erweisen sich als bedeutsame Differenzierungsmerkmale. Dass die Eignungsdiagnostik sich gerade bei der Verwendung computersimulierter Szenarios nicht nur Gedanken über Gütekriterien machen muss, sondern auch entsprechende Kennwerte zu dokumentieren hat, ist unübersehbar.

Weiterführende Literatur

Schaub (2001) beschreibt einen Ansatz, wonach Persönlichkeit als Parameter eines informationsverarbeitenden Modells gesehen werden kann. Zur Rolle der Testintelligenz siehe vertiefend Süß (1996). Vogt (1998, S.33–57) gibt eine Übersicht über Persönlichkeitsmerkmale als Determinanten komplexen Problemlösens. Zur Diagnostik mit computersimulierten Szenarien siehe für Beispiele den Reader von Strauß und Kleinmann (1995), für kritische Bewertungen Kersting (1999b). Spezielle Verfahren zur Diagnostik von Planungsprozessen beschreibt der Reader von Funke und Fritz (1995).

6.5 Pädagogisch-psychologische Befunde: Unterrichtung und Training von Denken und Problemlösen

Die Frage danach, ob man Denken »lernen« kann, ist nur zu verständlich bei dem hohen Stellenwert, den kognitive Fähigkeiten in unserer Kultur einnehmen. Auf der anderen Seite ist diese Frage insofern merkwürdig, als ja jeder Mensch von Geburt an lernfähig ist und sein Gehirn zum problemlösenden Denken nutzen muss. Dennoch bewegt die Frage nach der effizienten Schulung von problemlösendem Denken nicht erst seit der PISA-Studie die Gemüter (vgl. Symonds, 1936). Die Institution Schule ist sicher diejenige Instanz, in der nicht nur Wissen vermittelt wird, sondern auch (kritisches) Denken eingeübt werden kann.

6.5.1 Erfolge und Misserfolge von Problemlöse-Trainings

Bereits bei Dörner (1976) werden verschiedene Arten von Problemlöse-Trainings unterschieden: a) *Übungstraining*, das allein durch die wiederholte Bearbeitung des gleichen Problems zu einer Verbesserung führen soll; b) das *taktische Training*, mit

dem Teilfertigkeiten erworben werden sollen; c) das *strategische Training*, durch das der Gesamtablauf des Denkens positiv gefördert werden soll; und d) die induzierte *Selbstreflexion* als Technik, mit der das Nachdenken über das eigene Denken eine Verbesserung bewirken soll (im Sinne der Verbesserung metakognitiver Fähigkeiten).

Bereits die frühe LOHHAUSEN-Studie von Dörner et al. (1983, S. 122 f.) ist als Trainingsstudie angelegt gewesen, in der drei verschiedene Gruppen gebildet wurden: a) ein Übungstraining als Kontrollgruppe, bei dem man Kreativitätsaufgaben ohne weitere Hilfe bearbeiten sollte, b) ein Globaltraining, bei dem auf häufig gemachte Fehler beim Umgang mit vernetzten Systemen und auf ein adäquates strategisches Vorgehen aufmerksam gemacht wurde; sowie c) ein kombiniertes Training, bei dem neben solchen strategischen Hinweisen zusätzliche taktische Hilfen in Form konkreter Handlungsanweisungen gegeben wurden. Die Ergebnisse ihrer Trainings fassen Dörner et al. (1983, S. 287, im Original kursiv) in einem Satz zusammen: »Für einen Effekt der Trainingsform fehlt jegliche Andeutung.« Lediglich auf subjektiver Ebene bestand bei den Versuchspersonen das Gefühl, durch das Training wertvolle Begriffe gelernt zu haben – allerdings machte sich dieser Gewinn nicht an objektivierbaren Indikatoren fest.

Trainingsarten

Welche Arten von Training mithilfe von computersimulierten Szenarios sind zu unterscheiden? Dörner und Schaub (1992) differenzieren zwischen a) der Vermittlung taktischer Fähigkeiten, b) der Vermittlung von Wissen und Verständnis sowie c) der Vermittlung strategischen Handelns.

a) Vermittlung taktischer Fähigkeiten. Hier geht es darum, sich möglichst konkret mit späteren Anforderungen auseinander zu setzen und für bestimmte Situationen Routinehandlungen einzuüben. Typisches Beispiel hierfür sind Flugzeug-Simulatoren, an denen Piloten trainiert und auf Fehlersituationen vorbereitet werden (Gray, 2002). Gerade in Zeiten zunehmender Automatisierung spielt dieses Üben kritischer Situationen eine immer größere Rolle (Bainbridge, 1987). Wichtige Voraussetzung für den Erfolg solchen Taktik-Trainings ist die Übereinstimmung zwischen Simulator und Wirklichkeit (Hayes & Singer, 1989). Je mehr allerdings Sensorik und Motorik an Stellenwert gewinnen, desto stärker ist man auf Training in der Realität angewiesen (siehe Raab, 2001, zu Taktik-Trainings im Sport).

b) Vermittlung von Wissen und Verständnis. Während es beim gerade beschriebenen Bereich um den Erwerb konkreter Handlungsschritte ging, steht in diesem Bereich die Wissensaneignung durch Tun (»Learning by Doing«, Anzai & Simon, 1979; Kluwe, Misiak & Haider, 1990; Schank, Berman & Macpherson, 1999) im Vordergrund. Dabei geht es nicht um die passive Rezeption von Faktenwissen, sondern um den Erwerb von Verständnis über dynamische Zusammenhänge (etwa über das Wechselspiel in einem Räuber-Beute-System oder über die Ausbreitung von AIDS). Das weiter oben (vgl. Kapitel 5.6.2) beschriebene Experiment von Kluge (2003) wäre ebenfalls dieser Kategorie zuzurechnen. Auch die verschiedenen computergestützten Instrumente zur Modellbildung wie z. B. GAMMA (Hub, 1994), HERAKLIT (Lindig, o.J.)

oder STELLA (Richmond, 2001) können nach Senge und Sterman (1992) helfen, Eigenschaften dynamischer Systeme zu vermitteln.

c) *Vermittlung strategischen Handelns*. Der letzte Bereich ist der schwierigste, da hier Regeln für etwas gesucht werden, das kaum regelhaft abläuft (z. B. politische und militärische, partiell auch wirtschaftliche Ereignisse) und wo winzige Unterschiede zu massiv unterschiedlichen Vorgehensweisen führen. Gerade hier können simulierte Szenarios natürlich einen Erfahrungsreichtum erzeugen, den man im realen Leben nie wird erreichen können. Besonders für diesen Bereich erweist sich der Szenario-Ansatz also als äußerst brauchbare Erfahrungsquelle.

Die Bedeutung von Strategiespielen betont auch Vester (2002, S. 341), der eine Art »Edutainment« betreiben möchte und neben dem Intellekt auch »Sensitivität, Emotion, Mustererkennung, Sinn für Analogien, kurz die gesamten Aktivitäten, die man der rechten Hirnhälfte zuschreibt« ansprechen will.

Transferstudien

Eine mögliche Erkenntnisquelle über Trainings bildet die Transfer-Forschung, bei der es um die Frage geht, ob die Bearbeitung eines Systems irgendwelche Auswirkungen auf die Bearbeitung eines anderen Systems hat. Leider ist die Befundlage in diesem Forschungsbereich äußerst widersprüchlich: Während Bakken, Gould und Kim (1992) von einem zweiseitigen Transfer zwischen zwei Szenarios berichten, zeigen andere Studien nur einseitigen (Putz-Osterloh, 1991; Putz-Osterloh & Lemme, 1987) oder gar ausbleibenden Transfer (Putz-Osterloh & Haupts, 1990). Hierfür könnten unterschiedlich akzentuierte Ziele der Problemlöser (Wissenserwerb vs. Steuerungstätigkeit) verantwortlich sein (Putz-Osterloh, 1993a). Wird vorab mit Teilsystemen (= gestuftes Training) gearbeitet, erweist sich dies als vorteilhaft für Wissenserwerb und Steuerungsleistung des gesamten Systems (vgl. Broadbent et al., 1986).

Bewertung

Dass die Wirkung eines Problemlösetrainings von bescheidener Wirkung sei, hat Newell (1980, S. 184) in einem Abschnitt mit der Überschrift »Can general problem solving be taught?« nachdrücklich festgehalten: »The modern (i.e., experimental psychology) position is that learned problem-solving skills are, in general, idiosyncratic to the task.« Die nahe liegende Konsequenz aus dieser Situation ist daher: Nicht *eine* Aufgabe, sondern eine ganze Batterie davon muss her.

> »Es wäre wahrscheinlich vernünftig, eine Batterie sehr verschiedenartiger Szenarios mit sehr verschiedenartigen Anforderungen zusammenzustellen, und die zu trainierenden Personen einer solchen ›Anforderungssymphonie‹ verschiedener Systeme auszusetzen. Man sollte aber zugleich ihr Handeln und ihr Planen in solchen Situationen beobachten lassen durch Spezialisten, die in der Lage sind, die jeweiligen Denkfehler zu orten und ihre Determinanten auszumachen.« (Dörner, 1989b, S. 305.)

Über Studien mit einer derartigen Anforderungssymphonie ist allerdings bis heute kaum etwas bekannt geworden. Lediglich Kriz (2000, S. 272 f.) berichtet über eine »Pilotstudie« mit 123 Teilnehmenden, von denen 24 einige Monate vorher an einem 30-stündigen Trainingsprogramm für Systemkompetenz teilgenommen hatten und bei einer nicht näher beschriebenen Computersimulation namens Sysko im

Vergleich besser abschnitten als Untrainierte. Ob bei dem Training allerdings eine Anforderungssymphonie im Dörnerschen Sinne realisiert wurde, darf bezweifelt werden.

Bei allen hoffnungsfrohen Erwartungen hinsichtlich des Einsatzes computersimulierter Szenarios zu Trainingszwecken soll die Warnung von Brehmer, Leplat und Rasmussen (1991, S. 385) nicht verschwiegen werden:

> »If the underlying laws in the simulation do not agree with the corresponding laws in the system being simulated, the experiment is transformed from an experiment on decision making into one on the learning of arbitrary and counter-intuitive relationships.«

Dies bedeutet: Wird bei der Konstruktion von Szenarien gegen das Weltwissen von Versuchspersonen verstoßen, geht es nicht mehr um Entscheiden und Problemlösen unter alltäglichen Bedingungen, sondern um Lernen. Ob man allerdings diese Grenze so scharf ziehen kann, scheint mir zweifelhaft angesichts der Unschärfe der fraglichen »Gesetze«, die ja in den meisten Fällen nicht physikalischer Natur sind.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass trotz allgemeiner Wertschätzung von Trainings mit computersimulierten Szenarios der empirische Nachweis über deren Wirksamkeit gering ausfällt. Selbst zu den Trainingseinsätzen im Rahmen betrieblicher Weiterbildung werden keine empirischen Erfolgsnachweise vorgelegt, sondern deren Wirksamkeit wird präsupponiert (siehe z. B. die Erfahrungsberichte in Strauß & Kleinmann, 1995). Hier sind weitere Forschungsarbeiten unbedingt gefordert.

6.5.2 Problemlösen als Schlüsselqualifikation in Schulleistungsstudien

In der von der OECD durchgeführten Studie »Program in International Student Assessment« (PISA-Studie) geht es nicht nur um die curricularen Leistungen von Schülern eines definierten Altersbereichs, sondern neuerdings auch um fächerübergreifende Kompetenzen wie Problemlösefähigkeit (vgl. Baumert, Klieme & Stanat, 1999). Die Konzeption einer fächer*übergreifenden* Kompetenz zwingt natürlich dazu, eine Abgrenzung zu den fach*gebundenen* Leistungen und kognitiven Grundfähigkeiten vorzunehmen und zugleich auch die Frage zu beantworten, in welcher Weise schulische Kontexte derartige Kompetenzen fördern. Klieme et al. (2001) haben jüngst einen Vorschlag vorgelegt, wie Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz gefasst werden kann. Zugleich haben sie erste empirische Befunde zu ihrem Konstrukt vorlegen können. Auf beide Aspekte soll nachfolgend eingegangen werden.

Die Konzeption fächerübergreifender Kompetenzen

Einer Analyse Weinerts (1999) folgend lassen sich mindestens fünf verschiedene Kompetenzkonzepte unterscheiden: 1. Kompetenzen als allgemeine intellektuelle Fähigkeiten im Sinne von Dispositionen, die eine Person befähigen, in sehr unterschiedlichen Situationen anspruchsvolle Aufgaben zu meistern; 2. Kompetenzen als funktional bestimmte, auf bestimmte Klassen von Situationen und Anforderungen bezogene kognitive Leistungsdispositionen, die sich psychologisch als

Kenntnisse, Fertigkeiten, Strategien, Routinen oder auch bereichsspezifische Fähigkeiten beschreiben lassen; 3. Kompetenz im Sinne motivationaler Orientierungen, die Voraussetzungen sind für die Bewältigung anspruchsvoller Aufgaben; 4. Handlungskompetenz als Begriff, der die ersten drei genannten Kompetenzkonzepte umschließt und sich jeweils auf die Anforderungen und Aufgaben eines bestimmten Handlungsfeldes, z. B. eines Berufes, bezieht; 5. Meta-Kompetenzen als Wissen, Strategien oder auch Motivationen, die Erwerb und Anwendung von Kompetenzen in verschiedenen Inhaltsbereichen erleichtern.

In der Arbeit von Klieme et al. (2001) wird auf den zweiten Aspekt – funktional bestimmte kognitive Leistungsdispositionen – zurückgegriffen, der von Weinert für die Verwendung im Rahmen internationaler Schulleistungsvergleiche explizit empfohlen wird. Als Arbeitsdefinition wird folgendes Kompetenzkonzept zugrunde gelegt: »Kompetenzen sind Systeme aus spezifischen, prinzipiell erlernbaren Fertigkeiten, Kenntnissen und metakognitivem Wissen, die es erlauben, eine Klasse von Anforderungen in bestimmten Alltags-, Schul- oder Arbeitsumgebungen zu bewältigen« (2001, S. 182). Mit diesem Verständnis von fächerübergreifenden Kompetenzen (Weinert nennt sie auch »Schlüsselkompetenzen«) sind vier verschiedene Merkmale verbunden: 1. die funktionale Definition von Kompetenzen, mit der festgelegt wird, dass die Bewältigung bestimmter Anforderungen Indikator dieser Kompetenz ist; 2. der Kompetenzbegriff wird vorrangig auf kognitive Fähigkeiten bezogen, motivationale Orientierungen werden separat erfasst; 3. die Bereichsspezifität der Kompetenz, die sich auf einen definierten Bereich von Kontexten und Situationen bezieht; 4. die Annahme von Kompetenzen im Sinne von Dispositionen und damit von zumindest begrenzt verallgemeinerbaren Fertigkeiten und Kenntnissen. Kompetenz geht demzufolge über die Feststellung konkreter Leistungen (Performanz) hinaus.

Die von Klieme et al. konzipierten Untersuchungen gehen weiterhin von folgendem Verständnis des Problemlösens aus:

> »Problemlösen ist zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine routinierten Vorgehensweisen verfügbar sind. Der Problemlöser hat ein mehr oder weniger gut definiertes Ziel, weiss aber nicht unmittelbar, wie es zu erreichen ist. Die Inkongruenz von Zielen und verfügbaren Mitteln ist konstitutiv für ein Problem. Das Verstehen der Problemsituation und deren schrittweise Veränderung, gestützt auf planendes und schlussfolgerndes Denken, sind konstitutiv für den Prozess des Problemlösens (vgl. Mayer & Wittrock, 1996)« (Klieme et al., 2001).

Problemlösen ist nach diesem Verständnis klar auf die kognitiv-analytische Seite bezogen und passt nicht zu Alltagsvorstellungen, die darunter etwa auch die Klärung emotionaler oder sozialer Konflikte verstehen.

Messinstrumente

Im nationalen PISA-Feldtest 1999 kamen insgesamt drei computergestützte und drei schriftliche Problemlöseverfahren zum Einsatz, deren Bearbeitung jeweils etwa 45 Minuten dauerte. Diese sechs Verfahren waren im Einzelnen:

Test 1: Virtuelles Labor (Autoren: Reimann und Schmitt). In diesem Labor soll die Testperson bestimmte Gesetzmäßigkeiten aus einer Serie simulierter Experimente qua Induktion erschließen. Es können jeweils experimentelle Bedingungen bestimmt werden, für die dann die Ergebnisse des virtuellen Experiments in einem Videoclip vorgeführt werden. Auf der Basis einer Serie von informativ angelegten

Experimenten kann die Testperson Hypothesen formulieren, diese im nachfolgenden Experiment prüfen und als richtig oder falsch bewerten. Erfasst wird hierbei, ob die zentralen Hypothesen über den Gegenstandsbereich gebildet werden und wie systematisch die Testperson vorgeht.

Test 2: Ökologisches Planspiel (Autor: Schrettenbrunner; Adaptation: Leutner). Im Szenario HUNGER IN NORDAFRIKA wird die Situation eines kleinen Agrarbetriebes simuliert (Abbildung 51), der von Fachexperten als realitätsadäquat bewertet wurde. Erfasst wird, wie effizient die Testperson das System exploriert, welches Wissen sie erwirbt und wie gut sie in einem abschließenden Testdurchgang den Agrarbetrieb bewirtschaften kann.

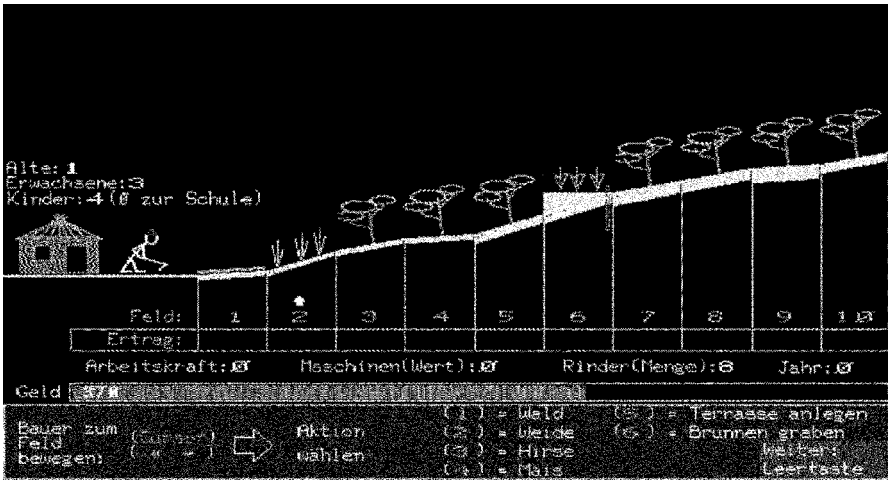


Abbildung 51 Screenshot des Szenarios HUNGER IN NORDAFRIKA von Leutner und Schrettenbrunner (1989).

Test 3: Raumfahrtspiel (Autoren: Funke und Wagener). Vor dem Hintergrund der Theorie finiter Automaten (vgl. Kapitel 5.2.2) wurde ein Szenario RAUMFAHRT entwickelt, bei dem eine Reihe von Zuständen einer fiktiven Rakete durch bestimmte Eingriffe (das Betätigen von »Schaltern«) manipuliert werden können (Abbildung 52). Erfasst wird, wie effizient die Testperson das System exploriert, welches Wissen sie dabei erwirbt und mit welchem Erfolg sie abschließende Steuerungsaufgaben bewältigt.

Test 4: Projektaufgaben (Autoren: Klieme, Ebach et al.). Hierbei handelt es sich um eine besondere Form »handlungsorientierter Diagnostik«, bei der ein sog. Projekt (z. B. Organisation eines Klassenfestes) in mehrere Arbeitsschritte aufgegliedert wird (Ziele klären; Informationen beschaffen; planen; entscheiden und ausführen; bewerten), zu denen dann jeweils einzelne Aufgaben gestellt werden. Der Test misst im Wesentlichen die Fähigkeit, Informationen zu erfassen, zu ordnen und zu kombinieren, sie aus unterschiedlichen Perspektiven zu bewerten und unter Berücksichtigung multipler Zielsetzungen entsprechende Entscheidungen abzuleiten.

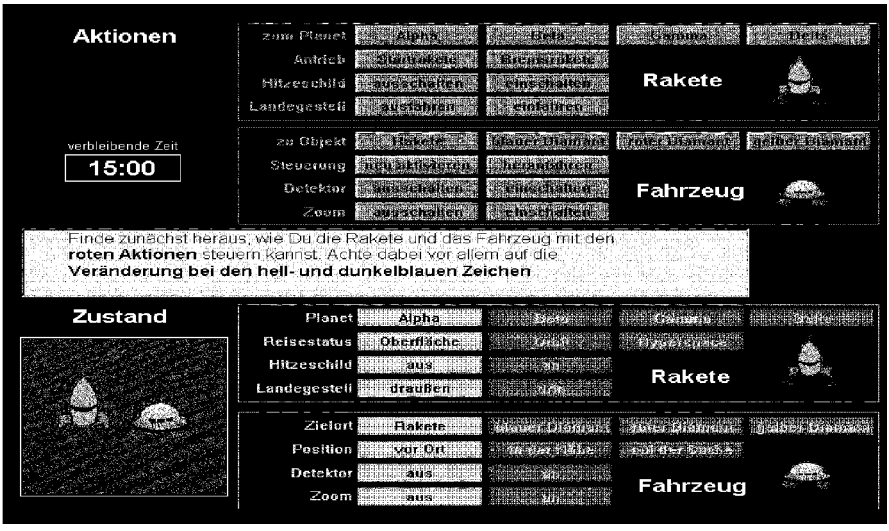


Abbildung 52 Screenshot des Szenarios RAUMFAHRT von Funke und Wagener (1999).

Test 5: Technisches Problemlösen (Autoren: O'Neil, Baker et al.; Adaptation: Klieme und Wirth). Bei diesem in den USA entwickelten Testverfahren wird der Testperson die Skizze eines einfachen technischen Gerätes (z. B. einer Luftpumpe) vorgelegt. Es muss ein mentales Modell auf Seiten der Testperson erstellt werden, in dem die Funktionsweise des Gerätes abgebildet wird, um auf dieser Basis Schlussfolgerungen über mögliche Fehler in dem Gerät ziehen zu können.

Test 6: Analoges Problemlösen (Autoren: Wirth und Klieme). Hierbei werden mehrschrittige Planungs- und Ordnungsaufgaben gestellt, die jeweils in eine Alltagsgeschichte eingebunden sind. Zu jeder Aufgabe wird eine analoge Bezugsaufgabe mit fertiger Lösung vorgegeben. Die Testperson muss dann die Beziehungen zwischen der ersten Aufgabe und der analogen Bezugsaufgabe erkennen und den an der Analogaufgabe demonstrierten Lösungsweg auf die Erstaufgabe übertragen. Erfasst wird die Qualität des analogen Transfers beim Problemlösen.

Alle hier aufgeführten sechs Problemlöseverfahren wurden im Rahmen des PISA-Feldtests bundesweit im Sommer 1999 an allen Schulformen der Sekundarstufe I durchgeführt. Einbezogen waren in das aufwändige Konstruktvalidierungsdesign insgesamt 650 Schülerinnen und Schüler aus 18 Schulen in 4 Bundesländern (pro Schule N = 35 aus der Zielgruppe der 15-jährigen Schüler). Diese Daten wurden allesamt im Rahmen eines ausbalancierten Designs am dritten Testtag erhoben; die ersten beiden Testtage dienten der Erfassung der international festgelegten Aufgaben zum Leseverständnis, zur Mathematik, zu den Naturwissenschaften sowie zur Erfassung eines Begleitbogens. Außerdem wurden nationale Ergänzungsaufgaben und Fragebögen hinzugefügt. Die Durchführung der Datenerhebung, das Zusammenführen der Daten aller Einzelverfahren und die anschließende Analyse der Daten wurden am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin abgewickelt.

Ergebnisse

Zunächst wurden Schwierigkeiten und Zuverlässigkeiten der Messinstrumente geprüft. Diese Kennwerte zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8 Schwierigkeit und Reliabilität der sechs bei PISA eingesetzten Problemlöseverfahren.

Verfahren	Schwierigkeit	Reliabilität
Virtuelles Labor (Wissen)	0.50	0.78
Hunger in Nordafrika (Wissen)	0.62	0.63
Raumfahrt (Wissen)	0.53	0.82
Projektaufgaben	0.68	0.74
Technisches Problemlösen	0.36	0.63
Analoges Problemlösen	0.33	0.79

Die gewünschten Zielwerte (Schwierigkeiten im mittleren Bereich, Reliabilitäten größer als 0.70) wurden in den meisten Fällen erreicht.

Die wichtigere Frage war die nach den zugrunde liegenden Teilkompetenzen im Bereich des Problemlösens. Insgesamt sieben solcher Kompetenzfaktoren konnten mit einem LISREL-Modell (einer konfirmatorischen Faktoranalyse) an die Daten angepasst werden, von denen vier allgemeine Kompetenzen abbilden (kognitive Grundfähigkeit, *reasoning*; Lesekompetenz, *reading*; mathematische Kompetenz, *math*; naturwissenschaftliche Kompetenz, *science*), während die restlichen drei Faktoren spezifisch für Problemlösen sind (Problemlösen bei schriftlichen Aufgaben, *PS-paper*; Wissenserwerb in computergestützten Systemen, *PS-knowledge*; Strategien beim Explorieren und Steuern eines komplexen Systems, *PS-strategy*).

Damit ist ein Nachweis dafür erbracht, dass Problemlösekompetenz kein einheitliches Konstrukt darstellt, sondern aus mehreren Teilkompetenzen besteht, die unterschiedlich nah an kognitive Grundfähigkeiten angelehnt sind und prinzipiell von den bereichsspezifischen Kompetenzen in Lesen, Rechnen und in den Naturwissenschaften abgegrenzt werden können. Abbildung 53 zeigt die Anordnung der sieben Kompetenzfaktoren im zweidimensionalen Raum als Ergebnis einer nichtmetrischen mehrdimensionalen Skalierung.

Der Faktor »Reasoning« steht dabei im Zentrum, dicht daneben die Problemlösekompetenz bei schriftlicher Erfassung (*PS-paper*) sowie beim Wissenserwerb in Computerverfahren (*PS-knowledge*). Die äußeren Punkte des zweidimensionalen Raums werden durch die Achse Mathematik versus Lesen bzw. Naturwissenschaft versus strategisches Vorgehen bei Computerverfahren (*PS-strategy*) markiert. Diese vier Bereiche sind von den drei Kernkompetenzen deutlich abgegrenzt. Damit zeigt sich die Eigenständigkeit einer strategischen Komponente, zu deren Diagnostik man vermutlich nur über den Weg computersimulierter Szenarios kommt (vgl. auch Wirth, 2003). Ob sich dieser Strategiefaktor auch mit einfachen Problemstellungen ergeben hätte, kann angesichts mangelnder empirischer Evidenz nicht gesagt werden.

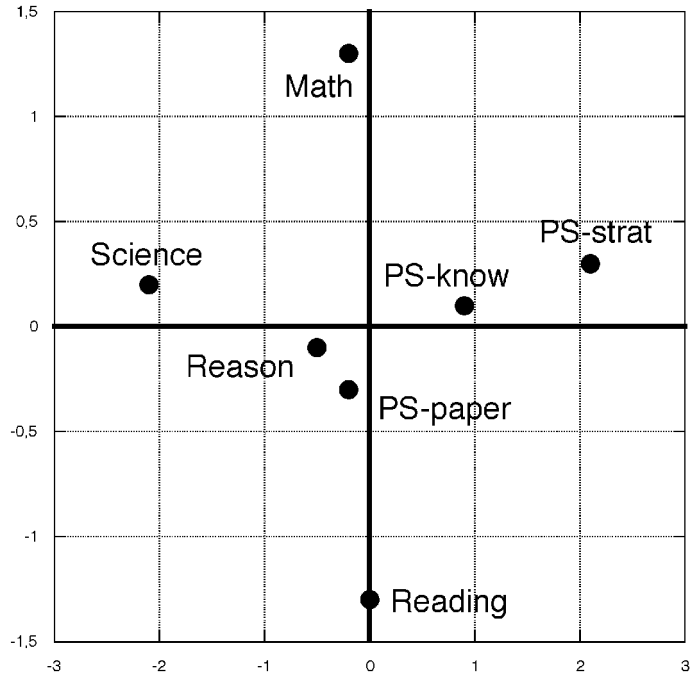


Abbildung 53 Interkorrelation der Kompetenzfaktoren im normierten zweidimensionalen Raum (nach Klieme et al., 2001, S. 196).

Dass Diagnostik und Training auch zusammenfallen können, zeigt das im nächsten Kapitel beschriebene computersimulierte Szenario ACTOR.

6.5.3 Training mit ACTOR von Lantermann et al.

Eine Arbeitsgruppe um Lantermann hat 2002 an der Universität Kassel ein Lernprogramm namens Actor entwickelt, das auf den individuellen Lern- und Handlungsstil eines Nutzers eingeht und für jeden Handlungstyp ein eigenes Lernprogramm bereitstellt (vgl. auch Lantermann et al., 2000).

Hinweis: Die CD »ACTOR – Umweltlernen für jeden Typ« ist frei erhältlich (Adresse: Prof. Dr. Ernst-D. Lantermann, Universität Kassel, Fachbereich 3, Holländische Str. 36–38, 34109 Kassel, oder E-Mail: lantermann@uni-kassel.de).

Die Konstruktion von ACTOR beruht auf der Annahme, dass auf der Grundlage der unterschiedlichen Verhaltensweisen, die Menschen im Umgang mit Komplexität an den Tag legen, individuelle Handlungsstile identifiziert, empirisch erfasst und voneinander abgegrenzt werden können. Diese Annahme führte zur Entwicklung und Anwendung eines Programms, das in Echtzeit die Diagnose des Handlungsstils eines Menschen erstellt, der sich am Rechner in die komplexe Handlungssituation MOROLAND (einer Variante des MORO-Szenarios, siehe Kapitel 5.1.3) begibt.

Aufgrund ihres Eingriffsverhaltens (sechzehn operational definierte Verhaltensitems wie z. B. Anzahl der Eingriffe, Über- bzw. Unterdosierungen von Maßnahmen, benötigte Zeit, Benutzung von Hilfen, Informationsabrufe) unterscheidet das Diagnosemodul zwischen fünf Handlungstypen, die clusteranalytisch gewonnen wurden: den »Vorsichtigen«, den »Flüchtigen«, den »Unentschlossenen«, den »Draufgängern« und den »Ausgewogenen«. Gleichzeitig wurde ein Lernprogramm realisiert, das auf der zusätzlichen Annahme beruht, dass stil- oder typspezifische Lernangebote zu größeren Lernfortschritten führen als universelle Lernprogramme, die keine Rücksicht auf individuelle Handlungsstile nehmen. Diagnose- und Lernprogramm zusammen, angereichert um ein Programm für den Selbsttest von Lernerfolgen, bilden das Lernmedium ACTOR.

Nach Angaben der Autoren (Lantermann et al., 2002) bestätigen Ergebnisse einer Evaluationsstudie an 61 Testpersonen die Erwartung, dass mithilfe von Lernwegen, die an unterschiedliche Handlungsstile angepasst sind, größere Lernerfolge im Umgang mit Komplexität erzielt werden können als mit ähnlich gearteten Lernwegen, die keine Rücksicht auf die individuellen Stärken und Schwächen des Lernenden nehmen. Interessanterweise zeigte sich dieser Vorteil typspezifischer Lernwege bei einem Maß für die Handlungskompetenz, nicht jedoch bei einem Maß für das Wissen über das System: Alle Teilnehmer verbesserten ihr Systemwissen in etwa gleichem Ausmaß. Nur nach handlungsstil-gerechtem Lernen jedoch führte der Wissenszuwachs auch zu einem größeren Steuerungserfolg.

Allerdings gelang es in dieser Studie noch nicht, einen Transfereffekt auf ein Räuber-Beute-System zu belegen. Deshalb kann derzeit nicht entschieden werden, ob es sich bei dem beobachteten Zugewinn an Kompetenz lediglich um eine verbesserte Fähigkeit handelt, das System MOROLAND zu steuern, oder ob tatsächlich eine generell erhöhte Kompetenz im Umgang mit Komplexität erworben wurde.

6.5.4 Zusammenfassung

Unterricht im problemlösenden Denken stellt ein hohes Ziel pädagogischer Maßnahmen dar. Allerdings erweist sich die praktische Umsetzung deswegen als schwierig, weil der Transfer von der Übungsumgebung auf andere Situationen in aller Regel bescheiden ausfällt. Die im Zuge der PISA-Studie vorgenommene Erfassung der Ist-Situation zeigt zumindest, dass computersimulierte Szenarios einen eigenständigen Faktor auszumachen scheinen. Hierfür wären geeignete Trainings im Sinne der Dörnerschen »Anforderungssymphonie« zu entwickeln. Die Berücksichtigung individueller Handlungsstile scheint dabei hilfreich zu sein.

Weiterführende Literatur

Vor- und Nachteile von Training mit Szenarios diskutiert Funke (1998). Über die Rolle von Schlüsselkompetenzen findet man einiges in den Veröffentlichungen der OECD (1997, 1999) sowie bei Weinert (1998).

6.6 Arbeits- und organisationspsychologische Befunde: Denken und Problemlösen in der Arbeitswelt

Problemlösendes Denken ist auch Bestandteil der Arbeitswelt: auf der (niedrigen) Ebene der Störungsdiagnostik technischer Systeme (z. B. Sonntag & Schaper, 1997) ebenso wie auf der (höheren) Ebene strategischer Unternehmensentscheidungen (z. B. Wagner, 1991). Selbstverständlich ist die Erfassung komplexer Problemlöseleistungen auch eine wichtige Aufgabe im Rahmen der Eignungsdiagnostik von Führungskräften.

6.6.1 Problemlösen bei der Störungsdiagnostik technischer Systeme

Moderne Produktionssysteme setzen die »effiziente Diagnose und Behebung von Störungen durch qualifiziertes Anlagen- und Instandhaltungspersonal« (Sonntag & Schaper, 1997, S. 9) voraus, um wirtschaftlich betrieben werden zu können. In hoch automatisierten, vernetzten Produktionsanlagen dürfen Störungen nicht zu einem lang dauernden Produktionsausfall führen. Angesichts der hohen Komplexität und Intransparenz steuerungstechnischer Abläufe sind im Störungsfall effiziente Problemlösungen gefordert. Störungsmanagement auf der Organisationsebene und Diagnosekompetenzen auf Seiten der Mitarbeiter sind daher – in Anlehnung an den Titel des Readers von Sonntag und Schaper (1997) – zwei Seiten einer Medaille. Forschung zum komplexen Problemlösen erweist sich in diesem Kontext als hilfreich, um sowohl das geforderte Wissen als auch die möglichen Fehler besser zu verstehen.

Wissen und Handeln im Kontext technischer Systeme

Kluwe (1997) unterscheidet bezüglich des mentalen Modells über komplexe Systeme zwei verschiedene Wissensarten:

1. *Strukturwissen.* Hierbei geht es um die Schnittstellen-Ebene (»Interface«) ebenso wie um die Systemebene. Funktionsweise und Organisation der verschiedenen Komponenten bilden das Faktenwissen, ohne das keine gezielte Systemsteuerung möglich ist. Als »Displaywissen« bezieht es sich auf die Systemoberfläche und umfasst Kenntnisse über verschiedene Bedienelemente und deren Funktionsweise. Als »Anlagenwissen« bezieht es sich auf die einzelnen Komponenten des jeweiligen Systems und deren Funktionsweisen.
2. *Kontroll- und Steuerungswissen.* Dieses Wissen bezieht sich auf Regeln, mittels derer Zustände des Systems und Ziele des Operateurs durch geeignete Systemeingriffe verknüpft werden. Nach Kluwe kann man »Eingriffswissen«, das sich auf Interface-Aspekte bezieht (»Wo muss ich eingreifen?«), von »Kausalwissen« unterscheiden, das sich auf die interne Ursache-Wirkungsstruktur eines Systems richtet (»Wie funktioniert dieses Teil?«).

Problemlöser müssen je nach den gestellten Anforderungen im Umgang mit technischen Systemen zwischen den verschiedenen Wissensarten flexibel wechseln können. Die Wissensarten befähigen jeweils zu unterschiedlichen Leistungen, sodass Kluwe und Haider (1990) von deren unterschiedlicher »Reichweite« reden. Gemeint ist damit die Tatsache, dass ein Operateur mit gutem Eingriffswissen nicht unbedingt in der Lage sein wird, bei einem Störfall die angemessene Fehlerdiagnostik zu betreiben, da ihm möglicherweise das dafür nötige Kausalwissen fehlt.

Diese Wissensarten stellen die Grundlage für rationales Handeln bei der Störungsdiagnostik dar. Dabei geht es im Wesentlichen um die Verlaufscharakteristik diagnostischer Problemlösevorgänge. Krems (1995, S. 214) kann etwa am Beispiel des Auffindens eines Programmierfehlers, an einem medizinischen Diagnoseproblem oder anhand der Analyse eines Motorschadens folgende allgemeine Kennzeichen von Experten des jeweiligen Bereichs aufzeigen: Experten modifizieren ihre diagnostischen Hypothesen öfter, sie verwenden seltener eine Teststrategie, die sich auf positive Belege für die Hypothese bezieht, und sie sind dazu in der Lage, ihre Hypothesen aufgrund von fallbasiertem Wissen und nicht aufgrund bereichsübergreifender Fähigkeiten flexibel zu ändern.

Menschliche Fehler

Im Umgang mit komplexen Systemen sind Fehler unvermeidlich. Aus der Analyse menschlichen Versagens beim Umgang mit technischen Systemen sind verschiedene Fehlerkategorien unterschieden worden, die kurz dargestellt werden sollen (Norman, 1981; Rasmussen, 1983; Rasmussen, Duncan & Leplat, 1987; Reason, 1990; Wehner & Stadler, 1994; Zapf, Brodbeck & Prümper, 1989).

1. *Irrtümer.* Hiermit sind Verwechslungen und fehlerhaft aktivierte Routinen gemeint (»slips« und »lapses«), die keiner bewussten Kontrolle unterliegen, aber meistens rasch entdeckt werden (deswegen aber nicht minder folgenschwer sein können).
2. *Fehler.* Diese Kategorie setzt bewusste Entscheidungen des Akteurs voraus, die in bester Absicht ausgeführt werden, aber fehlerhafte Konsequenzen bedingen (»mistakes«), weil a) der Ausgangszustand nicht korrekt erkannt wurde, b) eine falsche Aktion aufgerufen und ausgeführt wurde, c) eine wichtige Aktion falsch ausgeführt wurde. Derartige Fehler sind wesentlich schwieriger zu entdecken.
3. *Regelverletzungen.* Hiermit sind alle Handlungen von Operateuren gemeint, die gegen Vorschriften und Regeln verstoßen (»violations«). Vor allem Experten sind bei geringem Sicherheitsbewusstsein geneigt, für sich die Gültigkeit bestimmter Vorschriften nicht anzunehmen, weil sie fälschlich meinen, derartige Regeln seien nur für Anfänger gedacht. Wie das Beispiel Tschernobyl zeigt (Medwedew, 1991; Reason, 1987), sind gerade Experten für diese Selbstüberschätzung besonders anfällig.

Bewertung

Die dargestellten Überlegungen zum problemlösenden Denken bei der Störungsdiagnostik technischer Systeme machen deutlich, wie fruchtbar grundlagenwissenschaftliche Erkenntnisse für diesen Bereich sind. Auch wenn die Durchführung kontrollierter Arbeiten im Feld meist recht schwierig ist, gibt es doch

Beispiele für gelungene Evaluationsstudien (z. B. Schaper, 2000, Studie 5: Evaluation einer computergestützten Lernumgebung zum Training von Diagnosekompetenzen). Angesichts der großen Bedeutung, die Katastrophen für uns haben, ist auch eine problemorientierte Betrachtung derartiger Vorfälle nützlich (Schaub, 2000).

6.6.2 Strategische Unternehmensentscheidungen

Wagner (1991) befasst sich mit strategischen Unternehmensentscheidungen aus der Sicht problemlösenden Denkens. Aus wissenschaftlicher Sicht liegen eine Reihe von Modellen für den »rationalen Manager« bereit (z. B. Kepner & Tregoe, 1965; Plunkett & Hale, 1982), die ihm helfen sollen, mit Problemen umzugehen. Solche Modelle haben verschiedene Vorzüge: a) Sie erlauben eine Explizierung der Vorgehensweise und sind damit leicht kommunizierbar. b) Sie enthalten allgemeine Prinzipien, die sowohl von verschiedenen Personen als auch bei verschiedenen Problemen zum Einsatz gebracht werden können. c) Sie sind auf Prinzipien logischen Vorgehens aufgebaut und vermeiden »Biases«. Eigentlich könnte man erwarten, so Wagner, dass sich Manager überall auf der Welt dieser Verfahren bedienten. Tatsächlich tun sie dies aber gerade nicht. Nach Befunden von Mintzberg (1973) haben selbst erfolgreiche Führungskräfte rationale Verfahren kaum eingesetzt; zudem besteht ein wachsendes Misstrauen in allgemeine Prinzipien, die nicht auf bereichsspezifisches Wissen zurückgreifen; und es wird deutlich, dass die Rationalität von Führungskräften genauso beschränkt ist wie die anderer Personen. Drei Gruppen von »Biases« sieht Wagner (1991, S. 165 f.) aufgrund von Fallstudien bei Führungskräften als bedeutsam an: a) Fehler bei der Informationsbeschaffung, b) Fehler bei der Informationsverarbeitung, und c) Fehler bei der Handlungsauswahl. Auf alle drei Fehler soll kurz eingegangen werden.

a) Fehler bei der Informationsbeschaffung. Manager überschätzen z. B. infolge der Verfügbarkeitsheuristik (Tversky & Kahneman, 1973) die Auftrittswahrscheinlichkeit salienter und unterschätzen diejenige weniger salienter Ereignisse. Sie gewichten früh erhaltene Informationen höher als solche, die erst in den letzten Phasen des Problemlöseprozesses eintreffen. Sie haben Schwierigkeiten, ein Problem in einem anderen Bezugssystem als dem eigenen zu sehen (ein Personalchef sieht Personalprobleme, ein Marketingchef sieht Marketingprobleme etc.). Sie entdecken, was sie zu entdecken erwarten (Suche nach konsistenter und Abwertung inkonsistenter Information). In Vergleichssituationen wird eher die absolute Menge an Erfolgen als das Verhältnis von Erfolgen zu Misserfolgen betrachtet. Konkrete Information wird von ihnen höher gewichtet als abstrakte, auch wenn letztere höhere Gültigkeit besitzt.

b) Fehler bei der Informationsverarbeitung. Evaluationskriterien, anhand derer Erfolge oder wenigstens Fortschritte festzustellen wären, werden während des Problemlöseprozesses uneinheitlich verwendet. Wenn ein Urteil getroffen wurde, wird dies selbst im Lichte neuer Information kaum noch geändert. Exponentiell wachsende Faktoren infolge nichtlinearer Beziehungen werden unterschätzt. Manager bleiben bei früher bewährten Vorgehensweisen, auch wenn sie sich als nicht mehr angemessen herausstellen. Sie überschätzen die Stabilität von Daten, die auf kleinen Stichproben beruhen. Vorhersagen über zukünftige

Entwicklungen werden an wenigen festen Größen festgemacht, ohne deren Gültigkeit in Frage zu stellen.

c) *Fehler bei der Handlungsauswahl.* Manager sind bevorzugte Opfer von Wunschdenken. Sie unterliegen häufig einer Kontrollillusion.

Aus diesen Aufzählungen typischer Fehler beim Problemlösen wird deutlich, warum das Konzept rationaler Manager, die bestimmten, explizit festgelegten Prozeduren folgen, wenig realistisch ist. Da zudem ein großer Teil des Wissens von Führungskräften »stilles Wissen« (Wagner & Sternberg, 1985), d. h., nicht explizit verfügbar ist, muss auch in der Ausbildung von Managern insofern darauf Rücksicht genommen werden: An die Stelle von Wissensvermittlung über Lehrbücher tritt folgerichtig die Arbeit an konkreten Fällen (Schank, 1994).

6.6.3 Erfassung komplexen Problemlösens bei Führungskräften

Zaccaro et al. (2000) beschreiben ein Verfahren, mit dem Fertigkeiten zum Lösen komplexer Probleme bei Führungskräften erfasst werden können. Den Hintergrund dafür bildet die von Mumford et al. (2000) begründete Annahme, wonach Wissen und Problemlösefähigkeiten die wichtigsten Merkmale effektiver Führungskräfte sind. Während klassische Ansätze vor allem auf Führungsqualitäten abhoben, steht hier nun der Umgang mit komplexen Problemen im Vordergrund. Unterschieden werden »erzeugende« Fähigkeiten wie Problemkonstruktion, Informationsenkodierung, Kategoriensuche und -abklärung, Kategorienkombination und -reorganisation sowie Implementierungsfähigkeiten wie Bewertung von Ideen, Lösungsumsetzung und Lösungsüberwachung. Zu deren Erfassung wird ein Szenario-Ansatz vorgeschlagen, bei dem in Form »kontrollierter Simulationen« die zu messenden Fähigkeiten provoziert werden. Wie geschieht dies?

In einer groß angelegten Untersuchung mit Offizieren der US-Army wurde ein neues, schlecht definiertes hypothetisches Problem aus der Zeit des Ersten Weltkriegs in schriftlicher Form präsentiert. Das Szenario beschreibt die Situation eines britischen Generals, der mit einer schlecht ausgerüsteten und unterbesetzten Truppe eine entfernte Stadt erobern und hierzu nun einen Plan entwickeln soll. Das Szenario ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9 Das fiktive historische Szenario von Zaccaro et al. (2000).

Wir schreiben das Jahr 1914. Sie sind als britischer General verantwortlich für das Indische Expeditions-Korps, das zum Schutz britischer Ölinteressen im Mittleren Osten (Iran und Irak) eingerichtet wurde und die Türken, die sich mit den Deutschen verbündet haben, aus dem Gebiet verdrängen soll. Vor dem Hintergrund erster schneller, einfacher Siege gibt es in den Reihen einflussreicher Generäle und Politiker das Bestreben, das 200 Meilen landeinwärts gelegene Bagdad mit Ihrer Armee einzunehmen. Einmal abgesehen von der Tatsache, dass Ihre Armee schlecht ausgerüstet und unterbesetzt ist (falls es zu längeren kriegerischen Aktivitäten kommt), müssen Sie nun Pläne entwickeln, die Ihre Erfolgschancen erhöhen.

In früheren Jahren war die Ausstattung Ihrer indischen Armee beschränkt entsprechend den Erfordernissen, einen Grenzkrieg mit rebellischen Stammesfürsten zu führen. Sie verfügen über keine schwere Artillerie, keine

Luftwaffe und müssen zudem Kürzungen bei wichtigen Dingen wie Telefonen, Trinkwasser-Transporten, Decken und Kleidung hinnehmen. Vorsorge zur Behandlung Verwundeter oder Kranker ist kaum getroffen. Es steht auch im Persischen Golf kein Hospitalschiff zur Verfügung. Zu bedenken haben Sie die extensiven Überflutungen während der regnerischen Winterzeit, weil die Fläche zwischen Euphrat und Tigris eine Flachland-Ebene ist. Während die Flüsse im Frühjahr Hochwasser zeigen, sind sie im Sommer fast vertrocknet. Das Land verändert sich von sumpfiger Wildnis zu einem Röstofen. Das Vorhandensein der Flüsse erfordert zudem verlässliche Systeme auf dem Wasserweg zum Transport von Menschen und Material zur Unterstützung militärischer Operationen. Unglücklicherweise ist eine der Schwächen Ihrer Armee der Mangel an passend motorisierten Booten zur Navigation auf den flachen Flüssen.

Es gibt aber auch ermunternde Zeichen. Die früheren Siege Ihrer Armee haben gezeigt, dass Ihre Einsatzkräfte die Türken im Kampf schlagen könnten. Außerdem kommt hinzu, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt beide Armeen etwa gleich groß sind und dass es den Türken kaum möglich ist, Nachschub für mehr als zwei bis drei Monate zu liefern. Eine schnelle Attacke könnte zudem die Kontrolle des gesamten Gebiets bedeuten. Die folgenden Fragen fordern Sie auf, Ihre Gedanken wiederzugeben, die Ihnen angesichts der geschilderten Probleme durch den Kopf gehen.

Im Anschluss an die Präsentation des Szenarios aus Tabelle 9 wurden den insgesamt 1807 Testpersonen (Offiziere der US-Armee, davon 363 weiblich) zehn offene Fragen gestellt, denen acht verschiedene Konstrukte eines Phasenmodells zum kreativen Problemlösen zugeordnet wurden. Die den Phasen zugeordneten Konstrukte waren im Einzelnen: Problemkonstruktion, Informationsenkodierung, Kategoriensuche, Bestimmung passender Kategorien, Kategorienkombination und -reorganisation, Ideenbewertung, Lösungsimplementierung und Lösungsüberwachung. Die zehn Fragen und deren Zuordnung zu den acht Konstrukten zeigt Tabelle 10 (s. S. 242).

Die Versuchspersonen hatten für die Lektüre des Szenarios eine knappe Viertelstunde Zeit, um dann anhand der Fragen ihre Lösungsvorschläge zu strukturieren. Diese wurden anschließend von einem Beurteilerteam ausgewertet hinsichtlich Originalität und Qualität des Lösungsvorschlags. Zahlreiche weitere Kennwerte der Testpersonen wurden zusätzlich erhoben, um Aussagen zur Konstruktvalidität des Verfahrens machen zu können.

Die zentralen Ergebnisse entsprechen den Erwartungen und lassen sich nach Zaccaro et al. (2000, S. 59) wie folgt zusammenfassen: 1. Die Leistungsmaße des komplexen Problemlösens korrelieren untereinander stärker als mit anderen Verfahren, bilden also einen eigenständigen Faktor. 2. Komplexes Problemlösen insgesamt ist stärker vernetzt mit Führungswissen und kreativen Fähigkeiten als mit verbalen Denkfähigkeiten und Führungsmotivation. 3. Die Problemlöse-Maße stehen in klarem Zusammenhang zu Karriere-Daten (die besseren Problemlöser haben die höherwertigen Jobs). 4. Ebenfalls gibt es deutliche Korrelationen der Problemlöse-Maße mit dem militärischen Rang der Testpersonen.

Die hier präsentierte Studie demonstriert ein aufwändiges Messverfahren, das eine differenzierte Erfassung komplexer Problemlöseleistung bei militärischen Führungskräften ermöglicht. Der entwickelte Szenario-Gedanke kann allerdings

auf beliebige andere Inhaltsbereiche übertragen werden und macht das Verfahren damit auch für andere Tätigkeitsfelder attraktiv.

Tabelle 10 Die zehn an die Testpersonen herangetragenen Fragen und deren Zuordnung zu dahinter stehenden acht Konstrukten des Phasenmodells.

Fragen	Zugeordnete Konstrukte
1. Was sehen Sie als Problem, mit dem Sie konfrontiert sind?	Problemkonstruktion
2. Was denken Sie, sollte Ihr Ziel sein?	Problemkonstruktion
3. Welche Informationen bräuchten Sie noch, bevor Sie Entscheidungen über weitere Maßnahmen treffen können?	Informationsenkodierung, Kategoriensuche
4. Was könnten die Quellen für solche Informationen sein?	Informationsenkodierung, Kategoriensuche
5. Welche Informationen wären von zentraler Bedeutung für die Lösung des Problems?	Bestimmung passender Kategorien
6. Wie sind die verschiedenen Informationen Ihrer Meinung nach untereinander vernetzt?	Kategorienkombination und -reorganisation
7. Wenn Sie über verschiedene Vorgehensweisen nachgedacht haben: Wie entscheiden Sie, welche davon die beste ist?	Ideenbewertung
8. Für welche Vorgehensweise würden Sie sich entscheiden?	Kategorienkombination und -reorganisation
9. Wie würden Sie Ihren Plan umsetzen?	Lösungsimplementierung
10. Wie würden Sie sicherstellen, dass Ihr Plan erfolgreich umgesetzt wird?	Lösungsüberwachung

6.6.4 Zusammenfassung

Die Arbeits- und Organisationspsychologie profitiert von der Forschung zum problemlösenden Denken in mehreren Bereichen. Hier dargestellt wurde zum einen der Komplex des Störungsmanagements, zum anderen ging es um strategische Unternehmensentscheidungen und schließlich um die Auswahl von Führungskräften. Tatsächlich ist der allgemeinpsychologische Einfluss noch größer, wie sich an verschiedenen handlungstheoretischen Konzeptionen ablesen lässt (z. B. Hacker, 1973). Doch darauf kann hier nicht weiter eingegangen werden.

Weiterführende Literatur

Zu menschlichem Versagen findet man mehr bei Reason (1994).

6.7 Klinisch-psychologische Befunde: Pathologie des Denkens und Problemlösens

Ein nicht zu übersehendes Anwendungsfeld stellen klinisch-pathologische Störungen des problemlösenden Denkens dar. Diese hängen mit den vielfältigen Störungen und Erkrankungen des Gehirns zusammen, die in dem neu geschaffenen Arbeitsfeld der Neuropsychologie untersucht und systematisiert werden (siehe z. B. Bodenburg, 2001; Sturm, Herrmann & Wallesch, 2000). Zunächst wird über ein Modell zum Planen und Handeln berichtet, das sich zur Diagnostik gestörter exekutiver Funktionen eignet. Dann geht es um Denkstörungen aus psychiatrischer Sicht sowie um ein Prozessmodell gestörter Handlungsabläufe.

6.7.1 Störungen der exekutiven Funktionen nach Hirnschäden

Pläne sind Handlungsschemata, die nicht in jeder Situation neu entworfen werden müssen, sondern ihren besonderen verhaltensökonomischen Wert dann aufweisen, wenn sie erneut genutzt werden können. Ist ein Gedächtnis vorhanden, entstehen so Handlungsroutinen und Schemata: Im neuen Supermarkt muss ich mich bei meinen ersten Besuchen orientieren, danach kann ich die dann bereits vorhandenen Schemata nutzen und effizienter planen und handeln. Bei Schädigungen des Frontalhirns scheinen diese Schemata verloren zu gehen (Grafman, 1989; Grafman, Holyoak & Boller, 1995).

Funke und Glodowski (1990) haben aufgrund sachlogischer Überlegungen ein zweiphasiges Modell des Planens mit zwei Teilleistungen (konzipiert als »planerische Basiskompetenzen«) vorgestellt: zum einen die Phase der *Planerstellung*, in der eine vorausschauende Ordnung von Teilschritten erfolgt, die noch in der Zukunft liegen (unter Beachtung von Randbedingungen und Gedächtnisinhalten), zum anderen die Phase der *Planausführung*, in der die Umsetzung eines erstellten Plans in konkrete Handlungen stattfindet. Beide Phasen sollen kurz beschrieben werden.

In der Phase der Planerstellung werden folgende fünf Teilaspekte differenziert:

1. *Abfolgen erkennen*: zeitliche Abfolge von mindestens zwei Teilschritten korrekt einschätzen bzw. deren Austauschbarkeit erkennen (z. B. Platz nehmen – Restaurant betreten);
2. *Randbedingungen erkennen*: Erkennen von zeitlichen und materiellen Voraussetzungen (z. B. Öffnungszeiten von Geschäften, Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln, Kosten von Einkäufen);
3, *Zwischenzielbildung*: Segmentierung eines Plans in Teilpläne (z. B. Spaghetti kochen = Wasser aufsetzen – zum Kochen bringen – ins kochende Wasser werfen – zehn Minuten kochen lassen);
4. *Verfügbarkeit von Alternativen*: für bestimmte (kritische) Teilpläne Varianten erzeugen können bzw. verfügbar haben, was die Flexibilität bei Problemen erhöht (z. B. Spaghetti kochen: auf Herd, Lagerfeuer, ...);
5. *Angemessenheit der Auflösung*: beim Erreichen eines adäquaten Auflösungsniveaus mit der Planung aufhören (weder zu fein noch zu grob).

In der Phase der Planausführung werden vier Komponenten unterschieden:

1. *Planüberwachung*: kontinuierliche Kontrolle der Planausführung zwecks Feststellung auftretender Diskrepanzen zwischen Plan und Handlungsverlauf (ist Voraussetzung für die beiden folgenden Dimensionen);
2. *Fehlerdiagnostik*: Auffinden von Ursachen, die die Umsetzung des Plans be- oder verhindern (Ergebnis dieser Diagnostik ist Planaufgabe oder Planrevision);
3. *Planrevision*: nötig bei Problemen während der Ausführung des Plans (entweder Ersatz bestimmter Komponenten durch andere oder Wechsel zu einer höheren Abstraktionsebene);
4. *Planverwerfung*: Erkenntnis, dass bei bestimmten Problemen die Plandurchführung aufgegeben werden muss.

Das hier genannte Modell wurde herangezogen, um eine entsprechende Planungsdiagnostik frontalhirngeschädigter Patienten zu begründen. Mit dem »Skript-Monitoring-Test« (SMT) haben Funke und Grube-Unglaub (1993) den Versuch unternommen, Planungs- und Handlungsstörungen dieser Patientengruppe auf fehlende bzw. fehlerhafte Skripte zu einzelnen Lebensbereichen zurückzuführen. So wurde in der erwähnten Arbeit etwa das Skript »Kaffee kochen« dadurch überprüft, dass die Patienten Filmausschnitte sahen, in denen eine Modellperson entweder richtige oder falsche Handlungselemente vorführte. Aufgabe der Patienten war es, Fehler so schnell wie möglich anzuzeigen (Skala Planüberwachung, PÜ) und für den Fall eines Fehlers die eigentlich korrekte Aktion zu beschreiben (Fehlerdiagnostik, FD). Außerdem sollte die jeweils nächste Aktion im Skript angesagt werden (Abfolgen erkennen, AE). Insgesamt 12 Szenen (davon 8 mit Fehlern, 4 fehlerfreie) wurden (neben 2 Übungsszenen aus dem Skript »Spülen«) dargeboten, wobei die ersten 6 in chronologischer, skripttypischer Folge, die nächsten 6 in zufälliger Abfolge erschienen. Die Gesamtlänge des SMT-Films betrug 15 Minuten.

Im Vergleich zu einer nach mehreren Kriterien parallelisierten Kontrollgruppe (N = 10) ergab sich für die Stichprobe von N = 10 frontalhirngeschädigten Patienten auf den drei Skalen PÜ, FD und AE eine deutliche Leistungsminderung: Während sich die Kontrollgruppe in allen drei Skalen (fast) an der Testdecke befand, lag die Prozentzahl korrekter Bearbeitungen bei den Patienten für PÜ bei 50%, für FD sogar nur 40%. Lediglich AE erreichte mit 81% einen höheren Wert, der aber wie die beiden anderen Werte immer noch signifikant niedriger als bei der KG ausfiel (AE = 100%). Interessant ist, dass die Frage der skripttypisch geordneten bzw. ungeordneten Szenenfolge für die KG fast keinerlei Bedeutung hat. Bei den Frontalhirngeschädigten dagegen erniedrigen sich bei nicht geordneter Szenenvorgabe die Prozentsätze korrekter Antworten auf 35% (PÜ), 28% (FD) bzw. 75% (AE). Dies passt zur Hypothese der Enkodierspezifität von Tulving und Thomson (1973), wonach eine inkohärente Darbietungsfolge die Leistungen verringert. Allerdings benötigen nur die Frontalhirngeschädigten diese zusätzliche Hilfe in Form der Reihenfolge, während sich die KG in dieser erschwerten Darbietungssituation anders behelfen kann.

6.7.2 Denkstörungen aus psychiatrischer Sicht

Seit über 100 Jahren zählen Denkstörungen zu den Kernsymptomen der Schizophrenie und werden aus psychiatrischer Sicht nach formalen und inhaltlichen Aspekten unterschieden (siehe z. B. Davison & Neale, 1998, Kap. 14).

Inhaltliche Denkstörungen werden als *Wahn* bezeichnet. Dabei entwickeln die Betroffenen Vorstellungen, die deutlich von der Realität abweichen. Diese Wahnvorstellungen sind für die Betroffenen so wirklich, dass sie unbeirrbar daran festhalten. Inhaltliche Denkstörungen werden hinsichtlich folgender Aspekte unterschieden:

a) *Wahnstimmungen:* Die Welt erscheint den Betroffenen verändert, bedrohlich und unheimlich, sie können aber nicht erklären, warum dies so ist. Wahnstimmungen werden auch mit Begriffen wie Wahnspannung und Wahnbedürfnis beschrieben. Sie sind eine Vorstufe des manifesten Wahns.
b) *Wahnwahrnehmungen:* Dies sind reale Wahrnehmungen, die für die Betroffenen eine veränderte, abwegige Bedeutung erlangen. Beispielsweise bilden sich Betroffene ein, verfolgt zu werden, nur weil jemand mit ihnen in das gleiche Geschäft geht.
c) *Wahneinfälle:* Ein Wahneinfall ist eine wahnhafte Meinung, die sich nur schwer von der Wirklichkeit trennen lässt. So kann z. B. ein Betroffener der Überzeugung sein, er sei religiös berufen.
d) *Systematisierter Wahn:* Dieser besteht in Verknüpfungen verschiedener Wahnerlebnisse zu einem regelrechten System. Dabei ist für den Wahn kennzeichnend, etwas erklären zu wollen. Alles wird durch entsprechende »Beweise« der Betroffenen in dieses System eingebaut.
e) *Wahnthemen:* Hier sind Bereiche zusammengefasst, die bei inhaltlichen Denkstörungen häufig vorkommen. Dazu zählen Beziehungswahn (alles wird auf die Person bezogen), Verfolgungswahn, Eifersuchtswahn (sehr oft bei Männern), Liebeswahn, Größenwahn, Nichtigkeitswahn (Minderwertigkeit vor allem bei Depressionen), Versündigungs- oder Schuldwahn (Schuld oder Sünde gegenüber einer höheren Instanz), Verarmungswahn (unbegründete Angst, der Lebensunterhalt sein bedroht) oder auch hypochondrischer Wahn (die Vorstellung, lebensgefährlich krank zu sein).

Formale Denkstörungen zeigen sich in folgenden Symptomen:

a) *Denkhemmung:* Die Betroffenen empfinden ihr Denken als gebremst oder stockend. Nach außen zeigt sich das in einer schleppenden Sprache.
b) *Perseveration:* Dabei kommen die Betroffenen immer wieder auf gleiche Gedanken, Worte und Angaben zurück, von denen sie sich nicht lösen können.
c) *Ideenflüchtiges Denken:* Schnelle Denkabläufe und sehr viele unterschiedliche Ideen kennzeichnen diese Form. Die Gedanken unterliegen keiner Kontrolle mehr. Das Denken ist sprunghaft, flüchtig und dauernd unterbrochen.
d) *Gedankenentzug, Gedankenabreißen:* Plötzlich und ohne erkennbaren Grund bricht ein flüssiger Gedankengang ab. Betroffene geben an, ihre Gedanken würden ihnen von außen entzogen.
e) *Zerfahrenes, inkohärentes Denken:* Die Gedanken der Betroffenen sind unverständlich und springen hin und her. Es bestehen keine Verbindungen zwischen den Gedankenfetzen. Die Sprache ist oft bruchstückhaft, wie das Denken selbst.

Die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) herausgegebene »Internationale Klassifikation psychischer Störungen« (ICD-10, Dilling, Mombaur & Schmidt, 1991) kennt allerdings keine separate Rubrik »Denkstörungen«. Dennoch finden Diagnostiker bzw. Therapeuten auf der Suche nach entsprechenden Klassifikationsmöglichkeiten Hilfe in zwei Bereichen. In der Kategorie F2 werden die schizophrenen Störungen dargestellt, bei denen es neben einer verflachten Affektivität vor allem um »grundlegende und charakteristische Störungen von Denken und Wahrnehmung« geht (S. 95). Daneben könnte auch die Kategorie F7 herangezogen werden, mit der die »Intelligenzminderung« eines Patienten klassifiziert werden kann. Diese wird allerdings ausschließlich am erzielten Intelligenzquotienten festgemacht und trägt daher nicht zu einem differenzierenden Gesamtbild bei.

Über die schizophrene Denkstörung wird im ICD-10 gesagt (vgl. Dilling et al., 1991, S. 96), dort würden nebensächliche und unwichtige Aspekte eines Gesamtkonzepts in den Vordergrund gerückt, die normalerweise zurückgehalten würden. Dadurch werde das Denken »vage, schief und verschwommen«. Brüche und Einschiebungen in den Gedankenfluss fänden sich häufig. Unter den wichtigen Symptomen finden sich »Gedankenlautwerden, Gedankeneingebung oder Gedankenentzug, Gedankenausbreitung«. Aber auch »Gedankenabreißen oder Einschiebungen in den Gedankenfluss« werden neben den für Schizophrenie typischen Wahnvorstellungen genannt.

Aus Sicht des problemlösenden Denkens sind diese eher phänomenologisch gehaltenen Beschreibungen unbefriedigend und verlangen nach präziserer Darstellung. Hierfür sind weitere Arbeiten notwendig, die auf Prozessannahmen wie die im Folgenden dargestellten zurückgreifen könnten.

6.7.3 Prozessmodell gestörter Handlungskontrolle von Norman und Shallice

Norman und Shallice (1986) haben ein Prozessmodell entwickelt, in dem sie unterschiedliche Verarbeitungsprozesse für automatische und bewusst kontrollierte Handlungen postulieren (vgl. auch Shallice, 1982, 1988). Zwei Systeme greifen dabei ineinander: 1. Ein Absichtsregulationsmodul (*Contention Scheduling*, CS) ist für die Verarbeitung des automatisierten Verhaltens zuständig und hat direkten Zugriff auf die ausführenden Effektoren (z. B. Hände und Füße). CS kontrolliert aber auch kognitive Verarbeitungsressourcen (*Cognitive Processing Ressources*), die in modularem Aufbau für die spezifischen Reaktionen und Verarbeitungsschritte des automatisierten Verhaltens zuständig sind. Das CS-Modul wählt anhand von perzeptuellen Daten dazu passende Schemata aus und aktiviert diese, bis das jeweilige Handlungsziel erreicht ist. Allerdings ist dieser Auswahlprozess nicht Teil des bewusst-planerischen Verhaltens, sondern automatisiert und nur in vertrauten Situationen tauglich. 2. Wenn automatisierte Verhaltensweisen zur Handlungskontrolle nicht mit den Anforderungen einer Situation fertig werden, moduliert ein Aufmerksamkeitsüberwachungsmodul (*Supervisory Attentional System*, SAS) die Verarbeitungsprozesse des CS-Moduls und realisiert so reflexiv-adaptive Verhaltensweisen. Die Hauptaufgabe des SAS besteht also in der Überwachung der Arbeitsweise des CS-Moduls. Treten dort unerwartete Fehler auf (weil z. B. abweichende Daten nicht zu den erlernten Schemata passen), wird das SAS aktiv und muss neue Verhaltensweisen generieren oder die durch die

externen Stimuli nicht ausreichend aktivierten, aber angemessenen Verhaltensweisen »manuell« auslösen (allerdings deutlich langsamer als das CS-Modul).

Die hier beschriebene Aufgabenteilung wird nicht nur den klinischen Daten gerecht, sondern ist auch aus evolutionärer Perspektive sinnvoll, denn die Verarbeitungskapazität für reflexives Handeln ist beschränkt; eine Entlastung dieses Systems von Steuerungsfunktionen, die keine bewusste Modulation erfordern, erscheint daher als deutlicher Überlebensvorteil.

Klinische Befunde zu Steuerungsfehlern können ebenfalls durch dieses Modell erklärt werden. So kann z. B. unintendiertes Verhalten (*Capture Error*) aufgrund mangelhafter Kontrolle des CS-Moduls durch das SAS erklärt werden; Umweltreize können allein eine Verhaltenssequenz auslösen (wenn z. B. versehentlich Salz statt Zucker in den Kaffee geschüttet wird, weil der Salzstreuer dem Zuckerstreuer ähnelt und sich zudem an ähnlicher Stelle im Greifbereich befindet). In ähnlicher Weise können Perseverations- und Auslassungsfehler erklärt werden (z. B. Shallice & Burgess, 1991).

6.7.4 Zusammenfassung

Angesichts der Bedeutung des Frontalhirns für planvolles Handeln verwundert es ein wenig – so Grafman (1995) –, dass die Bedeutung und Funktionsweise dieses Hirnareals bis heute nicht annähernd so präzise verstanden wird wie diejenige der sensorischen oder motorischen Areale. Ganz ähnlich heißt es bei Koechlin et al. (1999, S. 148):

> »Complex problem-solving and planning involve the most anterior part of the frontal lobes including the fronto-polar prefrontal cortex (FPPC), which is especially well developed in humans compared with other primates. The specific role of this region in human cognition, however, is poorly understood«.

Dass die psychiatrische Kategorie der Denkstörung nicht sehr aufschlussreich beim Verständnis dieser Funktionen ist, dürfte klar sein. Notwendig sind nicht nur Weiterentwicklungen von Prozessmodellen gestörter Handlungskontrolle wie demjenigen von Norman und Shallice (1986), sondern auch mehr Untersuchungen frontalhirngeschädigter Patienten mit komplexen Problemstellungen (siehe etwa Fritz & Funke, 1988).

Weiterführende Literatur

Klinische Aspekte gestörten Denkens findet man ausführlicher beschrieben bei Benson (1994). Über Problemlösekonzepte in der Psychotherapie schreibt Kämmerer (1987). Zur Bedeutung des Frontalhirns für das Problemlösen siehe auch Krawczyk (2002).

6.8 Denken und Problemlösen im Kulturvergleich

Der Überblick über die Befundlage zum Denken und Problemlösen in verschiedenen psychologischen Teilgebieten soll nicht beendet werden ohne einen Blick auf kulturvergleichende Studien.

Im deutschen Sprachraum sind hier die Arbeiten von Strohschneider (Badke-Schaub & Strohschneider, 1998; Strohschneider, 2001; Strohschneider & Güss,

1998, 1999) hervorzuheben, der sich nicht nur mit dem innerdeutschen Kulturvergleich »Ost« zu »West« beschäftigt (Strohschneider, 1996), sondern in einem groß angelegten Vorhaben auch systematische Vergleiche zwischen deutschen und indischen Problemlösern durchgeführt hat (Strohschneider, 2001).

6.8.1 Strohschneiders Vergleich deutsch-indischer Denkstile

Kulturpsychologie ist ein Gebiet, das in der Frühzeit der Psychologie ganz selbstverständlich zum Themenkatalog des sich neu etablierenden Faches gehörte. Zu denken ist hier etwa an Wilhelm Wundts zehnbändige Völkerpsychologie, in der er eine Entwicklungspsychologie von Denken, Gefühl und Willen mittels der Analyse von Sprache, Mythos und Sitte im historischen Kontext versuchte. Mit dem Nationalsozialismus und dessen Vereinnahmung des Vaterländisch-Völkischen hat diese Tradition zumindest im deutschsprachigen Bereich eine lange Periode betretenen Schweigens ausgelöst. Während die amerikanische Anthropologie hier wesentlich freier und weniger belastet diskutieren konnte und seit den 80er und 90er Jahren geradezu eine Blüte kulturpsychologischer Arbeiten unter dem Label »Cultural Psychology« hervorbrachte (vgl. Miller, 1999), ist die Beschäftigung mit derartigen Themen in der neueren deutschsprachigen Psychologie noch eher die Ausnahme.

Strohschneider geht es um den Vergleich indischen und deutschen Denkens und Problemlösens. Neben der Untersuchung von alltagsnahen Szenarios kommen zwei computersimulierte Szenarios (Entwicklungshilfe-Szenario MORO und Kleinbetrieb-Szenario MANUTEX) sowie »tückische Objekte« zum Einsatz, an denen sich jeweils deutsche und indische Versuchspersonen bewähren mussten. Zunächst sollen die Instrumente vorgestellt, dann die Hypothesen und schließlich die zentralen Ergebnisse berichtet werden.

Erhebungsinstrumente

Für seine vergleichenden Analysen des Denkstils von Indern und Deutschen greift Strohschneider auf insgesamt vier Aufgabenbereiche zurück, in denen sich potenzielle Unterschiede manifestieren können:

a) Ein sog. »Planungsinventar« (Strohschneider, 2001, S. 44 f.), ein schriftliches, halbstrukturiertes Instrument zur Erfassung verschiedener Aspekte des Planungsverhaltens in möglichst realistischen Situationen, bei denen in Form kurzer Geschichten jeweils eine problematische Situation geschildert wird (Fehlverhalten eines Jugendlichen; Rechtsstreit über Grundbesitz; Wohnungskündigung wegen Eigenbedarfs), für die in freier Form die eigene Herangehensweise geschildert werden soll. Insgesamt 77 studentische Teilnehmer, davon 43 aus Indien, bearbeiteten dieses Inventar.
b) Die Computersimulation MORO, bei der die Testanden innerhalb von zwei Stunden über 20 simulierte Jahre hinweg Entwicklungshilfe bei den Nomaden der Sahelzone leisten sollen. Die Simulation existierte in zwei konstrastierenden Varianten (vgl. Strohschneider, 2001, S. 118 f.): eine, die eine aktive, mit starken Maßnahmen operierende Vorgehensweise unterstützt und ohne korrigierende Eingriffe zu bedrohlichen Zuständen führt (KATAMORO), die andere

dagegen ist so programmiert, dass sie eher mit einer vorsichtigen Strategie zu bewältigen ist und sich bei wenig Eingriffen stabil verhält (StabMoro). Insgesamt 68 studentische Teilnehmer, davon die Hälfte aus Indien, bearbeiteten dieses Szenario.

c) Die Computersimulation Manutex, bei der Versuchspersonen innerhalb von zwei Stunden eine kleine malayische Textilmanufaktur mit 5 Abteilungen und 37 Beschäftigten für einen Zeitraum von 24 Monaten leiten sollten (vgl. Strohschneider, 2001, S. 163 f.). Laufende Prozess- und Erfolgsdaten mussten – genau wie bei Moro – aktiv erfragt werden, ein Versuchsleiter übermittelte die Entscheidungen an den Rechner und überbrachte angeforderte Informationen. Im Unterschied zu Moro ist hier die Systemdynamik weniger einflussreich, falsche Entscheidungen haben wenige Nebenwirkungen und lassen sich ohne Gefahr von Katastrophen korrigieren. Allerdings existiert mit dem Zielkonflikt zwischen Gewinnmaximierung und Schaffung von Arbeitsplätzen ein Problemfeld für Wertentscheidungen. Insgesamt 50 studentische Teilnehmer (die meisten davon Studierende der Betriebswirtschaft), davon die Hälfte aus Indien, bearbeiteten dieses Szenario.

d) Drei Tückische Objekte aus dem Züricher Institut (vgl. Hartmann, 1995), die als »Reparaturprobleme« ausgelegt sind und nach Vorversuchen mit Züricher wie Bamberger Studierenden als schwer lösbar gelten durften: 1) Die Gummibox (vgl. Strohschneider, 2001, S. 239) ist ein aus vier farbigen Teilen bestehender Kasten auf einer Grundplatte mit einem darüber gespannten Bügel, an dem eine magnetische Kugel aufgehängt ist. Die Box wird vor den Augen der Versuchsperson zerlegt und soll von ihr wieder zusammengesetzt werden. Die Schwierigkeit entsteht dadurch, dass Wandteile mit Gummibändern an der Grundplatte befestigt sind und daher zur Seite klappen, wenn sie nicht durch andere Seitenteile abgestützt sind. 2) Die Bauklotzschachtel (vgl. Strohschneider, 2001, S. 240) ist eine durchsichtige Plastikschachtel, die bis zum Rand mit Bauklötzen gefüllt ist und vor den Augen der Untersuchungsperson entleert wird mit der Aufforderung, alle Klötze wieder einzupacken. Heimlich legt der Versuchsleiter einen zusätzlichen Klotz dazu und macht das ohnehin schon schwierige Verpackungsproblem damit unlösbar. 3) Das Magnetkugelproblem (vgl. Strohschneider, 2001, S. 242) besteht aus einem Holzbrett mit 10 Vertiefungen, in denen 10 verschiedenfarbige Plastikkugeln liegen. Diese werden vor den Augen der Versuchsperson entfernt, deren Aufgabe es ist, die Kugeln wieder zurückzulegen. Die Tücke liegt nun darin, dass in den Kugeln befindliche, verborgene Stabmagneten dazu führen, dass sich die Kugeln »verklumpen« bzw. aus den Vertiefungen hüpfen, wenn man sie nicht alle gleich ausrichtet (was anhand einer feinen Naht, die die Äquatorlinie darstellt, erkannt und genutzt werden kann). – Insgesamt 27 männliche Mitarbeiter einer bayrischen Firma zur Herstellung von Porenbeton-Bauteilen sowie 28 männliche Mitarbeiter eines Zementwerkes in den Vorbergen des Himalaya bearbeiteten diese Probleme. Die demographischen Merkmale beider Gruppen waren hochgradig vergleichbar.

Erwartungen und Hypothesen

Bevor auf die Ergebnisse zu den verschiedenen Aufgabenbereichen eingegangen wird, sollen kurz ein paar Überlegungen über kulturelle Unterschiede beim prob-

lemlösenden Denken angestellt und Strohschneiders Erwartungen beim Vergleich deutscher und indischer Denkstile erläutert werden. Das Wechselspiel zwischen Kultur und Denken aus Sicht der Psychologie zeigt sich in drei (hier vereinfacht dargestellten) Standpunkten über das generelle Verhältnis von Kultur und Psyche (vgl. Adamopoulos & Lonner, 1994): Während man als *Absolutist* die Auffassung vertritt, dass die psychische Grundstruktur aller Menschen gleich ausfällt und damit kulturelle Effekte zu ignorieren sind, geht ein *Relativist* von der entgegengesetzten Meinung aus, wonach Psyche nicht unabhängig von Kultur zu sehen ist (»Cultural Psychology«). Ein *Universalist* dagegen sieht sowohl Universalien der psychischen Grundausstattung als auch deren kulturelle Formbarkeit gleichermaßen, erst im Vergleich der Kulturen zeigten sich Konstanten wie Variabilitäten (»Cross-Cultural Psychology«, z. B. Berry, Poortinga, Segall & Dasen, 1992).

Die amerikanische (wie auch deutsche) Kognitionspsychologie hat sich im Zuge der kognitiven Wende und der Abkehr vom Paradigma des Behaviorismus ohne tiefere Absicht dem absolutistischen Standpunkt zugewandt und sich auf die Suche nach allgemeinen, mittels Experimenten belegbaren Gesetzen gemacht – kulturelle Unterschiede haben nur am Rande Platz gefunden. In der Emotionspsychologie hat man viel Energie dafür aufgewendet, die Universalität des Gesichtsausdrucks nachzuweisen (z. B. Ekman & Friesen, 1971; Ekman, Sorenson & Friesen, 1969). Für die Kognitionspsychologie sind solche Nachweise noch spärlicher erfolgt (vgl. die Metaanalyse bei van de Vijver, 1997).

Nun zum Vergleich der deutschen bzw. indischen Denkstile. Schon die Wahl des Begriffs »Denkstil« soll deutlich machen, dass es sich um bestimmte Grundhaltungen handelt, die das problemlösende Denken und Handeln leiten. Vor dem Hintergrund einer Analyse der historisch-gesellschaftlichen Randbedingungen in Indien beschreibt Strohschneider (2001, S. 33) einige wichtige Besonderheiten der indischen Kultur wie z. B. die Ausrichtung des Handelns auf den sozialen Kontext, die Wichtigkeit persönlicher Beziehungen und Gruppenmitgliedschaften sowie die Bedeutung des Rats von Älteren oder Erfahrenen.

Ergebnisse

Welche Ergebnisse sind nun mit den verschiedenen Instrumenten erzielt worden? Beim Planungsinventar zeigen sich bei den drei Geschichten kaum Unterschiede: Die »Offensivität« bzw. »Defensivität« der Planungen hängt stärker von der jeweiligen Situation als von der Nationalität der Bearbeitenden ab, deutsche Planende neigen zu skeptischen Einschätzungen, während die indischen Versuchspersonen eher optimistisch sind. Insgesamt bilanziert Strohschneider, »dass es bei Menschen mit vergleichbarer Motivationslage, vergleichbarer emotionaler Erregtheit und vergleichbar gut anwendbarem Operatorwissen zu formal vergleichbaren Planungen kommt« (Strohschneider, 2001, S. 70).

Wie sieht es beim Wechsel von diesen statistischen Anforderungen hin zu den dynamischen Szenarios aus? Auch in der MORO-Situation gibt es keine Unterschiede hinsichtlich der »adaptiven Flexibilität« der deutschen und indischen Teilnehmenden, d. h., auf die beiden sehr unterschiedlichen Problemversionen reagieren sie ziemlich ähnlich (kein Haupteffekt des Simulationssystems und keine Interaktion mit der Kulturzugehörigkeit). Allerdings haben indische Spieler bei beiden Versionen generell mehr Schwierigkeiten und machen mehr Fehler, wobei dies aber nicht als allgemeines Defizit verstanden werden darf, sondern eher

strategische Unterschiede reflektiert (deutsche Teilnehmer stellen signifikant mehr Zustandsfragen und greifen häufiger ein). Diese strategischen Unterschiede zeigen sich auch bei der zweiten Computersimulation MANUTEX deutlich: Deutsche Teilnehmer sind auch hier signifikant aktiver und zielorientierter, wählen eine riskante, offensiv-expansive Strategie, wohingegen die indischen Teilnehmer eher risikovermeidend auf eine defensive Strategie setzen, die die Produktion drosselt und damit den Gewinn reduziert.

Der letzte Bereich an Ergebnissen betrifft die TÜCKISCHEN OBJEKTE. Hinsichtlich der aufgebrachten Geduld zeigt sich, dass beide Untersuchungsgruppen mit vergleichbarem Engagement an die Aufgaben herangehen, die deutschen Teilnehmer aber bei Misserfolgen ungeduldiger und hektischer reagieren. Entgegen den Erwartungen sind die indischen Teilnehmer nicht findiger: Werkzeugeinsatz, Feintuning oder problemraumerweiternde Ideen kommen etwa gleich häufig vor. Lediglich bei der GUMMIBOX zeigen sich 13 indische, aber nur 1 deutscher Teilnehmer bereit zu »illegalen« Manipulationen. Hilfesuche zeigen die indischen Teilnehmer häufiger und schneller, auch wenn die deutschen Teilnehmer häufiger nonverbale Signale der Hilflosigkeit zeigen.

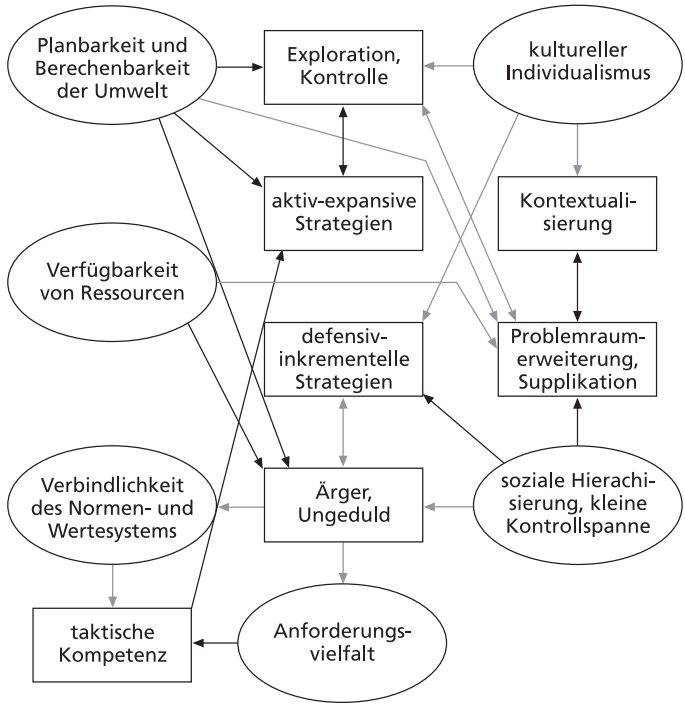


Abbildung 54 Zusammenfassende Darstellung der Auswirkungen kultureller Merkmale (Ovale) auf Aspekte des problemlösenden Denkens und Handelns (Rechtecke); Pfeile mit schwarzer Spitze bezeichnen gleichsinnige (»+«, positive Wirkung) Beziehungen, mit grauer Spitze gegensinnige (»-«, negative Wirkung) Beziehungen (nach Strohschneider, 2001, S. 279), Doppelpfeile stehen für wechselseitige Abhängigkeiten.

Was fängt man mit den empirisch vorgefundenen Gemeinsamkeiten und Unterschieden nun an? Strohschneider versucht, ein zusammenfassendes theoretisches Modell anzubieten, das kurz dargestellt werden soll. In diesem Modell werden kulturelle Merkmale als *Determinanten* des problemlösenden Denkens konzipiert (obwohl Strohschneider ausdrücklich eine Interaktion annimmt!). Abbildung 54 zeigt die angenommenen Zusammenhänge.

Wie diese etwas unübersichtliche Darstellung zeigt, sind es vor allem die Planbarkeit und Berechenbarkeit der Umwelt, die Verfügbarkeit von Ressourcen, die Verbindlichkeit des Normen- und Wertesystems, die Anforderungsvielfalt, kultureller Individualismus und die soziale Hierarchisierung, die in diesem Modell auf Strategien des Problemlösens Einfluss nehmen. Diese »allgemeine Kulturtheorie« wird natürlich bei Strohschneider ausführlicher erläutert (S. 272–280) und kann hier aus Platzgründen nicht weiter expliziert werden.

Bewertung

In der abschließenden Bewertung ist festzuhalten: Die detaillierten Analysen beim Vergleich der Planungs- und Problemlöseaktivitäten indischer und deutscher Versuchspersonen zeigen auf, dass es wohl keine Unterschiede bei den zugrunde liegenden Strukturen der Informationsverarbeitung gibt, diese dafür aber dort in Erscheinung treten, wo kulturell gebundene Inhalte und Werte den Gang der Problemlösung bestimmen. Auch wenn das zusammenfassende Modell nicht ganz zufrieden stellen kann (offene Fragen sind z. B.: Warum werden kaum Interaktionen aufgezeigt, obwohl sie immer wieder postuliert werden? – Wie lassen sich Konstrukte wie »Anforderungsvielfalt«, »Planbarkeit und Berechenbarkeit der Umwelt« etc. in objektivierbare Größen übersetzen? – »Verbietet« das Modell überhaupt etwas?), beeindruckt doch der Versuch, die Kulturbeschränktheit bisheriger Forschungen aufzubrechen und dem schleichenden Kulturimperialismus vieler amerikanischer Arbeiten etwas entgegenzustellen. Die neueren Arbeiten von Nisbett, Peng, Choi und Norenzayan (2001) sowie von Nisbett und Norenzayan (2002) könnten diesen Trend hin zu kulturvergleichenden Studien bestärken. Neben der inhaltlichen Diskussion ist auch die methodische Debatte darüber, wie kulturvergleichende Forschung in fairer Weise möglich ist, von zunehmender Bedeutung. Dies zeigt sich ja auch am Beispiel internationaler Schulleistungsversuche (vgl. Kapitel 6.5.2).

6.8.2 Zusammenfassung

Die ausführlich dargestellte Studie von Strohschneider zum Kulturvergleich zeigt, dass man an einer Einbettung des problemlösenden Denkens in den kulturellen Kontext nicht vorbeikommt. Neben einer breiten Auswahl von Untersuchungsinstrumenten sind auch Erwartungen über kulturbedingte Unterschiede notwendig, da erst sie die Herstellung bestimmter Untersuchungsbedingungen möglich machen (Moro-Versionen, die Angehörige der einen bzw. anderen Kultur begünstigen). Die gefundenen Unterschiede werden weniger in unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen gefunden als vielmehr in unterschiedlichen Bewertungen der Inhalte. Einmal mehr zeigt sich die Kontextabhängigkeit des problemlösenden Denkens.

Weiterführende Literatur

Berry, Poortinga, Segall und Dasen (1992) bieten einen breiten Überblick über »Cross-cultural Psychology«. Strauss und Quinn (1997) bieten als kognitive Anthropologen viele Bezüge zur Kognitionspsychologie. Bei Nisbett und Norenzayan (2002) liest man mehr zur Komplementarität von Ethnologie und Psychologie auf der Suche nach den »wahren« kognitiven Invarianzen, die über Kulturen hinweg bestehen. Nisbett (2003) gibt einen zusammenfassenden Überblick.

6.9 Zusammenfassung

Der Streifzug durch die verschiedenen psychologischen Teilgebiete macht die jeweilige Bedeutung problemlösenden Denkens für diese Bereiche deutlich. In den Grundlagendisziplinen Allgemeine Psychologie, Entwicklungspsychologie, Sozialpsychologie und Differenzielle Psychologie sind jeweils eigenständige Bereiche ausfindig zu machen, die von der Perspektive des komplexen Problemlösens profitieren und durch das Aufgreifen dieser Thematik neue Erkenntnisse gewinnen. Aber auch in den drei herausgegriffenen Anwendungsfeldern Pädagogische Psychologie, Arbeits- und Organisationspsychologie sowie Klinische Psychologie hat das komplexe Problemlösen deutliche Spuren hinterlassen, die sich in einer Reihe interessanter Arbeiten dokumentieren lassen. Schließlich zeigt die Perspektive des Kulturvergleichs die Notwendigkeit, die kulturelle Bedingtheit von Problemlöseprozessen stärker zu berücksichtigen. In einer zunehmend multikulturellen Umgebung mit allen daraus resultierenden Vor- und Nachteilen muss dieser Thematik mehr Aufmerksamkeit entgegengebracht werden als bisher.

7 Ausblick

7.1 Was ist der erreichte Stand?
7.2 Was sind die wichtigen offenen Fragen?

Problemlösendes Denken ist ein faszinierender Gegenstand der Psychologie – sind es doch die Menschen, die sich ihre Probleme schaffen und zugleich an deren Lösung arbeiten. Erfreulich ist, dass sich die akademische Psychologie im 20. Jahrhundert von den artifiziellen Spielproblemen ab- und den realistischeren Lebensproblemen zugewendet hat. Hier haben sich Denkpsychologen einem »main stream« widersetzt, der unter dem Primat der Laborforschung und der dabei nötigen experimentellen Kontrolle die Validität der Fragestellungen aus den Augen verloren hatte. Was die Problemlöseforschung seit rund 25 Jahren mit der Hinwendung zum komplexen Problemlösen bereits in wichtigen Teilen vollzogen hat, steht anderen Bereichen der Psychologie noch bevor, wie etwa die Debatten in der Entscheidungsforschung zum Thema »naturalistic decision making« zeigen (z. B. Harvey, 2001; Roelofsma, 2001; Zsambok, 1997).

Dies soll Untersuchungen zu Streichholzproblemen nicht ins Abseits eines akademischen Elfenbeinturms stellen – wo es um die strenge Prüfung theoretischer Annahmen geht, sind experimentelle Vereinfachungen meist aus Gründen der Kontrollierbarkeit notwendig und unverzichtbar. Allerdings muss bereits bei der Formulierung der Theorien darauf geachtet werden, dass sie auf realistische Probleme anwendbar sind. Sich auch in der Theoriebildung nur auf Denksportaufgaben zu beziehen, wäre eine Beschränkung, die angesichts der uns umgebenden lebensbedrohlichen Probleme dieser Welt kaum nachvollziehbar ist.

7.1 Was ist der erreichte Stand?

Die Problemlöseforschung hat sich mit der Hinwendung zu komplexen Problemen wieder als eine wichtige Strömung in der modernen Psychologie etabliert. Der damit erreichte Stand lässt sich unter vier Aspekten konkretisieren: a) Eine Erweiterung des Gegenstandsbereichs der Problemlöseforschung ist vollzogen; b) neue Phänomene sind aufgetaucht und beschrieben worden; c) die Untersuchungsmethodik hat sich verfeinert und ist problembewusster geworden; d) experimentelle Befunde bilden das Rückgrat für evidenzbasierte Empfehlungen.

a) *Erweiterung des Gegenstandsbereichs*. Ganz unbestreitbar gehören komplexe Probleme heute zum Gegenstandsbereich der Problemlöseforschung dazu. Sie haben die Forschung zu einfachen Problemen aber nicht verdrängt. Vielmehr besteht eine Ko-Existenz verschiedenster Problemtypen, von denen die komplexen Probleme am schnellsten ihren Weg in den Anwendungsbereich finden. Komplexe Probleme könnten zu einer Prüfinstanz für Theorien werden, die an einfachen Problemen entwickelt wurden. Inwiefern das Spannungsverhältnis zwischen beiden Forschungsbereichen fruchtbar gemacht werden kann, muss sich zeigen.
b) *Beschreibung neuer Phänomene*. Mit dem neuen Gegenstandsbereich verbunden ist die Akzentuierung neuer Phänomene wie z. B. der Notfallreaktion des intellektuellen Systems oder der engen Verknüpfung von Kognition und Emotion. Auch wenn die von Dörner (1992) geforderte Phase des »Schmetterlingssammelns« (also des bloßen Beschreibens von Phänomenen) noch nicht abgeschlossen sein dürfte, wird dem Erklären derartiger Phänomene heute mindestens ebenso große Aufmerksamkeit gewidmet wie deren Beschreibung. Dies ist Teil einer »reifen« Wissenschaft, die ihre Stärke in theoretischen Konstruktionen zur Erklärung von Wirklichkeit sieht.
c) *Verbesserungen der Untersuchungsmethodik*. Nicht nur hinsichtlich der Beschreibung von Phänomenen, sondern auch hinsichtlich der Methoden ihrer Erforschung sind wir heute ein Stück weitergekommen. Auch wenn sich am Ende einer Methodendebatte keine singuläre Methode als Sieger rühmen kann, ist doch das Verständnis der Schwächen wie Stärken einzelner Verfahren gewachsen. Wir kennen die Werkzeuge in unserem Methodenkoffer zunehmend besser – das ist der Erfolg kritischer Debatten über die richtige Art Denkpsychologie zu betreiben.
d) *Experimentelle Befunde als Rückgrat*. Kern aller empirischen Wissenschaften sind experimentelle Befunde, die – möglichst repliziert – den Grundstock der Theorien abgeben und die »constraints« aufzeigen, innerhalb derer sich Theoriebildung bewegen kann. Hier haben 25 Jahre Forschung eine Menge zusammengetragen, von der im vorliegenden Buch einiges zu lesen ist, auch wenn man sich mehr Replikationen und vereinheitlichende theoretische Konzepte wünschen mag.

7.2 Was sind die wichtigen offenen Fragen?

Auch wenn der erreichte Stand Anlass zu positiven Bewertungen ist, sollten die verbliebenen offenen Fragen nicht ausgeblendet werden, mit denen sich die Problemlöseforschung (aber nicht nur sie alleine) zukünftig beschäftigen muss. Diese Fragen sollen abschließend gestellt werden. Die Anordnung der Themen erfolgt in aufsteigender Reihung ihrer Wichtigkeit.

Bedeutung bildgebender Verfahren. Die Chancen, die in den modernen bildgebenden Verfahren liegen, mit denen die Neurobiologie des Gehirns zunehmend differenzierter analysiert werden kann, werfen brisante Fragen auf wie z. B. diese: Werden wir demnächst dem Gehirn beim problemlösenden Denken zusehen kön-

nen? Und falls ja, was werden wir sehen? Op de Beeck, Wagemans und Vogels (2001) haben in einer kritischen Übersicht vor falschen Erwartungen gewarnt und schreiben:

> »... if one wants to construct a cognitive model of behavior, then a mere localization of these processes is not that important (contrary to its importance for neuropsychology). For a cognitive scientist, it is important which cognitive processes are involved in a task and how these are computed, but it does not matter where they are computed ...« (S. 344).

Die alte Diskussion um die richtige Analyseebene, die von Marr (1982) bereits im Kontext seiner Arbeiten zu KI-Modellen des Sehens aufgeworfen wurde und die in der Kontroverse um konnektionistische versus symbolistische Ansätze heftig entfacht wurde (vgl. Broadbent, 1985; McClelland, 1988; McClelland & Rumelhart, 1985; McCloskey, 1991), taucht hier erneut auf (beide Ansätze wurden in Kapitel 2.6 dargestellt). Bringen Erkenntnisse über neuronale Strukturen tatsächlich Licht in Theorien, die auf einer viel abstrakteren Analyseebene formuliert sind? Die Antwort wird auch hier im Fall der bildgebenden Verfahren ähnlich sein wie bei der Debatte um konnektionistische Systeme, also darauf hinauslaufen, dass eine Analyse konkreter Implementationen natürlich spannend ist, dass aber die letztendlich wichtigen Fragen abstrakter gestellt und deshalb nicht durch diese Erkenntnisse auf der Implementations-Ebene beantwortet werden können.

Langzeit-Problemlösen. Die meisten Problemstellungen, die in der Forschung untersucht wurden, beziehen sich auf vergleichsweise kurze Zeiträume. Selbst dort, wo – wie bei Lohhausen – längere Simulationszeiträume vorgesehen waren, betrug die reale Zeitspanne der Bearbeitung kaum mehr als ein paar Stunden (die 10 simulierten Jahre der Kleinstadt wurden auf 10 Stunden kondensiert, verteilt über mehrere Tage). Die Zeitspannen der realen Probleme können durchaus umfassender sein: Der Umgang mit chronischen Krankheiten etwa oder die Beschäftigung mit Lebensplänen umfassen Zeiträume, die sich normalen Laboruntersuchungen entziehen. Hier sind möglicherweise andere methodische Zugänge (biographische Analysen, qualitative Verfahren) einzusetzen, um sich mit diesen Problemlösungen zu beschäftigen.

Kontexteffekte. Eine der eindrücklichsten Fähigkeiten menschlicher Kognition ist deren enorme Kontextsensitivität. Strukturell gleiche Anforderungen werden in unterschiedlichen semantischen Kontexten ganz unterschiedlich bearbeitet (z. B. Blessing & Ross, 1996; Hesse, 1982). Unterschiedliche Kontexte zeigen sich auch beim Bearbeiten einer Anforderung in verschiedenen Kulturen (Badke-Schaub & Strohschneider, 1998; Honold, 2000; Strohschneider, 1998; Strohschneider & Güss, 1999), wobei Kulturvergleich nicht immer gleich den Wechsel der Nation oder gar des Kontinents bedeuten muss, sondern bereits auf der Ebene von »Sub-Kulturen« durchgeführt werden kann (Strohschneider, 1994). Festzustellen, wie beim Problemlösen Variationen des Kontexts zu Variationen der Strategien und der konstruierten Problemräume führen, dürfte eine wichtige Aufgabe kommender Forschung darstellen.

Bereichsspezifität bzw. Generalisierbarkeit. Eng verbunden mit dem Thema Kontextsensitivität ist die Frage nach der Bereichsspezifität problemlösenden Denkens. Frensch und Buchner (1999) diskutieren an zwei Beispielen (Expertise und Entwicklung) aktuelle Debatten über bereichsspezifische bzw. generalisierbare Befunde (*domain-generality versus domain-specificity*) und machen deutlich, dass man nicht annehmen dürfe, die Funktionsweise menschlicher Kognition sei

auf einige wenige zugrunde liegende generalisierbare Prinzipien zurückzuführen. Auf der anderen Seite besteht ein Gewinn darin, bereichsspezifische Prinzipien (z. B. negatives Priming, das bei Buchstaben, Wörtern, einfachen und komplexen Zeichnungen sowie Fotografien nachgewiesen wurde) auf einen allgemeinen Mechanismus zurückzuführen (z. B. negatives Priming bei visuellem Material) und damit ein spezifisches Konzept auf eine breitere Anwendungsebene zu heben. Die Debatte um Bereichsspezifität bzw. Generalisierbarkeit, so Frensch und Buchner, sei zumindest insofern wertvoll, als dabei die Anwendungsbreite psychologischer »constraints« bestimmt werden kann. Für die Forschung zum komplexen Problemlösen bedeutet dies die Ermittlung der Aussagekraft von Erkenntnissen, die an speziellen Szenarios gewonnen wurden: Unter welchen Bedingungen lassen sich Beobachtungen wie z. B. die der Notfallreaktion des kognitiven Systems auf andere Szenarios übertragen? Welche Generalität kommt derartigen Aussagen zu?

Dass es vielleicht *doch* fundamentale Prinzipien gibt, sollte allerdings nicht von vornherein ausgeschlossen werden: Zumindest beim Umgang mit Kausalität haben Goldvarg und Johnson-Laird (2001, S. 605) bislang keine domänenspezifischen Effekte feststellen können. Was aber ist eine Domäne überhaupt? Diese Fragen werfen Medin, Lynch und Solomon (2000) auf im Zuge ihrer Debatte darüber, ob es verschiedene Arten von Begriffen gäbe und, wenn ja, was die dahinter liegenden Dimensionen seien. Unter inhaltlichen Gesichtspunkten könne man z. B. Wissen über Biologie von Wissen über Physik unterscheiden, aber – so fragen sie – welche Bedeutung hat diese Unterscheidung?

> »It is one thing to stake out a domain and quite another to work out the details of how the associated competencies develop, how they are manifest in adults, and how cross-domain interactions emerge. Addressing these questions sets a research agenda that promises to increase our understanding of concept formation and use« (S. 137).

Auch für die Forschung zum problemlösenden Denken könnte sich ein derartiges Forschungsprogramm lohnen, das sich auf die Suche nach bereichsspezifischen Fähigkeiten und Fertigkeiten macht (siehe auch Hirschfeld & Gelman, 1994).

Trainierbarkeit. Von Anbeginn der Forschung zum Umgang mit komplexen Problemen stellte sich die Frage, inwiefern die dort gestellten Anforderungen durch Training erlernbar bzw. verbesserbar seien. Zwar besteht allgemeine Übereinkunft in der Aussage, dass eine Konfrontation mit verschiedenen Szenarios zu einer sinnvollen Erweiterung des Erfahrungsraums führen sollte – doch starke, empirisch fundierte Nachweise über den Erfolg derartigen Vorgehens sucht man vergeblich. Wohl ist unbestritten, dass bloße Wiederholung einer Szenario-Bearbeitung zu einem Lerneffekt führt, aber Training meint mehr: Gedacht ist dabei vor allem an den Erwerb strategischer Kompetenz, die sich in verschiedensten Handlungsfeldern niederschlagen sollte. Aber gerade für die unberechenbaren Situationen Regeln aufstellen zu wollen, könnte sich als Quadratur des Kreises erweisen. Unter Anwendungsgesichtspunkten liegt hier eine große Herausforderung psychologischer Forschung.

Validität künstlicher Seelen. Die Simulation ganzer psychischer Systeme ist heute zu einem interessanten Werkzeug der Theoriebildung geworden. Noch vor 40 Jahren konnte Neisser (1963, S. 195) die Forschung zur künstlichen Intelligenz wie folgt kritisieren:

> »Three fundamental and interrelated characteristics of human thought ... are conspicuously absent from existing or contemplated programs: 1. human thinking always

> take place in, and contributes to, a cumulative process of growth and development; 2. human thinking begins in an intimate association with emotions and feelings which is never entirely lost; 3. almost all human activity, including thinking, serves not one but a multiplicity of motives at the same time«.

Während der erste Aspekt – Abbildung von Lern- und Entwicklungsprozessen – nach wie vor ein Problem darstellt und fast nur von konnektionistischen Ansätzen beachtet wird (z. B. Elman et al., 1996), scheinen die Aspekte 2 (Missachtung von Emotionen und Gefühlen) und 3 (Überdeterminiertheit von Verhalten) aus Neissers Kritik heute nicht mehr zutreffend: Die künstlichen Seelen verfügen angeblich über Emotionen und bedienen mehrere Motive gleichzeitig (z. B. Bartl & Dörner, 1998; Dörner et al., 2002). Diese »künstlichen Emotionen« (siehe die Übersicht bei Grebe, 2000) sind aber nur Schatten menschlicher Emotionen, da sie z. B. von deren Körperlichkeit keinen Gebrauch machen können, ihre kommunikative wie expressive Funktion damit eingeschränkt ist und zudem keine bewusste Repräsentation besteht, da alle diese Maschinen bewusstlos sind.

Das Projekt »künstliche Seele« ist sicher verfolgenswert, doch sollte nicht vergessen werden, dass in einer sich empirisch verstehenden Psychologie das letzte Validitätskriterium immer menschliches Verhalten bleibt und nicht dasjenige des »simulated human user« (Gray, 2002). Die Konzentration auf simulierte Personen läuft Gefahr, den Blick von realen Personen abzuwenden. Eine derartige Entwicklung hätte die Forschung zum komplexen Problemlösen nicht verdient.

Theoretischer Bezugsrahmen. Der letzte Bereich ist der drängendste. Bis heute haben wir keine explizite Theorie des Umgangs mit komplexen Problemen, noch ärgerlicher: Wir wissen nicht einmal sicher, ob wir eine solche Theorie brauchen oder ob wir mit allgemeinen Annahmen zum Problemlösen auskommen, die sowohl für das Lösen einfacher als auch komplexer Probleme gleichermaßen gelten. In dieser Hinsicht ist Quesada, Kintsch und Gomez (2002) zuzustimmen, wenn sie schreiben:

> »Compared to traditional problem solving, Complex Problem Solving (CPS) radically changed the kind of phenomena reported, the kind of explanations looked for, and even the kind of data that were generated. However, the results obtained to date are far from being integrated and consolidated«.

Es ist eine Sache, interessante Phänomene aufzuzeigen. Dies ist durch Untersuchungen zum komplexen Problemlösen eindrücklich geleistet worden, wie die voranstehenden Kapitel dokumentieren. Es ist eine andere Sache, die theoretische Aufarbeitung dieser Phänomene zu leisten. Dies bedeutet nicht nur die Entwicklung eines Netzwerks präziser Begriffe, sondern vor allem deren Verknüpfung zu empirisch gehaltvollen und damit testbaren Hypothesen und die Integration einzelner derartiger Hypothesen in das, was wir eine Theorie problemlösenden Denkens nennen wollen. Hierfür gilt der Satz, mit dem viele Artikel und so auch dieses Buch enden: Weitere Forschung ist nötig!

Literatur

Ach, N. (1910). *Über den Willensakt und das Temperament. Eine experimentelle Untersuchung*. Leipzig: Quelle & Meyer.

Adamopoulos, J. & Lonner, W. J. (1994). Absolutism, relativism, and universalism in the study of human behavior. In W. J. Lonner & R. S. Malpass (Eds.), *Psychology and culture* (pp. 129–134). Boston, MA: Allyn & Bacon.

Adrianson, L. (2001). Gender and computer-mediated communication: Group processes in problem solving. *Computers in Human Behavior, 17*, 71–94.

Aebli, H. (1980). *Denken: das Ordnen des Tuns. Band I: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Aebli, H. (1981). *Denken: das Ordnen des Tuns. Band II: Denkprozesse*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Aebli, H. (1988). Begriffliches Denken. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), *Wissenspsychologie* (pp. 227–246). München: Psychologie Verlags Union.

Ahrens, H. J. (1998). Vergleichende Biopsychologie. Evolution und Verhalten lebender Systeme. In E. Irle & H. J. Markowitsch (Eds.), *Vergleichende Psychobiologie (= Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie I: Biologische Psychologie, Band 7)* (pp. 1–104). Göttingen: Hogrefe.

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50*, 179–211.

Allan, L. G. (1979). The perception of time. *Perception & Psychophysics, 26*, 340–354.

Amabile, T. M. (1996). *Creativity in context*. Boulder, CO: Westview.

Amarel, S. (1968). On representations of problems of reasoning about actions. *Machine Intelligence, 3*, 131–171.

Amelang, M. & Bartussek, D. (2001). *Differenzielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung. Fünfte, aktualisierte und erweiterte Auflage*. Stuttgart: Kohlhammer.

Amsel, E., Langer, R. & Loutzenhiser, L. (1991). Do lawyers reason differently from psychologists? A comparative design for studying expertise. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 223–250). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review, 89*, 369–406.

Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Anderson, J. R. (1985). *Cognitive psychology and its implications* (2nd ed.). New York: Freeman.

Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review, 94*, 192–210.

Anderson, J. R. (1993a). Problem solving and learning. *American Psychologist, 48*, 35–44.

Anderson, J. R. (1993b). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Anderson, J. R. (2002). Spanning seven orders of magnitude: A challenge for cognitive modeling. *Cognitive Science, 26*, 85–112.

Anderson, J. R. & Lebiere, C. (Eds.). (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Andresen, N. & Schmid, U. (1993). Zur Invarianz von Problemlösestilen über verschiedene Bereiche. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 40*, 1–17.
Anzai, K. & Simon, H. A. (1979). The theory of learning by doing. *Psychological Review, 86*, 124–140.
Arbinger, R. (1997). *Psychologie des Problemlösens. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Darmstadt: Primus Verlag.
Arlin, P. K. (1989). The problem of the problem. In J. D. Sinnott (Ed.), *Everyday problem solving: Theory and applications* (pp. 229–237). New York: Praeger.
Armitage, C. J. & Conner, M. (2001). Efficacy of the theory of planned behaviour: A meta-analytic review. *British Journal of Social Psychology, 40*, 471–499.
Ashby, W. R. (1974). *Einführung in die Kybernetik*. Frankfurt: Suhrkamp.
Atkinson, J. W. & Birch, D. (1970). *The dynamics of action*. New York: Wiley.
Attneave, F. (1959). *Applications of information theory to psychology: A summary of basic concepts, methods, and results*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
Bach, J. (2003). The MicroPsi agent architecture. In F. Detje, D. Dörner & H. Schaub (Eds.), *Proceedings of the Fifth European Conference on Cognitive Modelling* (pp. 15–20). Bamberg: Universitäts-Verlag Bamberg.
Baddeley, A. D. (1986). *Working memory.* Oxford: Oxford University Press.
Baddeley, A. D. (1997). *Human memory. Theory and practice (revised edition)*. Hove: Psychology Press.
Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist, 56*, 851–864.
Badke-Schaub, P. (1993). Denken und Planen als soziale Prozesse. In S. Strohschneider & R. von der Weth (Eds.), *Ja, mach nur einen Plan. Pannen und Fehlschläge Ursachen, Beispiele, Lösungen* (pp. 51–67). Bern: Hans Huber.
Badke-Schaub, P. (2001a). Erkennen und Bewältigen kritischer Situationen in Projektgruppen. In R. Fisch, D. Beck & B. Englich (Eds.), *Projektgruppen in Organisationen* (pp. 249–267). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
Badke-Schaub, P. (2001b). Successful development of solutions in teams: Theoretical and empirical analyses. In P. Lloyd & H. Christiaans (Eds.), *Designing in context* (pp. 95–111). Delft: Delft University Press.
Badke-Schaub, P. (2001c). Wenn der Gruppe Flügel fehlen: Ungeeignete Informations- und Entscheidungsmechanismen in Gruppen. In H. Mey & D. L. Pollheimer (Eds.), *Absturz im freien Fall – Anlauf zu neuen Höhenflügen* (pp. 113–129). Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
Badke-Schaub, P. & Strohschneider, S. (1998). Complex problem solving in the cultural context. *Travail Humain, 61*, 1–28.
Baeckman, L., Small, B. J. & Wahlin, A. (2001). Aging and memory: Cognitive and biological perspectives. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging (5th ed.)* (pp. 349–377). San Diego, CA: Academic Press.
Bainbridge, L. (1987). Ironies of automation. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 271–283). Chichester: Wiley.
Baker, E. L. & O'Neil, H. F. (2002). Measuring problem solving in computer environments: Current and future states. *Computers in Human Behavior, 18*, 609–622.
Bakken, B., Gould, J. & Kim, D. (1992). Experimentation in learning organizations: A management flight simulator approach. *European Journal of Operational Research, 59*, 167–182.
Bales, R. F. & Strodtbeck, F. L. (1951). Phases in group problem-solving. *Journal of Abnormal and Social Psychology, 46*, 485–495.
Baltes, P. B., Lindenberger, U. & Staudinger, U. (1995). Die zwei Gesichter der Intelligenz im Alter. *Spektrum der Wissenschaft, 10*, 52–61.
Baltes, P. B. & Smith, J. (1990). Weisheit und Weisheitsentwicklung: Prolegomena zu einer psychologischen Weisheitstheorie. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 22*, 95–135.

Bandura, A. (1979). *Sozial-kognitive Lerntheorie*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Barkow, J. H., Cosmides, L. & Tooby, J. (1992). *The adapted mind. Evolutionary psychology and the generation of culture*. New York: Oxford University Press.

Baron, J. (1988). *Thinking and deciding*. Cambridge: Cambridge University Press.

Barron, B. (2000). Achieving coordination in collaborative problem-solving groups. *Journal of the Learning Sciences, 9*, 403–436.

Bartl, C. & Dörner, D. (1998). PSI: A theory of the integration of cognition, emotion and motivation. In F. E. Ritter & R. M. Young (Eds.), *Proceedings of the Second European Conference on Cognitive Modelling* (pp. 66–73). Nottingham: Nottingham University Press.

Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology.* Cambridge: Cambridge University Press.

Bartlett, F. C. (1951). Thinking. *Memoirs and Proceedings of Manchester Literary and Philosophical Society, 93*, 31–44.

Batchelder, W. H. & Riefer, D. M. (1999). Theoretical and empirical review of multinomial processing tree modeling. *Psychonomic Bulletin & Review, 6*, 57–86.

Baumert, J., Klieme, E. & Stanat, P. (1999). Program for International Student Assessment (PISA) – Zielsetzung, wissenschaftliche Konzeption und Design. In D. Leutner (Ed.), *Abstracts zur 57. Tagung der Arbeitsgruppe für Empirische Pädagogische Forschung (AEPF)*. Erfurt: Pädagogische Hochschule.

Beatty, J. (1982). Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological Bulletin, 91*, 276–292.

Beatty, J. & Lucero-Wagoner, B. (2000). The pupillary system. In J. T. Cacioppo & L. G. Tassinary (Eds.), *Handbook of psychophysiology (2nd ed.)* (pp. 142–162). New York: Cambridge University Press.

Beck, D. (2001). *Sozialpsychologie kollektiver Entscheidungen. Ein interaktionsanalytischer Zugang*. Opladen: Westdeutscher Vertlag.

Beckmann, J. F. (1994). *Lernen und komplexes Problemlösen. Ein Beitrag zur Konstruktvalidierung von Lerntests*. Bonn: Holos.

Beckmann, J. F. & Guthke, J. (1995). Complex problem solving, intelligence, and learning ability. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 177–200). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Beller, S. (1997). *Inhaltseffekte beim logischen Denken – Der Fall der Wason'schen Wahlaufgabe. Eine wissensbasierte Lösung für ein altes Problem*. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Benson, D. F. (1994). *The neurology of thinking*. New York: Oxford University Press.

Berry, D. C. (1991). The role of action in implicit learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 43A*, 881–906.

Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 36A*, 209–231.

Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1987a). The combination of explicit and implicit learning processes in task control. *Psychological Research, 49*, 7–15.

Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1987b). Explanation and verbalisation in a computer assisted search task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 39 A*, 585–609.

Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology, 79*, 251–272.

Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1995). Implicit learning in the control of complex systems. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 131–150). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Berry, J. W., Poortinga, Y. H., Segall, M. H. & Dasen, P. R. (1992). *Cross-cultural psychology: Research and applications*. Cambridge: Cambridge University Press.

Betsch, T., Glöckner, A. & Haberstroh, S. (2000). COMMERCE – A micro-world simulation to study routine maintenance and deviation in repeated decision making. *Methods of Psychological Research, 5*(2).

Betsch, T., Haberstroh, S. & Höhle, C. (2002). Explaining routinized decision making: A review of theories and models. *Theory & Psychology, 12*, 453–488.

Bhaskar, R. & Simon, H. A. (1977). Problem solving in semantically rich domains: An example from engineering thermodynamics. *Cognitive Science, 1*, 193–215.

Bless, H. & Ruder, M. (2000). Informationsverarbeitung und Stimmung. In J. H. Otto, H. A. Euler & H. Mandl (Eds.), *Emotionspsychologie. Ein Handbuch* (pp. 306–314). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Blessing, S. B. & Ross, B. H. (1996). Content effects in problem categorization and problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 22*, 792–810.

Bodenburg, S. (2001). *Einführung in die Klinische Neuropsychologie*. Bern: Huber.

Boesch, E. E. (1980). *Kultur und Handlung*. Bern: Hans Huber.

Bolte, A., Goschke, T. & Kuhl, J. (in press). Emotion and intuition: Effects of positive and negative mood on implicit judgments of semantic coherence. *Psychological Science*.

Boos M., Scharpf, U. & Fisch, R. (1991). Eine Methode zur Analyse von Interaktionsprozessen beim Problemlösen und Entscheiden in Sitzungen. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 35*, 115–121.

Boring, E. G. (1929). *A history of experimental psychology.* New York: The Century Company.

Bösel, R. M. (2001). *Denken. Ein Lehrbuch*. Göttingen: Hogrefe.

Bourne, L. E. & Dominowski, R. L. (1972). Thinking. *Annual Review of Psychology, 23*, 105–130.

Bourne, L. E., Dominowski, R. L. & Loftus, E. F. (1979). *Cognitive processes*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Bourne, L. E., Ekstrand, B. R. & Dominowski, R. L. (1971). *The psychology of thinking*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Brander, S., Kompa, A. & Peltzer, U. (1985). *Denken und Problemlösen. Einführung in die kognitive Psychologie*. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Brandtstädter, J. (1982). Apriorische Elemente in psychologischen Forschungsprogrammen. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, 13*, 267–277.

Brandtstädter, J. (2001). *Entwicklung – Intentionalität – Handeln*. Stuttgart: Kohlhammer.

Brauchlin, E. & Heene, R. (1995). *Problemlösungs- und Entscheidungsmethodik. Eine Einführung* (4. Aufl. ed.). Stuttgart: UTB.

Bredenkamp, J. (1990). Kognitionspsychologische Untersuchungen eines Rechenkünstlers. In H. Feger (Ed.), *Wissenschaft und Verantwortung. Festschrift für Karl Josef Klauer* (pp. 47–70). Göttingen: Hogrefe.

Bredenkamp, J., Klein, K.-M., Hayn, S. v. & Vaterrodt, B. (1988). Gedächtnispsychologische Untersuchungen eines Rechenkünstlers. *Sprache & Kognition, 7*, 69–83.

Brehmer, B. (1989). Feedback delays and control in complex dynamic systems. In P. M. Milling & E. O. K. Zahn (Eds.), *Computer-based management of complex systems* (pp. 189–196). Heidelberg: Springer.

Brehmer, B. (1990). Strategies in real-time, dynamic decision making. In R. Hogarth (Ed.), *Insights in decision making. A tribute to Hillel J. Einhorn* (pp. 262–279). Chicago, IL: University of Chicago Press.

Brehmer, B. (1992). Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychologica, 81*, 211–241.

Brehmer, B. (1995). Feedback delays in complex dynamic decision tasks. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 103–130). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Brehmer, B. & Allard, R. (1987). Learning to control a dynamic task. In E. DeCorte, H. Lodewijks, R. Parmentier & P. Span (Eds.), *Learning and instruction* (pp. 275–284). Oxford: Pergamon Press.

Brehmer, B. & Allard, R. (1991). Dynamic decision making: The effects of task complexity and feedback delay. In J. Rasmussen, B. Brehmer & J. Leplat (Eds.), *Distributed decision making: Cognitive models for cooperative work* (pp. 319–334). Chichester: Wiley.

Brehmer, B. & Dörner, D. (1993). Experiments with computer-simulated microworlds: Escaping both the narrow straits of the laboratory and the deep blue sea of the field study. *Computers in Human Behavior, 9*, 171–184.

Brehmer, B., Leplat, J. & Rasmussen, J. (1991). Use of simulation in the study of complex decision making. In J. Rasmussen, B. Brehmer & J. Leplat (Eds.), *Distributed decision making: Cognitive models for cooperative work* (pp. 373–386). New York: Wiley.

Broadbent, D. E. (1977). Levels, hierarchies, and the locus of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 29*, 181–201.

Broadbent, D. E. (1985). A question of levels: Comments on McClelland and Rumelhart. *Journal of Experimental Psychology: General, 114*, 189–192.

Broadbent, D. E. & Aston, B. (1978). Human control of a simulated economic system. *Ergonomics, 21*, 1035–1043.

Broadbent, D. E., Fitzgerald, P. & Broadbent, M. H. P. (1986). Implicit and explicit knowledge in the control of complex systems. *British Journal of Psychology, 77*, 33–50.

Bröder, A. (2000a). Assessing the empirical validity of the »Take The Best« heuristic as a model of human probabilistic inference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 26*, 1332–1346.

Bröder, A. (2000b). *»Take the best – ignore the rest«. Wann entscheiden Menschen begrenzt rational?* Lengerich: Pabst Science Publishers.

Bromme, R., Rambow, R. & Nückles, M. (2001). Expertise and estimating what other people know: The influence of professional experience and type of knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 7*, 317–330.

Brooke, M. (1963). *150 puzzles in crypt-arithmetic*. New York: Dover.

Brown, A. L. (1984). Metakognition, Handlungskontrolle, Selbststeuerung und andere, noch geheimnisvollere Mechanismen. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metakognition, Motivation und Lernen* (pp. 60–108). Stuttgart: Kohlhammer.

Bryson, M., Bereiter, C., Scardamalia, M. & Joram, E. (1991). Going beyond the problem as given: Problem solving in expert and novice writers. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 61–84). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Buchner, A. (1995). Basic topics and approaches to the study of complex problem solving. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 27–63). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Buchner, A. (1999). Komplexes Problemlösen vor dem Hintergrund der Theorie finiter Automaten. *Psychologische Rundschau, 50*, 206–212.

Buchner, A. & Funke, J. (1992). On the use of finite state automata in problem solving research. *International Journal of Psychology, 27*, 135.

Buchner, A. & Funke, J. (1993). Finite state automata: Dynamic task environments in problem solving research. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 46A*, 83–118.

Buchner, A., Funke, J. & Berry, D. C. (1995). Negative correlations between control performance and verbalizable knowledge: Indicators for implicit learning in process control tasks? *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 48A*, 166–187.

Bühler, K. (1907). Tatsachen und Probleme zu einer Psychologie der Denkvorgänge. 1. Über Gedanken. *Archiv für die Gesamte Psychologie, 9*, 297–365.

Bühler, K. (1908). Antwort auf die von W.Wundt erhobenen Einwände gegen die Methode der Selbstbeobachtung an experimentell erzeugten Erlebnissen. *Archiv für die Gesamte Psychologie, 12*, 93–112.

Burns, B. D. & Vollmeyer, R. (1996). Goals and problem solving: Learning as search of three spaces. In G. W. Cotrell (Ed.), *Proceedings of the Eighteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 23–24). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Burns, B. D. & Vollmeyer, R. (2002). Goal specificity effects on hypothesis testing in problem solving. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 55A*, 241–261.
Buss, D. M. (1999). *Evolutionary psychology. The new science of the mind*. Boston, MA: Allyn and Bacon.
Byrne, R. (1995). *The thinking ape. Evolutionary origins of intelligence*. Oxford: Oxford University Press.
Celli, G. (1986). *Der letzte Alchemist. Betrachtungen über Komik und Wissenschaft*. Stuttgart: ComMedia & Arte.
Charness, N. (1981a). Aging and skilled problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General, 110*, 21–38.
Charness, N. (1981b). Search in chess: Age and skill differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7*, 467–476.
Charness, N. (1982). Problem solving and aging: Evidence from semantically rich domains. *Canadian Journal on Aging, 1*, 21–28.
Chase, W. G. & Ericsson, A. (1981). Skilled memory. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 141–189). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Chase, W. G. & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology, 4*, 55–81.
Cheng, P. W. & Holyoak, K. J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology, 17*, 391–416.
Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 73–96). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Chi, M. T. H. (1997). Quantifying qualitative analyses of verbal data: A practical guide. *Journal of the Learning Sciences, 6*, 271–315.
Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science, 5*, 121–152.
Chi, M. T. H., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence. Volume 1* (pp. 7–75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Clark, A. (1997). *Being there. Putting brain, body, and world together again*. Cambridge, MA: MIT Press.
Clausewitz, C. v. (1832/2003). *Vom Kriege. Hinterlassenes Werk. Erster Theil*. München: Ullstein.
Clearwater, S. H., Huberman, B. A. & Hogg, T. (1991). Cooperative solution of constraint satisfaction problems. *Science, 254*, 1181–1183.
Cohen, G. (1989). *Memory in the real world*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Colella, V. (2000). Participatory simulations: Building collaborative understanding through immersive dynamic modeling. *Journal of the Learning Sciences, 9*, 471–500.
Collins, H. & Pinch, T. (1999). *Der Golem der Forschung. Wie unsere Wissenschaft die Natur erfindet*. Berlin: Berlin Verlag.
Conner, M. & Armitage, C. J. (1998). Evaluating the theory of planned behavior: A review and avenues for further research. *Journal of Applied Social Psychology, 28*, 1429–1464.
Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? Studies with the Wason selection task. *Cognition, 31*, 187–276.
Cosmides, L. & Tooby, J. (1989). Evolutionary psychology and the generation of culture: II. Case study: A computational theory of social exchange. *Ethology & Sociobiology, 10*, 51–97.
Cranach, M. v. & Tschan, F. (1997). Handlungspsychologie. In J. Straub, W. Kempf & H. Werbik (Eds.), *Psychologie. Eine Einführung. Grundlagen, Methoden, Perspektiven* (pp. 124–158). München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
Crystal, D. (1998). *Die Cambridge Enzyklopädie der Sprache*. Frankfurt: Campus.

Csikszentmihalyi, M. (1997). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. New York: Harper Collins.

Darwin, C. (1859). *On the origin of species*. London: Murray.

Davis, D. L., Grove, S. J. & Knowles, P. A. (1990). An experimental application of personality type as an analogue for decision-making style. *Psychological Reports, 66*, 167–175.

Davison, G. C. & Neale, J. M. (1998). *Klinische Psychologie. 5., aktualisierte Auflage*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Dawes, R. M. (1998). Behavioral decision making and judgment. In D. T. Gilbert, S. T. Fiske & G. Lindzey (Eds.), *The handbook of social psychology* (4th ed., pp. 497–548). Boston: McGraw-Hill.

de Groot, A. D. (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague: Mouton.

de Groot, A. D. (1966). Perception and memory versus thought: Some old ideas and recent findings. In B. Kleinmuntz (Ed.), *Problem solving: Research, method and theory* (pp. 19–50). New York: John Wiley.

de Keyser, V. (1990). Temporal decision making in complex environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, B327*, 569–576.

de Lisi, R. (1987). A cognitive-developmental model of planning. In S. L. Friedman & E. K. Scholnick (Eds.), *The developmental psychology of planning. Why, how, and when do we plan?* (pp. 79–109). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Detje, F. (1996). *Sprichwörter und Handeln. Eine psychologische Untersuchung*. Frankfurt: Lang.

Dewey, J. (1933). *How we think*. Boston, MA: Heath.

Dickson, J., McLennan, J. & Omodei, M. M. (2000). Effects of concurrent verbalization on a time pressured dynamic decision task. *Journal of General Psychology, 127*, 217–228.

Dilling, H., Mombaur, W. & Schmidt, M. H. (Eds.). (1991). *Internationale Klassifikation psychischer Störungen. ICD-10*. Bern: Hans Huber.

Dominowski, R. L. (1981). Comment on »An examination of the alleged role of ›fixation‹ in the solution of several ›insight‹ problems« by Weisberg and Alba. *Journal of Experimental Psychology: General, 110*, 199–203.

Dominowski, R. L. (1998). Verbalization and problem solving. In D. J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Eds.), *Metacognition in educational theory and practice* (pp. 25–45). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Dorfman, J., Shames, V. A. & Kihlstrom, J. F. (1996). Intuition, incubation, and insight: Implicit cognition in problem solving. In G. Underwood (Ed.), *Implicit cognition* (pp. 257–296). Oxford: Oxford University Press.

Dörner, D. (1974). *Die kognitive Organisation beim Problemlösen. Versuche zu einer kybernetischen Theorie der elementaren Informationsverarbeitungsprozesse beim Denken*. Bern: Hans Huber.

Dörner, D. (1975). Wie Menschen eine Welt verbessern wollten. *Bild der Wissenschaft, 12*, 48–53.

Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.

Dörner, D. (1979). Kognitive Merkmale erfolgreicher und erfolgloser Problemlöser beim Umgang mit sehr komplexen Systemen. In H. Ueckert & D. Rhenius (Eds.), *Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Beiträge zur Tagung »Kognitive Psychologie« in Hamburg 1978* (pp. 185–195). Bern: Hans Huber.

Dörner, D. (1980). On the difficulty people have in dealing with complexity. *Simulation & Games, 11*, 87–106.

Dörner, D. (1981). Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität. *Psychologische Rundschau, 32*, 163–179.

Dörner, D. (1982). Wie man viele Probleme zugleich löst – oder auch nicht. *Sprache & Kognition, 1*, 55–66.

Dörner, D. (1983). Empirische Psychologie und Alltagsrelevanz. In G. Jüttemann (Ed.), *Psychologie in der Veränderung. Perspektiven für eine gegenstandsangemessene Forschungspraxis* (pp. 13–29). Weinheim: Beltz.

Dörner, D. (1984). Der Zusammenhang von Intelligenz und Problemlösefähigkeit: Ein Stichprobenproblem? Anmerkungen zum Kommentar von Lothar Tent. *Psychologische Rundschau, 35*, 154–155.

Dörner, D. (1985a). *Intention memory and intention regulation* (Memorandum Nr.36). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.

Dörner, D. (1985b). Verhalten, Denken und Emotionen. In L. H. Eckensberger & E. D. Lantermann (Eds.), *Emotion und Reflexivität* (pp. 157–181). München: Urban & Schwarzenberg.

Dörner, D. (1985c). Zeitabläufe, Aids und Kognition. *Sprache & Kognition, 4*, 175–177.

Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica, 32*, 290–308.

Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung (3. Auflage)*. Stuttgart: Kohlhammer.

Dörner, D. (1989a). Die kleinen grünen Schildkröten und die Methoden der experimentellen Psychologie. *Sprache & Kognition, 8*, 86–97.

Dörner, D. (1989b). *Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Hamburg: Rowohlt.

Dörner, D. (1992). Über die Philosophie der Verwendung von Mikrowelten oder »Computerszenarios« in der psychologischen Forschung. In H. Gundlach (Ed.), *Psychologische Forschung und Methode: Das Versprechen des Experiments. Festschrift für Werner Traxel* (pp. 53–87). Passau: Passavia-Universitäts-Verlag.

Dörner, D. (1993). Wissen, Emotionen und Handlungsregulation oder Die Vernunft der Gefühle. *Zeitschrift für Psychologie, 201*, 167–202.

Dörner, D. (1996). Verhalten und Handeln. In D. Dörner & H. Selg (Eds.), *Psychologie. Eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder* (pp. 100–114). Stuttgart: Kohlhammer.

Dörner, D. (1998). Emotionen, kognitive Prozesse und der Gebrauch von Wissen. In F. Klix & H. Spada (Eds.), *Wissen* (pp. 301–333). Göttingen: Hogrefe.

Dörner, D. (1999). *Bauplan für eine Seele*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

Dörner, D., Bartl, C., Detje, F., Gerdes, J., Halcour, D., Schaub, H., et al. (2002). *Die Mechanik des Seelenwagens. Eine neuronale Theorie der Handlungsregulation*. Bern: Hans Huber.

Dörner, D., Drewes, U. & Reither, F. (1975). Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen. In W. H. Tack (Ed.), *Bericht über den 29. Kongress der DGfPs in Salzburg 1974* (Vol. Band 1, pp. 339–340). Göttingen: Hogrefe.

Dörner, D. & Kreuzig, H. W. (1983). Problemlösefähigkeit und Intelligenz. *Psychologische Rundschau, 34*, 185–192.

Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F. & Stäudel, T. (1981). Planen, Handeln und Entscheiden in sehr komplexen Realitätsbereichen. In W. Michaelis (Ed.), *Bericht über den 32. Kongress der DGfPs in Zürich 1980* (pp. 280–283). Göttingen: Hogrefe.

Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F. & Stäudel, T. (1983). Lohhausen. *Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Hans Huber.

Dörner, D. & Pfeifer, E. (1992). Strategisches Denken, strategische Fehler, Stress und Intelligenz. *Sprache & Kognition, 11*, 75–90.

Dörner, D. & Preußler, W. (1990). Die Kontrolle eines einfachen ökologischen Systems. *Sprache & Kognition, 9*, 205–217.

Dörner, D. & Reither, F. (1978). Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 25*, 527–551.

Dörner, D., Reither, F. & Stäudel, T. (1983). Emotion und problemlösendes Denken. In H. Mandl & G. L. Huber (Eds.), *Emotion und Kognition* (pp. 61–81). München: Urban & Schwarzenberg.

Dörner, D. & Schaub, H. (1992). Spiel und Wirklichkeit: Über die Verwendung und den Nutzen computersimulierter Planspiele. *Kölner Zeitschrift für Wirtschaft und Pädagogik, 12*, 55–78.
Dörner, D., Schaub, H., Stäudel, T. & Strohschneider, S. (1988). Ein System zur Handlungsregulation oder – Die Interaktion von Emotion, Kognition und Motivation. *Sprache & Kognition, 7*, 217–232.
Dörner, D., Schaub, H. & Strohschneider, S. (1999). Komplexes Problemlösen – Königsweg der Theoretischen Psychologie? *Psychologische Rundschau, 50*, 198–205.
Dörner, D. & Schölkopf, J. (1991). Controlling complex systems; or, expertise as »grandmother's know-how.« In K. A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise. Prospects and limits* (pp. 218–239). New York: Cambridge University Press.
Dörner, D. & Stäudel, T. (1979). Planen und Entscheiden in sehr komplexen Systemen. In L. H. Eckensberger (Ed.), *Bericht über den 31. Kongress der DGfPs in Mannheim 1978* (pp. 440–442). Göttingen: Hogrefe.
Dörner, D. & Tisdale, T. (1993). Planen und Großmutterweisheiten. In S. Strohschneider & R. von der Weth (Eds.), *Ja, mach nur einen Plan. Pannen und Fehlschläge Ursachen, Beispiele, Lösungen* (pp. 219–233). Bern: Hans Huber.
Dörner, D. & Wearing, A. J. (1995). Complex problem solving: Toward a (computer-simulated) theory. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 65–99). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Dornes, M. (1992). *Der kompetente Säugling. Die präverbale Entwicklung des Menschen*. Frankfurt: Fischer.
Dreher, M. & Oerter, R. (1987). Action planning competencies during adolescence and early adulthood. In S. L. Friedman & E. K. Scholnick (Eds.), *The developmental psychology of planning. Why, how, and when do we plan?* (pp. 321–355). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Duncker, K. (1935/1974). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin: Julius Springer.
Ebbinghaus, H. (1885/1971). *Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie (Nachdruck der 1. Auflage, Leipzig 1885)*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
Eckes, T. & Trautner, H. M. (Eds.). (2000). *The developmental social psychology of gender.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin, 51*, 380–417.
Ekman, P. & Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of Personality and Social Psychology, 17*, 124–129.
Ekman, P., Sorenson, E. R. & Friesen, W. V. (1969). Pan-cultural elements in facial display of emotions. *Science, 164*, 86–88.
Ellen, P. (1982). Direction, past experience, and hints in creative problem solving: Reply to Weisberg and Alba. *Journal of Experimental Psychology: General, 111*, 316–325.
Ellis, B. J. & Ketelaar, T. (2000). On the natural selection of alternative models: Evaluation of explanations in evolutionary psychology. *Psychological Inquiry, 11*, 56–68.
Elman, J. L., Bates, E. A., Johnson, M. H., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D. & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness. A connectionist perspective on development*. Cambridge, MA: MIT Press.
Elshout, J. J. (1987). Problem solving and education. In E. DeCorte, H. Lodewijks, R. Parmentier & P. Span (Eds.), *Learning and instruction* (pp. 259–273). Oxford: Pergamon Press.
Endepohls, M. (1995). Die Jugendphase aus der Sicht von Kindern und Jugendlichen: Krise oder Vergnügen? *Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie, 44*, 377–382.
Endres, J. & Putz-Osterloh, W. (1994). Komplexes Problemlösen in Kleingruppen: Effekte des Vorwissens, der Gruppenstruktur und der Gruppeninteraktion. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, 25*, 54–70.
Ericsson, K. A. (Ed.). (1996). *The road to expert performance: Empirical evidence from the arts and sciences, sports, and games*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data* (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.

Estes, W. K. (1982). Learning, memory, and intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of human intelligence* (pp. 170–224). Cambridge: Cambridge University Press.

Evans, J. S. B. T. (1989). *Bias in human reasoning: Causes and consequences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Evans, J. S. B. T., Newstead, S. E. & Byrne, R. M. J. (1993). *Human reasoning. The psychology of deduction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Feuchter, A. (2001). *Lob des sozialen Faulenzens. Motivation und Leistung beim Lösen komplexer Probleme in sozialen Situationen*. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Fiedler, K. (1988). Emotional mood, cognitive style, and behavior regulation. In K. Fiedler & J. Forgas (Eds.), *Affect, cognition, and social behavior* (pp. 100–119). Göttingen: Hogrefe.

Fiedler, K. (1993). Kognitive Täuschungen bei der Erfassung von Ereigniskontingenzen. In W. Hell, K. Fiedler & G. Gigerenzer (Eds.), *Kognitive Täuschungen. Fehl-Leistungen und Mechanismen des Urteilens, Denkens und Erinnerns* (pp. 213–242). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Fiedler, K. (2000). Toward an integrative account of affect and cognitive phenomena using the BIAS computer algorithm. In J. P. Forgas (Ed.), *Feeling and thinking: The role of affect in social cognition* (pp. 223–252). Cambridge: Cambridge University Press.

Fillbrandt, H. (1992). Zur Methode der Erforschung von Problemlöseprozessen. *Zeitschrift für Psychologie, 200*, 3–18.

Finke, R. A., Ward, T. B. & Smith, S. M. (1992). *Creative cognition: Theory, research, and applications*. Cambridge, MA: MIT Press.

Fisch, R. & Boos M. (Eds.). (1990). *Vom Umgang mit Komplexität in Organisationen. Konzepte – Fallbeispiele – Strategien*. Konstanz: Universitätsverlag.

Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring. A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist, 34*, 906–911.

Frensch, P. A. & Buchner, A. (1999). Domain-generality versus domain-specificity: A binary concept and its impact on psychological theory and research. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of cognition* (pp. 137–172). Cambridge, MA: MIT Press.

Frensch, P. A. & Funke, J. (1995). Definitions, traditions, and a general framework for understanding complex problem solving. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 3–25). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Frensch, P. A. & Rünger, D. (2003). Implicit learning. *Current Directions in Psychological Science, 12*, 13–17.

Frensch, P. A. & Sternberg, R. J. (1989). Expertise and intelligent thinking: When is it worse to know better? In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 157–188). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Frensch, P. A. & Sternberg, R. J. (1991). Skill-related differences in game playing. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 343–381). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Freud, S. (1940). Das Ich und das Es. In A. Freud (Ed.), *Gesammelte Werke* (Vol. 13, pp. 237–289). London: Imago Publishing. (Ursprünglich 1923 erschienen).

Freud, S. (1969a). 32. Vorlesung: Angst und Triebleben. In A. Mitscherlich, A. Richards & J. Strachey (Eds.), *Vorlesungen zur Einführung in die Psychoanalyse und neue Folge* (Vol. 1, pp. 517–543). Frankfurt: Fischer. (Ursprünglich 1933 erschienen).

Freud, S. (1969b). Die Verdrängung. In A. Mitscherlich, A. Richards & J. Strachey (Eds.), *Psychologie des Unbewussten* (Vol. 3). Frankfurt: Fischer. (Ursprünglich 1915 erschienen).

Friedman, S. L., Scholnick, E. K. & Cocking, R. R. (Eds.). (1987). *Blueprints for thinking: The role of planning in cognitive development*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Fritz, A. & Funke, J. (1988). Komplexes Problemlösen bei Jugendlichen mit Hirnfunktionsstörungen. *Zeitschrift für Psychologie, 196*, 171–187.

Fritz, A. & Funke, J. (1990). Superhirn trotz Teilleistungsschwäche? *Acta Paedopsychiatrica, 53*, 146–162.

Fritz, A. & Funke, J. (2003). Planungsfähigkeit bei lernbehinderten Kindern: Grundsätzliche Überlegungen zum Konstrukt sowie zu dessen Diagnostik und Training. In G. Ricken, A. Fritz & C. Hofmann (Eds.), *Kinder und ihre Lernwege verstehen*. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Fritz, A. & Hussy, W. (2000). *Zoo-Spiel. Ein Test zur Planungsfähigkeit bei Grundschulkindern*. Göttingen: Beltz Test.

Fritz, A., Hussy, W. & Bartels, S. (1997). Ein spielbasiertes Training zur Verbesserung der Planungsfähigkeit bei Kindern. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 44*, 110–124.

Funke, J. (1982). TAILOR-24. Ein BASIC-Programm zur Simulation einer Schneiderwerkstatt [Computer program]. Trier: Fachbereich I – Psychologie – der Universität Trier.

Funke, J. (1983). Einige Bemerkungen zu Problemen der Problemlöseforschung oder: Ist Testintelligenz doch ein Prädiktor? *Diagnostica, 29*, 283–302.

Funke, J. (1984). Diagnose der westdeutschen Problemlöseforschung in Form einiger Thesen. *Sprache & Kognition, 3*, 159–172.

Funke, J. (1985). Steuerung dynamischer Systeme durch Aufbau und Anwendung subjektiver Kausalmodelle. *Zeitschrift für Psychologie, 193*, 435–457.

Funke, J. (1986). *Komplexes Problemlösen – Bestandsaufnahme und Perspektiven*. Heidelberg: Springer.

Funke, J. (1988). Using simulation to study complex problem solving: A review of studies in the FRG. *Simulation & Games, 19*, 277–303.

Funke, J. (1990). Systemmerkmale als Determinanten des Umgangs mit dynamischen Systemen. *Sprache & Kognition, 9*, 143–153.

Funke, J. (1991). Solving complex problems: Exploration and control of complex systems. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 185–222). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Berlin: Springer.

Funke, J. (1993a). Microworlds based on linear equation systems: A new approach to complex problem solving and experimental results. In G. Strube & K.-F. Wender (Eds.), *The cognitive psychology of knowledge* (pp. 313–330). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Funke, J. (1995a). Erforschung komplexen Problemlösens durch computerunterstützte Planspiele: Kritische Anmerkungen zur Forschungsmethodologie. In T. Geilhardt & T. Mühlbradt (Eds.), *Planspiele im Personal- und Organisationsmanagement* (pp. 205–216). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.

Funke, J. (1995b). Experimental research on complex problem solving. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 243–268). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Funke, J. (1998). Computer-based testing and training with scenarios from complex problem-solving research: Advantages and disadvantages. *International Journal of Selection and Assessment, 6*, 90–96.

Funke, J. (1999). Komplexes Problemlösen: Ein Blick zurück und ein Blick nach vorne. *Psychologische Rundschau, 50*, 194–197.

Funke, J. (2000). Psychologie der Kreativität. In R. M. Holm-Hadulla (Ed.), *Kreativität* (pp. 283–300). Berlin: Springer.

Funke, J. & Buchner, A. (1992). Finite Automaten als Instrumente für die Analyse von wissensgeleiteten Problemlöseprozessen: Vorstellung eines neuen Untersuchungsparadigmas. *Sprache & Kognition, 11*, 27–37.

Funke, J. & Fritz, A. (Eds.). (1995). *Neue Konzepte und Instrumente zur Planungsdiagnostik*. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.

Funke, J. & Gerdes, H. (1993). Manuale für Videorekorder: Auswahl von Textinhalten unter Verwendung der Theorie endlicher Automaten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 47*, 44–49.

Funke, J. & Glodowski, A.-S. (1990). Planen und Problemlösen: Überlegungen zur neuropsychologischen Diagnostik von Basiskompetenzen beim Planen. *Zeitschrift für Neuropsychologie, 1*, 139–148.

Funke, J. & Grube-Unglaub, S. (1993). Skriptgeleitete Diagnostik von Planungskompetenz im neuropsychologischen Kontext: Erste Hinweise auf die Brauchbarkeit des »Skript-Monitoring-Tests« (SMT). *Zeitschrift für Neuropsychologie, 4*, 75–91.

Funke, J. & Hussy, W. (1984). Komplexes Problemlösen: Beiträge zu seiner Erfassung sowie zur Frage der Bereichs- und Erfahrungsabhängigkeit. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 31*, 19–38.

Funke, J. & Krüger, T. (1995). »Plan-A-Day«: Konzeption eines modifizierbaren Instruments zur Führungskräfte-Auswahl sowie erste empirische Befunde. In J. Funke & A. Fritz (Eds.), *Neue Konzepte und Instrumente zur Planungsdiagnostik* (pp. 97–120). Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.

Funke, J. & Müller, H. (1988). Eingreifen und Prognostizieren als Determinanten von Systemidentifikation und Systemsteuerung. *Sprache & Kognition, 7*, 176–186.

Funke, J. & Spering, M. (in Vorbereitung). Methoden der Denk- und Problemlöseforschung. In J. Funke (Ed.), *Denken und Problemlösen (= Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 8)*. Göttingen: Hogrefe.

Funke, J. & Steyer, R. (1985). Komplexes Problemlösen als Konstruktion und Anwendung von Kausalmodellen. In D. Albert (Ed.), *Bericht über den 34. Kongress der DGfPs in Wien 1984* (pp. 264–267). Göttingen: Hogrefe.

Funke, J. & Vaterrodt-Plünnecke, B. (1998). *Was ist Intelligenz?* München: Beck.

Funke, J. & Wagener, S. (1999). Raumfahrt. Ein finiter Automat zur Erfassung von Problemlösekompetenz. Heidelberg: Psychologisches Institut der Universität.

Funke, U. (1993b). Computergestützte Eignungsdiagnostik mit komplexen dynamischen Szenaros. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 37*, 109–118.

Funke, U. (1995c). Szenarien in der Eignungsdiagnostik und im Personaltraining. In B. Strauß & M. Kleinmann (Eds.), *Computersimulierte Szenarien in der Personalarbeit* (pp. 145–216). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.

Funke, U. (1995d). Using complex problem solving tasks in personnel selection and training. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 219–240). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Gadenne, V. (1996). *Bewusstsein, Kognition und Gehirn. Einführung in die Psychologie des Bewusstseins*. Bern: Hans Huber.

Gagné, R. M. (1959). Problem solving and thinking. *Annual Review of Psychology, 10*, 147–172.

Gärdenfors, P. (1988). *Knowledge in flux. Modeling the dynamics of epistemic states*. Cambridge, MA: MIT Press.

Gardner, H. (1985). *The mind's new science. A history of the cognitive revolution*. New York: Basic Books.

Gardner, H. (1989). *Dem Denken auf der Spur. Der Weg der Kognitionswissenschaft*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Geddes, B. W. & Stevenson, R. J. (1997). Explicit learning of a dynamic system with a non-salient pattern. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 50A*, 742–765.

Gentner, D. (1989). Mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199–241). London: Cambridge University Press.

Getzels, J. W. (1964). Creative thinking, problem solving and instruction. In E. Hilgard (Ed.), *Theories of learning and instruction: The sixty-third yearbook of the National Society for the Study of Education* (pp. 240–267). Chicago, IL: University of Chicago Press.

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.

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. Vol. 2* (pp. 83–115). New York: Wiley.

Gigerenzer, G. (1993). Die Repräsentation von Information und ihre Auswirkung auf statistisches Denken. In W. Hell, K. Fiedler & G. Gigerenzer (Eds.), *Kognitive Täuschungen. Fehl-Leistungen und Mechanismen des Urteilens, Denkens und Erinnerns* (pp. 99–128). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Gigerenzer, G. & Goldstein, D. G. (1999). Betting on one good reason: The take the best heuristic. In G. Gigerenzer, P. M. Todd & the ABC Research Group (Eds.), *Simple heuristics that make us smart* (pp. 75–96). New York: Oxford University Press.

Gigerenzer, G. & Hug, K. (1992). Domain-specific reasoning: Social contracts, cheating, and perspective change. *Cognition, 43*, 127–171.

Gigerenzer, G. & Selten, R. (Eds.). (2001). *Bounded rationality: The adaptive toolbox*. Cambridge, MA: MIT Press.

Gigerenzer, G. & Todd, P. M. (1999). Fast and frugal heuristics: The adaptive toolbox. In G. Gigerenzer, P. M. Todd & the ABC Research Group (Eds.), *Simple heuristics that make us smart* (pp. 3–34). New York: Oxford University Press.

Gigerenzer, G., Todd, P. M. & the ABC Research Group (Eds.). (1999). *Simple heuristics that make us smart*. New York: Oxford University Press.

Gilden, D. L. (2001). Cognitive emissions of 1/f noise. *Psychological Review, 108*, 33–56.

Gilhooly, K. J. (1996). *Thinking. Directed, undirected and creative. Third edition*. London: Academic Press.

Goldin, S. E. & Hayes-Roth, B. (1980). *Individual differences in planning processes*. Santa Monica, CA: Rand Corporation.

Goldstein, D. G. & Gigerenzer, G. (1999). The recognition heuristic: How ignorance makes us smart. In G. Gigerenzer, P. M. Todd & the ABC Research Group (Eds.), *Simple heuristics that make us smart* (pp. 37–58). New York: Oxford University Press.

Goldvarg, E. & Johnson-Laird, P. N. (2001). Naive causality: A mental model theory of causal meaning and reasoning. *Cognitive Science, 25*, 565–610.

Gollwitzer, P. M. & Bargh, J. A. (Eds.). (1996). *The psychology of action: Linking cognition and motivation to behavior*. New York: Guilford Press.

Goodwin, G. C., Graebe, S. F. & Salgado, M. E. (2001). *Control system design*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Görn, A., Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (2001). Effects of motivational orientation and perceived ability on performance. *Psychologische Beiträge, 43*, 153–171.

Grafman, J. (1989). Plans, actions, and mental sets: Managerial knowledge units in the frontal lobes. In E. Perecman (Ed.), *Integrating theories and practice in clinical neuropsychology* (pp. 93–138). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Grafman, J. (1995). Similarities and distinctions among current models of prefrontal cortical functions. In J. Grafman, K. J. Holyoak & F. Boller (Eds.), *Structure and functions of the*

human prefrontal cortex (pp. 337–368). New York: New York Academy of Science (= Annals of the New York Academy of Science, Vol. 769).
Grafman, J., Holyoak, K. J. & Boller, F. (Eds.). (1995). *Structure and functions of the human prefrontal cortex*. New York: New York Academy of Science.
Graumann, C. F. (1964). Phänomenologie und deskriptive Psychologie des Denkens. In R. Bergius (Ed.), *Allgemeine Psychologie. I. Der Aufbau des Erkennens. 2. Halbband: Lernen und Denken* (pp. 493–518). Göttingen: Hogrefe.
Graumann, C. F. (1965a). Denken und Denkpsychologie. In C. F. Graumann (Ed.), *Denken* (pp. 13–43). Köln: Kiepenheuer & Witsch.
Graumann, C. F. (1980). Verhalten und Handeln. Probleme einer Unterscheidung. In W. Schluchter (Ed.), *Verhalten, Handeln und System. Talcott Parsons' Beitrag zur Entwicklung der Sozialwissenschaften* (pp. 16–31). Frankfurt: Suhrkamp.
Graumann, C. F. (1984). Bewusstsein und Verhalten. Gedanken zu Sprachspielen in der Psychologie. In H. Lenk (Ed.), *Handlungstheorien interdisziplinär* (Vol. 3, 2. Halbband: Verhaltenswissenschaftliche und psychologische Handlungstheorien, pp. 547–573). München: Wilhelm Fink Verlag.
Graumann, C. F. (2002). The phenomenological approach to people-environment studies. In R. B. Bechtel & A. Churchman (Eds.), *Handbook of Environmental Psychology* (pp. 95–113). New York: Wiley.
Graumann, C. F. (Ed.). (1965b). *Denken*. Köln: Kiepenheuer & Witsch.
Graumann, C. F., Hühn, H. & Jantschek, T. (2001). Stichwort »Verhalten«. In J. Ritter (Ed.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie* (Vol. 11, pp. 680–689). Basel: Schwabe.
Graumann, C. F. & Métraux, A. (1977). Die Phänomenologische Orientierung in der Psychologie. In K. A. Schneewind (Ed.), *Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Psychologie* (pp. 27–53). München: Reinhardt.
Gray, W. D. (2002). Simulated task environments: The role of high-fidelity simulations, scaled worlds, synthetic environments, and laboratory tasks in basic and applied cognitive research. *Cognitive Science Quarterly, 2*, 205–227.
Grebe, M. (2000). Künstliche Emotion. In J. H. Otto, H. A. Euler & H. Mandl (Eds.), *Emotionspsychologie. Ein Handbuch* (pp. 177–188). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
Greeno, J. G. (1974). Hobbits and orcs: Acquisition of a sequential concept. *Cognitive Psychology, 6*, 270–292.
Greeno, J. G. (1978). Natures of problem-solving abilities. In W. K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes. Volume 5. Human information processing* (pp. 239–270). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Greve, W. (2001). Traps and gaps in action explanation. Theoretical problems of a psychology of human action. *Psychological Review, 108*, 435–451.
Griggs, R. A. & Cox, J. R. (1982). The elusive thematic-materials effect in Wason's selection task. *British Journal of Psychology, 73*, 407–420.
Grigorenko, E. L. & Sternberg, R. J. (1995). Thinking styles. In D. H. Saklofske & M. Zeidner (Eds.), *International handbook of personality and intelligence. Perspectives on individual differences* (pp. 205–229). New York: Plenum.
Groeben, N. (1982). *Leserpsychologie: Textverständnis – Textverständlichkeit*. Münster: Aschendorff.
Groeben, N. (1986). *Handeln, Tun, Verhalten als Einheiten einer verstehend-erklärenden Psychologie: Wissenschaftstheoretischer Überblick und Programmentwurf zur Integration von Hermeneutik und Empirismus*. Tübingen: Francke.
Groeben, N. & Christmann, U. (1989). Textoptimierung unter Verständlichkeitsperspektive. In G. Antos & H. P. Krings (Eds.), *Textproduktion. Ein interdisziplinärer Forschungsüberblick* (pp. 165–196). Tübingen: Niemeyer.
Groner, R. (1978). *Hypothesen im Denkprozess. Grundlagen einer verallgemeinerten Theorie auf der Basis elementarer Informationsverarbeitung*. Bern: Hans Huber.

Groner, R. & Groner, M. (1991). Heuristische versus algorithmische Orientierung als Dimension des individuellen kognitiven Stils. In K. Grawe, R. Hänni, N. Semmer & F. Tschan (Eds.), *Über die richtige Art, Psychologie zu betreiben* (pp. 315–330). Göttingen: Hogrefe.

Hacker, W. (1973). *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psychologische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Haider, H. (1992). Implizites Wissen und Lernen. Ein Artefakt? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 39*, 68–100.

Haider, H. (1993). Was ist implizit am impliziten Wissen und Lernen? *Sprache & Kognition, 12*, 44–52.

Hammond, K. R. (1988). Judgment and decision making in dynamic tasks. *Information and Decision Technologies, 14*, 3–14.

Hammond, K. R., Hamm, R. M., Grassia, J. & Pearson, T. (1997). Direct comparison of the efficacy of intuitive and analytical cognition in expert judgment. In W. N. Goldstein & R. M. Hogarth (Eds.), *Research on judgment and decision making: Comments, connections, and controversies* (pp. 144–189). Cambridge: Cambridge University Press.

Harris, J. E. & Morris, P. E. (Eds.). (1984). *Everyday memory, actions and absent-mindedness*. New York: Academic Press.

Hartmann, S. (1995). *Coping-Strategien in alltäglichen Belastungssituationen bei 20–30-jährigen Versuchspersonen*. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeits, Philosophische Fakultät I der Universität, Zürich.

Harvey, N. (2001). Studying judgement: General issues. *Thinking and Reasoning, 7*, 103–118.

Hasselmann, D. (1993). *Computersimulierte komplexe Problemstellungen in der Management-Diagnostik*. Hamburg: Windmühle.

Hawighorst, P. (1998). *Rough-Set-Theory und abg-Automaten. Eine Formalisierung qualitativer Aspekte des Lernens und Handelns bei der Regelung komplexer Systeme*. Aachen: Shaker.

Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1974). Understanding written problem instructions. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition* (pp. 167–200). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1976). The understanding process: Problem isomorphs. *Cognitive Psychology, 8*, 165–190.

Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1977). Psychological differences among problem isomorphs. In N. J. Castellan, D. B. Pisoni & G. R. Potts (Eds.), *Cognitive theory* (Vol. 2, pp. 21–41). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Hayes, N. A. & Broadbent, D. E. (1988). Two modes of learning for interactive tasks. *Cognition, 28*, 249–276.

Hayes, R. T. & Singer, M. S. (1989). *Simulation fidelity in training system design. Bridging the gap between reality and training*. New York: Springer.

Hegarty, M. (1991). Knowledge and processes in mechanical problem solving. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 253–285). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Heineken, E., Arnold, H.-J., Kopp, A. & Soltysiak, R. (1992). Strategien des Denkens bei der Regelung eines einfachen dynamischen Systems unter verschiedenen Totzeitbedingungen. *Sprache & Kognition, 11*, 136–148.

Hell, W., Fiedler, K. & Gigerenzer, G. (Eds.). (1993). *Kognitive Täuschungen. Fehl-Leistungen und Mechanismen des Urteilens, Denkens und Erinnerns*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Herrmann, T. (1957). *Problem und Begriff der Ganzheit in der Psychologie* (Sitzungsbericht der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-historische Klasse No. 231. Band, 3. Abhandlung). Wien: Rohrer.

Herrmann, T. (1982). Über begriffliche Schwächen kognitivistischer Kognitionstheorien: Begriffsinflation und Akteur-System-Kontamination. *Sprache & Kognition, 1*, 3–14.

Hesse, F. W. (1982). Effekte des semantischen Kontexts auf die Bearbeitung komplexer Probleme. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 29*, 62–91.
Hesse, F. W., Spies, K. & Lüer, G. (1983). Einfluss motivationaler Faktoren auf das Problemlöseverhalten im Umgang mit komplexen Problemen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 30*, 400–424.
Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 4*, 11–26.
Hille, K. (1997). *Die »künstliche Seele«. Analyse einer Theorie*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
Hinsley, D., Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1977). From words to equations: Meaning and representation in algebra word problems. In P. Carpenter & M. Just (Eds.), *Cognitive processes in comprehension* (pp. 89–106). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Hirschfeld, L. A. & Gelman, S. A. (1994). Toward a topography of mind: An introduction to domain specificity. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 3–35). New York: Cambridge University Press.
Hodgson, T. L., Bajwa, A., Owen, A. M. & Kennard, C. (2000). The strategic control of gaze direction in the Tower of London task. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 894–907.
Hoffmann, J. (1993). Unbewusstes Lernen – eine besondere Lernform? *Psychologische Rundschau, 44*, 75–89.
Honold, P. (2000). Culture and context: An empirical study for the development of a framework for the elicitation of cultural influence in product usage. *International Journal of Human-Computer Interaction, 12*, 327–345.
Hopcroft, J. E. & Ullman, J. D. (1988). *Einführung in die Automatentheorie, formale Sprachen und Komplexitätstheorie*. New York: Addison-Wesley Publishing.
Horgan, J. (1995). Komplexität in der Krise. *Spektrum der Wissenschaft*(9), 58–64.
Howie, D. E. & Vicente, K. J. (1998). Measures of operator performance in complex, dynamic microworlds: Advancing the state of the art. *Ergonomics, 41*, 85–150.
Hub, H. (1994). *Ganzheitliches Denken im Management. Komplexe Aufgaben PC-gestützt lösen*. Wiesbaden: Gabler.
Huber, G. L. & Mandl, H. (Eds.). (1982). *Verbale Daten: Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der Erhebung und Auswertung*. Weinheim: Beltz.
Huber, O. (1994). Decision behavior in a multistage investment task. *Acta Psychologica, 85*, 139–154.
Huber, O. (1995). Complex problem solving as multistage decision making. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 151–173). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Huber, O. (in press). Buying protection in a multistage investment task. *Acta Psychologica*.
Huber, O., Debeutz, A., Pratscher, J. & Quehenberger, I. (1990). Perceived control in a multistage decision task. *Journal of Behavioral Decision Making, 3*, 123–136.
Hübner, R. (1987). Eine nahe liegende Fehleinschätzung des Zielabstandes bei der zeitoptimalen Regelung dynamischer Systeme. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 34*, 38–53.
Hübner, R. (1988). Die kognitive Regelung dynamischer Systeme und der Einfluss analoger versus digitaler Informationsdarbietung. *Zeitschrift für Psychologie, 196*, 161–170.
Hübner, R. (1989). Methoden zur Analyse und Konstruktion von Aufgaben zur kognitiven Steuerung dynamischer Systeme. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 36*, 221–238.
Hull, C. L. (1920). Quantitative aspects of the evolution of concepts: an experimental study. *Psychological Monographs, 28*(Whole No. 123).
Hunt, R. G., Krzystofiak, F. J. & Yousry, A. M. (1989). Cognitive style and decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 44*, 436–453.
Hussy, W. (1983). Komplexe menschliche Informationsverarbeitung: Das SPIV-Modell. *Sprache & Kognition, 2*, 47–62.

Hussy, W. (1984). *Denkpsychologie. Ein Lehrbuch. Band 1: Geschichte, Begriffs- und Problemlöseforschung, Intelligenz*. Stuttgart: Kohlhammer.
Hussy, W. (1986). *Denkpsychologie. Ein Lehrbuch. Band 2: Schlussfolgern, Urteilen, Kreativität, Sprache, Entwicklung, Aufmerksamkeit*. Stuttgart: Kohlhammer.
Hussy, W. (1993). *Denken und Problemlösen*. Stuttgart: Kohlhammer.
Hussy, W. (1998). *Denken und Problemlösen. Zweite Auflage*. Stuttgart: Kohlhammer.
Hussy, W. & Granzow, S. (1987). Komplexes Problemlösen, Gedächtnis und Verarbeitungsstil. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 34*, 212–227.
Hussy, W. & Jain, A. (2002). *Experimentelle Hypothesenprüfung in der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
Jackson, J. M. & Williams, K. D. (1985). Social loafing on difficult tasks: Working collectively can improve performance. *Journal of Personality and Social Psychology, 49*, 937–942.
Jäger, A. O. (1982). Mehrmodale Klassifikation von Intelligenzleistungen: Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. *Diagnostica, 28*, 195–225.
Jäger, A. O. (1984). Intelligenzstrukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. *Psychologische Rundschau, 35*, 21–35.
Jäger, A. O., Süß, H.-M. & Beauducel, A. (1997). *Berliner Intelligenzstrukturtest. BIS-Test, Form 4*. Göttingen: Hogrefe.
Janis, I. L. (1982). *Groupthink. Psychological studies of policy decisions and fiascoes. Revised and enlarged edition*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
Jansson, A. (1994). Pathologies in dynamic decision making: Consequences or precursors of failure? *Sprache & Kognition, 13*, 160–173.
Jeffries, R., Polson, P. G., Razran, L. & Atwood, M. E. (1977). A process model for Missionaries-Cannibals and other river-crossing problems. *Cognitive Psychology, 9*, 412–440.
Jeffries, R., Turner, A. A., Polson, P. G. & Atwood, M. E. (1981). The processes involved in designing software. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 255–283). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Heidelberg: Springer.
Johnson, E. J. (1988). Expertise and decision under uncertainty: Performance and process. In M. T. H. Chi, R. Glaser & M. J. Farr (Eds.), *The nature of expertise* (pp. 209–228). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Johnson, T. R. & Krems, J. F. (2001). Use of current explanations in multicausal abductive reasoning. *Cognitive Science, 25*, 903–940.
Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
Johnson-Laird, P. N. & Byrne, R. M. J. (1991). *Deduction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Jülisch, B. & Krause, W. (1976). Semantischer Kontext und Problemlösungsprozesse. In F. Klix (Ed.), *Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse* (pp. 274–301). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
Jungermann, H., Pfister, H.-R. & Fischer, K. (1998). *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
Kahneman, D., Slovic, P. & Tversky, A. (1982). *Judgement under uncertainty. Heuristics and biases*. Cambridge: Cambridge University Press.
Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica, 47*, 263–291.
Kainz, F. (1964). Das Denken und die Sprache. In R. Bergius (Ed.), *Allgemeine Psychologie. I. Der Aufbau des Erkennens. 2. Halbband: Lernen und Denken* (pp. 566–615). Göttingen: Hogrefe.
Kaminski, G. (1976). *Theoretische Komponenten handlungspsychologischer Ansätze*.

Kämmerer, A. (1987). Die therapeutische Strategie »Problemlösen« in der therapeutischen Beratung. In H. Neber (Ed.), *Angewandte Problemlösepsychologie* (pp. 287–318). Münster: Aschendorff.

Keane, M. T. & Gilhooly, K. J. (Eds.). (1992). *Advances in the psychology of thinking. Volume One*. New York: Harvester Wheatsheaf.

Kemke, C. (1988). Der neuere Konnektionismus. Ein Überblick. *Informatik-Spektrum, 11*, 143–162.

Kepner, C. H. & Tregoe, B. B. (1965). *The rational manager: A systematic approach to problem solving and decision making*. New York: McGraw-Hill.

Kern, H. J. (1997). *Einzelfallforschung: Eine Einführung für Studierende und Praktiker*. Weinheim: Beltz.

Kersting, M. (1999a). Computergestützte Problemlöseszenarien in der (Eignungs-)Diagnostik – (Charakteristische?) Defizite beim Forschungs-Praxis-Transfer. In W. Hacker & M. Rinck (Eds.), *Zukunft gestalten. Bericht über den 41. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Dresden 1998* (pp. 357–365). Lengerich: Pabst Science Publishers.

Kersting, M. (1999b). *Diagnostik und Personalauswahl mit computergestützten Problemlöseszenarien? Zur Kriteriumsvalidität von Problemlöseszenarien und Intelligenztests*. Göttingen: Hogrefe.

Kersting, M. (2001). Zur Konstrukt- und Kriteriumsvalidität von Problemlöseszenarien anhand der Vorhersage von Vorgesetztenurteilen über die berufliche Bewährung. *Diagnostica, 47*, 67–76.

Kersting, M. & Süß, H.-M. (1995). Kontentvalide Wissensdiagnostik und Problemlösen: Zur Entwicklung, testtheoretischen Begründung und empirischen Bewährung eines problemspezifischen Diagnoseverfahrens. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 9*, 83–93.

Ketelaar, T. & Ellis, B. J. (2000). Are evolutionary explanations unfalsifiable? Evolutionary psychology and the Lakatosian philosophy of science. *Psychological Inquiry, 11*, 1–21.

Kieras, D. E. & Bovair, S. (1986). The acquisition of procedures from text: A production-system analysis of transfer of training. *Journal of Memory and Language, 25*, 507–524.

Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science, 12*, 1–48.

Klauer, K. C. (1993). *Belastung und Entlastung beim Problemlösen. Eine Theorie des deklarativen Vereinfachens*. Göttingen: Hogrefe.

Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reimann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik, 47*, 179–200.

Klir, G. (1974). Taxonomy of systems. In T. H. Murray (Ed.), *Interdisciplinary aspects of general systems theory*. College Park, Maryland: Society for General Systems Research.

Klix, F. (1971). *Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung*. Bern: Hans Huber.

Klix, F. (1985). *Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Klix, F. (1992). *Die Natur des Verstandes*. Göttingen: Hogrefe.

Kluge, A. (2003). *Problemlöseleistungen und Szenarioschwierigkeit: Über Wissenserwerb für das Steuern technischer Systeme*. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, RWTH, Aachen.

Kluwe, R. H. (1986). Psychological research on problem-solving and aging. In A. B. Sorensen, F. E. Weinert & L. R. Sherrod (Eds.), *Human development and the life course: Multidisciplinary perspectives* (pp. 509–533). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kluwe, R. H. (1988). Methoden der Psychologie zur Gewinnung von Daten über menschliches Wissen. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), *Wissenspsychologie* (pp. 359–385). München: Psychologie Verlags Union.

Kluwe, R. H. (1990). Computergestützte Systemsimulationen. In W. Sarges (Ed.), *Management-Diagnostik* (pp. 458–463). Göttingen: Hogrefe.

Kluwe, R. H. (1995). Single case studies and models of complex problem solving. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 269–291). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kluwe, R. H. (1997). Informationsverarbeitung, Wissen und mentale Modelle beim Umgang mit komplexen Systemen. In K. Sonntag & N. Schaper (Eds.), *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen* (pp. 13–37). Zürich: vdf Hochschulverlag.

Kluwe, R. H. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache & Kognition, 9*, 173–192.

Kluwe, R. H., Misiak, C. & Haider, H. (1990). Learning by doing in the control of a complex system. In H. Mandl, E. de Corte, N. Bennett & H. F. Friedrich (Eds.), *Learning and instruction. European research in an international context. Volume 2.1: Social and cognitive aspects of learning and instruction* (pp. 197–218). Oxford: Pergamon Press.

Kluwe, R. H., Misiak, C. & Haider, H. (1991). The control of complex systems and performance in intelligence tests. In H. Rowe (Ed.), *Intelligence: Reconceptualization and measurement* (pp. 227–244). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kluwe, R. H. & Modrow, K. (1988). Planen und Reflexion im Problemlöseverhalten vier- bis siebenjähriger Kinder. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie, 47*, 171–181.

Kluwe, R. H., Schilde, A., Fischer, C. & Oellerer, N. (1991). Problemlöseleistungen beim Umgang mit komplexen Systemen und Intelligenz. *Diagnostica, 37*, 291–313.

Knoblich, G. (1999). Allokation von Aufmerksamkeit und Metakognition beim Problemlösen mit Einsicht. In I. Wachsmuth & B. Jung (Eds.), *KogWis99: Proceedings der 4. Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft, Bielefeld, 28.9.-1.10.1999* (pp. 134–139). Sankt Augustin: Infix.

Knoblich, G. (2002). Problemlösen und logisches Schließen. In J. Müsseler & W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (pp. 644–701). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H. & Rhenius, D. (1999). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 25*, 1534–1555.

Knoblich, G., Ohlsson, S. & Raney, G. E. (2001). An eye movement study of insight problem solving. *Memory and Cognition, 29*, 1000–1009.

Knoblich, G. & Rhenius, D. (1995). Zur Reaktivität lauten Denkens beim komplexen Problemlösen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 42*, 419–454.

Koch, M., L'Age-Stehr, J., Gonzalez, J. S. & Dörner, D. (1987). Die Epidemiologie von Aids. *Spektrum der Wissenschaft, 8*, 38–51.

Koechlin, E., Basso, G., Pietrini, P., Panzer, S. & Grafman, J. (1999). The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature, 3999*, 148–151.

Köhler, W. (1921). *Intelligenzprüfungen an Menschenaffen*. Berlin: Springer.

Köller, O., Dauenheimer, D. G. & Strauß, B. (1993). Unterschiede zwischen Einzelpersonen und Dyaden beim Lösen komplexer Probleme in Abhängigkeit von der Ausgangsfähigkeit. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 40*, 194–221.

Kotkamp, U. (1999). *Elementares und komplexes Problemlösen: Über Invarianzeigenschaften von Denkprozessen*. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Kotovsky, K., Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology, 17*, 248–294.

Krampen, G. (1986). Zur Spezifität von Kontrollüberzeugungen für Problemlösen in verschiedenen Realitätsbereichen. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie und ihre Anwendungen, 45*, 67–85.

Krampen, G. (1991). *Fragebogen zu Kompetenz- und Kontrollüberzeugungen (FKK)*. Göttingen: Hogrefe.

Krawczyk, D. C. (2002). Contributions of the prefrontal cortex to the neural basis of human decision making. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 26*, 631–664.
Kreitler, S. & Kreitler, H. (1987). Conceptions and processes of planning: The developmental perspective. In S. L. Friedman, E. K. Scholnick & R. R. Cooking (Eds.), *Blueprints for thinking: The role of planning in cognitive development* (pp. 205–272). Cambridge: Cambridge University Press.
Krems, J. F. (1995). Cognitive flexibility and complex problem solving. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 201–218). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Kreuzig, H. W. (1979). Gütekriterien für die kognitiven Prozesse bei Entscheidungssituationen in sehr komplexen Realitätsbereichen und ihr Zusammenhang mit Persönlichkeitsmerkmalen. In H. Ueckert & D. Rhenius (Eds.), *Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Beiträge zur Tagung »Kognitive Psychologie« in Hamburg 1978* (pp. 196–209). Bern: Hans Huber.
Kriz, J. (1992). *Chaos und Struktur. Grundkonzepte der Systemtheorie. Band 1*. München: Quintessenz.
Kriz, J. (1999). *Systemtheorie für Psychotherapeuten, Psychologen und Mediziner.* Wien: Facultas (= UTB 2084).
Kriz, W. C. (2000). *Lernziel: Systemkompetenz. Planspiele als Trainingsmethode*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
Kröner, S. (2001). *Intelligenzdiagnostik per Computersimulation.* Münster: Waxmann.
Krueger, C. W. (1992). Software reuse. *ACM Computing Surveys, 24*, 131–183.
Kuhl, J. (1983). Emotion, Kognition und Motivation: II. Die funktionale Bedeutung der Emotionen für das problemlösende Denken und für das konkrete Handeln. *Sprache & Kognition, 2*, 228–253.
Lakatos, I. (1982). *Die Methodologie der wissenschaftlichen Forschungsprogramme*. Braunschweig: Vieweg.
Lantermann, E.-D., Döring-Seipel, E., Schmitz, B. & Schima, P. (2000). *SYRENE. Umwelt- und Systemlernen mit Multimedia*. Göttingen: Hogrefe.
Lantermann, E.-D., Papen, U. v. & Siebler, F. (2002). *Komplexität und Handlungsstil: Das Lernmedium Actor.* Unveröffentlichtes Manuskript, Universität Kassel.
Larkin, J. H. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. Collins (Eds.), *Mental models* (pp. 75–98). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Latané, B., Williams, K. & Harkins, S. (1979). Many hands make light the work: The causes and consequences of social loafing. *Journal of Personality and Social Psychology, 37*, 822–832.
Leighton, J. P. & Dawson, M. R. W. (2001). A parallel distributed processing model of Wason's selection task. *Cognitive Systems Research, 2*, 207–231.
Lenat, D., Prakash, M. & Shepard, M. (1986). CYC: Using common sense knowledge to overcome brittleness and knowledge acquisition bottlenecks. *AI Magazine, 6*(4), 65–85.
Lesgold, A. & Lajoie, S. (1991). Complex problem solving in electronics. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 287–316). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Leutner, D. (1988). Computersimulierte dynamische Systeme: Wissenserwerb unter verschiedenen Lehrmethoden und Sozialformen des Unterrichts. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 20*, 338–355.
Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme. Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
Leutner, D. (2002). The fuzzy relationship of intelligence and problem solving in computer simulations. *Computers in Human Behavior, 18*, 685–697.
Leutner, D. & Schrettenbrunner, H. (1989). Entdeckendes Lernen in komplexen Realitätsbereichen: Evaluation des Computer-Simulationsspiels »Hunger in Nordafrika«. *Unterrichtswissenschaft, 17*, 327–341.

Levine, M. (1975). *A cognitive theory of learning: Research on hypothesis testing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Liberman, N. & Trope, Y. (1998). The role of feasibility and desirability considerations in near and distant future decisions: A test of temporal construal theory. *Journal of Personality and Social Psychology, 75*, 5–18.
Lieberman, M. D. (2000). Intuition: A social cognitive neuroscience approach. *Psychological Bulletin, 126*, 109–137.
Lindig, R. (o.J.). *Vernetzt Denken und Handeln in der Projektarbeit mit dem Netzsimulator »HERAKLIT«. Ein Leitfaden für die Projektabwicklung*. Jena: Lindig Beratung (Selbstverlag).
Lindsay, P. H. & Norman, D. A. (1972). *Human information processing. An introduction to psychology.* New York: Academic Press.
Lipshitz, R. & Bar-Ilan, O. (1996). How problems are solved: Reconsidering the phase theorem. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 65*, 48–60.
Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving. *Psychological Monographs, 54*.
Lüer, G., Hübner, R. & Lass, U. (1985). Sequences of eye movements in a problem solving situation. In R. Groner, G. W. McConkie & C. Menz (Eds.), *Eye movements and human information processing* (pp. 299–307). North Holland: Elsevier Science.
Lüer, G. & Spada, H. (1990). Denken und Problemlösen. In H. Spada (Ed.), *Lehrbuch Allgemeine Psychologie* (pp. 189–280). Bern: Hans Huber.
Lusk, C. M. & Hammond, K. R. (1991). Judgment in a dynamic task: Microburst forecasting. *Journal of Behavioral Decision Making, 4*, 55–73.
Macho, S. (2002a). Cognitive modeling with spreadsheets. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers, 34*, 19–36.
Macho, S. (2002b). *Kognitive Modellierung mit Neuronalen Netzen. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Bern: Hans Huber.
MacKinnon, A. J. & Wearing, A. J. (1985). Systems analysis and dynamic decision making. *Acta Psychologica, 58*, 159–172.
Maercker, A., Böhmig-Krumhaar, S. A. & Staudinger, U. M. (1998). Existenzielle Konfrontation und das Profil weisheitsbezogenen Wissens und Urteilens: Eine Untersuchung von Weisheitsnominierten. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 30*, 2–12.
Manktelow, K. (1999). *Reasoning and thinking*. Hove, East Sussex: Psychology Press.
Marr, D. (1982). *Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York: W. H. Freeman.
Matern, B. (1979). Verzögertes Wirksamwerden von Eingriffen in der automatisierten Industrie – Konsequenzen für die Arbeitsgestaltung. *Sozialistische Arbeitswissenschaft, 23*, 224–228.
Matthäus, W. (1988). *Sowjetische Denkpsychologie*. Göttingen: Hogrefe.
Maule, A. J. (2001). Studying judgement: Some comments and suggestions for future research. *Thinking and Reasoning, 7*, 91–102.
Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition. Second edition*. New York: W. H. Freeman and Company.
Mayer, R. E. & Wittrock, M. C. (1996). Problem-solving transfer. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 47–62). London: Prentice Hall International.
McCarthy, J. (1956). The inversion of functions defined by Turing machines. In C. E. Shannon & J. McCarthy (Eds.), *Automata studies (AM-34)*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
McClelland, J. L. (1988). Connectionist models and psychological evidence. *Journal of Memory and Language, 27*, 107–123.
McClelland, J. L. & Rumelhart, D. E. (1985). Distributed memory and the representation of general and specific information. *Journal of Experimental Psychology: General, 114*, 159–188.

McClelland, J. L. & Rumelhart, D. E. (Eds.). (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition. Volume 2: Psychological and biological models*. Cambridge, MA: MIT Press.

McCloskey, M. (1991). Networks and theories: The place of connectionism in cognitive science. *Psychological Science, 2*, 387–395.

McGeorge, P. & Burton, A. M. (1989). The effects of concurrent verbalization on performance in a dynamic systems task. *British Journal of Psychology, 80*, 455–465.

McGinn, C. (2001). *Wie kommt der Geist in die Materie? Das Rätsel des Bewusstseins*. München: Beck.

McMenamin, S. & Palmer, J. (1984). *Essential systems analysis*. New York: Prentice-Hall.

Meadows, D., Meadows, D., Zahn, E. & Milling, P. (1972). *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit* (Vol. The limits to growth. New York: Universe Books). Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.

Medin, D. L., Lynch, E. B. & Solomon, K. O. (2000). Are there kinds of concepts? *Annual Review of Psychology, 51*, 121–147.

Medler, D. A. (1998). A brief history of connectionism. *Neural Computing Surveys, 1*, 61–101.

Medwedew, G. (1991). *Verbrannte Seelen. Die Katastrophe von Tschernobyl*. München: Hanser.

Metcalfe, J. (1986). Feeling of knowing in memory and problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 12*, 288–294.

Meyer, W.-U., Schützwohl, A. & Reisenzein, R. (1993). *Einführung in die Emotionspsychologie. Band I*. Bern: Hans Huber.

Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior.* New York: Holt, Rinehart & Winston.

Miller, J. G. (1999). Cultural psychology: Implications for basic psychological theory. *Psychological Science, 10*, 85–91.

Milling, P. (1996). Modelling innovation processes for decision support and managing simulation. *System Dynamics Review, 12*, 211–234.

Mintzberg, H. (1973). *The nature of managerial work*. New York: Harper & Row.

Mittenecker, E. & Raab, E. (1973). *Informationstheorie für Psychologen*. Göttingen: Hogrefe.

Miyake, A. & Shah, P. (Eds.). (1999). *Models of working memory – Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.

Montada, L. & Kals, E. (2001). *Mediation. Lehrbuch für Psychologen und Juristen*. Weinheim: BeltzPVU.

Müller, B. & Funke, J. (1995). Das Paradigma »Komplexes Problemlösen«. In B. Strauß & M. Kleinmann (Eds.), *Computersimulierte Szenarien in der Personalarbeit* (pp. 57–102). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.

Müller, H. (1993). *Komplexes Problemlösen: Reliabilität und Wissen*. Bonn: Holos.

Mumford, M. D., Zaccaro, S. J., Harding, F. D., Jacobs, T. O. & Fleishman, E. A. (2000). Leadership skills for a changing world: Solving complex social problems. *Leadership Quarterly, 11*, 11–35.

Nährer, W. (1988). Problemkonstruieren statt Problemlösen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 35*, 441–450.

Neber, H. (Ed.). (1987). *Angewandte Problemlösepsychologie*. Münster: Aschendorff.

Neisser, U. (1963). The imitation of man by machine. *Science, 139*, 193–197.

Neisser, U. (1982). Memory: What are the important questions? In U. Neisser (Ed.), *Memory observed. Remembering in natural contexts* (pp. 3–19). San Francisco, CA: Freeman.

Neves, D. M. & Anderson, J. R. (1981). Knowledge compilation: Mechanisms for the automatization of cognitive skills. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 57–84). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Newell, A. (1973). You can't play 20 questions with nature and win: Projective comments on the papers in this symposium. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 283–308). New York: Academic Press.

Newell, A. (1980). One final word. In D. T. Tuma & F. Reif (Eds.), *Problem solving and education: Issues in teaching and research* (pp. 175–189). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Newell, A. & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanism of skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 1–55). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Newell, A., Shaw, J. C. & Simon, H. A. (1958). Elements of a theory of human problem-solving. *Psychological Review, 65*, 151–166.

Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Nhoyvanisvong, A. & Koedinger, K. R. (1998). Goal specificity and learning: Reinterpretation of the data and cognitive theory. In M. A. Gernsbacher & S. J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 764–769). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Niemivirta, M. (2002). Motivation and performance in context: The influence of goal orientation and instructional setting on situational appraisals and task performance. *Psychologia, 45*, 250–270.

Nisbett, R. E. (2003) *The geography of thought. How Asians and Westerners think differently ... and why.* New York: Free Press.

Nisbett, R. E., Fong, G. T., Lehman, D. R. & Cheng, P. W. (1987). Teaching reasoning. *Science, 238*(30), 625–631.

Nisbett, R. E. & Norenzayan, A. (2002). Culture and cognition. In H. Pashler & D. Medin (Eds.), *Steven's handbook of experimental psychology. Third edition. Vol. 2: Memory and cognitive processes* (pp. 561–597). New York: John Wiley & Sons.

Nisbett, R. E., Peng, K., Choi, I. & Norenzayan, A. (2001). Culture and systems of thought: Holistic versus analytic cognition. *Psychological Review, 108*, 291–310.

Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review, 84*, 231–259.

Norman, D. A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review, 88*, 1–15.

Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. New York: Basic Books.

Norman, D. A. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation. Volume 4* (pp. 1–18). New York: Plenum Press.

Oberauer, K. & Süß, H.-M. (1996). *Working memory starship*. Computerbasierte Testbatterie zur Diagnostik der Arbeitsgedächtniskapazität. Mannheim: Universität Mannheim, Lehrstuhl Psychologie II.

OECD. (1997). *Prepared for life? How to measure cross-curricular competencies*. Paris: OECD Publication.

OECD. (1999). *Measuring student knowledge and skills. A new framework for assessment*. Paris: OECD Publication.

Oerter, R. (1971). *Psychologie des Denkens*. Donauwörth: Ludwig Auer.

Oerter, R. & Dreher, M. (1998). Entwicklung des Problemlösens. In R. Oerter & L. Montada (Eds.), *Entwicklungspsychologie. Ein Lehrbuch. 4., korrigierte Auflage* (pp. 561–621). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Ohlsson, S. (1984a). Restructuring revisited. I. Summary and critique of the Gestalt theory of problem solving. *Scandinavian Journal of Psychology, 25*, 65–78.

Ohlsson, S. (1984b). Restructuring revisited. II. An information processing theory of restructuring and insight. *Scandinavian Journal of Psychology, 25*, 117–129.

Omodei, M. M. & Wearing, A. J. (1995a). Decision making in complex dynamic settings: A theoretical model incorporating motivation, intention, affect, and cognitive performance. *Sprache & Kognition, 14*, 75–90.

Omodei, M. M. & Wearing, A. J. (1995b). The Fire Chief microworld generating program: An illustration of computer-simulated microworlds as an experimental paradigm for studying complex decision-making behavior. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers, 27*, 303–316.

op de Beeck, H., Wagemans, J. & Vogels, R. (2001). Can neuroimaging really tell us what the human brain is doing? The relevance of indirect measures of population activity. *Acta Psychologica, 107*, 323–351.

Opwis, K. (1992). *Kognitive Modellierung. Zur Verwendung wissensbasierter Systeme in der psychologischen Theoriebildung*. Bern: Hans Huber.

Opwis, K. & Spada, H. (1994). Modellierung mithilfe wissensbasierter Systeme. In T. Herrmann & W. H. Tack (Eds.), *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich B: Methodologie und Methoden. Serie I: Forschungsmethoden der Psychologie. Band 1: Methodologische Grundlagen der Psychologie* (pp. 199–248). Göttingen: Hogrefe.

Otto, J. H., Döring-Seipel, E., Grebe, M. & Lantermann, E.-D. (2001). Entwicklung eines Fragebogens zur Erfassung der wahrgenommenen emotionalen Intelligenz. Aufmerksamkeit auf, Klarheit und Beeinflussbarkeit von Emotionen. *Diagnostica, 47*, 178–187.

Otto, J. H., Döring-Seipel, E. & Lantermann, E.-D. (2002). Zur Bedeutung von subjektiven, emotionalen Intelligenzkomponenten für das komplexe Problemlösen. *Zeitschrift für Differenzielle und Diagnostische Psychologie, 23*, 417–433.

Palmer, S. E. (1992). Common region: A new principle of perceptual grouping. *Cognitive Psychology, 24*, 436–447.

Parker, S. T. & McKinney, M. L. (1999). *Origins of intelligence. The evolution of cognitive development in monkeys, apes, and humans*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.

Pauen, S. (1997). Problemlösen durch falsche Analogien: Kindliche Vorstellungen über das Zusammenwirken von Kräften. In A. Ruemmele, S. Pauen & G. Schwarzer (Eds.), *Kognitive Entwicklungspsychologie: Aktuelle Forschungsergebnisse* (pp. 73–88). Lengerich: Pabst Science Publishers.

Pauen, S. & Wilkening, F. (1997). Children's analogical reasoning about natural phenomena. *Journal of Experimental Child Psychology, 67*, 90–113.

Pawlak, Z. (1991). *Rough sets. Theoretical aspects of reasoning about data*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Pea, R. D. & Hawkins, J. (1987). Planning in a chore-scheduling-task. In S. L. Friedman & E. K. Scholnick (Eds.), *The developmental psychology of planning. Why, how, and when do we plan?* (pp. 273–302). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Petermann, F. (Ed.). (1996). *Einzelfallanalyse (3., verbesserte Auflage)*. München: Oldenbourg.

Piaget, J. (1980). *Psychologie der Intelligenz*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Pinker, S. (1994). *The language instinct*. New York: Harper Collins.

Plunkett, L. C. & Hale, G. A. (1982). *The proactive manager.* New York: John Wiley & Sons.

Popper, K. R. (1984). *Logik der Forschung* (8. ed. Vol. 1935). Tübingen: J.C.B. Mohr.

Posner, M. I. & McLeod, P. (1982). Information processing models – In search of elementary operations. *Annual Review of Psychology, 33*, 477–514.

Preußler, W. (1985). *Über die Bedingungen der Prognose eines bivariaten ökologischen Systems* (Memorandum Nr. 31). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.

Preußler, W. (1996). Zur Rolle expliziten und impliziten Wissens bei der Steuerung dynamischer Systeme. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 43*, 399–434.

Preußler, W. (1997). Effekte des Kontexts auf den Wissenserwerb bei der Steuerung eines dynamischen Systems. *Sprache & Kognition, 16*, 48–59.

Preußler, W. (1998). Strukturwissen als Voraussetzung für die Steuerung komplexer dynamischer Systeme. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 45*, 218–240.

Putz-Osterloh, W. (1981). Über die Beziehung zwischen Testintelligenz und Problemlöseerfolg. *Zeitschrift für Psychologie, 189*, 79–100.

Putz-Osterloh, W. (1983). Über Determinanten komplexer Problemlöseleistungen und Möglichkeiten zu ihrer Erfassung. *Sprache & Kognition, 2*, 100–116.

Putz-Osterloh, W. (1987). Gibt es Experten für komplexe Systeme? *Zeitschrift für Psychologie, 195*, 63–84.

Putz-Osterloh, W. (1988). Wissen und Problemlösen. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), *Wissenspsychologie* (pp. 247–263). München: Psychologie Verlags Union.

Putz-Osterloh, W. (1991). Computergestützte Eignungsdiagnostik: Warum Strategien informativer als Leistungen sein können. In H. Schuler & U. Funke (Eds.), *Eignungsdiagnostik in Forschung und Praxis. Psychologische Information für Auswahl, Beratung und Förderung von Mitarbeitern* (pp. 97–102). Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.

Putz-Osterloh, W. (1993a). Strategies for knowledge acquisition and transfer of knowledge in dynamic tasks. In G. Strube & K.-F. Wender (Eds.), *The cognitive psychology of knowledge* (pp. 331–350). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Putz-Osterloh, W. (1993b). Unterschiede im Erwerb und in der Reichweite des Wissens bei der Steuerung eines dynamischen Systems. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 40*, 386–410.

Putz-Osterloh, W. (1995). Komplexes Problemlösen. In K. Pawlik & M. Amelang (Eds.), *Bereiche interindividueller Unterschiede (= Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie 8: Differenzielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung, Band 2)*. Göttingen: Hogrefe.

Putz-Osterloh, W. & Bott, B. (1990). Sind objektive Systemmerkmale auch subjektiv als Anforderungen wirksam? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 37*, 281–303.

Putz-Osterloh, W., Bott, B. & Houben, I. (1988). Beeinflusst Wissen über ein realitätsnahes System dessen Steuerung? *Sprache & Kognition, 7*, 240–251.

Putz-Osterloh, W. & Haupts, I. (1989). Zur Reliabilität und Validität computergestützter Diagnostik komplexer Organisations- und Entscheidungsstrategien. *Untersuchungen des Psychologischen Dienstes der Bundeswehr, 24*, 5–48.

Putz-Osterloh, W. & Haupts, I. (1990). Diagnostik komplexer Organisations- und Entscheidungsstrategien in dynamischen Situationen: Validität und Anwendbarkeit. *Untersuchungen des Psychologischen Dienstes der Bundeswehr, 25*, 107–167.

Putz-Osterloh, W. & Lemme, M. (1987). Knowledge and its intelligent application to problem solving. *German Journal of Psychology, 11*, 268–303.

Putz-Osterloh, W. & Lüer, G. (1981). Über die Vorhersagbarkeit komplexer Problemlöseleistungen durch Ergebnisse in einem Intelligenztest. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 28*, 309–334.

Quesada, J. F., Kintsch, W. & Gomez, E. (2002). A computational theory of complex problem solving using Latent Semantic Analysis. In W. D. Gray & C. D. Schunn (Eds.), *24th annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 750–755). Mahway, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Raab, M. (2001). *SMART. Techniken des Taktiktrainings – Taktiken des Techniktrainings*. Köln: Sport und Buch Strauß.

Raaheim, K. (1988). Intelligence and task novelty. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 73–97). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Rabbitt, P. (1977). Changes in problem solving ability in old age. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 606–625). New York: Van Nostrand Reinhold.

Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, knowledge: Signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13*(3), 257–266.

Rasmussen, J., Duncan, K. & Leplat, J. (Eds.). (1987). *New technology and human error.* Chichester: Wiley.

Rattermann, M. J., Spector, L., Grafman, J., Levin, H. & Harward, H. (2001). Partial and total-order planning: Evidence from normal and prefrontally damaged populations. *Cognitive Science, 25*, 941–975.

Raven, J. C. (1962). *Advanced progressive matrices*. London: Lewis.

Reason, J. (1987). The Chernobyl errors. *Bulletin of the British Psychological Society, 40*, 201–206.

Reason, J. (1990). *Human error.* Cambridge: Cambridge University Press.

Reason, J. (1994). *Menschliches Versagen. Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 6*, 855–863.

Reber, P. J. & Kotovsky, K. (1997). Implicit learning in problem solving: The role of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General, 126*, 178–203.

Reed, S. K., Ernst, G. W. & Banerji, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive Psychology, 6*, 436–450.

Reed, S. K. & Simon, H. A. (1976). Modeling strategy shifts in a problem-solving task. *Cognitive Psychology, 8*, 86–97.

Reichert, U. & Dörner, D. (1988). Heurismen beim Umgang mit einem »einfachen« dynamischen System. *Sprache & Kognition, 7*, 12–24.

Reimann, P. (1998). Novizen- und Expertenwissen. In F. Klix & H. Spada (Eds.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 6: Wissen* (pp. 335–365). Göttingen: Hogrefe.

Reimer, T. (2001). Kognitive Ansätze zur Vorhersage der Problemlöseleistung in Gruppen: Distraktion, Kompensation und Akzentuierung. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, 32*, 107–128.

Reimer, T., Neuser, A. & Schmitt, C. (1997). Unter welchen Bedingungen erhöht die Kommunikation zwischen den Gruppenmitgliedern die Koordinationsleistung in einer Kleingruppe? *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 44*, 495–518.

Reimer, T., Opwis, K. & Bornstein, A.-L. (2002). Routine problem solving in groups. In W. Gray & C. Schunn (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 780–785). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Reither, F. (1981). About thinking and acting of experts in complex situations. *Simulation & Games, 12*, 125–140.

Reither, F. (1985). Wertorientierung in komplexen Entscheidungssituationen. *Sprache & Kognition, 4*, 21–27.

Reither, F. (1996). Denken und Sprache. In D. Dörner & H. Selg (Eds.), *Psychologie. Eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder* (pp. 194–210). Stuttgart: Kohlhammer.

Reitman, J. S. (1976). Skilled perception in Go: Deducing memory structures from interresponse times. *Cognitive Psychology, 8*, 336–356.

Resnick, M. & Wilensky, U. (1998). Diving into complexity: Developing probabilistic decentralized thinking through role-playing activities. *The Journal of the Learning Sciences, 7*, 153–172.

Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Rollett, W. (2000). Motivation and action in self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 503–529). New York: Academic Press.

Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Rollett, W. (2002). Motivation and self-regulated learning: A type analysis with process variables. *Psychologia, 45*, 237–249.

Richelle, M. N. (1976). Formal analysis and functional analysis of verbal behavior: Notes on the debate between Chomsky and Skinner. *Behaviorism, 4*, 209–221.
Richelle, M. N. (1993). *B.F. Skinner: A reappraisal*. Hove, East Sussex: Lawrence Erlbaum Associates.
Richmond, B. (2001). *An introduction to systems thinking: Stella*. Hanover, NH: High Performance Systems.
Riedl, R. (1980). *Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft. Zweite Auflage*. Berlin: Paul Parey.
Riedl, R. (2000). *Strukturen der Komplexität. Eine Morphologie des Erkennens und Erklärens*. Berlin: Springer.
Rigas, G. (2000). Decision making processes and learning in a simulated ecological system. In N. Georgantzis & I. Barreda (Eds.), *Spatial economics and ecosystems: The interaction between economics and the natural environment* (pp. 323–377). Southampton: WIT Press.
Rigas, G., Carling, E. & Brehmer, B. (2002). Reliability and validity of performance measures in microworlds. *Intelligence, 30*, 463–480.
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, Band 1* (pp. 151–164). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
Robertson, J. & Robertson, S. (1996). *Vollständige Systemanalyse*. München: Hanser.
Robertson, S. I. (2001). *Problem solving*. Hove, East Sussex: Psychology Press.
Rock, I. & Palmer, S. (1991). Das Vermächtnis der Gestaltpsychologie. *Spektrum der Wissenschaft, Februar*, 68–75.
Roelofsma, P. H. M. P. (2001). Evaluation ten years of naturalistic decision making: Welcome back in the lab! *Journal of Behavioral Decision Making, 14*, 377–378.
Rollett, W. (2002). Strategieeinsatz und Informationsnutzung bei der Exploration und Steuerung komplexer dynamischer Systeme. In E. van der Meer, H. Hagendorf, R. Beyer, F. Krüger, A. Nuthmann & S. Schulz (Eds.), *43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs)* (pp. 443). Lengerich: Pabst Science Pulishers.
Rollett, W. (2003). *Strategieeinsatz, Informationsnutzung und Motivation beim Explorieren und Steuern komplexer Systeme*. Unveröffentlichte Dissertation, Humanwissenschaftliche Fakultät der Universität Potsdam, Potsdam.
Rosenstiel, L. v. (1992). *Grundlagen der Organisationspsychologie. Basiswissen und Anwendungshinweise. Dritte, überarbeitete und ergänzte Auflage*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
Ross, B. H. (1987). This is like that: The use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 13*, 629–639.
Rost, J. & Strauß, B. (1993). Zur Wechselwirkung von Informationsdarbietung und mentalem Modell beim Umgang mit einem komplexen Problem. *Sprache & Kognition, 12*, 73–82.
Roth, T. (1985). Sprachstatistisch objektivierbare Denkstilunterschiede zwischen »guten« und »schlechten« Bearbeitern komplexer Probleme. *Sprache & Kognition, 4*, 178–191.
Roth, T. (1987). Erfolg bei der Bearbeitung komplexer Probleme und linguistischer Merkmale des Lauten Denkens. *Sprache & Kognition, 6*, 208–220.
Ruben, B. D. & Lederman, L. C. (1982). Instructional simulation gaming: Validity, reliability, and utility. *Simulation & Games, 13*, 233–244.
Rumelhart, D. E. & McClelland, J. L. (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition, Volume 1: Foundations*. Cambridge, MA: MIT Press.
Saari, D. G. (1977). A qualitative model for the dynamics of cognitive processes. *Journal of Mathematical Psychology, 15*, 145–168.
Saarni, C. (1997). Coping with aversive feelings. *Motivation and Emotion, 21*, 45–63.

Sagristano, M. D., Trope, Y. & Liberman, N. (2002). Time-dependent gambling: Odds now, money later. *Journal of Experimental Psychology: General, 131*, 364–376.
Salovey, P. & Mayer, J. D. (1990). Emotional intelligence. *Imagination, Cognition and Personality, 9*, 185–211.
Salvucci, D. D. & Anderson, J. R. (2001). Automated eye-movement protocol analysis. *Human-Computer Interaction, 16*, 39–86.
Sanderson, P. M. (1989). Verbalizable knowledge and skilled task performance: Association, dissociation, and mental models. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15*, 729–747.
Schaefer, R. (1985). *Denken. Informationsverarbeitung, mathematische Modelle und Computersimulation*. Heidelberg: Springer.
Schank, R. C. (1994). Goal-based scenarios. In R. C. Schank & E. Langer (Eds.), *Beliefs, reasoning, and decision making. Psycho-logic in honor of Bob Abelson* (pp. 1–32). Hillsdale,NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Schank, R. C., Berman, T. R. & Macpherson, K. A. (1999). Learning by doing. In C. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models* (pp. 161–181). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Schaper, N. (2000). *Gestaltung und Evaluation arbeitsbezogener Lernumgebungen*. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften, Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg.
Schaub, H. (1990). Die Situationsspezifität des Problemlöseverhaltens. *Zeitschrift für Psychologie, 198*, 83–96.
Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Hans Huber.
Schaub, H. (2000). *Menschliches Versagen. Die Rolle des Faktors »Mensch« bei großtechnischen Katastrophen aus psychologischer Sicht* (Memorandum Nr. 35). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.
Schaub, H. (2001). *Persönlichkeit und Problemlösen. Persönlichkeitsfaktoren als Parameter eines informationsverarbeitenden Systems*. Weinheim: Beltz PVU.
Schaub, H. & Reimann, R. (1999). Zur Rolle des Wissens beim komplexen Problemlösen. In H. Gruber, W. Mack & A. Ziegler (Eds.), *Wissen und Denken. Beiträge aus Problemlösepsychologie und Wissenspsychologie* (pp. 169–191). Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
Schaub, H. & Strohschneider, S. (1992). Die Auswirkungen unterschiedlicher Problemlöseerfahrung auf den Umgang mit einem unbekannten komplexen Problem. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 36*, 117–126.
Schenck, W. (2001). *A connectionist approach to human planning*. Retrieved 11.3.2003, from http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/1428
Schmid, U. & Kindsmüller, M. C. (1996). *Kognitive Modellierung. Eine Einführung in die logischen und algorithmischen Grundlagen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
Schmuck, P. (1992). Zum Zusammenhang zwischen der Effizienz exekutiver Kontrolle und dem mehrfachen Lösen eines komplexen Problems. *Sprache & Kognition, 11*, 193–207.
Schmuck, P. & Strohschneider, S. (1995). Exekutive Kontrolle und Verhaltensstabilität beim Bearbeiten eines komplexen Problems: Eine Replikation. *Diagnostica, 41*, 150–171.
Schneider, W. & Lockl, K. (in press). The development of metacognitive knowledge in children and adolescents. In T. Perfect & B. Schwartz (Eds.), *Applied metacognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
Schneider, W. & Uhl, C. (1990). Metagedächtnis, Strategienutzung und Gedächtnisleistung: Vergleichende Analysen bei Kindern, jüngeren Erwachsenen und alten Menschen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 22*, 22–41.
Scholnick, E. K. & Friedman, S. L. (1993). Planning in context: Developmental and situational considerations. *International Journal of Behavioral Development, 16*, 145–167.
Schönemann, P. H. & Borg, I. (1996). Von der Faktorenanalyse zu den Strukturgleichungsmodellen. In E. Erdfelder, R. Mausfeld, T. Meiser & G. Rudinger (Eds.), *Handbuch Quantitative Methoden* (pp. 241–252). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Schönpflug, W. (2000). *Geschichte und Systematik der Psychologie. Ein Lehrbuch für das Grundstudium*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
Schoppek, W. (1991). Spiel und Wirklichkeit – Reliabilität und Validität von Verhaltensmustern in komplexen Situationen. *Sprache & Kognition, 10*, 15–27.
Schoppek, W. (1996). *Kompetenz, Kontrollmeinung und komplexe Probleme. Zur Vorhersage individueller Unterschiede bei der Systemsteuerung*. Bonn: Holos.
Schoppek, W. (1997). Wissen bei der Steuerung dynamischer Systeme – ein prozessorientierter Forschungsansatz. *Zeitschrift für Psychologie, 205*, 269–295.
Schoppek, W. (2002). Examples, rules, and strategies in the control of dynamic systems. *Cognitive Science Quarterly, 2*, 63–92.
Schwarzer, R. (1994). Optimistische Kompetenzerwartung: Zur Erfassung einer personellen Bewältigungsressource. *Diagnostica, 40*, 105–123.
Schwarzer, R. (Ed.). (1992). *Self-efficacy: Thought control of action*. Washington, DC: Hemisphere Publishing Corporation.
Schwarzer, R. & Weiner, B. (1990). Die Wirkung von Kontrollierbarkeit und Bewältigungsverhalten auf Emotionen und soziale Unterstützung. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, 21*, 118–125.
Searle, J. R. (1992). *The rediscovery of the mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
Sedlmeier, P., Hertwig, R. & Gigerenzer, G. (1998). Are judgments of the positional frequencies of letters systematically biased due to availability? *Journal of Experimental Psychology, 24*, 754–770.
Seidel, R. (1976). *Denken – Psychologische Analyse der Entstehung und Lösung von Problemen*. Frankfurt: Campus.
Sell, R. (1989). *Angewandtes Problemlösungsverhalten. Denken und Handeln in komplexen Zusammenhängen*. Heidelberg: Springer.
Senge, P. M. & Sterman, J. D. (1992). Systems thinking and organizational learning: Acting locally and thinking globally in the organization of the future. *European Journal of Operational Research, 59*, 137–150.
Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B298*, 199–209.
Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
Shallice, T. & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain, 114*, 727–741.
Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
Shrager, J. & Klahr, D. (1986). Instructionless learning about a complex device: The paradigm and observations. *International Journal of Man-Machine Studies, 25*, 153–189.
Simon, D. P. & Simon, H. A. (1978). Individual differences in solving physics problems. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 325–348). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Simon, H. A. (1947). *Administrative behavior.* New York: Macmillan.
Simon, H. A. (1979). Information processing models of cognition. *Annual Review of Psychology, 30*, 363–396.
Simon, H. A. (1997). *Administrative behavior. A study of decision-making processes in administrative organizations.* (4th ed.). New York: Simon & Schuster.
Simon, H. A. & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition* (pp. 105–127). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Singley, M. K. & Anderson, J. R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
Skinner, B. F. (1966). An operant analysis of problem solving. In B. Kleinmuntz (Ed.), *Problem solving: Research, method and theory* (pp. 225–258). New York: Wiley.

Skinner, B. F. (1984). An operant analysis of problem solving. *Behavioral and Brain Sciences, 7*, 583–613.
Sokol, S. M. & McCloskey, M. (1991). Cognitive mechanisms in calculation. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 85–116). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Soltysiak, R. (1988). Praktische Anwendung von Expertensystemen in der Prozesstechnik. *Automatsierungstechnische Praxis, 30*, 247–251.
Soltysiak, R. (1989). *Wissensbasierte Prozessregelung*. München: Oldenbourg.
Sonntag, K. & Schaper, N. (Eds.). (1997). *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen*. Zürich: vdf Hochschulverlag.
Spering, M. (2001). *Emotionen und Kontrollüberzeugungen beim komplexen Problemlösen: eine experimentelle Untersuchung anhand des computersimulierten Problemlöseszenarios FSYS 2.0*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Psychologisches Institut der Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg.
Spering, M., Wagener, D. & Funke, J. (under review). Control beliefs moderate emotion influences on complex problem solving. *Cognition and Emotion*.
Spies, K. (1990). Einfluss von Emotionen auf die Ziel- und Handlungsauswahl. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 37*, 124–152.
Spies, K. & Hesse, F. W. (1986). Interaktion von Emotion und Kognition. *Psychologische Rundschau, 37*, 75–90.
Spies, K. & Hesse, F. W. (1987). Problemlösen. In G. Lüer (Ed.), *Allgemeine Experimentelle Psychologie* (pp. 371–430). Stuttgart: Gustav Fischer.
Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review, 99*, 195–231.
Stanovich, K. E. & Cunningham, A. E. (1991). Reading as constrained reasoning. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 3–60). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Stanovich, K. E. & West, R. F. (1998). Individual differences in rational thought. *Journal of Experimental Psychology: General, 127*, 161–188.
Stanovich, K. E. & West, R. F. (2000). Advancing the rationality debate. *Behavioral and Brain Sciences, 23*, 701–726.
Stäudel, T. (1981). *Kodiersystem zur Transkription des lauten Denkens* (Memorandum Nr. 1). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.
Stäudel, T. (1985). *Programmbeschreibung zum computergestützten Protokolliersystem* (Memorandum Nr. 34). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.
Stäudel, T. (1987). *Problemlösen, Emotionen und Kompetenz*. Regensburg: Roderer.
Staudinger, U. M. & Baltes, P. B. (1996). Weisheit als Gegenstand psychologischer Forschung. *Psychologische Rundschau, 47*, 57–77.
Steiner, I. D. (1972). *Group processes and productivity*. New York: Academic Press.
Stempfle, J. & Badke-Schaub, P. (2002a). Kommunikation und Problemlösen in Gruppen: eine Prozessanalyse. *Gruppendynamik und Organisationsberatung, 33*, 57–81.
Stempfle, J. & Badke-Schaub, P. (2002b). Thinking in design teams – an analysis of team communication. *Design Studies, 23*, 473–496.
Sterman, J. D. (1989). Misperception of feedback in dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 43*, 301–335.
Sternberg, R. J. (1982). Reasoning, problem solving, and intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of human intelligence* (pp. 225–307). Cambridge: Cambridge University Press.
Sternberg, R. J. (1988). Mental self-government: A theory of intellectual styles and their development. *Human Development, 31*, 197–221.
Sternberg, R. J. (1994). Thinking styles: Theory and assessment at the interface between intelligence and personality. In R. J. Sternberg & P. Ruzgis (Eds.), *Intelligence and personality* (pp. 169–187). New York: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (1995). Expertise in complex problem solving: A comparison of alternative conceptions. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 295–321). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Sternberg, R. J. (1996). Styles of thinking. In P. B. Baltes & U. M. Staudinger (Eds.), *Interactive minds: Life-span perspectives on the social foundation of cognition* (pp. 347–365). New York: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (Ed.). (1990). *Wisdom. Its nature, origins, and development*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. & Frensch, P. A. (Eds.). (1991). *Complex problem solving: Principles and mechanisms*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Sternberg, R. J. & Grigorenko, E. L. (2001). Unified Psychology. *American Psychologist, 56*, 1069–1079.

Steyer, R., Schmitt, M. & Eid, M. (1999). Latent state-trait theory and research in personaliy and individual differences. *European Journal of Personality, 13*, 389–408.

Strauß, B. (1993). *Konfundierungen beim Komplexen Problemlösen. Zum Einfluss des Anteils der richtigen Lösungen (ArL) auf das Problemlöseverhalten in komplexen Situationen*. Bonn: Holos.

Strauß, B. & Kleinmann, M. (Eds.). (1995). *Computersimulierte Szenarien in der Personalarbeit*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.

Strauss, C. & Quinn, N. (1997). *A cognitive theory of cultural meaning*. Cambridge: Cambridge University Press.

Streufert, S., Nogami, G. Y., Swezey, R. W., Pogash, R. M. & Piasecki, M. T. (1988). Computer assisted training of complex managerial performance. *Computers in Human Behavior, 4*, 77–88.

Streufert, S., Pogash, R. & Piasecki, M. (1988). Simulation-based assessment of managerial competence: Reliability and validity. *Personnel Psychology, 41*, 537–557.

Strohschneider, S. (1986). Zur Stabilität und Validität von Handeln in komplexen Realitätsbereichen. *Sprache & Kognition, 5*, 42–48.

Strohschneider, S. (1988). *Wissensdiagnosen und Problemlösen. Eine Gegenüberstellung von gruppenstatistischen Daten und Einzelfallbetrachtungen* (Memorandum Nr. 66). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.

Strohschneider, S. (1990). *Wissenserwerb und Handlungsregulation*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.

Strohschneider, S. (1991a). Kein System von Systemen! Kommentar zu dem Aufsatz »Systemmerkmale als Determinanten des Umgangs mit dynamischen Systemen« von Joachim Funke. *Sprache & Kognition, 10*, 109–113.

Strohschneider, S. (1991b). Problemlösen und Intelligenz: Über die Effekte der Konkretisierung komplexer Probleme. *Diagnostica, 37*, 353–371.

Strohschneider, S. (1994). Strategien beim Umgang mit einem komplexen Problem: Ein deutsch-deutscher Vergleich. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 38*, 34–40.

Strohschneider, S. (1998). Problemlösen als kulturelles Phänomen oder: Ist es egal, welche Versuchspersonen wir untersuchen? In U. Kotkamp & W. Krause (Eds.), *Intelligente Informationsverarbeitung* (pp. 75–83). Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.

Strohschneider, S. (2001). *Kultur – Denken – Strategie. Eine indische Suite*. Bern: Hans Huber.

Strohschneider, S. (Ed.). (1996). *Denken in Deutschland: Vergleichende Untersuchungen in Ost und West*. Bern: Hans Huber.

Strohschneider, S. & Güss, D. (1998). Planning and problem solving: Differences between Brazilian and German students. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 29*, 695–716.

Strohschneider, S. & Güss, D. (1999). The fate of the Moros: A cross-cultural exploration of strategies in complex and dynamic decision making. *International Journal of Psychology, 34*, 235–252.

Strube, G. (1990). Neokonnektionismus: Eine neue Basis für die Theorie und Modellierung menschlicher Kognition? *Psychologische Rundschau, 41*, 129–143.
Sturm, W., Herrmann, M. & Wallesch, C. (2000). *Lehrbuch der klinischen Neuropsychologie*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
Süß, H.-M. (1999). Intelligenz und komplexes Problemlösen – Perspektiven für eine Kooperation zwischen differenziell-psychometrischer und kognitionspsychologischer Forschung. *Psychologische Rundschau, 50*, 220–228.
Süß, H.-M. (2001). Prädikative Validität der Intelligenz im schulischen und außerschulischen Bereich. In E. Stern & J. Guthke (Eds.), *Perspektiven der Intelligenzforschung. Ein Lehrbuch für Fortgeschrittene* (pp. 89–108). Lengerich: Pabst Science Publishers.
Süß, H.-M. & Faulhaber, J. (1990). *Berliner Version der Schneiderwerkstatt*. PC Simulationsprogramm. Berlin: Freie Universität Berlin, Fachbereich Erziehungs- und Unterrichtswissenschaften, Institut für Psychologie.
Süß, H.-M., Kersting, M. & Oberauer, K. (1991). Intelligenz und Wissen als Prädiktoren für Leistungen bei computersimulierten komplexen Problemen. *Diagnostica, 37*, 334–352.
Süß, H.-M., Kersting, M. & Oberauer, K. (1993). Zur Vorhersage von Steuerungsleistungen an computersimulierten Systemen durch Wissen und Intelligenz. *Zeitschrift für Differenzielle und Diagnostische Psychologie, 14*, 189–203.
Süß, H.-M., Oberauer, K. & Kersting, M. (1993). Intellektuelle Fähigkeiten und die Steuerung komplexer Systeme. *Sprache & Kognition, 12*, 83–97.
Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science, 12*, 257–285.
Sweller, J. & Gee, W. (1978). Einstellung, the sequence effect, and hypothesis theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 4*, 513–526.
Swezey, R. W., Hutcheson, T. D. & Swezey, L. L. (2000). Development of a second-generation computer-based team performance assessment technology. *International Journal of Cognitive Ergonomics, 4*, 163–170.
Sydow, H. (1990). Zur Entwicklung der Planungsfähigkeit im Kindesalter. *Zeitschrift für Psychologie, 198*, 431–441.
Symonds, P. M. (1936). *Education and the psychology of thinking*. New York: McGraw-Hill.
Taatgen, N. A. & Wallach, D. (2002). Whether skill acquisition is rule or instance based is determined by the structure of the task. *Cognitive Science Quarterly, 2*, 163–204.
Taylor, D. W. & McNemar, O. W. (1955). Problem solving and thinking. *Annual Review of Psychology, 6*, 455–482.
Tent, L. (1984). Intelligenz und Problemlösefähigkeit. Kommentar zu Dörner, D. & Kreuzig, H.W.: Problemlösefähigkeit und Intelligenz. *Psychologische Rundschau, 35*, 152–153.
Thagard, P. (2000). *Coherence in thought and action*. Cambridge, MA: MIT-Press.
Thalmaier, A. (1979). Zur kognitiven Bewältigung der optimalen Steuerung eines dynamischen Systems. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 26*, 388–421.
Thorndike, E. L. & Woodworth",4>Woodworth, R. S. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. *Psychological Review, 8*, 247–261.
Thußbas, C. (2001). *Wissenstransfer. Der Einfluss von Inhalt und Vorwissen auf analoges Problemlösen*. Köln: Kölner Studien Verlag.
Tisdale, T. (1990). Zur Bedeutung selbstreflexiver Prozesse beim Problemlösen. In D. Frey (Ed.), *Bericht über den 37. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel 1990. Band 1: Kurzfassungen* (pp. 151). Göttingen: Hogrefe.
Tolman, E. C. & Brunswik, E. (1935). The organism and the causal texture of the environment. *Psychological Review, 42*, 43–77.
Tulving, E. & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review, 80*, 352–373.

Tversky, A. & Kahneman, D. (1971). Belief in the law of small numbers. *Psychological Bulletin, 76*, 105–110.
Tversky, A. & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology, 5*, 207–232.
Tversky, A. & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science, 185*, 1124–1131.
Underwood, J., Underwood, G. & Wood, D. (2000). When does gender matter? Interactions during computer-based problem solving. *Learning and Instruction, 10*, 447–462.
van de Vijver, F. (1997). Meta-analysis of cross-cultural comparisons of cognitive test performance. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 28*, 678–709.
van Gelder, T. (1998). The dynamical hypothesis in cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences, 21*, 615–665.
VanLehn, K. (1989). Problem solving and cognitive skill acquisition. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (pp. 527–579). Cambridge, MA: MIT Press.
Vester, F. (2002). *Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*. München: dtv.
Vicente, K. J. & Rasmussen, J. (1992). Ecological interface design: Theoretical foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 22*, 589–606.
Vogt, H. M. (1998). *Persönlichkeitsmerkmale und komplexes Problemlösen. Der Zusammenhang von handlungstheoretischen Persönlichkeitskonstrukten mit Verhaltensweisen und Steuerungsleistungen bei dem computersimulierten komplexen Szenario UTOPIA*. München: Rainer Hampp Verlag.
Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (1996). Hypotheseninstruktion und Zielspezifität: Bedingungen, die das Erlernen und Kontrollieren eines komplexen Systems beeinflussen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 43*, 657–683.
Vollmeyer, R., Burns, B. D. & Holyoak, K. J. (1996). The impact of goal specificity on strategy use and the acquisition of problem structure. *Cognitive Science, 20*, 75–100.
Vollmeyer, R. & Funke, J. (1999). Personen- und Aufgabenmerkmale beim komplexen Problemlösen. *Psychologische Rundschau, 50*, 213–219.
Vollmeyer, R. & Holyoak, K. J. (1993). *Hypothesis-testing strategies in learning a complex dynamic system*. Paper presented at the Fifth Annual Convention of the American Psychological Society, Chicago, June 25–28.
Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 12*, 11–23.
Vollmeyer, R., Rollett, W. & Rheinberg, F. (1998). Motivation and learning in a complex system. In P. Nenninger, R. S. Jäger, A. Frey & M. Wosnitza (Eds.), *Advances in motivation* (pp. 53–67). Landau: Verlag Empirische Pädagogik.
von Wright, G. H. (1974). *Erklären und Verstehen*. Frankfurt: Fischer Athenäum (FAT 1002).
Voss, J. F., Wolfe, C. R., Lawrence, J. A. & Engle, R. A. (1991). From representation to decision: An analysis of problem solving in international relations. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 119–158). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Wagener, D. (2001a). Personalauswahl und -Entwicklung mit komplexen Szenarios. *Wirtschaftspsychologie, 3*, 69–76.
Wagener, D. (2001b). *Psychologische Diagnostik mit komplexen Szenarios. Taxonomie, Entwicklung, Evaluation*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
Wagener, D. & Conrad, W. (1997). *Testmanual zu FSYS 2.0*. Mannheim: Lehrstuhl Psychologie II der Universität.
Wagener, D. & Wittmann, W. W. (2002). Personalarbeit mit dem komplexen Szenario FSYS: Validität und Potenzial von Verhaltensskalen. *Zeitschrift für Personalpsychologie, 2*, 80–93.

Wagner, R. K. (1991). Managerial problem solving. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch (Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 159–183). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Wagner, R. K. & Sternberg, R. J. (1985). Practical intelligence in real-world pursuits: The role of tacit knowledge. *Journal of Personality and Social Psychology, 48*, 436–458.
Wahlster, W. (Ed.). (2000). *Verbmobil: Foundations of speech-to-speech translation*. Berlin: Springer.
Walker, S., Irving, K. & Berthelsen, D. (2002). Gender influences on preschool children's social problem-solving strategies. *Journal of Genetic Psychology, 163*, 197–210.
Wallach, D. (1998). *Komplexe Regelungsprozesse. Eine kognitionswissenschaftliche Analyse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcourt Brace.
Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review, 20*, 158–177.
Watzlawick, P., Beavin, J. H. & Jackson, D. D. (1969). *Menschliche Kommunikation. Formen, Störungen, Paradoxien*. Bern: Hans Huber.
Weber, H. & Westmeyer, H. (2001). Die Inflation der Intelligenzen. In E. Stern & J. Guthke (Eds.), *Perspektiven der Intelligenzforschung. Ein Lehrbuch für Fortgeschrittene* (pp. 251–266). Lengerich: Pabst Science Publishers.
Weber, M. (1913). Ueber einige Kategorien der verstehenden Soziologie. *Logos. Internationale Zeitschrift für Philosophie der Kultur, 4*, 253–294.
Wehner, T. & Stadler, M. (1994). The cognitive organisation of human errors: A gestalt theory perspective. *Applied Psychology: An International Review, 43*, 565–584.
Weiner, B. (1986). *An attributional theory of motivation and emotion*. New York: Springer.
Weinert, F. E. (1998). Vermittlungen von Schlüsselqualifikationen. In S. Matalik & D. Schade (Eds.), *Entwicklungen in Aus- und Weiterbildung* (pp. 23–43). Baden-Baden: Nomos.
Weinert, F. E. (1999). *Konzepte der Kompetenz* (Unveröffentlichtes Gutachten zum OECD-Projekt »Definition and selection of competencies«, DeSeCo). München: Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung.
Weinert, F. E. & Kluwe, R. H. (Eds.). (1987). *Metacognition, motivation, and understanding*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Weisberg, R. W. & Alba, J. W. (1981a). An examination of the alleged role of »fixation« in the solution of several »insight« problems. *Journal of Experimental Psychology: General, 110*, 169–192.
Weisberg, R. W. & Alba, J. W. (1981b). Gestalt theory, insight, and past experience: Reply to Dominowski. *Journal of Experimental Psychology: General, 110*, 193–198.
Weisberg, R. W. & Alba, J. W. (1982). Problem solving is not like perception: More on Gestalt theory. *Journal of Experimental Psychology: General, 111*, 326–330.
Wenke, D., Frensch, P. A. & Funke, J. (in press). Complex problem solving and intelligence: Empirical relation and causal direction. In R. J. Sternberg, J. E. Davidson & J. Pretz (Eds.), *Cognition and intelligence*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
Werbik, H. (1978). *Handlungstheorien*. Stuttgart: Kohlhammer.
Werner, J. (1997). *Lineare Statistik. Das Allgemeine lineare Modell*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
Wertheimer, M. (1912). Über das Denken der Naturvölker: 1. Zahlen und Zahlgebilde. *Zeitschrift für Psychologie, 60*, 321–378.
Wertheimer, M. (1957). *Produktives Denken* (Original unter dem Titel »Productive thinking« 1945 bei Harper & Brothers in New York erschienen). Frankfurt: Waldemar Kramer.
Wetzel, J. (1998). Problemlösen in Gruppen: Miteinander ist besser als gegeneinander. In E. Ardelt-Gattinger, H. Lechner & W. Schloegl (Eds.), *Gruppendynamik. Anspruch und Wirklichkeit der Arbeit in Gruppen* (pp. 113–126). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.

Whitehead, A. N. & Russell, B. (1935). *Principia Mathematica*. Cambridge: Cambridge University Press.
Wirth, J. (2003). *Selbstreguliertes Lernen in dynamischen Systemen*. Unveröffentlichte Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II der Humboldt-Universität, Berlin.
Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen. (1999). *Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten 1998*. Heidelberg: Springer.
Witte, E. (1972). Field research on complex decision making processes: The phase theorem. *International Studies of Management and Organization, 2*, 156–182.
Wittmann, W. W. & Süß, H.-M. (1999). Investigating the paths between working memory, intelligence, knowledge and complex problem solving: Performances via Brunswik-symmetry. In P. L. Ackerman, P. C. Kyllonen & R. D. Roberts (Eds.), *Learning and individual differences: Process, trait, and content* (pp. 77–108). Washington: American Psychological Association.
Wundt, W. (1907). Über Ausfrageexperimente und über die Methoden zur Psychologie des Denkens. *Psychologische Studien, 3*, 301–360.
Wundt, W. (1908). Kritische Nachlese zur Ausfragemethode. *Archiv für die Gesamte Psychologie, 12*, 445–459.
Zaccaro, S. J., Mumford, M. D., Connelly, M. S., Marks, M. A. & Gilbert, J. A. (2000). Assessment of leader problem-solving capabilities. *Leadership Quarterly, 11*, 37–64.
Zapf, D., Brodbeck, F. C. & Prümper, J. (1989). Handlungsorientierte Fehlertaxonomie in der Mensch-Computer Interaktion. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 33*, 178–187.
Zsambok, C. E. (1997). Naturalistic decision making: Where are we now? In C. E. Zsambok & G. A. Klein (Eds.), *Naturalistic decision making* (pp. 3–16). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Zsambok, C. E. & Klein, G. A. (Eds.). (1997). *Naturalistic decision making*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Zwicke, E. (1981). *Simulation und Analyse dynamischer Systeme in Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*. Berlin: de Gruyter.

Abbildungsnachweis

Abb. 13 und 14: aus Klauer, K. C. (1993). *Belastung und Entlastung beim Problemlösen. Eine Theorie des deklarativen Vereinfachens.* Göttingen: Hogrefe. © und mit freundlicher Abdruckgenehmigung des Hogrefe Verlags, Göttingen.

Abb. 28: aus Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F., Stäudel, T. (1983). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität.* Bern: Hans Huber (Abb. 2-2). © und mit freundlicher Abdruckgenehmigung des Hogrefe Verlags, Göttingen.

Abb. 35: nach Dörner, D. & Wearing, A. (1995). Complex problem solving: Toward a (computersimulated) theory. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 65–99). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates (Abb. 3.3 und 3.4, p. 75).

Abb. 36: aus Jäger, A. O. (1982). Mehrmodale Klassifikation von Intelligenzleistungen: Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. *Diagnostica, 28,* 195–225 (Abb. 8, S. 212). © und mit freundlicher Abdruckgenehmigung des Hogrefe Verlags, Göttingen.

Abb. 37: aus Süß, H.-M. (1999). Intelligenz und komplexes Problemlösen Perspektiven für eine Kooperation zwischen differentiell-psychometrischer und kognitionspsychologischer Forschung. *Psychologische Rundschau, 50,* 220–228. © und mit freundlicher Abdruckgenehmigung des Hogrefe Verlags, Göttingen.

Abb. 43: aus Beckmann, J. F. (1994). *Lernen und komplexes Problemlösen. Ein Beitrag zur Konstruktvalidierung von Lerntests.* Bonn: Holos.

Verzeichnis der im Text erwähnten Probleme und Szenarios

Probleme

8–Puzzle 130
Alchimisten-Problem 19, 31
Bauklotzschachtel 249
Bergsteigerproblem 51
Bestrahlungsproblem 50, 51
Beweisproblem 52
BigTrak 68, 69
Black Box 115
Bohreraufgabe 55
Einsichtsproblem 124
Gewichtsaufgabe 56
Gummibox 249, 251
Käferproblem 78, 79
Kannibalen und Missionare 111, 116, 118, 124
Kerzenproblem 55
Korkenaufgabe 56
Kryptarithmetisches Problem 67, 108, 124
Magnetkugelproblem 249
Menschen und Elfen 118
Missionare und Kannibalen 108
Monster-Problem 78, 81, 82, 118
Neun-Punkte-Problem 46, 56, 108
Pferde-Reiter-Problem 56
Puzzleproblem 78
Streichholz-Arithmetik 112, 113
Streichholzaufgabe 53, 56
Tangram-Puzzle 78
Trigonometrie-Problem 70, 71
Tückische Objekte 251
Turm von Hanoi 17, 78, 82, 107–109, 111, 117, 120, 121, 124, 125, 210
Umfüllaufgaben 113
Umschüttaufgaben 124
Wason-Selection-Task 94
Zangenaufgabe 56

Szenarios

Actor 235, 236
Aids 183
Biology Lab 167, 179, 204
Breeding Lizards 191
ColorSim 168, 195
Commerce 191
Dagu 177
Dynamis 155–157, 159, 163, 166–168, 178–180, 185–188, 192, 195, 204
Epidemie 192, 203
Feuer 178, 181
Finite Automaten 139, 145, 155, 159–162, 270
Fire Fighting 154, 189, 190
Fsys 224, 225
Garten 102
Gasabsorber 185
Heizölhandel 150, 183
Hexi 222
Hunger in Nordafrika 219, 232
Investment Accelarator 191
Jogi 102
Kirschbaum 192, 193
Kühlhaus 188
Learn 176
Linas 165, 166, 179
Lohhausen 17, 133, 135, 139, 145–148, 151, 153, 157, 172, 173, 176, 199, 200, 228, 256, 266, 294
Manutex 248, 251
Maschine 192, 193
Med-Lab 204
Mondlandung 202
Moro 150, 151, 154, 177, 183, 196, 235, 236, 248–250
MultiFlux 168, 223, 224
Networked Fire Chief 213, 214
Ökosystem 178, 186, 187
Personal Interaction 181

Plan-A-Day 92, 93
Powerplant 176
Räuber-Beute-Dynamik 131
Raumfahrt 232, 233
Sab 163
Schneiderwerkstatt 17, 139, 145, 146, 148–150, 153, 155, 170, 171, 174, 176, 177, 183, 184, 269, 290
Shop 193
Sinus 163, 168, 180, 188
Strategic Management Simulations 222
Sugar Factory 102, 161, 162, 181
Syrene 151
Tailorshop 133, 146, 183, 199, 200
Tanaland 17, 146, 153
Team Performance Assessment Technology 222
Temperatur 189, 202
Textilfabrik 150
Textilshop 183
Videorekorder 161

Sachregister

A

Abbruchkriterien 21
Abschätzen zeitlicher Entwicklungen 73
Absichtsregulation 139
Aha-Effekt 27, 47
Aids-Epidemie 153
Algorithmen 28
Analogien 118
Analyseeinheit 42
Anforderungen 127, 170, 171, 197
Anforderungssymphonie 229, 230
Anker- und Anpassungsheuristik 101
Anlagenwissen 237
Anteil richtiger Lösungen 33, 195
Anwendungsvoraussetzungen 74
Arbeitsdefinition 17, 25
Arbeitsgedächtnis 35, 36, 176, 218
Assoziationismus 44
Aufgabe 25
Auflösungsniveau 72
Aufmerksamkeit 35
Ausgangszustand 14
Automaten 168

B

Barriere 15, 30
Bedienbarkeit 33
Behaviorismus 27
Bekanntheitsgrad der Mittel 30
Bereichsspezifität 198, 256, 257
Berliner Intelligenzstrukturmodell 174
Betrüger-Entdeck-Mechanismus 103
Bewusstheit 25
Belastung 78, 82
bildgebende Verfahren 255, 256
Blickbewegungen 112, 121
Bürgermeister-Szenario 146

C

Chaos-Theorie 132
chunks 119, 208, 220

D

Definition Denken 20
Definition komplexen Problemlösens 135
Denken 21–23
Denksportaufgaben 254
Denkstile 248, 250
Denkstörungen 245, 246
Diagnosekompetenzen 237
Diagnosemodul 236
dialektische Barriere 31
Differenzreduktion 64
Displaywissen 237
Dissektion 137
Dissoziationen 158, 162
Dissoziationsbefunde 136
Dynamik 73, 127, 130–132, 134
dynamische Abläufe 43

E

Echtzeit 189, 190
Effektkontrolle 73
Eigendynamik 127, 130, 132, 157, 187, 188
Eigenständigkeit des Konstrukts 197
Eingriffswissen 237
Einsicht 47, 48, 54, 56, 57, 84
Einsichtsprobleme 112
Einstellungseffekt 113–115, 118
Einzelfallstudien 50, 122
Elementarprozesse 84, 85
Elshout-Raaheim-Hypothese 219
emotionale Intelligenz 196
Emotionen 37, 75, 85, 203, 204, 258
endogene Variablen 156
Enkodierspezifität 244
Entropie 86
Entscheiden 22, 24
Entscheidungsforschung 139
Entscheidungsverhalten 172
Entwicklungshilfe 150, 177, 248

Entwicklungsvoraussetzungen des Planens 206
Evaluation 98
Evaluationskriterien 199
exogene Variablen 156
Experimentelle Kontrolle 152
Experimenteraum 68, 69
Experten 151
Experten-Novizen-Vergleiche 119, 122, 123
Expertise 48, 177, 178, 208, 219, 220
Exploration 72
Extrapolation 20

F

Faktenwissen 89
Falsifikationsmethodologie 140
Feedback 189
Feedbackverzögerungen 189, 191
Fehler 238–240, 247
Fehlerrückmeldung 78
Finite Automaten 159–161, 168, 169, 232
Fixation 56, 57
Fixierung 52, 53
Formalisierung 154
Frageverhalten 153
Friktionen 98
Führungsmotivation 241
Funktionalismus 60
Funktionalwert 50, 51

G

Gebundenheit, funktionale 55
Gedächtnis 25, 37, 55, 202, 219
Gedanken 26
Gegenstandsbereich 255
Gegenstandsdebatte 138, 139
General Problem Solver (GPS) 61, 68, 198
Geschichte 26
Geschlechts- bzw. Gendereffekte 217
Gestaltprinzipien 46
Gestaltpsychologie 27, 45
Grund-Folge-Beziehungen 50
Gruppendenken 211
Gruppenleistungen 183, 184, 209

H

Handlung 18
Handlungskompetenz 236
Handlungskontrolle 246
handlungsorientierte Diagnostik 232
Handlungstheorien 95, 141, 142
Handlungstypen 236
Heuristiken 100, 101, 104
heuristische Kompetenz 182
Hilflosigkeit 251
Hypothesenbildung 97
Hypothesenraum 68, 69, 167
Hypothesentheorie 114

I

Identifikation eines Systems 157
Immersion 213
Impulsivität 203
Induzierungsprinzip 83
Informationsbeschaffung 127, 239
Informationsdarbietung 185, 186, 193
Informationsgehalt 86
Informationsmanagement 180
Informationstheorie 85–87
Informationsverarbeitung 60, 66, 72, 84, 87, 99, 239
Inkubationsphase 48
Innerlichkeit 24
Input-Output-Wissen 179
Instanzenraum 67, 68
Intelligenz-Kontroverse 170
Intelligenzdiagnostik 173, 223, 224
Intelligenztests 136, 137
Intentionalität 95
Interaktionsanalysen 193
Interpolation 20
Interpolationsbarriere 30
Interventionsmöglichkeit 180
Intransparenz 73, 127, 133–135
Introspektion 122
Intuition 83
Irrtümer 238

K

Katastrophen 132, 154
Kausalanalyse 141, 142
Kausalität 54
Kausalwissen 237
Kennzeichen einer Handlung 95
Klarheit der Zielkriterien 30
Klassifikation von Problemen 29
Kognitive Architektur 36
Kognitive Modellierung 88
Kognitive Ökonomie 115
Kognitive Täuschungen 100
Kognitive Wende 28
Kognitiver Stil 216
Kohärenz 91
Kollaboratives Problemlösen 210
Kommunikationsverhalten 184
Kompensationshypothese 163
Kompetenzerwartung 221

Kompetenzkonzepte 230
Komplexes Problemlösen 126, 146, 198
Komplexität 72, 126, 128, 129, 134, 196
Komponentenanalyse 153
Kompromissbildung 73
Kondensation 137, 138
Konfliktanalyse 52
Konfliktresolution 89
konnektionistische Modelle 90, 91, 94
Kontextabhängigkeit 116, 166, 173, 252, 256
Kontrolle 96, 158
Kontrollillusion 240
Kontrollüberzeugungen 204
Korea-Krise 211
Kreativität 30
kritischer Rationalismus 40
Kryptarithmetische Probleme 109
Kuba-Krise 212
Kulturvergleich 248, 252, 256
Künstliche Intelligenz 75, 94, 221, 257
Künstliche Seele 75, 258

L

Laborforschung 254
Langzeitgedächtnis 35
Latent-State-Trait-Theorie 164, 165
Laut-Denk-Protokolle 122, 211
Learning by Doing 228
Leipziger Schule 27
Lernen 70, 72, 202
Lernmethode 196
Lernprogramm 235
lineare Optimierung 150
Lineare Strukturgleichungsmodelle 155, 223
LISREL 163, 164, 234
Lösungsalternativen 212
Lösungskriterien 21
Lösungsmethoden 64, 66
Lösungsraum 56
Lösungsstammbaum 51, 52
Lücken 25, 31

M

Manager 177, 239, 240
Materialanalyse 52
Mechanik 208
Menschliche Fehler 238
Messfehler 165
Metakognition 207, 208
Methodendebatte 138
Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme 40
Mikrowelten 137, 139, 152
Mittel-Ziel-Analyse 63, 64, 70, 220
Modellbildung 73, 127
Motivation 37, 85, 204

N

naturalistic decision making 136
Nebenwirkungen 74, 129, 130, 157
Notfallreaktion des kognitiven Systems 151, 182, 203

O

Oberflächenmerkmale 83
Operationalisierung der Erfolgsmaße 174
operative Intelligenz 172, 173, 197, 198, 224
Operator 61, 72–74
Operatoranwendungsmethode 61, 62
Ordnungsleistung durch Begriffsbildung 23

P

Paar-Aufgabe 165
Personalität 25
Phänomenologie 23, 57
Phasen des Handlungsablaufs 96
Phasen-Theorem des Problemlösens 97
PISA-Studie 230, 233
Planen 97, 243
Planungsdiagnostik 244
Planungsinventar 248, 250
Planungskompetenz 205–207
Planungsprobleme 92
politische Entscheidungen 211
Polytelie 73, 127, 133, 134
Populationsdynamik 131
Pragmatik 85, 208
Pragmatische Urteilsregeln 103
Prägnanz 55
Präsentationsformat 194
Primärprozess-Denken 58
Probehandeln 59
Probleme mit Trick 108
Probleme, natürliche 19
Probleme, unlösbare 19
Problemisomorph 82, 111, 117, 193
Problemkonstruktion 225, 240
Problemlöse-Training 227
Problemlöse-Typen 216
Problemlösekompetenz 234
Problemlösen 21, 22
Problemraum 64, 66, 67, 77, 108–110, 117, 162
Problemschwierigkeit 32

Produktionssystem 75, 88, 90
Produktives Denken 50, 51
Prognosefehler 154
Prospekttheorie 102
Prozess, kreativer 48
Prozessannahmen 102, 140, 246
Prozessorientierung 50
Psi-Theorie 74
Psychoanalyse 57

R

Rationalität 29, 40, 66, 100
Räuber-Beute-Dynamik 132
Rauschen 42
Reaktionshierarchie 44
Realitätsnähe 155
Realitätsnahe Szenarios 146
Recognition Heuristic 104
Reduktionsmethode 61, 62
Reflexivität 25, 203
Regelraum 67–69
Regelverletzungen 238
Regelwissen 89
Relativitätstheorie 49
Reliabilität 153, 224, 225, 234
Reparaturprobleme 249
Repräsentation 25, 47, 65, 67, 77, 94, 102, 112, 116, 159, 168, 212
Repräsentationsannahmen 158
Repräsentativitätsheuristik 101
Retrospektion 122
Reversibilität 74
Rückwärtsstrategie 64, 220

S

Sachverhalte 72
Schemata 54, 70, 103, 243, 246
Schizophrenie 246
Schlüsselkompetenzen 231
Schwierigkeit 33, 195, 196, 234
SDDS-Modell 68
Sekundärprozess-Denken 58
Selbstauskünfte 122
Selbstbeobachtung 27
Selbstreflexion 228
Selbstwirksamkeitserwartung 221
selection task 42
Selektivität 24
Semantik 85, 152
Semantische Einkleidung 192
Sequenzeffekt 114
sequenzielle Probleme 108
Simulatoren 228
Situationsanalyse 52
Skript-Monitoring-Test 244
Soziales Faulenzen 213, 214
SPIV-Modell 15
Sprache 25, 59
Sprichwörter 123
Steuerungsleistung 159, 165, 168, 178, 186–188, 195, 199, 224
Steuerungswissen 167, 237
Stimmung 37, 203
Störungsmanagement 237
Strategiefaktor 234
Strategien 70, 178–180, 207, 208, 220, 225, 229, 251
Stress 181
Strukturwissen 166, 167, 179, 237
Suchprozess 64
Suffizienzkriterium 43
Synthesebarriere 31
Systemanalyse 152
Systemkonstruktion 155
Systemsteuerung 203
Systemtheorie 57, 128, 129, 139, 141, 142

T

Take-the-Best 104
TAKS 33
Taxonomie 29, 31–33
Teilzielzerlegung 64
Testintelligenz 165, 170–172, 177, 184, 185, 198, 216, 218, 219, 224, 225
Testpsychologische Diagnostik 222
Testtheorie 152
Theorie deklarativer Vereinfachung 76
Theorie des problemlösenden Denkens 41
Theorie dynamischer Aufgaben 82
Theorie geplanten Verhaltens 98
Theorie kognitiver Belastung 70
Tierversuche 123
Trainierbarkeit 257
Trainingsarten 228
Trainingsprogramm 229
Transfer 118, 166, 229, 233, 236
Transformationsmethode 61, 62
Transinformation 87
Transparenz 170, 171, 184, 185, 203

U

Überwachung (Monitoring) 97
Übungseffekte 117, 178
Umsicht 172
Umstrukturierung 47, 53, 84
Unternehmen 148
Untersuchungsmethodik 255
Urteil 24

V

Validität 122, 125, 139
Verarbeitungskapazität 174, 176, 196, 225
Verbalisierung 122
Verbindlichkeit 33
Verfügbarkeitsheuristik 101
Vergegenwärtigung 23
Verhaltensdaten 121
Vernetztheit 73, 126, 129, 134, 186
Verstehensprozess 63
Videorekorder 168, 169
Vielzieligkeit 133
Voraussetzungsanalyse 52
Vorwärtsstrategie 64, 220
Vorwissen 183, 198, 219, 223, 225

W

Wahn 245
Wahrnehmung 24, 35
Wahrnehmungsnähe 46
Weisheit 208, 209
Weltwissen 14
Werkzeuggebrauch 18
Werte 15
Wirklichkeitsnähe 33
Wirkungsbreite 74
Wirkungssicherheit 73
Wissensanwendung 157, 158, 161
Wissensarten 187, 237, 238
Wissensdiagnostik 158, 159, 161, 227
Wissenserwerb 157–159, 161, 165, 166, 168, 187, 195, 199, 224
Würzburger Schule 26

Z

Zeitdruck 154
Zeitverzögerung 188, 189, 202
Zielanalyse 52
Zielausarbeitung 97
Ziele 61, 127, 134, 153, 157
Zielorientierungen 18, 204
Zielspezifität 69, 167
Zielzustand 15
Zustandsübergangsmatrix 160, 161
Zwei-Räume-Theorie 67, 69
Zwischenzielbildung 64

Autorenregister

A

ABC Research Group 39, 103, 105, 271
Ach 26, 259
Adamopoulos 250, 259
Adrianson 217, 259
Aebli 16, 23, 37, 259
Ahrens 100, 259
Ajzen 98, 259
Alba 56, 265, 267, 292
Allan 259
Allard 181, 189, 263
Amabile 26, 259
Amarel 116, 259
Amelang 217, 259
Amsel 220, 259
Anderson 17, 22, 35, 36, 45, 75, 76, 94, 116–118, 121, 259, 280, 286, 287
Andresen 260
Anzai 117, 228, 260
Arbinger 16, 29, 260
Arlin 29, 30, 260
Armitage 99, 260, 264
Arnold 178, 202, 273
Ashby 128, 260
Aston 135, 161, 263
Atkinson 43, 260
Attneave 87, 260
Atwood 118, 119, 275

B

Bach 76, 260
Baddeley 35, 260
Badke-Schaub 183, 184, 216, 247, 256, 260, 288
Baeckman 209, 260
Bainbridge 195, 228, 260
Bajwa 121, 274
Baker 148, 233, 260
Bakken 229, 260
Bales 97, 260
Baltes 208, 209, 260, 288
Bandura 221, 261
Banerji 111, 118, 284
Bar-Ilan 97, 279
Bargh 99, 271
Barkow 100, 105, 261
Baron 199, 261
Barron 210, 261
Bartels 207, 269
Bartl 20, 32, 76, 138, 258, 261, 266
Bartussek 217, 259
Basso 277
Batchelder 261
Bates 267
Baumert 230, 261
Beatty 121, 261
Beauducel 172, 275
Beavin 292
Beck 152, 158, 192, 216, 218, 261, 270, 280
Beller 42, 261
Benson 247, 261
Bereiter 220, 263
Berman 228, 286
Berry 135, 136, 158, 161, 162, 178, 181, 193, 250, 253, 261, 263
Berthelsen 217, 292
Betsch 191, 262
Bhaskar 146, 262
Birch 43, 260
Bless 203, 256, 262
Bodenburg 243, 262
Boesch 18, 262
Böhmig-Krumhaar 209, 279
Boller 243, 272
Bolte 57, 262
Boos 184, 262, 268
Borg 163, 164, 286
Boring 26, 262
Bornstein 210, 284
Bösel 16, 262
Bott 135, 150, 283

Bourne 20, 21, 38, 60, 262
Bovair 118, 276
Brander 16, 262
Brandtstädter 95, 96, 99, 262
Brauchlin 16, 262
Bredenkamp 140, 262
Brehmer 136, 153, 181, 189–191, 230, 262, 263, 285
Broadbent 135, 136, 158, 161, 162, 178, 193, 229, 256, 261, 263, 273
Brodbeck 238, 293
Bröder 104, 263
Bromme 122, 263
Brooke 108, 263
Brown 206, 263
Brunswik 57, 290
Bryson 220, 263
Buchner 45, 135, 144, 155, 158–162, 178, 200, 256, 257, 263, 268, 270
Bühler 26, 27, 43, 47, 263
Burgess 247, 287
Burns 69, 167, 168, 179, 264, 291
Burton 122, 280
Buss 100, 105, 264
Byrne 16, 100, 264, 268, 275

C

Carling 153, 285
Celli 123, 264
Charness 208, 264
Chase 119, 220, 264
Cheng 103, 105, 264, 281
Chi 65, 116, 119, 123, 220, 264
Choi 252, 281
Christmann 5, 169, 272
Clark 84, 264
Clausewitz 98, 264
Clearwater 109, 264
Cockingk 206, 269
Cohen 138, 264
Colella 212, 264
Collins 264, 265, 282
Connelly 293
Conner 99, 260, 264
Conrad 204, 224, 291
Cosmides 42, 100, 103, 105, 261, 264
Cox 42, 272
Cranach 96, 264
Crystal 264
Csikszentmihalyi 26, 265
Cunningham 220, 288

D

Darwin 99, 100, 265
Dasen 250, 253, 261
Dauenheimer 183, 277
Davis 216, 265
Davison 245, 265
Dawes 100, 265
Dawson 94, 278
de Groot 119, 265
de Lisi 206, 265
Detje 123, 265, 266
Dewey 96, 265
de Keyser 187, 265
Dickson 154, 265
Dilling 246, 265
Dominowski 20, 38, 56, 57, 60, 122, 262, 265, 292
Dorfman 48, 60, 265
Döring-Seipel 151, 196, 278, 282
Dörner 15, 16, 20, 25, 29–32, 39, 42, 43, 60, 63, 72, 74–76, 82, 84, 87, 96, 123, 125, 132, 134–140, 144, 146–148, 150–154, 170–173, 178, 181, 182, 188, 197–200, 202, 203, 205, 216, 218, 224, 227–230, 236, 255, 258, 261, 263, 265–267, 277, 284, 290
Dornes 205, 267
Dreher 206, 209, 267, 281
Drewes 125, 266
Dunbar 16, 68, 167, 276
Duncan 238, 284
Duncker 20, 28, 39, 47, 50–56, 113, 267

E

Ebbinghaus 138, 267
Eckes 217, 267
Edwards 138, 267
Eid 164, 289
Ekman 250, 267
Ekstrand 20, 262
Ellen 56, 57, 267
Ellis 40, 105, 267, 276
Elman 17, 94, 258, 267
Elshout 219, 267
Endepohls 267
Endres 150, 183, 184, 267
Engle 262, 281, 291
Ericsson 43, 48, 119, 122, 124, 264, 267, 268
Ernst 118, 235, 284
Estes 45, 268
Evans 16, 268

F

Faulhaber 150, 176, 290
Feltovich 116, 264

Feuchter 213, 215, 268
Fiedler 16, 37, 100, 105, 203, 268, 273
Fillbrandt 41, 57, 268
Finke 48, 268
Fisch 184, 216, 262, 268
Fischer 26, 218, 275, 277
Fitts 117, 268
Fitzgerald 135, 263
Flavell 25, 268
Fleishman 280
Fong 105, 281
Frensch 135, 162, 177, 200, 220, 256, 257, 268, 289, 292
Freud 57–59, 268
Friedman 206, 269, 286
Friesen 250, 267
Fritz 178, 205–207, 227, 247, 269, 270
Funke 26, 32, 34, 45, 92, 97, 121, 128, 135, 137, 144, 150, 152–158, 160–163, 168, 169, 175, 178, 180, 185–189, 193, 197, 200, 204, 205, 219, 222, 227, 232, 233, 236, 243, 244, 247, 261, 263, 268–270, 276, 280, 288, 289, 291, 292

G

Gadenne 60, 270
Gagné 38, 270
Galanter 60, 280
Gärdenfors 43, 270
Gardner 28, 38, 270
Geddes 69, 270
Gee 114, 290
Gelman 257, 274
Gentner 118, 271
Gerdes 161, 168, 169, 266, 270
Getzels 30, 271
Gick 42, 118, 271
Gigerenzer 16, 17, 28, 39, 43, 100, 103–105, 271, 273, 287
Gilbert 293
Gilden 42, 271
Gilhooly 16, 271, 276
Glaser 65, 116, 220, 264
Glöckner 191, 262
Glodowski 97, 243, 270
Goldin 207, 271
Goldstein 104, 271
Goldvarg 257, 271
Gollwitzer 99, 271
Gomez 258, 283
Gonzalez 154, 277
Goodwin 141, 271
Görn 204, 271
Goschke 57, 262
Gould 229, 260
Graebe 141, 271
Grafman 206, 243, 247, 271, 272, 277, 284
Granzow 202, 275
Grassia 185, 273
Graumann 16, 23–25, 57, 95, 272
Gray 33, 34, 228, 258, 272
Grebe 196, 258, 272, 282
Greeno 29, 117, 118, 272
Greve 98, 99, 272
Griggs 42, 272
Grigorenko 95, 143, 216, 272, 289
Groeben 96, 99, 169, 272
Groner 60, 64, 87, 272, 273
Grove 216, 265
Grube-Unglaub 244, 270
Güss 150, 247, 256, 289
Guthke 192, 261

H

Haberstroh 191, 262
Hacker 242, 273
Haider 112, 158, 178, 218, 228, 238, 273, 277
Halcour 266
Hale 239, 282
Hamm 185, 273
Hammond 16, 39, 82, 83, 185, 186, 199, 220, 221, 273, 279
Harding 280
Harkins 213, 278
Harris 138, 273
Hartmann 249, 273
Harvey 137, 254, 273
Harward 206, 284
Hasselmann 222, 273
Haupts 153, 229, 283
Hawighorst 168, 273
Hawkins 206, 282
Hayes 65, 81, 116, 118, 135, 178, 193, 220, 228, 273, 274, 277
Hayes-Roth 207, 271
Hayn 140, 262
Heene 16, 262
Hegarty 220, 273
Heineken 178, 189, 202, 273
Hell 16, 100, 105, 273
Herrmann 27, 45, 99, 106, 243, 273, 290
Hertwig 43, 287
Hesse 152, 192, 203, 256, 274, 288
Hick 87, 274
Hille 76, 274
Hinsley 220, 274

Hirschfeld 257, 274
Hodgson 121, 274
Hoffmann 45, 274
Höhle 191, 262
Holyoak 42, 103, 118, 179, 243, 264, 271, 272, 291
Honold 256, 274
Hopcroft 159, 274
Horgan 129, 274
Houben 150, 283
Howie 199, 274
Hub 228, 274
Huber 122, 191, 193, 274
Huberman 109, 264
Hübner 34, 121, 154, 185, 274, 279
Hug 103, 271
Hühn 95, 272
Hull 114, 274
Hunt 216, 274
Hussy 15, 16, 32, 34, 98, 123, 193, 202, 206, 207, 269, 270, 274, 275
Hutcheson 290

I

Irving 217, 292

J

Jackson 213, 275, 292
Jacobs 280
Jäger 172, 174–176, 200, 216, 218, 275
Jain 123, 275
Janis 211, 216, 275
Jansson 150, 275
Jantschek 95, 272
Jeffries 118, 119, 275
Johannsen 129, 141, 275
Johnson 115, 116, 119, 267, 275
Johnson-Laird 16, 41, 44, 257, 271, 275
Joram 220, 263
Jülisch 111, 275
Jungermann 26, 102, 105, 275

K

Kahneman 39, 43, 100–102, 105, 239, 275, 291
Kainz 37, 275
Kals 134, 280
Kaminski 275
Kämmerer 247, 276
Karmiloff-Smith 267
Keane 16, 276
Kemke 90, 276
Kennard 121, 274
Kepner 239, 276
Kern 122, 276
Kersting 153, 159, 173, 174, 198, 218, 219, 227, 276, 290
Ketelaar 40, 105, 267, 276
Kieras 118, 276
Kihlstrom 48, 265
Kim 229, 260
Kindsmüller 88, 94, 286
Kintsch 258, 283
Klahr 16, 68, 69, 167, 276, 287
Klauer 16, 39, 76–82, 276
Klein 138, 140, 262, 293
Kleinmann 222, 227, 230, 289
Klieme 230–233, 235, 261, 276
Klir 34, 276
Klix 20, 60, 100, 123, 276
Kluge 168, 194–196, 228, 276
Kluwe 25, 122, 124, 158, 179, 206, 208, 218, 219, 222, 228, 237, 238, 276, 277, 282, 285, 292
Knoblich 29, 43, 112, 121, 122, 124, 277
Knowles 216, 265
Koch 154, 277
Koechlin 247, 277
Koedinger 70, 281
Köhler 18, 28, 47, 49, 51, 123, 277
Köller 183, 277
Kompa 16, 262
Kopp 178, 202, 273
Kotkamp 128, 150, 277
Kotovsky 118, 208, 277, 284
Krampen 204, 222, 277
Krause 111, 275
Krawczyk 247, 278
Kreitler 206, 207, 278
Krems 115, 116, 238, 275, 278
Kreuzig 134–137, 147, 148, 200, 218, 266, 278, 290
Kriz 57, 132, 139, 229, 278
Kröner 168, 198, 223, 224, 278
Krueger 97, 278
Krüger 92, 270
Krzystofiak 216, 274
Kuhl 37, 57, 182, 203, 262, 278

L

L'Age-Stehr 154, 277
Lajoie 220, 278
Lakatos 40, 276, 278
Langer 220, 259
Lantermann 151, 196, 201, 216, 235, 236, 278, 282
Larkin 119, 278
Lass 121, 279

Latané 213, 278
Lawrence 291
Lea 16, 67, 68, 287
Lebiere 94, 259
Lederman 153, 285
Lehman 105, 281
Leighton 94, 278
Lemme 177, 229, 283
Lenat 84, 278
Leplat 136, 230, 238, 263, 284
Lesgold 220, 278
Leutner 183, 219, 232, 276, 278
Levin 206, 284
Levine 114, 279
Liberman 279, 286
Lieberman 57, 279
Lindenberger 208, 260
Lindig 228, 279
Lindsay 60, 87, 279
Lipshitz 97, 279
Lockl 206, 208, 286
Lonner 250, 259
Loutzenhiser 220, 259
Lucero-Wagoner 121, 261
Luchins 113, 114, 279
Lüer 20, 29, 31, 121, 149, 150, 170, 171, 184, 185, 203, 274, 279, 283
Lusk 220, 221, 279
Lynch 257, 280

M

Macho 95, 279
MacKinnon 129, 279
Macpherson 228, 286
Maercker 209, 279
Manktelow 16, 279
Marks 293
Marr 256, 279
Matern 189, 279
Matthäus 16, 279
Maule 137, 139, 279
Mayer 16, 50, 196, 231, 279, 286
McCarthy 29, 279
McClelland 94, 256, 263, 279, 280, 285
McCloskey 94, 220, 256, 280, 288
McGeorge 122, 280
McGinn 142, 280
McKinney 124, 282
McLennan 154, 265
McLeod 38, 282
McMenamin 129, 280
McNemar 38, 290
Meadows 125, 137, 280
Medin 257, 280
Medler 90, 280
Medwedew 238, 280
Metcalfe 112, 280
Métraux 57, 272
Meyer 18, 259, 280
Miller 60, 248, 280
Milling 125, 176, 280
Mintzberg 239, 280
Misiak 179, 218, 228, 277, 285
Mittenecker 87, 280
Miyake 35, 280
Modrow 206, 277
Mombaur 246, 265
Montada 134, 280
Morris 138, 273
Müller 153, 158, 159, 162–165, 180, 222, 223, 270, 280
Mumford 240, 280, 293

N

Nährer 19, 225–227, 280
Neale 245, 265
Neber 16, 280
Neisser 138, 257, 258, 280
Neuser 210, 284
Neves 117, 280
Newell 16, 28, 39–41, 43, 44, 60–67, 72, 75, 76, 87, 88, 95, 117, 162, 220, 229, 281
Newstead 16, 268
Nhoyvanisvong 69, 281
Niemivirta 204, 281
Nisbett 43, 105, 142, 252, 253, 281
Nogami 222, 289
Norenzayan 252, 253, 281
Norman 60, 87, 133, 201, 238, 246, 247, 279, 281
Nückles 263

O

O'Neil 148, 233, 260
Oberauer 153, 173, 174, 176, 281, 290
OECD 230, 236, 281, 292
Oellerer 218, 277
Oerter 16, 206, 209, 267, 281
Ohlsson 43, 57, 112, 277, 281
Omodei 154, 213, 265, 282
Opwis 44, 88, 94, 210, 282, 284
op de Beeck 282
Otto 196, 282
Owen 121, 274

P

Palmer 46, 47, 129, 280, 282, 285

Panzer 277
Papen 216, 278
Parisi 267
Parker 124, 282
Pauen 205, 282
Pawlak 168, 282
Pea 206, 282
Pearson 185, 273
Peltzer 16, 262
Peng 252, 281
Petermann 122, 282
Pfeifer 178, 181, 266
Pfister 26, 105, 275
Piaget 59, 206, 282
Piasecki 222, 289
Pietrini 277
Pinch 264
Pinker 37, 282
Plunkett 239, 267, 282
Pogash 222, 289
Polson 118, 119, 275
Poortinga 250, 253, 261
Popper 40, 140, 282
Posner 38, 117, 268, 282
Prakash 84, 278
Preußler 154, 159, 165, 166, 266, 282, 283
Pribram 60, 280
Prümper 238, 293
Putz-Osterloh 97, 123, 133, 135, 149, 150, 153, 170, 171, 177–179, 183–185, 229, 267, 283

Q

Quesada 258, 283
Quinn 253, 289

R

Raab 87, 228, 280, 283
Raaheim 219, 283
Rabbitt 208, 283
Rambow 122, 263
Raney 43, 277
Rasmussen 83, 136, 230, 238, 263, 284, 291
Rattermann 206, 284
Raven 170, 175, 284
Reason 238, 242, 284
Reber 208, 284
Reed 111, 117, 118, 284
Rees 65, 220, 264
Reichert 188, 284
Reimann 70, 97, 119, 231, 276, 284, 286
Reimer 209, 210, 284
Reisenzein 18, 280
Reither 37, 125, 134, 147, 151, 153, 170, 177, 182, 203, 266, 284
Reitman 119, 284
Resnick 213, 284
Rheinberg 180, 204, 271, 284, 291
Rhenius 112, 122, 277
Richelle 43, 285
Richmond 229, 285
Riedl 100, 128, 285
Riefer 261
Rigas 150, 153, 190, 285
Ringelband 179, 285
Robertson 16, 129, 285
Rock 57, 285
Roelofsma 254, 285
Rollett 179, 180, 284, 285, 291
Rosenbloom 117, 281
Rosenstiel 183, 285
Ross 118, 256, 262, 285
Rost 193, 194, 285
Roth 170, 285
Ruben 153, 285
Ruder 203, 262
Rumelhart 94, 256, 263, 279, 280, 285
Rünger 162, 268
Russell 60, 123, 293

S

Saari 43, 285
Saarni 207, 285
Sagristano 286
Salgado 141, 271
Salovey 196, 286
Salvucci 121, 286
Sanderson 159, 178, 286
Scardamalia 220, 263
Schaefer 16, 60, 87, 286
Schank 228, 240, 286
Schaper 237, 239, 277, 286, 288
Scharpf 184, 262
Schaub 96, 97, 102, 136, 139, 150, 153, 177, 227, 228, 239, 266, 267, 286
Schenck 91, 93, 94, 286
Schilde 218, 277
Schima 151, 278
Schmid 88, 94, 246, 260, 265, 286
Schmitt 164, 210, 231, 284, 289
Schmitz 151, 278
Schmuck 150, 178, 179, 286
Schneider 206, 208, 286
Schölkopf 170, 267
Scholnick 206, 269, 286
Schönemann 163, 164, 286

Schönpflug 26, 40, 287
Schoppek 102, 153, 179, 218, 287
Schrettenbrunner 232, 278
Schützwohl 18, 280
Schwarzer 96, 221, 287
Searle 14, 85, 287
Sedlmeier 43, 101, 287
Segall 250, 253, 261
Seidel 16, 287
Sell 16, 287
Selten 18, 86, 103, 105, 271
Senge 229, 287
Shah 35, 280
Shallice 201, 246, 247, 281, 287
Shames 48, 265
Shannon 86, 287
Shaw 16, 39, 60–63, 88, 281
Shepard 84, 278
Shrager 69, 287
Siebler 278
Simon 16, 28, 29, 38, 39, 41, 43, 44, 60–68, 72, 81, 87, 88, 116–119, 122, 124, 146, 162, 193, 216, 220, 228, 260, 262, 264, 268, 273, 274, 277, 281, 284, 287
Singer 228, 273
Singley 118, 287
Skinner 28, 43–45, 285, 287, 288
Slovic 100, 105, 275
Small 209, 260
Smith 48, 208, 260, 268
Sokol 220, 288
Solomon 257, 280
Soltysiak 168, 178, 202, 273, 288
Sonntag 237, 288
Sorenson 250, 267
Spada 20, 29, 31, 44, 88, 94, 279, 282
Spector 206, 284
Spering 5, 121, 204, 270, 288
Spies 192, 203, 274, 288
Squire 36, 37, 288
Stanat 230, 261
Stanovich 42, 104, 220, 288
Stäudel 123, 134, 139, 147, 150, 154, 182, 203, 266, 267, 288
Staudinger 208, 209, 260, 279, 288
Steiner 209, 288
Stempfle 184, 288
Sterman 191, 229, 287, 288
Sternberg 95, 135, 143, 144, 148, 177, 209, 216–218, 220, 240, 268, 272, 288, 289, 292
Stevenson 69, 270
Steyer 157, 164, 270, 289
Strauß 33, 128, 183, 193–195, 222, 227, 230, 277, 285, 289
Strauss 253, 289
Streufert 222, 289
Strodtbeck 97, 260
Strohschneider 33, 122, 136, 139, 150, 153, 172, 177, 201, 247–252, 256, 260, 267, 286, 289
Strube 90, 290
Sturm 243, 290
Süß 150, 153, 157, 159, 172–177, 198, 200, 218, 219, 227, 275, 276, 281, 290, 293
Sweller 16, 39, 70, 71, 114, 167, 219, 290
Swezey 222, 289, 290
Sydow 206, 290
Symonds 227, 290

T

Taatgen 102, 290
Taylor 38, 290
Tent 200, 216, 266, 290
Thagard 91, 290
Thalmaier 155, 290
Thomson 244, 290
Thorndike 118, 290
Thußbas 42, 290
Tisdale 123, 150, 267, 290
Todd 17, 103–105, 271
Tolman 55, 57, 290
Tooby 100, 103, 105, 261, 264
Trautner 217, 267
Tregoe 239, 276
Trope 279, 286
Tschan 96, 264
Turner 119, 275
Tversky 39, 43, 100–102, 105, 239, 275, 291

U

Uhl 208, 286
Ullman 159, 274
Underwood 217, 291

V

VanLehn 67, 117, 119, 291
van de Vijver 250, 291
van Gelder 43, 291
Vaterrodt 140, 175, 197, 262, 270
Vester 128, 229, 291
Vicente 83, 199, 274, 291
Vogels 256, 282
Vogt 227, 291

Vollmeyer 69, 156, 167, 168, 179, 180, 204, 264, 271, 284, 291
von Wright 96, 291
Voss 210–212, 220, 291

W

Wagemans 256, 282
Wagener 33, 34, 204, 222, 224, 232, 233, 270, 288, 291
Wagner 220, 237, 239, 240, 292
Wahlin 209, 260
Wahlster 15, 292
Walker 217, 218, 292
Wallach 44, 88, 89, 102, 128, 176, 290, 292
Wallas 47, 48, 52, 292
Wallesch 243, 290
Ward 48, 268
Watson 27, 28, 95, 292
Watzlawick 96, 292
Wearing 96, 129, 135, 172, 173, 213, 267, 279, 282
Weaver 86, 287
Weber 95, 197, 292
Weiner 96, 287, 292
Weinert 25, 230, 231, 236, 292
Weisberg 56, 265, 267, 292
Wenke 200, 292
Werbik 96, 99, 292
Werner 155, 292
Wertheimer 28, 39, 47, 49, 50, 57, 292
West 42, 104, 288
Westmeyer 197, 292
Wetzel 215, 292
Whitehead 60, 293
Wilensky 213, 284
Wilkening 205, 282
Williams 213, 275, 278
Wilson 43, 142, 281
Wirth 233, 234, 276, 293
Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen 127, 293
Witte 97, 293
Wittmann 175, 177, 204, 224, 291, 293
Wittrock 231, 279
Wolfe 291
Wood 118, 217, 290, 291
Wundt 26, 27, 43, 248, 263, 293

Y

Yousry 216, 274

Z

Zaccaro 240, 241, 280, 293
Zahn 125, 280
Zapf 238, 293
Zsambok 136, 138, 254, 293
Zwicker 129, 293