

Version: 26.7.2004

Komplexes Problemlösen

Joachim Funke¹

Psychologisches Institut der Universität Heidelberg

Funke, J. (in Vorb.). Komplexes Problemlösen. In J. Funke (Ed.), *Denken und Problemlösen (=Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 8: Denken und Problemlösen)*. Göttingen: Hogrefe.

¹ Teile dieses Kapitels lehnen sich an die bei Funke (2003) gegebene Darstellung an, sind jedoch für dieses Kapitel angepasst und überarbeitet worden.

1 Die Entdeckung eines neuen Forschungsgegenstands

Problemlösen ist ein Forschungsgegenstand mit langer Tradition. Auch wenn der Psychophysik das Privileg zufällt, als das Fach erwähnt zu werden, das die naturwissenschaftliche „Wende“ der Psychologie in der Mitte des 19. Jahrhunderts vorbereiten half, ist die Denk- und Problemlöseforschung ebenfalls Bestandteil der um diese Zeit neu konzipierten Psychologie. Wundt selbst, der Gründervater der experimentellen Psychologie, war allerdings davon überzeugt, dass es „von der Natur der Sache her“ keine experimentelle Denkpsychologie geben könne (so etwa Wundt, 1913, S. 29). Forscher wie Ach oder Bühler haben jedoch diesem Verdikt getrotzt und ihre Methode der systematischen Introspektion als „Ausfrageexperimente“ verteidigt (vgl. die streitfreudige Debatte bei Bühler, 1908; Wundt, 1907; Wundt, 1908). Bekannt geworden sind die Problemstellungen, die von Gestaltpsychologen wie Duncker oder Wertheimer zum Nachweis von Einsichtsprozessen herangezogen wurden (vgl. Knoblich & Öllinger, in diesem Band).

Allerdings hat die frühe experimentelle Orientierung der Denkpsychologie auch eine (wohl unbeabsichtigte) Beschränkung des Forschungsgegenstandes mit sich gebracht: die Reduktion auf Problemstellungen, die im Labor einfach herstellbar und gut messbar sind. Pretz, Naples und Sternberg (2003, p. 9) schreiben hierzu: „The study of ill-defined problems generally has been less fruitful than the study of well-defined problems. Well-defined problems are well described by current theories of problem solving; however, ill-defined problems are ill understood by psychologists. Yet arguably most of the problems in the real world are not well defined.“ In diesem Kapitel erfolgt eine Konzentration auf die schlecht definierten komplexen und wissensintensiven Probleme, zu denen in den vergangenen 30 Jahren insbesondere in der europäischen Forschung eine Reihe neuer Erkenntnisse gewonnen wurden (siehe zur Übersicht den Reader von Frensch & Funke, 1995). Diese sollen im vorliegenden Beitrag überblicksartig dargestellt werden.

1.1 Ein Stück Forschungsgeschichte

Die Geschichte der Forschung zum Umgang mit komplexen Problemen beginnt mit einigen kaum beachteten Vorläuferarbeiten wie Alluisi (1967), Becker und Selten (1970), Ebert (1972), McGuire und Babbott (1967) oder Toda (1962), in denen bereits die Notwendigkeit zur Untersuchung komplexer Problemstellungen anklingt. Erst in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts sind diese Tendenzen aber zum Durchbruch gekommen: in Deutschland mit den

Arbeiten von Dörner (vgl. Dörner, 1975; Dörner, Drewes, & Reither, 1975), in Grossbritannien mit den Arbeiten von Broadbent (vgl. Broadbent, 1977; Broadbent & Aston, 1978), und in Australien mit der Arbeit von MacKinnon und Wearing (1980; vgl auch MacKinnon & Wearing, 1983). Durch unterschiedliche Fragestellungen motiviert, kam es in all diesen Forschungsrichtungen zum Einsatz einer neuen Methode: der Verwendung computersimulierter Szenarien als Stimulusmaterial für die denkpsychologische Forschung.

Nicht ganz zufällig fällt dieser Startzeitpunkt mit den ersten Erkenntnissen über die „Grenzen des Wachstums“ (Meadows, Meadows, Zahn, & Milling, 1972) zusammen. Es war die Zeit, in der nicht zuletzt durch die Ölkrise der 1970er Jahre den Menschen in der westlichen Welt klar wurde, dass ungebremstes Wachstum und die ungehemmte Nutzung nicht erneuerbarer Rohstoffe nur eine Zeitlang gut gehen konnten. Zusätzliche Entwicklungen wie die rapide Ausbreitung des Mediums Internet, die Computerisierung der Arbeitswelt und die damit verbundenen Folgen einer zunehmenden Globalisierung machen uns bis heute eindrücklich klar, das wir in einer Welt leben, die zunehmend komplexere Strukturen aufweist und damit auch zunehmend anfällig wird (Mander & Goldsmith, 2002). Dies sollte die Forschung zum komplexen Problemlösen nur noch mehr motivieren.

Buchner (1995) unterscheidet in der Rückschau zwei Forschungsrichtungen zum Komplexen Problemlösen, die interessanterweise beide ihren Ursprung in Europa haben: Eine wurzelt in Broadbents Forschung über verschiedene Gedächtnissysteme aus den 1970er 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 entstammt Dörners etwa zur gleichen Zeit durchgeführten Forschungen über die Struktur intelligenten Verhaltens in komplexen Anforderungssituationen (Dörner, 1981; Dörner, Kreuzig, Reither, & Stäudel, 1983; Dörner & Wearing, 1995) und zielt ab auf die Suche nach interindividuellen Unterschieden. Die zuerst genannte Richtung (Broadbent) ist der experimentellen, theoriestenden Forschung verpflichtet und benutzt überschaubare dynamische Aufgabenstellungen (z.B. ein simuliertes Transportsystem oder eine kleine Zuckerfabrik); die zweite Richtung (Dörner) stellt ein mehr exploratives Vorgehen mit intransparenten Aufgabenstellungen 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).

1.1.1 Zugang 1: Experimentalpsychologische Perspektive mit systematischer Manipulation von Szenarien

Broadbents experimentelle Arbeiten führten zur Konzeption zweier verschiedener Lernmodi, eines expliziten und eines impliziten Lernmodus (z.B. Hayes & Broadbent, 1988). 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. 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 (vgl. auch Sanderson, 1989). Zu diesen Dissoziationsstudien sind in der Zwischenzeit eine Reihe von Nachfolgeuntersuchungen durchgeführt worden (für einen Überblick siehe Berry & Broadbent, 1995). Auch Kritik an dieser Interpretation der Dissoziationsbefunde ist vorgetragen worden, die eine wesentlich einfachere Deutung nahe legt (Buchner, Funke, & Berry, 1995): Danach ist die Dissoziation zwischen Wissen über ein System und der Steuerungsleistung dieses Systems bedingt durch die Tatsache, dass Personen mit guter Steuerleistung kaum Wissen über das gesamte Spektrum des Systems sammeln, da sie sich definitionsgemäß die meiste Zeit im Zielzustand oder zumindest nah am Ziel befinden.

Wesentliches Kennzeichen dieses Zugangs 1 ist eine experimentelle Manipulation des Reizmaterials und dessen Präsentationsbedingungen. Insbesondere die systematische Manipulation von Szenarien (bzw. Systemmerkmalen) ist zu einem Charakteristikum dieser Forschungsrichtung geworden (Funke, 1986, 2001a, 2001b; Vollmeyer & Funke, 1999). Erst durch systematische Variation von Systemmerkmalen wie Anzahl der Vernetzungen, Grad der Eigen-dynamik oder Ausmaß an Zeitverzögerung konnte deren Einfluss aufgezeigt werden (z.B. Funke, 1992).

1.1.2 Zugang 2: Korrelationsstatistische Perspektive und Suche nach interindividuellen Unterschieden

Dörners Arbeiten haben sowohl zu einer intensiven Diskussion über die Schwächen traditioneller Intelligenztests als auch zu einer handlungstheoretischen Analyse des Verhaltens in komplexen Umwelten geführt (Dörner, 1986, 1996; Dörner & Kreuzig, 1983; Dörner, Schaub, & Strohschneider, 1999; Funke, 1983; Jäger, 1984; Putz-Osterloh, 1981, 1983; Putz-

Osterloh & Lüer, 1981). In den frühen Arbeiten von Dörner und Mitarbeitern stand die Enttäuschung über die geringe 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 Szenarien, mit denen Versuchspersonen unter kontrollierten Laborbedingungen zu interagieren hatten (siehe Brehmer & Dörner, 1993; Brehmer, Leplat, & Rasmussen, 1991).

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

Wesentliches Kennzeichen von Zugang 2 ist die Suche nach interindividuellen Unterschieden und Korrelaten von Erfolg bzw. Misserfolg. Bei konstant gehaltenen Systemen werden Verhaltensspielräume betrachtet und individuelle Trajektorien durch ein System sowie deren Resultate mit differentialpsychologisch relevanten Konstrukten (Intelligenz, Persönlichkeitsmerkmale, etc.) in Verbindung gebracht.

Dörners Vorschlag, computersimulierte Szenarien als alternative Messverfahren zur Erfassung einer „operativen Intelligenz“ zu erproben (Dörner, 1986), haben seither viele Forscher aufgegriffen. Als Folge daraus sind viele Szenarien entstanden, die nicht nur in der Forschung, sondern auch in Anwendungskontexten zum Einsatz kamen (Überblicke bei Funke, 1995b, 1998; Strauß & Kleinmann, 1995). Dabei ist die übertriebene Euphorie der ersten Jahre angesichts eines neuartigen Instruments durch eine gesunde Skepsis hinsichtlich dessen Messgüte und Aussagekraft ersetzt worden (Kersting, 1999b; Süß, 1996).

1.2 **Definitionsmerkmale eines komplexen Problems**

In der Literatur werden seit den ersten Anforderungsanalysen durch Dörner (1980a) und Putz-Osterloh (1981) folgende Definitionsmerkmale aufgeführt:

- (a) Komplexität als Indikator für die Menge beteiligter Variablen (im Unterschied zur Überschaubarkeit „kleiner“, nicht komplexer Probleme). Beispiel: Ein Drucker ist komplexer als ein Kugelschreiber, da er über wesentlich mehr Einzelteile verfügt. Allerdings wäre es unzureichend, Komplexität allein an der Variablenanzahl festzumachen, wie das nächste Beispiel zeigt.
- (b) Vernetztheit als Indikator für die Tatsache, dass innerhalb der beteiligten Variablen zahlreiche Querverbindungen vorliegen (im Unterschied zu einer Situation, in der die beteiligten Merkmale untereinander nicht in Beziehung stehen). Beispiel: Ein Drucker mit 100 Teilen weist eine höhere Vernetztheit auf als ein Puzzle, das aus 100 Teilen besteht.
- (c) Dynamik als Indikator für die zeitlichen Veränderungen, die in mehr oder minder kurzer Zeit zu einer Veränderung der ursprünglichen Problemlage führen (im Unterschied zu statischen Problemstellungen, die über die Zeit hinweg unverändert bestehen bleiben). Beispiel: Die Erwärmung des globalen Klimas führt zu einem langsamen Anstieg des Meeresspiegels, das für die westliche Welt zunächst kaum Auswirkungen mit sich bringt, für die flachen Inseln Mikronesiens allerdings deren baldige Überflutung bedeutet.
- (d) Intransparenz als Indikator dafür, dass nicht alle Informationen, die ein Problemlöser idealerweise benötigt, zur Verfügung stehen (im Unterschied zu Problemstellungen, in denen alle notwendigen Informationen bereitstehen). Beispiel: In einer Katastrophensituation stehen der Einsatzleitung nicht alle erforderlichen Informationen über die Lage vor Ort zur Verfügung. Dennoch müssen rasch Entscheidungen getroffen werden.
- (e) Polytelie (Vielzieligkeit) schließlich als Indikator für die Notwendigkeit, auf mehr als einem Kriterium Optimierungen vorzunehmen (im Unterschied zu Problemen, bei denen genau ein Kriterium zu beachten ist). Beispiel: Bei der Reform des Gesundheitswesens darf das Bestreben nach Sparsamkeit nicht dazu führen, dass notwendige ärztliche Leistungen von sozial Schwachen wegen erforderlicher Eigenleistungen nicht mehr in Anspruch genommen werden können.

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich allerdings, dass nicht alle dieser Merkmale spezifisch für komplexe Problemstellungen sind. Nach den bei Funke (2001b, S. 90f.) ausführlicher dargelegten Gründen kann man insbesondere die Systemmerkmale der Vernetztheit und Dynamik

als charakteristisch für komplexe Probleme bezeichnen, da die Situationsmerkmale der Intransparenz und Polytelie auch bei einfachen Aufgabenstellungen vorliegen können. Interessanterweise sind es genau diese beiden Merkmale Vernetztheit und Dynamik, zu deren Realisierung ein Computer hilfreich ist, sieht man einmal vom „Papiercomputer“ in Vesters' Spiel „Ökolopoly“ ab (Vester, 1983).

Aus den beiden zentralen Merkmalen der Vernetztheit und Dynamik leiten sich auch die zwei wesentlichen Anforderungen ab, die mithilfe computersimulierter Szenarien gut zu untersuchen sind: (a) die Anforderung der Modellbildung, die verlangt, dass sich Akteure ein Bild von der komplexen, vernetzten Situation machen müssen und wichtige von unwichtigen Faktoren trennen können; (b) die Anforderung, zeitliche Entwicklungen abzuschätzen, um die aufgrund der Dynamik eintretenden Veränderungen möglichst gut vorhersagen zu können.

1.3 Taxonomische Aspekte komplexer Probleme

Taxonomische Aspekte sind in zweierlei Hinsicht wichtig: zum einen zur Abgrenzung gegenüber anderen Phänomenen, zum anderen aber auch innerhalb des Bereichs komplexer Probleme zur Binnendifferenzierung des Bereichs. Auf beide Aspekte soll hier eingegangen werden.

In der Literatur werden Abgrenzungen gegenüber anderen Konstrukten seit den ersten Anforderungsanalysen durch Dörner (1980a) und Putz-Osterloh (1981) diskutiert (vgl. auch Dörner & Kreuzig, 1983, S. 190). Dort wurden die Anforderungen, die ein komplexes Problem stellt, mit denjenigen verglichen, die bei der Bearbeitung von Intelligenztests gestellt werden. Tabelle ANFORD zeigt die diskutierten Gemeinsamkeiten wie vor allem auch die Unterschiede.

Hier bitte Tabelle ANFORD einfügen

In beiden Situationen geht es um die Analyse von Variablen und deren Beziehungen zu anderen Variablen sowie um die Suche nach der hinter Veränderungen steckenden Systematik. In den übrigen Anforderungen, die Tabelle ANFORD benennt, werden spezifische Merkmale komplexer Probleme (Zieldefinition, Polytelie, Handlungsauswahl, Informationssuche, Wissensnutzung) benannt, die in Intelligenztests entweder gar nicht oder nicht in vergleichbarer Weise gefordert werden.

Derartige Anforderungsanalysen sind sehr hilfreich, um die spezifischen Merkmale komplexer Probleme im Vergleich zu anderen kognitiven Anforderungen herauszuarbeiten. Aber

natürlich können diese Analysen auch dazu beitragen, zwischen verschiedenen komplexen Problemen zu differenzieren.

Im Laufe der Zeit sind verschiedene taxonomische Systeme zur Binnendifferenzierung des Bereichs komplexer Szenarien vorgeschlagen und diskutiert worden (z.B. Arlin, 1989; Funke, 1990; Gray, 2002; Strauß, 1993; Strohschneider, 1991a). Wagener (2001) hat mit seiner „Taxonomie komplexer Szenarien“ (TAKS) die derzeit umfassendste Differenzierung vorgelegt, die insgesamt 81 Einzelmerkmale auf sechs Merkmalsknoten zusammenfasst (siehe Tabelle WAGENER).

Hier bitte Tabelle WAGENER einfügen

Die in der Tabelle WAGENER aufgeführten Merkmale stellen Variationsmöglichkeiten dar, die in bisherigen Untersuchungen mehr oder weniger stark variiert wurden. Eine solche taxonomische Auflistung ist insofern hilfreich, als sie den Forschenden Anhaltspunkte dafür liefert, an welchen „Schrauben“ in diesem Forschungsbereich gedreht werden kann, d.h. worauf sich experimentelle Variationen beziehen können.

Jonassen (2000) stellt in seinem Beitrag eine interessante Typologie von Problemen vor, die elf verschiedene Problemtypen umfasst. Diese sind auf einem Kontinuum von „well-structured to ill-structured“ geordnet; die Reihenfolge ist insofern taxonomisch, als die jeweils höheren Formen die einfacheren als Voraussetzung enthalten. Jonassen macht allerdings zugleich deutlich, dass die von ihm genannten Problemklassen weder absolut noch diskret sind. Nicht absolut bedeutet: es könnten weitere Kategorien hinzukommen oder die bestehenden Kategorien könnten reorganisiert werden; außerdem gibt es Ähnlichkeiten und Überlappungen zwischen den Klassen, weswegen die verschiedenen Kategorien nicht diskret sind.

Was sind nun die einzelnen Typen, die von Jonassen unterschieden werden?

- (1) Logische Probleme, bei denen abstraktes Denken verlangt wird (Beispiel: „Turm von Hanoi“).
- (2) Algorithmische Probleme, wie sie in der Schule häufig vorkommen und bei denen es um das Verständnis von bestimmten formalen Operationen geht, die man dann in einer Beispielsituation anwenden soll (Beispiel: Lösen von Gleichungssystemen).
- (3) Textprobleme, bei denen beispielsweise mathematische Werte in eine kurze Geschichte verpackt werden (mathematische Textaufgaben).

- (4) Regelverwendende Probleme, bei denen einfache oder komplexere Regeln einen Lösungsprozess leiten (Beispiele: Erweitern eines Rezepts, um es für mehr als die geplante Personenzahl einsetzen zu können; Spiele wie Bridge oder Schach).
- (5) Entscheidungsprobleme, bei denen eine Option aus einer größeren Alternativenzahl zu wählen ist (zahlreiche Beispiele hierzu finden sich in der entscheidungstheoretischen Literatur).
- (6) Fehlersuch-Probleme, die im Alltag den größten Teil ausmachen: Es geht darum, nicht funktionierende Teile wieder operational zu machen (Beispiele: Autoreparatur; Fehlersuche bei einem abgestürzten Computer).
- (7) Diagnose-Lösungsprobleme, bei denen in ganz ähnlicher Weise wie bei den Fehlersuch-Problemen zunächst eine Diagnose zu stellen ist, an die sich eine Behandlung anschließt (Beispiele: medizinische Diagnose und Behandlung).
- (8) Strategische Leistungen stellen eine Form von Problemanforderung dar, bei denen mittels einer ganzen Zahl verschiedener Taktiken strategische Ziele zu erreichen sind (Beispiel: Fliegen eines Flugzeugs in einer schwierigen Umgebung).
- (9) Fallbeispiel-Probleme, bei denen komplexe, situierte Fälle vorgelegt und bearbeitet werden müssen, bei denen Ziele nur unscharf definiert sind und wenig Informationen über das Problem gegeben sind (Beispiele: Probleme auf der Ebene internationaler Beziehungen).
- (10) Design-Probleme, die zu den schwierigsten und schlecht strukturiertesten Problemen schlechthin gehören und bei denen es darum geht, einen neuen Gegenstand zu erzeugen (Beispiele: Produkt-Design; System-Design).
- (11) Dilemmata, bei denen unklare Kriterien für die Beurteilung der Lösung bestehen und die häufig ethische oder soziale Aspekte berühren, in denen Konflikte auftauchen (Beispiel: Kosovo-Konflikt).

Diese elf hier angerissenen Problemtypen werden ausführlicher hinsichtlich mehrerer Kriterien unterschieden, zu denen etwa Fragen der Lernaktivität, des Inputs, der Erfolgskriterien, des Kontexts, der Strukturiertheit sowie der Abstraktheit gehören. Außerdem weist Jonassen darauf hin, dass im Alltag Probleme häufig als Cluster aufeinander bezogener Probleme in Erscheinung treten, also die Bezeichnung „Metaproblem“ für diese Ansammlung verschiedenster Probleme durchaus eine passende Bezeichnung wäre. Gerade die alltäglichen, aber auch professionelle Kontexte erzeugen häufig Metaprobleme, bei denen man nicht nur die

einzelnen Probleme lösen muss, sondern auch zu überprüfen hat, wie die einzelnen Probleme insgesamt das Metaproblem ausmachen. Hierfür sind metakognitive Fähigkeiten gefordert.

Tabelle JONASSEN enthält die elf Problemtypen nochmals in systematischer Aufstellung, wobei jeder Typ hinsichtlich der sechs genannten Kriterien (Lernaktivität, Input, Erfolgskriterien, Kontext, Strukturiertheit, Abstraktheit) beurteilt wird.

Hier bitte Tabellen JONASSEN1 und JONASSEN2 einfügen

Die Betrachtungen von Jonassen stammen aus einer nicht näher bezeichneten Sammlung einiger hundert Probleme, die daraufhin – wohl eher intuitiv – klassifiziert und kategorisiert wurden. Trotz dieser subjektiven Grundlage erweist sich die hier beschriebene Typologie als nützlich, um charakteristische Merkmale verschiedener Problemsorten zu differenzieren und etwas Ordnung in die Vielfalt zu bringen.

2 Kontroverse Standpunkte

Bereits kurz nach dem Start des neuen Forschungsprogramms zum Umgang mit komplexen Problemen gab es kontroverse Diskussionen zu inhaltlichen wie methodischen Fragen, die zu je eigenen Standpunkten und verschiedenen Vorgehensweisen führten. Während sich Vertreter der experimentellen Perspektive für eine formale Aufgabenanalyse stark machten, aus der heraus bestimmte Befundmuster zu interpretieren seien, versuchten Vertreter der korrelationsstatistischen Perspektive die Struktur intelligenten Handelns in komplexen Anforderungssituationen näher zu beleuchten.

Bevor zentrale methodische Probleme in einem separaten Abschnitt diskutiert werden, sollen zwei Argumente der Debatte vertieft werden: die Frage nach dem Primat der Realitätsnähe vor dem Kriterium der Formalisierbarkeit und die Frage der experimentellen Kontrollierbarkeit komplexer Anforderungen.

2.1 Realitätsnähe und das Bedürfnis nach Formalisierbarkeit

Die von der Bamberger Gruppe entwickelten Problemstellungen wie das Bürgermeister-Szenario „Lohhausen“ (z.B. Dörner, 1979, 1980b; Dörner, 1981; Dörner, Kreuzig et al., 1983), das Entwicklungshilfe-Szenario „Moro“ (z.B. Putz-Osterloh, Bott, & Houben, 1988; Stäudel, 1987; Strohschneider, 1986) oder das Management-Szenario „Tailorshop“ (z.B. Funke, 1983; Putz-Osterloh, 1981; Putz-Osterloh & Lürer, 1981) faszinieren auf den ersten Blick durch den Anschein von Realitätsnähe. Es geht nicht mehr um zu verlegende Streichhölzer

oder um Türme, die von einem Stab auf einen anderen zu verschieben sind, sondern es geht um die Beschaffung von Maschinen, den Kampf gegen die Tse-Tse-Fliege oder die Investition in ein Gesundheitssystem – ganz offenkundig Fragen von größerer Sinnhaftigkeit und daher auf den ersten Blick motivierender als klassische Problemstellungen mit Denksport-Charakter.

Das von Schuler (1990) vorgeschlagene Kriterium der „sozialen Validität“, das die gängigen Validitätskriterien psychologischer Untersuchungsinstrumente ergänzen soll um den Gesichtspunkt der Akzeptanz des Verfahrens durch die untersuchte Person, scheint hier positiv getroffen: Wie Kersting (1998) belegt, fällt die Akzeptanz von Problemlöseszenarien in eignungsdiagnostischen Auswahlverfahren höher als die von IQ-Tests aus. Größere Realitätsnähe schafft also hier zumindest eine bessere Bewertung des Verfahrens durch Betroffene.

Aber ist das Argument der Realitätsnähe wirklich zutreffend? Tatsächlich weisen die meisten der eingesetzten Szenarien Anforderungen auf, die nicht im Kompetenzspektrum der Versuchspersonen liegen. Wenn Studierende in die Rolle eines Bürgermeisters, einer Managerin oder eines Entwicklungshelfers schlüpfen sollen, sind dies für sie neuartige und ungewohnte Anforderungen, die an der Grenze zur Überforderung liegen könnten. Zudem wird durch die meist nur einmalige Bearbeitung eines Szenarios kein systematischer Wissenserwerb über die Realitätsbereich und auch keine systematische, erfahrungsgeleitete Entwicklung von Strategien möglich. Die in der realen Welt geforderte, oft langwierige Einarbeitung in eine komplexe, dynamische Umgebung (man denke an die Schulung von Piloten oder anderem Personal zur Steuerung technischer Anlagen) unterbleibt bzw. fällt minimal aus. Auch die bei komplexen Problemen häufig vorliegende soziale Dimension kommt kaum zum Tragen.

Dem Bedürfnis nach Herstellung möglichst realistischer Problemstellungen steht das Bedürfnis nach Formalisierbarkeit einer Problemstellung entgegen, wie es bei Funke (1985b) oder Hübner (1989) explizit formuliert ist. Es entstammt der Absicht, zunächst einmal das verwendete Reizmaterial genauer zu beschreiben und zu verstehen, bevor man an die Interpretation von Befunden geht. Das Gelingen bzw. Scheitern von Personen in einer komplexen Anforderungssituation ist von verschiedenen (in der Person wie in der Situation liegenden) Einflussfaktoren abhängig, deren Effekte auseinander gehalten werden sollten. Wie sich in einer Reihe von Untersuchungen mit Variation von Systemeigenschaften bei Konstanthaltung der übrigen Bedingungen gezeigt hat (z.B. Funke, 1990), sind objektive Systemmerkmale wichtige Determinanten der Problemlöseleistung, die man nicht vernachlässigen darf.

Aber auch bei der Frage der Rechtfertigung bestimmter abhängiger Variablen im Sinne von Leistungsergebnissen der Problembearbeitung zeigt sich die Notwendigkeit formaler Analysen. Nur durch derartige formale Analysen kann der Versuch unternommen werden, bestimmte, aufgrund der Eigendynamik des Systems ablaufende Prozesse von denjenigen zu trennen, für die eine Versuchsperson verantwortlich gemacht werden kann. Nur die zuletzt genannten Systementwicklungen sollten als Problemlöse-„Leistung“ gesehen werden.

2.2 Experimentelle Kontrollierbarkeit

Lässt sich komplexes Problemlösen sinnvoll experimentell untersuchen? Auch zu dieser Frage wurden verschiedene Meinungen vorgetragen. Eine verneinende Position nimmt etwa Dörner ein, der in einem ironisch-sarkastischen Beitrag (1989a) das Elend experimenteller Methoden bei der Analyse eines zeitabhängigen Automaten vorführt, aber auch in ernsthaften Arbeiten (z.B. Brehmer & Dörner, 1993; Dörner, 1992) die Meinung vertritt, dass aus grundsätzlichen Erwägungen heraus andere Vorgehensweisen als die experimentelle Methode gefordert seien. Der Methode der Dissektion, also der analytischen und reduktionistischen Zergliederung eines komplexen Gegenstands, stellt er die in diesem Fall zu bevorzugende Methode der Kondensation auf das Wesentliche – die holzschnittartige Vergrößerung – gegenüber (Dörner, 1992).

Die gegensätzliche Position, wonach experimentelle Forschung mit komplexen Problemstellungen nicht nur möglich, sondern geradezu nötig sei, vertritt etwa der Autor dieses Kapitels (z.B. Funke, 1984, 1992; Funke, 1995b, 2004; Müller & Funke, 1995). Eine empirisch fundierte, „evidenzbasierte“ Problemlöseforschung lebt nach dieser Meinung von Theorien, die ohne experimentelle Prüfung allenfalls Glasperlenspiele sein könnten (siehe hierzu Funke, 2004). Komplexe naturwissenschaftliche oder medizinische Modellbildungen können hier als Vorbild dienen: Die Konstruktion eines theoretischen Systems über Stoffwechselforgänge steht nicht in Widerspruch zu der Möglichkeit, dass jede einzelne Wirkbeziehung in dem komplexen Gefüge isoliert prüfbar ist (und zumeist auch isoliert geprüft wurde).

3 Methodische Probleme

Die methodischen Probleme, die in der eben erwähnten Diskussion um die richtige Vorgehensweise eine wichtige Rolle spielten (und dies bis heute tun), sind hier zu zwei Komplexen gebündelt: (a) der Frage danach, welche Möglichkeiten zur Reliabilitätsbestimmung beim Einsatz computersimulierter Szenarien bestehen, sowie (b) welche über die Augenscheinvali-

dität hinausgehenden Argumente dafür angeführt werden können, dass die gemessenen Kennwerte tatsächlich als Indikatoren komplexer Problemlöseleistung interpretiert werden dürfen.

3.1 Reliabilitätsprobleme

Auf die von Funke (1984) seinerzeit vorgetragene Kritik der mangelnden Berücksichtigung von Messfehlern gab es eine spontane Reaktion von Dörner (1984), der zwar Forderungen nach traditionellen Formen der Reliabilitätsbestimmung wie Test-Retest-Analysen zurückwies (die Reliabilität eines Witzigkeits-Maßes von Witzen sei vernünftigerweise nicht durch wiederholtes Messen bei mehrfacher Präsentation des Witzes zu bestimmen), andererseits aber auch verlangte, die Reliabilität bestimmter elementarer Verhaltensmerkmale wie z.B. „Anzahl der Entscheidungen“ oder „Anzahl Fragen eines bestimmten Typs“ festzustellen. Stoßrichtung seiner Argumentation war, zur Reliabilitätsbestimmung nicht an den Effekten, sondern an den Ursachen (den Parametern des „erzeugenden Systems“) anzusetzen und dort nach stabilen Daten zu suchen.

Einen interessanten Lösungsvorschlag für das Reliabilitätsproblem hat Müller (1993) gemacht. Zu zwei verschiedenen Zeitpunkten erhob Müller das Systemwissen seiner Versuchspersonen und deren Steuerungsfähigkeit an zwei inhaltlich verschiedenen, aber formal identischen Systemen (Problemisomorphen). Müllers Trick: die zwei äquivalenten Subsysteme wurden für die Versuchspersonen in einem Gesamtsystem namens „SAB“ präsentiert, bei dessen Display darauf geachtet wurde, dass die zwei separaten Subsysteme nicht als solche erkannt wurden.

Hier bitte Abbildung MÜLLER einfügen

Die in Abbildung MÜLLER gezeigte „Tiefenstruktur“ des Systems war den Versuchspersonen nicht zugänglich und wurde für die konkrete Darbietung angepasst: (a) Die X-Variablen wurden im dargebotenen Szenario zu „Reglern“ 1, 2, 3 und 4, die Y-Variablen zu „Instrumenten“ A, B, C und D. (b) Die Anordnung der X- und Y-Variablen im Display wurde randomisiert. (c) Die Gewichte a, b, c und d wurden festgelegt und die korrespondierenden Gewichte a', b', c' und d' als Lineartransformation daraus bestimmt. (d) Ebenso wurde mit den Start- und Zielwerten verfahren. (e) Bei der Auswertung wurden Wissenserwerb („Güte des Kausaldiagramms“, GdK) und Steuerungsleistung („Güte der Systemsteuerung“, GdS) für die beiden Teilsysteme separat bestimmt, um die Reliabilität dieser Kennwerte bestimmen zu können.

Da zudem diese Anordnung zu zwei Messzeitpunkten vorgegeben wurde, kann man mit dem Design im Rahmen der Latent-State-Trait-Theorie (siehe z.B. Steyer, 1987; Steyer & Schmitt, 1990) States (situationsabhängige Zustände) und Traits (überdauernde Eigenschaften) unterscheiden. Der Ansatz, zwischen latenten Variablen wie „Identifikationsleistung“ und Observablen wie „GdK“ zu unterscheiden, erlaubt in idealer Weise die Schätzung von Messfehlern. Es erscheint wünschenswert, dass der von Müller (1993) aufgezeigte Weg zur Klärung des Reliabilitätsproblems verstärkt genutzt wird.

3.2 Validitätsprobleme

Der zweite Bereich methodischer Probleme bezieht sich auf Validitätsfragen. Wie lässt sich die Validität erhobener Daten zum Umgang mit komplexen Anforderungen belegen? Angesprochen wird das Problem der Augenscheinvalidität, die geringe Stichhaltigkeit von Nullkorrelationen, das Problem der Validität von Novizen-Experten-Vergleichen und das Problem, wie theoretische Konstrukte mit Prozesscharakter empirisch verankert werden können.

3.2.1 Augenscheinvalidität

Gerade frühe Studien aus dem Bereich des komplexen Problemlösens zogen die Validität der Befunde gar nicht in Zweifel, da doch dem Augenschein nach die komplexe Wirklichkeit ins Labor geholt wurde. Allerdings macht eine detailliertere Betrachtung der Szenarien deutlich, dass gerade durch die reichhaltige Semantik zahlreiche Quellen von Missverständnissen auf Seiten der Versuchspersonen vorliegen. So könnte jemand beim Bearbeiten der Schneiderwerkstatt vernünftigerweise annehmen, dass der Preis für Rohmaterial von dessen Nachfrage abhängig sei (ist er nicht), dass es saisonale Absatzeffekte gäbe (gibt es nicht) oder dass man die Löhne der Arbeiter nicht beliebig herauf- oder herabsetzen könne (kann man). Viele weitere Abweichungen zwischen programmierter Welt und vernünftigen Annahmen über diese Welt ließen sich nennen, die schlussendlich dazu führen könnten, dass eine Versuchsperson trotz guter Modellvorstellungen scheitert. So könnte gutes Abschneiden in einem Szenario letztlich bedeuten, dass die mentalen Modelle von Programmierer und Bearbeiter zusammenpassen – dies wäre dann allerdings eine andere Validität als die, nach der es gemäß Augenschein aussähe.

Aber nicht hinsichtlich der Eigenschaften der Szenarien gilt es, sich vor Augenscheinvaliditäten zu schützen. Auch bei den abhängigen Variablen taucht dieses Problem auf. So wurde bereits von Funke (1983) der Gütemaßstab der Schneiderwerkstatt kritisiert: der bis dahin verwendete Indikator „Flüssigkapital“ ist in vielerlei Hinsicht schlechter geeignet als die Alte-

rative „Gesamtkapital“. Aber auch dieser Indikator weist – wie Süß, Oberauer und Kersting (1993) zeigen konnten – Probleme auf, da er die zwei (u.U. inkompatiblen) Subziele „Zahl verkaufter Hemden“ und „Gewinnspanne pro Hemd“ ungünstig verknüpft: Wer bei negativen Gewinnspannen den Absatz steigert, rutscht unweigerlich in die Verlustzone, obwohl eines der Teile – Absatz steigern – erfolgreich bewältigt wurde. Eine nach den beiden Kriterien separierte Auswertung ist nach Süß et al. die bessere Lösung. Was also geeignete Gütekriterien zur Leistungsbeurteilung in komplexen Szenarien sind, ist nicht per Augenschein erkennbar, sondern muss jeweils im Detail geprüft werden.

3.2.2 Stichhaltigkeit von Nullkorrelationen

Zusätzlich zur Augenscheinvalidität wurden Nullkorrelationen mit Intelligenztests als Validitätsbeleg angeführt. Gerade in der Frühzeit der Forschung gaben Null-Korrelationen zwischen Intelligenztests und Problemlöseleistungen (z.B. Dörner, 1983a; Putz-Osterloh, 1981; Putz-Osterloh & Lüer, 1981) ein wichtiges Argument dafür ab, dass hier eine neue Form von Intelligenz in Erscheinung trat, die auch nach neuen Messinstrumenten rief („Diagnostik der operativen Intelligenz“, siehe Dörner, 1986). Übersehen wurde dabei, dass Null-Korrelationen auch auftreten können, wenn (a) die Reliabilität eines der beiden Merkmale gegen Null geht oder (b) die Varianz eines der beiden Merkmale stark eingeschränkt ist. Für beide Punkte gab es, wie Funke (1983) zeigen konnte, empirische Argumente: Die Reliabilität bestimmter Problemlöse-Maße erwies sich als unbefriedigend, ebenso konnte gezeigt werden, dass bei größerer Streuung von Intelligenztestwerten auch die Korrelation zu Problemlösemassen anstieg. Zudem ist bei nicht signifikanten Befunden immer die Teststärke zu überprüfen (Erdfelder, Buchner, Faul, & Brandt, 2004).

3.2.3 Validität von Novizen-Experten-Vergleichen

In einigen Studien (z.B. Putz-Osterloh, 1987; Reither, 1981; Schaub & Strohschneider, 1992) wurden die im Vergleich zu Novizen vermuteten besseren Leistungen von Experten als Validitätsbeleg gewertet. Dies ist nicht in jedem Fall stichhaltig. Dies soll am Beispiel der Arbeiten von Putz-Osterloh (1987) sowie Putz-Osterloh und Lemme (1987) illustriert werden.

In der ersten Arbeit (Putz-Osterloh, 1987) wurde die Leistung von sieben Professoren der Betriebs- und Volkswirtschaftslehre mit 30 zufällig ausgewählten Studierenden (überwiegend aus technischen Studienfächern) beim Bearbeiten zweier komplexer Szenarien, dem Entwicklungshilfe-Szenario „Moro“ und dem ökonomischen Szenario „Schneiderwerkstatt“ verglichen, und zwar hinsichtlich globaler Leistungsunterschiede, den Problemlösestrategien und

dem zugrunde liegenden Systemwissen. Für die Experten sollten beim Bearbeiten des ökonomischen Problems auf allen drei Stufen Vorteile gezeigt werden können, während beim Entwicklungshilfe-Spiel keine spezifischen Wissensvorteile, wohl aber allgemeine strategische Vorteile im Vergleich zu den Novizen auftreten sollten. Dies ist tatsächlich der Fall. Unterschiede gibt es etwa nicht hinsichtlich der Menge an eingeholter Information, sondern hinsichtlich dessen Verarbeitung.

Was schränkt die Validität dieses Novizen-Experten-Vergleichs ein? Neben vielen unkontrollierten Einflussfaktoren (z.B. Testintelligenz) gibt es einen wichtigen Unterschied, der sicherlich einiges an Varianz aufklären dürfte: das Lebensalter. Während die Professoren zwischen 40 und 49 Jahren alt waren und damit über erhebliche allgemeine Problemlöseerfahrung verfügten, betrug das Durchschnittsalter der Studierenden gerade einmal 22 Jahre (Range: 19-27). Die aufgezeigten Unterschiede könnten also durchaus auf einen so simplen Faktor wie Lebenserfahrung zurückgeführt werden.

Dieser Einwand trifft nicht zu auf die zweite Untersuchung (Putz-Osterloh & Lemme, 1987), in der 28 unselektierte Studierende („Novizen“) mit 24 Studierenden der Ökonomie („Experten“) verglichen wurden. Beide Stichproben waren in dieser Studie hinsichtlich Alter und Testintelligenz vergleichbar. Tatsächlich konnten diesmal für das ökologische und für das ökonomische System Unterschiede zwischen beiden Gruppen aufgezeigt werden, die auf bestimmte Strategie-Unterschiede im Entscheidungsverhalten (Einsatz systematischer Bedingungsvariation) zurückzuführen waren. Es ist also durch die Kontrolle von Alter und Testintelligenz zu einem veränderten Befundmuster gekommen. Allerdings ist zu fragen, mit welchem Recht Studierende als Experten bezeichnet werden dürfen.

Weitere Experten-Novizen-Vergleiche bei (komplexen) Problemen findet man bei Endres und Putz-Osterloh (1994), Jacobson (2001), Reichert und Stäudel (1991), Reimann (1998), Schaub und Strohschneider (1992) oder Sweller (1988); eine Kritik an Experten-Novizen-Studien wegen mangelhafter Wissensdiagnostik findet sich bei Süß (1996).

3.2.4 Empirische Verankerung theoretischer Konstrukte mit Prozesscharakter

Wie lassen sich Verknüpfungsannahmen empirisch prüfen, die sich auf postulierte Prozessparameter des kognitiven Geschehens beziehen? Dazu wäre es nicht nur unabdingbar, in der Empirie verankerte Indikatoren der Konstrukte angeben zu können (z.B. „Dringlichkeit“), sondern diese auch in ihrer zeitlichen Ablaufdynamik jeweils konkret zu erfassen. Dass man

hierfür auf die Befragung einer Vp zurückgreift, befriedigt nicht, wird doch von einem Autor eines solchen Modells explizit eingeräumt (Dörner, 1982, S. 60), dass viele derartige Prozesse nicht bewusst ablaufen. Sein Vorschlag zur Prüfung des Modells: Simulationsläufe des Modells mit variierenden Parametern und Prüfung, ob die Konsequenzen des Modells mit empirisch beobachtbaren Konsequenzen übereinstimmen („protocol-trace“-Vergleich, synthetische Versuchspersonen oder „künstliche Seelen“; vgl. auch Funke & Spring, in diesem Band).

Die hier angesprochene Problematik ist nicht spezifisch für die Problemlöseforschung. So ist etwa auch die Theorie zur Angstbewältigung von Lazarus (1991) voll von theoretischen Konstrukten wie „primary appraisal“ oder „secondary appraisal“, die nur schwer zu verankern sind. Dennoch ist diese Theorie zur Beschreibung von Angstprozessen nützlich.

4 Ausgewählte Forschungsergebnisse

In den vergangenen 30 Jahren hat sich eine rege Forschungstätigkeit zu verschiedenen Aspekten des Umgangs mit komplexen Problemen ergeben. Überblicke dazu sind verschiedentlich erstellt wurden (Funke, 1985a, 1988, 1995b; 2003, Kap. 5). Die Vielfalt der verwendeten Szenarien erschwert eine vergleichende Darstellung. Die nachfolgende Tabelle SZENARIEN zeigt in alphabetischer Ordnung die wichtigsten Szenarien zusammen mit jeweils mindestens einer Quellenangabe; zudem befinden sich dort Angaben über den Umfang des jeweiligen Szenarios, seine inhaltliche Einbettung und eventuelle „Verwandte“, da einige Ursprungsszenarien inzwischen regelrechte „Familien“ begründet haben.

Hier bitte Tabelle SZENARIEN einfügen

Wie die Tabelle SZENARIEN deutlich macht, stammen die knapp 90 aufgeführten Szenarien aus so verschiedenen Inhaltsbereichen wie Biologie, Medizin, Ökonomie, Ökologie, Politik, Technik oder Verkehr. Einige der Ursprungsszenarien wie „Fire Fighting“, „Moro“ oder „Tailorshop“ haben zahlreiche Derivate entstehen lassen, von denen allerdings bis heute nicht klar ist, inwiefern dort wirkliche Äquivalenz in den Anforderungen besteht. Die Variablenzahl schwankt im Bereich von drei Zehner-Potenzen – das ist ein großer Bereich, der die Frage aufwirft, ob tatsächlich die jeweils andersartigen Anforderungen überhaupt untereinander vergleichbar sind.

Bisherige Darstellungen der Forschungsergebnisse orientierten sich mehrfach an der Taxonomie von Einflussfaktoren beim Lösen komplexer Probleme, die von Funke (1990) vorgelegt wurde und die drei Bereiche Personmerkmale (z.B. Intelligenz), Situationsmerkmale

(z.B. Transparenz der Untersuchungssituation) und Systemmerkmale (Schwierigkeit bzw. Komplexität eines Szenarios) unterscheidet. Vorliegende Untersuchungen wurden jeweils einem der drei Bereiche zugeordnet und entsprechend dargestellt. Die nachfolgende Darstellung ausgewählter Forschungsergebnisse wählt einen andersartigen Aufriss der Forschungsbefunde. Sie orientiert sich an den eingangs genannten Definitionsmerkmalen komplexer Probleme (Komplexität und Vernetztheit, Dynamik, Intransparenz, Polytelie) und versucht, die zum jeweiligen Merkmal vorgelegte Evidenz beispielhaft darzustellen.

4.1 Komplexität und Vernetztheit

Dass Probleme sich hinsichtlich ihrer Schwierigkeit unterscheiden, bedarf keiner weiteren Begründung. Woran sich ein Konzept wie das der Problemschwierigkeit (vgl. Hussy, 1984a; Hussy, 1984b) festmachen lässt, ist allerdings schon weniger eindeutig. Typischerweise wird in diesem Zusammenhang der Begriff der Komplexität genannt.

Komplexität ist nach Casti (1979) sowohl einer der am häufigsten verwendeten als auch der am schlechtesten definierten Begriffe in der Systemtheorie. Von daher wundert es nicht, dass erste Versuche zur Operationalisierung der Komplexität von Szenarien auf die Anzahl beteiligter Variablen abgehoben hatten. Sinnvollerweise kann man dieses Merkmal nur in Verbindung mit demjenigen der Vernetztheit betrachten, da z.B. 100 unvernetzte Variablen deutlich geringere Komplexität bedeuten als 50 vollständig vernetzte Variablen. Komplexitätsmaße müssen also nicht nur die Knoten eines Systems, sondern vor allem die Kanten zwischen den Knoten beachten.

Was sind die Ergebnisse hinsichtlich Komplexität? Kurioserweise ist in der Anfangszeit keine andere Form der Komplexitätsvariation gewählt worden als die des Szenarienwechsels. Komplexität und inhaltlicher Bereich waren somit konfundierte Merkmale. Das bedeutet: Es gab eine Reihe verschiedener Szenarien wie „Lohhausen“ oder „Moro“, von denen angenommen wurde, dass sie zumindest ordinal auf einer Komplexitätsdimension platziert werden konnten. Erst in späterer kam der Gedanke auf, das Szenario selbst konstant zu halten und innerhalb eines gleich bleibenden Szenario-Rahmens unterschiedliche Komplexitätsstufen herzustellen. Das erste Experiment mit systematisch gestufter Komplexität findet sich bei Funke (1985b). Dort wurde ein künstliches System („Ökosystem“) gewählt, das aus drei exogenen und drei endogenen Variablen bestand. Aufgabe der Versuchsperson war es, durch Manipulation der exogenen Variablen deren Effekte auf die endogenen Variablen zunächst zu identifizieren und dann die endogenen Variablen auf gewünschte Zielzustände zu bringen. Das willkürlich kon-

struierte Modell enthielt in seiner Einfachstruktur sechs Variablen, zwei weitere Modellvarianten kamen durch Hinzufügung von zwei beziehungsweise vier weiteren Wirkbeziehungen innerhalb dieses kausalen Systems hinzu. Auf diese Art und Weise wurde bei gleich bleibender Variablenzahl die Komplexität gesteigert. Vorhergesagt wurde ein monoton fallender Zusammenhang zwischen der Qualität des „subjektiven Kausalmodells“ und der Anzahl der Teilprozesse, die im Modell realisiert wurden (= Komplexität). Ein ebensolcher Effekt wurde vorhergesagt für die Güte der Systemsteuerung. Beide Effekte konnten an N=60 Studierenden nachgewiesen werden: Mit steigender Vernetztheit (von 6 auf 8 auf 10 Vernetzungen) sinkt die Qualität des Systemwissens, gleichzeitig sinkt auch die Annäherung an die vorgegebenen, zu erreichenden Zielwerte monoton. Einschränkend ist allerdings hinzuzufügen, dass diese Befundlage in ihrer Eindeutigkeit nur für autoregressive Systeme erster Ordnung gilt, d.h. für Systeme, in denen keine Zeitverzögerungen höherer Ordnung vorliegen. Bei Systemen mit höheren zeitlichen Abhängigkeiten kommen andere Faktoren mit ins Spiel, die hier zunächst nicht beachtet werden sollen.

Auch wenn es geradezu trivial erscheinen mag, dass mit steigender Vernetztheit sowohl der Wissenserwerb als auch die Wissensanwendung beeinträchtigt werden, sind doch derartige Studien wichtig, um sicherzustellen, dass die Selbstverständlichkeiten auch wirklich in den Messinstrumenten aufscheinen (Validitäts-Check). Interessant wird es, wenn genauere Vorhersagen darüber möglich sind, in welchem Ausmaß durch zunehmende Vernetzung Verschlechterungen in den abhängigen Variablen eintreten. Im übrigen: Den psychophysischen Gesetzen wirft man ja auch nicht vor, dass sie den an und für sich trivialen Zusammenhang abbilden, wonach mit intensiverer Reizdarbietung eine Intensivierung der Empfindung verbunden ist – im Gegenteil: Durch die Präzisierung des Zusammenhangs wird eine Vorhersagekraft erreicht, die andere Bereiche der Psychologie nur bewundernd anerkennen können. Davon ist die Forschung zu komplexen Systemen allerdings noch weit entfernt.

Dem als Leitmotiv der Komplexitätsforschung dienenden Titel einer frühen Arbeit von Dörner (1981) „Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität“ setzten Eyferth, Schömann und Widowski (1986) einen eher süffisanten Beitrag „Der Umgang von Psychologen mit Komplexität“ entgegen, in dem sie die vorliegenden Ansätze durch ihren eigenen „Repräsentationsansatz“ ergänzen, der das Konzept des Problemraums von Newell und Simon (1972) als Kulminationspunkt der Interaktion von Aufgaben- und Person-Parametern betrachtet. Das von Bartlett (1932) postulierte Prinzip der Informationsverarbeitung „effort after meaning“ verlangt die mentale Organisation von Situationsbedeutungen zur Kontrolle

eigenen Handelns. Komplexitätsbewältigung als Bedeutungsgebung „entsteht aus Vorwissen, das in der Auseinandersetzung mit einer Aufgabe umstrukturiert und ergänzt wird“ (Eyferth et al., 1986, S. 25). Folgerichtig verlangen die Autoren eine „möglichst detaillierte Erfassung von Vorwissen, gefolgt von einer Untersuchung der Aktualgenese des Aufgabenverständnisses und der Repräsentation der lösungsrelevanten Kenntnisse und Heuristiken“ – eine Forderung, der auch aus heutiger Sicht nur zugestimmt werden kann.

4.2 Dynamik

Mit dem Merkmal der Dynamik sind Problemsituationen ausgezeichnet, die sich im zeitlichen Ablauf (d.h. während ihrer Bearbeitung) verändern, sei es durch die (exogenen) Eingriffe der handelnden Person, sei es durch die dem Problem inhärenten (endogenen) Abhängigkeiten. Dynamik bringt den Faktor „Zeit“ explizit ins Spiel und hebt sich ab von nicht-dynamischen, statischen Situationen wie z.B. einer Schach-Konfiguration, über die ich prinzipiell ein Leben lang grübeln könnte.

Nicht erst seit dem Buch von Klein, Orasanu, Calderwood, und Zsombok (1993) über „Decision making in action“ bzw. dessen Nachfolger „Naturalistic Decision Making“ (Zsombok & Klein, 1997) geht eine Kritik an die klassische Entscheidungsforschung dahingehend, dass die im Labor untersuchten Aufgaben statischer Natur sind, während die Entscheidungssituationen im Alltag häufig dynamisch sind und von den Entscheidern unter Zeitdruck die Festlegung eines Handlungsverlaufs fordern, der durch weiteres Feedback adjustiert werden muss. Als Beispiele für solche (nicht ganz alltäglichen) dynamischen Situationen kann man etwa die Bekämpfung eines Waldbrandes ansehen, das Behandeln eines Patienten auf der Intensivstation, oder auch das Führen eines großen Konzerns.

Wie Brehmer und Allard (1991) dargelegt haben, weisen dynamische Probleme drei charakteristische Merkmale auf:

- (1) Sie verlangen eine Sequenz untereinander abhängiger Entscheidungen.
- (2) Der Zustand der Situation ändert sich, sowohl autonom als auch infolge der Handlungen und Entscheidungen des Akteurs.
- (3) Die Entscheidungen haben in Echtzeit zu fallen.

Diese Anforderungen sind tatsächlich in vielen einfachen, statischen Problemen nicht realisiert. Wie Brehmer (1995) ausführt, besteht ein fundamentales Problem für Entscheider in dynamischen Situationen darin, die richtigen Hilfsmittel zu finden, mit denen man einen ab-

laufenden Prozess in die gewünschte Bahn lenken kann (z.B. ein sich ausbreitendes Feuer, einen erkrankten Patienten, ein angeschlagenes Unternehmen). In solchen Situationen kommt es entscheidend auf Feedback an, mittels dessen die Effekte von getätigten Eingriffen abgeschätzt werden können. Von daher beschäftigen sich Forschungsarbeiten zur Dynamik komplexer Systeme häufig mit dem Merkmal des Feedbacks.

In der zusammenfassenden Beurteilung einer Serie von Experimenten schreibt Brehmer (1995, p. 128f.), dass insbesondere Verzögerungen beim Feedback negative Auswirkungen auf den Problemlöseprozess haben. In seinen eigenen Experimenten sieht er Bestätigung für die von Serman (1989a; Serman, 1989b) formulierte Hypothese „misperception of feedback“, wonach Versuchspersonen bestimmte wahrgenommene Effekte fälschlich auf Totzeiten und nicht auf Informationsverzögerungen zurückführen. Totzeiten entstehen dadurch, dass eine bestimmte Reaktionseinheit Zeit braucht, um in Aktion zu treten. Informationsverzögerung entsteht dagegen, wenn das Feedback über die Handlungsergebnisse erst verspätet vorliegt. Aber selbst dann, wenn Versuchspersonen die Ursachen für Verzögerungen kennen, ist eine geeignete Kompensation der Effekte nicht immer möglich.

Brehmer verwendete in seinen Studien das Szenario „Fire Fighting“, das von den Versuchspersonen die Bekämpfung eines simulierten Wandbrandes in Echtzeit verlangt. Aus der Vogelperspektive sieht man das Einsatzgebiet zu dem neben brennbaren Elementen wie Gebäude, Bäume etc. auch Löscheinheiten zählen, denen die Versuchsperson entsprechende Löschbefehle übermitteln kann. Echtzeit bedeutet hierbei, dass man damit rechnen muss, dass während der Bekämpfung von Feuer an einer ganz bestimmten Stelle gleichzeitig an anderen Stellen neue Feuer ausbrechen können. Eine sequentielle Abarbeitung wird damit erschwert oder gar verunmöglicht.

Weitere Arbeiten, in denen mit Echtzeit-Szenarien gearbeitet wurde, finden sich bei Anzai (1984), Carling und Rigas (2000; Rigas, Carling, & Brehmer, 2002) sowie Omodei und Wearing (1994; 1995a).

4.3 Intransparenz

Intransparenz gehört zusammen mit dem Merkmal der Dynamik zu den „neuen“ Anforderungsmerkmalen komplexer Probleme. Gemeint ist damit die Tatsache, dass die zur Entscheidung benötigten Informationen nur unvollständig vorliegen und Entscheidungen in derartigen Situationen daher unter Unsicherheit zu treffen sind. In den vergleichenden Anforderungsanalysen einfacher und komplexer Probleme wird etwa auf die Transparenz eines Intelligenz-

test-Items verwiesen: Bei einem Item des Raven-Matrizen-tests geht es nicht darum, zunächst fehlende Informationen zu beschaffen, sondern sämtliche benötigten Informationen stecken bereits (in Verbindung mit einer entsprechenden Instruktion) in der Reizvorlage und müssen nur korrekt analysiert werden. In der Bürgermeister-Situation von „Lohhausen“ ist dagegen eine prinzipiell unendliche Vielfalt an Informationen zu erfragen und man kommt im normalen Versuchsablauf nicht an den Punkt, an dem alle möglichen Informationen gesammelt wurden. In intransparenten Problemsituationen ist die unvollständige Informationslage auszuhalten und nach einer geeignet erscheinenden Informationssammlung ist ein Abbruch der Suche nötig, um schlussendlich zu einer Entscheidung zu kommen.

Die Frage nach der Prädiktionskraft von Testintelligenz für das Lösen komplexer Probleme war eine wichtige Triebfeder früherer Forschung, ging es doch nach Dörner und Kreuzig (1983) sowie Dörner (1986) darum, die „quantificatio praecox“ der Intelligenzforschung zu vermeiden und an die Stelle resultatorientierter Leistungskennwerte prozessorientierte Merkmale zu setzen, die charakteristische Verlaufseigenschaften zunächst einmal möglichst unabhängig vom Resultat darstellen sollten.

4.3.1 Das Konzept der operativen Intelligenz

In seinem Beitrag „Diagnostik der operativen Intelligenz“ macht Dörner (1986) 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 Heuristiken. 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 Systemverlaufparametern – 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 Einzelindices erschwert. Aber natürlich kann man versuchen, die Interaktion von Fragen und darauf folgenden Entscheidungen näher zu bestimmen.

Mit seinem Konzept der operativen Intelligenz weist Dörner auf eine Schwäche traditioneller Intelligenzdiagnostik hin – allerdings ist die als Alternative angebotene Form der detaillierten, kontextabhängigen Analyse von Verhaltensindices zumindest unter praktischen Gesichtspunkten außerordentlich schwierig. Vielleicht ist dies einer der Gründe dafür, dass es bis heute kein Testverfahren zur Erfassung operativer Intelligenz gibt, sieht man von verschiedenen Simulationsszenarien im eignungsdiagnostischen Einsatz einmal ab, über die durchaus kritisch geurteilt wird (vgl. Funke, 1998; Kersting, 1999b).

4.3.2 Empirische Befunde zum Verhältnis von Testintelligenz und Problemlösen

Wie aus der weiter oben gezeigten Tabelle ANFORD zu erkennen ist, fehlen beim IQ-Test mehrere Anforderungen, die beim Umgang mit komplexen Systemen auftreten. Daher – so die Erwartung – sollten die Leistungen bei komplexen Systemen nur dann mit Ergebnissen aus IQ-Tests korrelieren, wenn die Untersuchungssituation in beiden Konstruktbereichen vergleichbare Anforderungen stellt. Bei Vorliegen unterschiedlicher Anforderungen dagegen sollten die Korrelationen niedrig ausfallen oder verschwinden.

Tatsächlich zeigten erste Untersuchungen eindrucksvolle Nullkorrelationen, so etwa in der „Lohhausen“-Studie von Dörner et al. (1983), in der die Korrelationen zwischen drei CFT-Skalen und dem Generalgütekriterium zwischen 0.00 und 0.12 (bei N=48 n.s.) ausfielen. Dies wurde als Beleg dafür gedeutet, dass tatsächlich andersartige Anforderungen gestellt wurden. Allerdings kann dieser Negativ-Befund auch auf andere Ursachen (z.B. mangelnde Reliabilität der abhängigen Variable, siehe unten) zurückgeführt werden.

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. 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.

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 System „Schneiderwerkstatt“ unter intransparenten Bedingungen. Alle Probanden bearbeiteten auch den Berliner Intelligenzstrukturtest. 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 die Autoren 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 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.

4.3.3 Alternative Ursachen für Nullkorrelationen

Schon frühzeitig wurden mögliche alternative Ursachen für die berichteten geringen oder Nullkorrelationen diskutiert:

- (a) Reliabilitätsprobleme auf Seiten der Messgrößen für die Leistung beim Umgang mit komplexen Systemen. Dieser Einwand bezieht sich auf die Möglichkeit, dass eine geringe oder Nullkorrelation dann entsteht, wenn eine der beiden beteiligten Variablen geringe (oder im Extremfall gar keine) Reliabilität aufweist. Eine perfekte Korrelation von 1 setzt perfekt reliable Variablen voraus – ansonsten muss einfache oder gar doppelte Minderungskorrektur („correction for attenuation“) vorgenommen werden.
- (b) Eingeschränkte Wertebereiche: Dieses Argument entfaltet Wirkung, wenn nicht der volle Range einer Variablen ausgenutzt wird. Tent (1984, S. 153) formuliert dies so: „Betrachtet man intelligenzhomogene Kollektive, verlieren Intelligenzunterschiede trivialerweise ihre Prädiktorfunktion, und zwar in dem Maße, wie man die Kollektive unter sonst gleichen Bedingungen homogenisiert.“ Dieser Einwand konnte empirisch von Funke (1983) belegt werden. Dort wurde nicht einfach eine Stichprobe überdurchschnittlich intelligenter Studierender untersucht, sondern bewusst solche ausgewählt, die über einen größeren Bereich von IQ-Werten gestreut waren. Tatsächlich führte dies zu einem Anstieg der Korrelation. Ebenso konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass mit einem wenig reliablen Indikator (TREND-PO, Trendmaß nach Putz-Osterloh) deutlich niedrigere Korrelationen erzielt wurden als mit einem hoch reliablen Indikator (TREND-FU, Trendmaß nach Funke).
- (c) Probleme unterschiedlicher Aggregationsebenen von Daten. Dieses Argument bezieht sich die Tatsache, dass der Versuch, ein hoch aggregiertes, globales Merkmal wie allgemeine Intelligenz nicht geeignet ist zur Vorhersage eines hochgradig spezifischen Merkmals wie „Anzahl gestellter Warum-Fragen in den ersten drei Simulationstakten“. Prädiktoren und Kriterien müssen symmetrisch zueinander sein (vgl. Wittmann, 2002; Wittmann & Matt, 1986), d.h. auf vergleichbarer Aggregationsebene stehen.

Tatsächlich hat sich durch Berücksichtigung dieser Einwände in der nachfolgenden Forschung der 90er Jahre unser Bild über den Zusammenhang von Testintelligenz und komplexer Problemlöseleistung grundsätzlich geändert.

4.3.4 Das Verhältnis von Intelligenz und Problemlösen

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. Jäger (1984) hatte bereits als Reaktion auf die provokante Arbeit von Dörner und Kreuzig (1983) geantwortet, dass es kurzichtig wäre, in bloßer Erwartung auf die Ergebnisse experimenteller Prozessforschung die Strukturforschung zum Konstrukt der Intelligenz aufzugeben. Seine Position ist ausgleichend: „Multivariate Intelligenzstrukturforschung und experimentelle Denkprozessforschung richten sich auf den gleichen Gegenstand: menschliches Denken und die Bedingungen seiner Effizienz. Sie sind daher ebenso wenig Alternativen wie Anatomie, Physiologie und innere Medizin, sondern einander ergänzende Forschungsansätze.“ (Jäger, 1984, S. 33, im Original kursiv).

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 ersten Überblicksarbeit über 15 verschiedene Studien zum Zusammenhang zwischen den Leistungen bei komplexen Systemen und Testintelligenz kommen Kluwe, Schilde, Fischer und Oellerer (1991, S. 294) zu dem Schluss: „Die geringe Ausprägung der Korrelationskoeffizienten unterstützt die Position, dass Intelligenztests keine geeigneten Prädiktoren für die Leistungen beim Umgang mit komplexen Systemen darstellen“. Jedoch müssen sie einschränkend darauf hinweisen, dass eine vergleichende und zusammenfassende Bewertung eigentlich nicht möglich ist, da die Systeme „höchst verschieden“ ausfielen und darüber hinaus keine Aussage darüber möglich war, „ob es klar replizierbare Befunde in diesem Bereich gibt“ – eine Aussage, die den schlechten Zustand der damaligen Forschungslage treffend charakterisiert. 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 et al., 1991) noch von Korrelationen um 0 herum gesprochen wurde (von wenigen Ausnahmen in der Größen-

ordnung 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 differentialpsychologische 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, p. 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 Zusammenhangsproblems 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 „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 (vgl. auch Hussy, 1985).

Dass die differentielle 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“ 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 differentielle 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, 1993, 1995c, 1995d). Dies untermauert die Kritik am vorschnellen Einsatz computersimulierter Szenarios in der Eignungsdiagnostik (Funke, 1995a, 1998; Kersting, 1999a, 2001; Kluwe, 1990).

4.4 Polytelie (Vielzieligkeit)

Ein von Anfang an herausgehobenes Merkmal komplexer Entscheidungssituationen ist das der Vielzieligkeit. Gemeint ist damit, dass keine eindimensionale Bewertung eines Lösungsvorschlags möglich ist, sondern multiple und unter Umständen sogar gegenläufige Bewertungskriterien zu einem integralen Urteil geführt werden müssen. Jede Art von Interessenskonflikt demonstriert diesen Sachverhalt: Wenn etwa ein Politiker (genauer: ein politisches Gremium) über den Ausbau eines Flughafens in einer dicht besiedelten Region zu entscheiden hat, müssen verschiedene Perspektiven berücksichtigt werden. Der Flughafenbetreiber ist an einem Ausbau interessiert, um seine ökonomischen Interessen zu verbessern; die Anwohner sind an einer Reduktion der Lärmbelastung und der Absturzrisiken interessiert und würden den Flugbetrieb eher einschränken anstatt ausbauen wollen. Diese konflikthafte Vielzieligkeit besteht nicht nur zwischen Gruppen, sondern kann auch in einer Person vorliegen: Als An-

wohner im Flughafenbereich stört mich Lärm und Luftverschmutzung, daher bin ich gegen einen Ausbau. Zugleich beschwere ich mich, wenn die Anreise zum Flughafen über eine bestimmte Entfernung hinaus geht – man möchte ja gerne kurze Wege haben.

Interessanterweise ist der Umgang mit Wertkonflikten nicht so intensiv beforscht worden wie andere, zuvor bereits genannte Aspekte komplexer Situationen. Ebenfalls wenig Literatur existiert zur Frage der Zielfindung, d.h. wie aus einer unscharf umrissenen Zielvorgabe eine Konkretisierung des Ziels hervorgeht.

In der Studie von Reither (1985) ging es um die Frage, inwiefern Wertorientierungen in komplexen Entscheidungssituationen das Handeln beeinflussen und begleiten. Zwei hinsichtlich Alter und Berufserfahrung unterschiedliche Stichproben hatten mit dem Entwicklungshilfe-Szenario „Dagu“ zu kämpfen. Sowohl zu Beginn als auch zu Ende der Simulation wurden Daten zur individuellen Wertstruktur erhoben. Es ergab sich, dass gerade in bedrohlich und dramatisch empfundenen Situationen die ergriffenen Maßnahmen den eigenen wertmäßig akzeptierten Handlungszielen deutlich zuwider laufen können. Während dies bei jüngeren Probanden eine Lockerung ihrer Wertehierarchie bedeutet, ist für die erfahrenen Probanden eine Trennung zwischen ihrer eigenen Wertorientierung und dem Handeln unter Druck leichter möglich. So wird selbst von Personen, die sich als friedliebend einschätzen, etwa die militärische Aufrüstung als akzeptable Maßnahme angesehen, die im Interesse des Landes liegen könne und die friedliche Zukunft sicherstelle, auch wenn man persönlich jede Anwendung von Gewalt ablehne. In diesen Befunden wird deutlich, dass die Wertstruktur der Entscheidungsträger in Krisensituationen keine handlungsleitende Rolle mehr spielt und „durch vergleichsweise primitive Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Kontrolle über die Situation ersetzt“ wird (Reither, 1985, S. 27).

Einer anderen Facette der Vielzieligkeit begegnen wir in den Arbeiten von Vollmeyer (Burns & Vollmeyer, 2002; Vollmeyer & Burns, 1996; Vollmeyer, Burns, & Holyoak, 1996). Hier stellt sich die Frage, inwiefern Unterschiede in der Bearbeitung von komplexen Problemen dadurch bedingt sind, dass entweder nur einige wenige oder aber alle vorhandenen Variablen beeinflusst werden sollen. Hier wird das Konstrukt der „Zielspezifität“ ins Feld geführt, bei dem es um die Frage geht, inwiefern sich unspezifische Explorationen von spezifischen unterscheiden. Mit der Dynamis-Variante „Biology Lab“ konnte z.B. von Vollmeyer, Burns und Holyoak (1996) gezeigt werden, dass eine spezifische Zielvorgabe zu besseren Leistungen führt als ein unspezifisches Ziel, selbst dann, wenn die Versuchspersonen mit falschen Hypothesen starten (siehe dazu auch Burns & Vollmeyer, 2002).

5 Theoretische Ansätze

Als die ersten Befunde über den (miserablen) Umgang von Menschen mit komplexen Szenarien bekannt wurden, etablierte sich damit zunächst einmal ein Phänomen, das es zu erklären galt. Die dazu erforderliche Theorie ließ allerdings zunächst auf sich warten. So beklagt etwa Funke (1984) die Theoriearmut bestehender Forschung und greift damit einen Vorwurf auf, den Dörner (1983b, S. 25) in impliziter Anlehnung an Holzkamps Relevanzkritik (vgl. Holzkamp, 1970) dem gesamten Fach macht: Seiner Meinung nach „.... befasste sich die akademische Psychologie mit Kleinstdetails“ und produzierte dabei „eine unübersehbare Fülle unverbundener ‚theorunculae‘ für dieses und jenes“. Zugleich beklagt Dörner (1983b, S. 24) das Fehlen einer „generellen Morphologie menschlichen Verhaltens und Erlebens“ im Sinne einer genauen Beschreibung des Untersuchungsgegenstands. Auch heute gibt es keine Vielfalt in den theoretischen Ansätzen, was möglicherweise damit zusammenhängt, dass sich nur wenige Forschende an dieses schwierige Vorhaben heranwagen. Erst recht ist das fast völlige Fehlen übergeordneter, integrativer Rahmenvorstellungen zu beklagen, wie dies im amerikanischen Sprachraum von Newell (1990) mit seinem Wunsch nach „unified theories of cognition“ zum Ausdruck gebracht wird (vgl. hierzu auch Anderson, 2002).

Nachfolgend sollen einige Ansätze näher werden, zu denen das idealisierte Prozessmodell von Dörner (1989b), das Problemlösemodell von Omodei und Wearing (1995a), das Konzept der „situation awareness“ sowie die Psi-Theorie (Dörner et al., 2002) gehören.

5.1 *Idealisiertes Prozessmodell (Dörner, 1989b)*

In seiner „Logik des Mißlingens“ (Dörner, 1989b, S. 67ff.) teilt der Autor den Prozess des Lösens komplexer Probleme in sechs aufeinander folgende Abschnitte ein, die als ein idealisiertes Prozessmodell verstanden werden können.

- (1) Phase der Zielausarbeitung. Im ersten Schritt muss eine Zielvorstellung entwickelt werden, die entweder in präziser Form („mindestens 500 verkaufte Hemden im Monat“) oder in komparativer Weise („mehr Hemden verkaufen als im letzten Monat“) formuliert wird. In dieser Phase können auch Zielkonflikte auftauchen („Polytelie“).
- (2) Phase der Modellbildung und Informationssammlung. Um sich ein Bild der komplexen Situation machen zu können, sind die vorliegenden Informationen zu sichten und durch weitere, noch zu beschaffende Informationen zu ergänzen, damit ein Modell dieser Situation gebildet werden kann, vor dessen Hintergrund Eingriffe und Maß-

nahmen spezifiziert werden können. Für die Begrenzung der Informationssuche könnten einfache Such- und Stopp-Regeln dienen, wie sie im Ansatz der Adaptiven Toolbox von Gigerenzer und Selten (2001) konzipiert sind. Wie Huber (im Druck) zeigt, dürfte es bei der Informationssuche in ungewissen Situationen zudem eher um Risikoentschärfung als um Wahrscheinlichkeiten gehen.

- (3) Phase der Prognose und Extrapolation. Aufbauend auf der eben vollzogenen Modellbildung können nun Abschätzungen über zeitliche Entwicklungsverläufe gemacht werden, die das Merkmal „Dynamik“ der Problemsituation berücksichtigen. Hinsichtlich dieser Extrapolationen ist die Tendenz zu linearer Fortschreibung vorherrschend (vgl. Dörner, 1985), was sich gerade bei nicht-linearen Dynamiken als unangemessen erweist.
- (4) Phase der Planung von Aktionen. Vor dem Hintergrund extrapolierter Dynamiken kann mit der Planung von Eingriffen begonnen werden. Auch dabei gilt es erneut, das richtige Auflösungs-niveau zu treffen. Ein Hausbau verlangt andere Planungen als die taktische Planung eines nur schwer berechenbaren Fußballspiels.
- (5) Phase der Entscheidung und Durchführung von Aktionen. Die in der Planungsphase angedachten Aktionen werden hier Wirklichkeit – der „Rubikon“ ist überschritten und es geht nicht mehr um planendes Abwägen, sondern um handelndes Ausführen (vgl. Heckhausen, 1987).
- (6) Phase der Effektkontrolle und Revision der Handlungsstrategien. Idealerweise sollte nach dem Tun geprüft werden, ob die angestrebten Effekte auch tatsächlich eingetreten sind.

In Abhängigkeit von diesem Feedback kann zu früheren Phasen dieses Modells zurückgekehrt und die Ziele verändert oder die Informationsbasis verbreitert werden.

Das hier geschilderte Phasenmodell ist eine Deskription idealtypischer Abläufe, aber kein normatives Modell. Deswegen ist es für Vorhersagen nicht geeignet, da es keine Verbote irgendwelcher Ereignisse ausspricht, wie dies eine deduktivistische Methodologie verlangen würde (vgl. Erdfelder & Funke, 2004).

5.2 Problemlösemodell von Omodei und Wearing (1995a)

Omodei und Wearing (1995a) haben ein Modell des Entscheidens in komplexen Umwelten vorgelegt, das motivationale, intentionale, affektive und Aufmerksamkeitsfaktoren in ihrer

Wechselwirkung auf die Problemlöseleistung zeigt. Dieses Modell ist in Abbildung OMODEI dargestellt.

Hier bitte Abbildung OMODEI einfügen

Ausgehend von der allgemeinen motivationalen Grundsituation, ein selbstwertdienliches Selbstkonzept zu entwickeln und aufrecht zu erhalten (Motivation), geht es mit dem spezifischen Willen, in der vorgelegten Anforderungssituation gut abzuschneiden, weiter (Intention). Damit werden emotionale und kognitive Ressourcen (Affekte, Aufmerksamkeit) aktiviert, die die Entscheidungsqualität determinieren, von der wiederum die selbst wahrgenommene Leistung abhängt. Diese nimmt wiederum Einfluss auf die spezifischen Affekte.

Das hier knapp dargestellte Modell wurde von Omodei und Wearing (1995a) anhand der Bearbeitung des Szenarios „Fire Chief“ geprüft. Insgesamt 55 Studierende bearbeiteten das Szenario in drei jeweils einstündigen Sitzungen. Neben dem Erfolgsmaß (Prozentsatz geretteter Fläche) wurden subjektive Einschätzungen zur Wichtigkeit, Entschiedenheit, Langeweile, Beteiligung, Angst, Erregung und wahrgenommener Leistung erhoben, die dann in einem Pfadmodell zur Prüfung der Modellannahmen dienten und es bestätigten (Adjusted Goodness of Fit = 0.86).

In der Diskussion ihrer Befunde verweisen Omodei und Wearing darauf (p. 87), dass Schwankungen in der objektiven Performanz (Makro-Level) die Konstanz des Entscheidungsverhaltens (Mikro-Level) verdecken, mit anderen Worten: die Makro-Variable scheint unrelabler zu sein als das zugrunde liegende Mikro-Verhalten. Die weitgehend erfolglose Suche nach Persönlichkeitsvariablen, die für komplexes Problemlösen verantwortlich sein könnten, führen sie auf die Wahl eines falschen (weil unrelablen) Erfolgsmaßes zurück.

Aus Sicht der Modellbildung betonen sie den Vorteil, den die Verknüpfung kognitiver mit emotionalen und motivationalen Variablen aufweist. Auch die Existenz reziproker und Feed-forward-Beziehungen, die sich in ihrem Modelltest gezeigt haben, sehen sie als wichtig für die Modellbildung an. Ohne dynamische Modelle sei kein Fortschritt zu erwarten.

5.3 „Situation Awareness“ (SAW)

Ein weiteres für das komplexe Problemlösen wichtiges theoretisches Konzept ist „situation awareness“ (SAW). Nach dem bei Durso und Gronlund (1999) gegebenen Überblick bezieht sich das Konzept SAW, das ursprünglich aus der Luftfahrtpsychologie stammt, auf solche Bereiche, in denen sich die Umwelt dynamisch verändert und ein Handelnder („operator“) für

das Aufrechterhalten oder Erreichen bestimmter Zustände bzw. Ziele zuständig ist. Die bei Durso und Gronlund genannten Anwendungsbereiche beziehen sich auf Kampfpiloten, Luftraumüberwachende, Atomanlagenfahrer, Anästhesisten, Militärsbefehlshaber, Autofahrer, Spezialisten für elektronische Kriegsführung, Schachexperten und Spieler von Videogames.

Was ist unter SAW zu verstehen? Die von verschiedenen Autoren angeführten Merkmale beziehen sich auf (a) die kontinuierliche Extraktion von Informationen aus der Umwelt, (b) die Integration dieser Informationen mit Vorwissen zu Herstellung eines kohärenten mentalen Abbilds, sowie (c) die Nutzung dieses Abbilds zur Sammlung weiterer Informationen und zur Antizipation zukünftiger Ereignisse. Die obere Grenze von SAW ist dort erreicht, wo die Präzision des Systems aufhört, d.h. wo keine weiteren Vorhersagen mehr möglich sind. Die untere Grenze liegt bei der Kapazität geteilter Aufmerksamkeit eines Akteurs. Nach der Definition von Endsley (1995, p. 36) handelt es sich bei SAW um „the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future“.

Zur Untersuchung von SAW sind verschiedene Methoden eingesetzt worden, zu denen retrospektive, zeitgleiche, subjektive, prozessorientierte, ergebnisorientierte und signalentdeckungstheoretische Verfahren zählen. Eine Übersicht zu Erfassungsmethoden gibt es bei Durso und Gronlund (1999, p. 286f.).

Nach dem von Endsley (1995) erstellten Modell zur SAW bei dynamischen Entscheidungssituationen, wird SAW auf drei hierarchischen Stufen betrachtet: Stufe 1 bezieht sich auf die Wahrnehmung relevanter Umweltmerkmale, Stufe 2 betrifft das Verstehen der gegenwärtigen Situation und Stufe 3 bezieht sich auf die Vorhersage der nächsten Systemzustände. Bezieht man diese abstrakte Beschreibung etwa auf das konkrete Szenario „Schneiderwerkstatt“, bedeutet Stufe 1 das Erfassen relevanter Zustandsgrößen, Stufe 2 das Zusammenfügen dieser Einzelinformationen zu einem Gesamtmodell der gegebenen Situation und Stufe 3 die Vorhersage zukünftiger Entwicklungen dieses Szenarios.

Für den Einsatz in technischen Kontexten hat das Modell von Endsley (1995) wohl deswegen größere Verbreitung gefunden, weil es neben seinem präskriptiven Charakter („wie hat optimale situation awareness auszusehen?“) auch auf deskriptiver Ebene menschliche Fehler unter Rückgriff auf die eben genannten drei Stufen von SAW einordnet. Auf Stufe 1 geht es etwa um das Übersehen oder Ignorieren wichtiger Informationen (Unvollständigkeit von Stufe-1-Informationen), was etwa anhand von Flugzeugunfällen gut rekonstruiert werden kann. Auch Fehlwahrnehmungen (etwa das Verwechseln der Ziffern 3 und 8 unter schlechten Be-

leuchtungsverhältnissen) würden dazu zählen. Auf Stufe 2 beziehen sich Fehler auf die Bildung oder Aktivierung falscher mentaler Modelle. Fehler bei medizinischen Entscheidungen könnten hier exemplarisch genannt werden. Auf Stufe 3 schließlich geht es um Fehler, die aus der unzureichenden Vorhersage der Systemdynamik resultieren, wie sie im Kontext komplexer Probleme aus der Unterschätzung exponentieller Entwicklungsverläufe bekannt sind (vgl. Dörner & Preußler, 1990).

Das Konzept der „situation awareness“ hat nicht umsonst bei Anhängern alltagsnaher, naturalistischer Entscheidungsforschung viele Freunde gefunden. Dies hängt vor allem mit dem Auflösungsgrad der theoretischen Konstrukte zusammen, die auf molarer Ebene liegen und sich gut eignen, das komplexe Geschehen auf akzeptablem Niveau zu konzeptualisieren. Eine Anwendung auf Forschungen im Bereich komplexen Problemlösens mit computersimulierten Szenarien steht noch aus.

5.4 Psi-Theorie (Dörner et al., 2002)

Die sicher anspruchsvollste Theorie ist die von Dörnern und Mitarbeitern entwickelte Psi-Theorie (Dörner et al., 2002), die als Theorie menschlicher Handlungsregulation antritt und damit ein so umfassendes Erklärungsmodell anbietet, wie es sonst nicht anzutreffen ist. Schon im „Bauplan für eine Seele“ (Dörner, 1999) ist dieser ungewöhnlich breite Erklärungsansatz ausgearbeitet und dargestellt worden, der nicht nur in der deutschsprachigen Psychologie seinesgleichen sucht.

Worum geht es in der Psi-Theorie? Es wird ein neuronales Netz entworfen, dessen grobe Architektur in Abbildung PSI gezeigt ist.

Hier bitte Abbildung PSI einfügen

Im unteren Teil dieser Abbildung sieht man das „Antriebssystem“, das aus sechs verschiedenen Bedürfnissen (existentiell: Wasser, Energie, Intaktheit; sozial: Affiliation; kognitiv: Bestimmtheit, Kompetenz) besteht, von denen im Verhaltenszyklus eines ausgewählt wird (Motivauswahl), das die aktuelle Handlung (mittlerer Bereich der Abbildung) steuert. Im oberen Teil der Abbildung sieht man schematisch dargestellt das Protokollgedächtnis, das fortlaufend die inneren wie äußeren Ereignisse protokolliert, die jedoch schnell wieder vergessen werden, wenn sie nicht aufgrund bedürfnisbedingter Verstärkung erhalten bleiben und dadurch zum Langzeitgedächtnis werden.

Wie zu erkennen ist, verbindet die Psi-Theorie zahlreiche, häufig separat behandelte psychische Funktionen. „Der Versuch der Erklärung komplexer menschlicher Handlungsvollzüge z.B. ist nicht durch eine isolierte Denktheorie oder eine isolierte Gedächtnistheorie oder isolierte Annahmen über menschliche Motive oder Emotionen möglich, sondern nur durch die Integration von Annahmen über die entsprechenden Strukturen und Prozesse“ (Dörner et al., 2002, S. 32).

Die als Computerprogramm vorgelegte Theorie hat ein besonderes Problem: das der Prüfbarkeit. Nach Angaben der Autoren ist die Anzahl von Variablen, über die Zusammenhänge behauptet werden, „außerordentlich groß“ und man könne kaum die Anzahl der Hypothesen abschätzen, die „in die Psi-Theorie eingehen“ (Dörner et al., 2002, S. 249) – gemeint sind wohl auch die zahllosen Hypothesen, die man aus der Theorie heraus ableiten kann. Eine klare Trennung von Prädiktor- und Kriteriumsvariablen sei wegen der „vielfachen Kreisprozesse“ ebenso wenig möglich wie die Prüfung von Interaktionseffekten. Man könne die Theorie nur „als Ganzes“ prüfen und zwar dadurch, dass die vom Computermodell hervorgebrachten Verhaltensweisen mit dem von Menschen unter vergleichbaren Bedingungen hervorgebrachten Verhalten verglichen werden.

Tatsächlich ist dies in der „Insel-Studie“ (Dörner et al., 2002, Kap. 6) gemacht worden, bei der 31 Testpersonen den Roboter „James“ steuerten und dieses Steuerverhalten mit dem Verhalten verglichen wurde, das der autonom agierende Roboter hervorbringt („künstliche Seele“). So kann man etwa feststellen, dass hinsichtlich bestimmter Parameter (besuchte Orte, versuchte Ortswechsel, gesammelte Objekte, Objektannäherungen) kein Unterschied zwischen realen und künstlichen Akteuren besteht, bei anderen Parametern (z.B. Zusammenbrüche, erfolgreiche Ortswechsel) menschliche Akteure sich von künstlichen Seelen unterscheiden.

5.5 Fazit

Scarr (1997, S. 3) schreibt zutreffend: „Theories should compete. It keeps them fit and trim. Left unchallenged, theories, like people, grow fat and lazy, and they eventually decay into shapeless blobs“. Bei den drei hier präsentierten Theorien ist die Konkurrenz nicht wirklich gegeben. Während das erste Modell einen normativen bzw. idealen Ablauf beschreibt und damit kaum etwas verbietet, ist die kognitiv-emotionale Theorie von Omodei und Wearing (1995a) auf einem anderen Auflösungslevel als die zuletzt präsentierte Psi-Theorie (Dörner

et al., 2002), deren Anspruch viel weitreichender ist: Es ist nicht bloß eine Theorie komplexen Problemlösens, sondern eine Theorie menschlicher Handlungen allgemein.

Wie soll unter diesen ungleichen Kandidaten Wettbewerb entstehen? Für die Psi-Theorie wäre der geeignete Kontrahent eine ähnlich allgemein gehaltene kognitive Architektur wie etwa ACT-R von Anderson und Mitarbeitern (Anderson & Lebiere, 1998). Allerdings fehlt bei ACT-R bislang der Einbezug von Emotion und Motivation, der ein dezidiert wichtiger Teil der Psi-Theorie ist. In direkten Wettstreit werden beide Makro-Theorien auch deswegen nicht treten können, weil die Prüfkriterien beider Autoren unterschiedlich ausfallen dürften: Während ACT-R sich auf konkrete Vorhersagen in experimentellen Laborsituationen bezieht, wendet sich Psi gerade gegen labor-experimentelle Verkürzungen und verlangt andere Prüfverfahren, die die Ähnlichkeit der künstlichen Seelen mit realen Personen auf einer globaleren Ebene feststellen sollen. Zu hoffen bleibt, dass noch andere theoretische Ansätze wie z.B. die Theorie kognitiver Belastung (Sweller, 1988; Sweller, 1994; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998) für den Bereich komplexer Probleme fruchtbar gemacht werden und damit zur Theorie-Konkurrenz beitragen.

6 Offene Fragen

Drei offene Fragen sollen zum Abschluss behandelt werden: (a) Gibt es Hinweise dafür, dass ein eigenständiges Konstrukt „Komplexes Problemlösen“ postuliert werden darf? (b) Wie wirkt sich die Kontextabhängigkeit kognitiver Prozesse in diesem Bereich aus? (c) Sind Strategien lernbar und kann der Umgang mit komplexen Situationen erfolgreich trainiert werden?

6.1 *Eigenständigkeit des Konstrukts „Komplexes Problemlösen“*

Eine der wichtigsten Fragen dieser Forschung ist theoretischer Art: Gibt es tatsächlich ein eigenständiges Konstrukt „Komplexes Problemlösen“ oder sind die ablaufenden Prozesse nicht einfach ganz normale Problemlöseprozesse, die sich nur in sehr komplexen Umwelten abspielen? Oder mit anderen Worten: Ist es nur eine Erweiterung des Gegenstandsbereichs und der Anforderungen, die man unter dem Stichwort „Umgang mit komplexen Umwelten“ den bisherigen Forschungsgegenständen der Denk- und Problemlöseforschung hinzufügen sollte, oder treten hier psychische Prozesse von einer neuen Qualität in Erscheinung?

Eine neuere Studie von Wittmann und Süß (1999) geht der Frage nach dem Konstrukt einer generellen Problemlösefähigkeit und den kognitiven Voraussetzungen für komplexes Prob-

lemlösen nach. In einer dreitägigen Untersuchung hatten 136 Mannheimer Studenten drei realitätsnahe Simulationen zu bearbeiten, je zwei Mal und mit wechselnden Startwerten die Kraftwerks-Simulation „Powerplant“ (Wallach, 1998) sowie die Berliner Version der „Schneiderwerkstatt“ (Süß & Faulhaber, 1990) und – nur einmal – das Ökonomie-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).

In dieser Untersuchung zeigte sich, dass für alle drei Szenarios die Faktorwerte der operativen Fähigkeit „Verarbeitungskapazität“ (BIS-K) einen substantiellen 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) mit dem aggregierten Problemlöse gütemaß 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 Problemlöse kriterien 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 bereichsspezifisches Wissen erklärbar seien.

Bei aller Freude über eine neu eroberte Domäne der Problemlöseforschung, deren Inbesitznahme durch die Forschung längst überfällig war, bleibt somit 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.

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?

In andere Richtung weisen die Ergebnisse der PISA-Studie, in der neben Intelligenz auch Problemlösen (und zwar insbesondere in Form computersimulierter Verfahren) Gegenstand der Erhebungen war (vgl. Klieme, Funke, Leutner, Reimann, & Wirth, 2001). Zwar erweisen sich konventionelle Problemstellungen im Rahmen multidimensionaler Skalierungen als nah am Konstrukt des analytischen Denkens, aber erfreulicherweise markieren nach Wirth und Klieme (2003) Wissenserwerb und Steuerungsleistung (gemessen über die Bearbeitung eines

finiten Automaten) eine eigenständige Dimension und zeigen damit gerade die Eigenständigkeit eines Konstrukts „komplexes Problemlösen“ auf empirischer Grundlage.

Auf die Frage der Eigenständigkeit 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.

6.2 Kontextabhängigkeit kognitiver Prozesse und Bereichsspezifität von Strategien und Wissen

Die Annahme, dass lediglich strukturelle Merkmale eines Problems und nicht dessen kontextuelle Einbettung für die Lösung entscheidend seien, ist durch zahlreiche Studien mit Problemisomorphen (also strukturgleichen Problemräumen) widerlegt worden (z.B. Kotovsky, Hayes, & Simon, 1985). Ganz offenkundig werden trotz gleicher Struktur unterschiedliche Problemrepräsentationen erzeugt, die damit auch zu unterschiedlichen Strategien bei der Bearbeitung führen. Clément und Richard (1997) haben dies zuletzt beim „Turm von Hanoi“ demonstriert. Beckmann (1994) hat dies für den Umgang mit komplexen Problemen durch seinen Vergleich „Maschine“ versus „Kirschbaum“ eindrucksvoll demonstriert, bei deren Bearbeitung kontextabhängige Unterschiede im Wissenserwerb sichtbar wurden. Selbst der Wechsel der Oberfläche zeigt Effekte, wie dies in einem bei Funke (1992) berichteten Experiment demonstriert wurde, bei dem ein strukturgleiches dynamisches System „Altöl“ einmal in numerischer Form, das andere Mal in grafischer Form präsentiert wurde.

Newell, Shaw und Simon (1959) haben seinerzeit viel Aufsehen erregt, als sie ihren „General Problem Solver“ (GPS) vorlegten und meinten, damit eine universell nutzbare Strategie zum Lösen jedes Problems anzubieten. Heute liegen uns die Beschränkungen des GPS deutlicher auf der Hand: nur bei wohl definierten Problemen kann man mit dem Algorithmus zur Lösung kommen (wenn das Problem lösbar ist), nicht aber bei schlecht definierten, komplexen Problemen. Einer der Gründe, warum man nicht alle Probleme nach Schema F bearbeiten kann, hängt mit der dafür notwendigen Hilfsannahme der Bereichsunabhängigkeit zusammen: dass es keine Rolle spielt, aus welchem inhaltlichen Bereich ein Problem spielt, solange nur die formale Struktur klar beschrieben werden kann.

Der Grundgedanke der Bereichsunabhängigkeit liegt der formalen Logik zugrunde, die alle logischen Aussagen von ihren Inhalten entkleidet und aufgrund der Relationen abstrakter Variablen über die Wahrheit oder Falschheit eines Schlusses entscheidet. Für einen Syllogismus der Art

Prämisse 1: Einige A sind nicht B.

Prämisse 2: Alle B sind C.

Zu beurteilende Konklusion: Einige C sind nicht A.

Ist es der Logik völlig egal, was wir für A, B und C einsetzen. Aber Menschen geben andere Antworten, je nach der Art der „Füllung“: ob dort einfach nur A, B, C oder A=Artisten, B=Bratschisten, C=Cellisten oder A=Adelige, B=Penner, C=Menschen steht, lässt uns unterschiedliche mentale Modelle entwerfen. Diese Art der Bereichsabhängigkeit menschlichen Urteils, die der formalen Logik die Haare zu Berge stehen lässt, ist Kennzeichen eines kognitiven Systems, das kontextgebunden und bereichsspezifisch operiert. Dies zeigen auch zahlreiche Studien zum analogen Schlussfolgern, in denen Menschen ganz deutliche Hinweise darauf benötigen, dass zwei Situationen strukturgleich (isomorph) sind und daher die in einem Fall verwendbare Lösung auch auf den anderen Fall übertragen werden kann (Gick & Holyoak, 1980; Holyoak, 1985).

Für Anwendungen im Bereich des komplexen Problemlösens hätte dies z.B. zu bedeuten: Was eine Person an einem Szenario lernt (z.B. eine bestimmte Strategie anzuwenden), wird im günstigsten Fall bei Vorliegen expliziter Hinweise auf ein zweites, vergleichbares Szenario angewendet – im ungünstigen Fall wird die Gemeinsamkeit nicht entdeckt und eine eigentlich übertragbare Vorgehensweise nicht eingesetzt (Produktionsdefizit).

Der Gedanke bereichsspezifischer Strategien und Wissens Elemente geht auf die Modularitätshypothese von Fodor (1983) zurück (siehe auch Fodor, 2001), wonach separate, in sich abgeschlossene Systeme („Module“) in kognitiven Systemen kooperieren müssen. Module wie z.B. das visuelle System oder auch Sprachproduktion und Sprachverstehen sind durch eine Reihe von Merkmalen gekennzeichnet: Die Verarbeitung erfolgt zwangsläufig (mandatory operation), d.h. kann durch Erfahrung und Wissen nicht verändert werden (z.B. optische Täuschungen); bestimmte Informationen sind nur innerhalb des Moduls zugänglich (informational encapsulation), lediglich „Ergebnisse“ dringen nach außen; die Operationen sind bereichsspezifisch; die Verarbeitung erfolgt schnell.

Problemlösen ist nach diesem Verständnis allerdings gerade kein Modul in diesem Sinne, da Zugang zu Informationen aus verschiedenen Bereichen nötig ist. Folgt man also Fodor, wäre Bereichsspezifität beim Problemlösen nicht unbedingt zu erwarten. Tatsächlich zeigt uns die Empirie aber viele Beispiele für kontextgebundene (und damit bereichsspezifische) Problemlöseaktivitäten.

6.3 Lern- und Trainierbarkeit

Die Frage nach der Lern- und Trainierbarkeit des Umgangs mit komplexen Szenarien stellt eine der wichtigsten Anwendungsaspekte dieser Forschung dar. Die Hoffnung, durch eine Übung am Simulator spätere Problemsituationen im realen Leben besser bewältigen zu können, treibt seit vielen Jahrhunderten diejenigen an, die Planspiele oder Sandkastenübungen militärischer Art veranstalten. Tatsächlich jedoch weisen Trainingsstudien häufig nur nach, dass an dem geübten System eine Besserung konstatiert werden kann, ein Transfer auf andere Szenarien dagegen keinesfalls garantiert ist. Diese hochgradige Spezifität von Lernprozessen macht es dem Transfer in komplexen Situationen schwer, da bereits kleine Kontextänderungen dazu führen können, dass vorhandene Strategien nicht mehr eingesetzt werden, weil man die Parallelität und Vergleichbarkeit zweier inhaltlich unterschiedlicher Gebiete nicht auf Anhieb entdeckt. Der von Dörner (1989b, S. 305) gemachte Vorschlag, zu trainierende Personen einer „Anforderungssymphonie“ verschiedener Systeme auszusetzen, stellt den Versuch dar, nicht spezifische Lernerfahrungen anzubieten, sondern gerade eine breite Palette von Erfahrungsräumen bereitzustellen in der Hoffnung, dass daraus hochgradig allgemeine Prinzipien extrahiert werden können. Das Problem solcher hochgradig abstrahierter Regeln: Je allgemeiner eine Regel ausfällt, umso weniger hilfreich wird sie in der konkreten Situation sein (zur Tauglichkeit von „Grossmutter“-Regeln siehe Dörner & Tisdale, 1993). Die allgemeine Regel etwa, in einer schwierigen Situation nachzudenken, wird sicherlich nicht als hilfreich empfunden werden. Hier sind konkretere, kontextangepasste Strategien gefordert, die allerdings in dem Maße, in dem sie spezifisch und konkret werden, damit eben auch nicht mehr einfach übertragbar sind. Aus diesem Dilemma ist die Trainingsforschung bis heute nicht herausgekommen.

7 Abschluss: Mythen überwinden!

Mit dem Aufbruch in die neue Welt computersimulierter Probleme wird man natürlich ungelöste Probleme traditioneller Problemlöseforschung nicht los. Bestimmte Mythen der Denk- und Problemlöseforschung – so Funke (2004) – zeigen nach wie vor Wirkung und sind

schwer abzustellen. Um aus dem Wechsel der Untersuchungsparadigmen Kapital zu schlagen, ist auch ein Wechsel des Theoretisierens über Problemlöseprozesse nötig. Solche Grundannahmen, die zu möglicherweise voreiligen Beschränkungen der Forschung geführt haben könnten, sollen im abschließenden Teil kurz diskutiert werden.

(1) Denken findet (ausschließlich) im Kopf statt.

Was ist daran problematisch? Geschieht Denken nicht durch Verwendung des Gehirns? Gibt es noch andere Organe? Sicherlich nicht – aber die (ausschließliche) Konzentration auf das Gehirn als den Ort des Geschehens darf nicht darüber hinweg täuschen, dass wir in vielen Fällen zum Problemlösen auf die Interaktion mit der Umwelt angewiesen sind. Diese Ökologie des Denkens darf nicht übersehen werden (siehe dazu Graumann, 1997, 2002); sie wird ja auch in neueren Ansätzen zur ökologischen Rationalität thematisiert [Gigerenzer, 2001 #9637; vgl. auch Gigerenzer & Gaissmaier, in diesem Band].

Natürlich soll mit dieser Kritik keinesfalls impliziert werden, es sei ein Mythos, dass die dem Denken zugrunde liegenden neuronalen Aktivitäten im Kopf erfolgten – aber um von „Denken“ und erst recht von „Problemlösen“ zu sprechen, muss mehr dazu genommen werden. Man könnte das Argument in abgeschwächter Form auch so formulieren: Komplexes Problemlösen hat sich zu sehr auf innere Prozesse kapriziert und zu wenig auf die Ökologie des Denkens geachtet.

(2) Je schwieriger die Problemstellungen, umso komplexer die zu ihrer Bewältigung benötigten Denkprozesse.

Dies ist eine Annahme, die bereits Bühler (1908) als fragwürdig bezeichnete. Welche Werkzeuge zum Einsatz kommen, ist nicht allein durch die Art der Problemstellung bedingt – vorrangig sind es die beabsichtigten Operationen, die man auszuführen gedenkt, welche über die Art der Werkzeuge entscheiden. Auch zur Beschreibung herausragender Problemlösungen wie der Ziehung der 137. Wurzel aus einer 1000stelligen Zahl durch einen Rechenkünstler braucht man keine neuen Konzepte, sondern kommt mit dem Standard-Repertoire kognitiver Erklärungen aus (Bredenkamp, 1990).

(3) Denken hat wenig oder nichts mit Gefühlen zu tun, Kognition und Emotion sind scharf zu trennen.

Diese Fehlkonzeption hat zu einem unglücklichen Auseinanderdriften eng verwandter Bereiche in der Forschung geführt, was bereits frühzeitig kritisiert wurde (z.B. von Dörner, Reither, & Stäudel, 1983; Kuhl, 1983) und zu einer nicht geringen Zahl von Arbeiten geführt hat, die

dieses Spannungsverhältnis klären (siehe z.B. Dörner, 1993, 1998; Dörner, Schaub, Stäudel, & Strohschneider, 1988; Spies, 1990, 1999; Spies & Hesse, 1986). Eine Separierung von Kognition, Emotion und Motivation sollte nicht vorgenommen werden, obwohl Spezialisten der drei Richtungen nur wenig Bezug aufeinander nehmen. Globalere handlungstheoretische Modellvorstellungen (Dörner et al., 1988), aber auch ältere Vorstellungen der Informationsverarbeitungstheorien (Simon, 1979/1967) leisten hier die notwendige Integration. Auch Stimmungseinflüsse sind beim komplexen Problemlösen inzwischen belegt (Spring, Wagner, & Funke, in press). Otto, Döring-Seipel und Lantermann (2002) konnten zeigen, dass Maße der Emotionalen Intelligenz einen eigenständigen Prädiktionswert beim komplexen Problemlösen besitzen, der etwa gleich hoch ist wie derjenige der Verarbeitungskapazität.

(4) Problemlösendes Denken ist eine Fähigkeit, die bereichsübergreifend zum Einsatz gebracht werden kann.

Die Annahme einer universellen Kompetenz, die in allen Lebensbereichen zum Einsatz kommen könne, konfliktiert mit Erkenntnissen über die hochgradige Bereichsspezifität kognitiver Leistungen (Frensch & Buchner, 1999). Auch wenn Studien wie die von Wittmann und Süß (1999) beeindruckende Konvergenz der Problemlösequalität in drei computersimulierten Szenarien (Fsys, Learn und Powerplant) nachweisen, zeigen eine ganze Reihe von Studien derartige Korrelationen allenfalls auf Verhaltens-, nicht aber auf Leistungsebene (Kotkamp, 1999; Rigas & Brehmer, 1999; Rigas et al., 2002; Strohschneider, 1986, 1991b).

(5) Problemlösendes Denken erfolgt regelgeleitet und planvoll.

Die Annahme, dass es sich beim problemlösenden Denken um eine geordnete Abfolge von Schritten handelt, die im Vorhinein konstruiert und dann abgearbeitet werden, mag nur bestimmte Erscheinungsformen charakterisieren und nur in bestimmten, planbaren Realitätsbereichen zutreffen. Genauso gut sind Problemsituationen vorstellbar, in denen Akteure ein Geschehen „laufen lassen“ und nur durch wenige kontrollierte Eingriffe in die erwünschte Richtung lenken. Der Ansatz situierter Kognition (z.B. Clark, 1997; Hutchins, 1995) macht deutlich, dass Denken nicht nur im Kopf, sondern auch in der Welt abläuft (so der Titel des Einführungsbeitrags zu einem entsprechenden Themenheft der Cognitive Science von Norman, 1993). Dies ist ja bereits im ersten Punkt erwähnt worden.

Die Annahme regelgeleiteter Prozesse findet sich als Standard in sogenannten Produktionssystemen, wie sie im Rahmen kognitiver Modellierungen verwendet werden (z.B. mittels ACT-R von Anderson & Lebiere, 1998). Demgegenüber stehen konnektionistische Systeme, die auf symbolische Repräsentationen völlig verzichten (zum Überblick siehe Medler, 1998).

Auf den ersten Blick liegt es nahe, Problemlöseprozesse mit Produktionsregeln zu modellieren, wie dies z.B. von Wallach (1998) gemacht wird. Aber es zeigt sich, dass selbst komplexe Planungsprozesse mit Erfolg als konnektionistisches Netz dargestellt werden können (Schenck, 2001). Auch die Psi-Theorie (Dörner et al., 2002) verwendet ausschließlich konnektionistische Komponenten.

- (6) Einfaches Problemlösen lässt sich experimentell untersuchen, komplexes Problemlösen dagegen entzieht sich aufgrund seines Systemcharakters diesem Zugang.

Komplexe Systeme weisen vielfältige Abhängigkeiten innerhalb und zwischen den verschiedenen Subsystemen auf. Auf den ersten Blick scheint ein systematisches Ausprobieren hier nicht möglich (siehe die oben bereits erwähnte ironische Attacke auf die „dummen“ Experimentalisten bei Dörner, 1989a). Dennoch ist es gerade die anspruchsvolle Kunst der Systemanalyse, auch bei komplexen Gebilden etwa Störungen zu lokalisieren und latente Funktionen zu identifizieren (Sonntag & Schaper, 1997).

- (7) Man braucht viele Versuchspersonen, um die kleinen Effekte nachzuweisen, die der Denkpsychologie wichtig sind.

Tatsächlich benötigt man viele Beobachtungen, wenn die erwartete Effektstärke klein ist. Hat man jedoch eine starke Theorie, reicht $N=1$ zur Falsifikation aus. Für die denkpsychologische Forschung bedeutet dies: Einzelfälle sind nicht nur zur Hypothesengenerierung zu verwenden (Kluwe, 1995), sondern haben auch in der Hypothesentestung ihren Platz.

- (8) Problemlösendes Denken (insbesondere den Umgang mit komplexen Problemen) kann man nicht lernen.

Tatsächlich zeigen sich gerade im Kontext komplexer Anforderungen die Schwierigkeiten pädagogischer Maßnahmen. „Kritisches Denken“ (Dauer, 1989; Halpern, 1989) kann man nicht einfach unterrichten. Hinsichtlich des Umgangs mit komplexen Problemen ist Dörner (1989b, S. 305) zuversichtlich, durch Verwendung des Zeitraffers, den computersimulierte Szenarien inhärent aufweisen, multiple Lernerfahrungen durch eine „Anforderungssymphonie“ unterschiedlichster Szenarien möglich zu machen: „Spielen war immer eine wichtige Methode zur Vorbereitung auf den Ernstfall. Man sollte es in gezielter Weise verwenden. Wir haben dafür heute viel bessere Möglichkeiten als früher. Wir sollten sie nutzen!“

- (9) Bildgebende Verfahren erlauben neue Einblicke in die Arbeit des Gehirns. Die bisherige kognitive Theoriebildung wird abgelöst durch neuropsychologische Konzepte.

Die Möglichkeiten bildgebender Verfahren sind in den letzten Jahren enorm gewachsen (Posner & Raichle, 1994). Die Erwartungen sind geweckt, das Gehirn „live in action“ zu beobachten. Werden wir ihm demnächst beim problemlösenden Denken zusehen können? 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 ...“ (p. 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. 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 ausfallen 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 tieferer Ebene beantwortet werden können. Die Gespenst einer „neuen Phrenologie“ (Uttal, 2001) wird wohl zu keiner wirklichen Bedrohung unserer Disziplin, wie der exzellenten Argumentation bei Mausfeld (2003) zu entnehmen ist.

- (10) Komplexes Problemlösen stellt eine interkulturell stabile Komponente menschlicher Kognition dar.

Dieser abschließende Punkt soll auf die Kulturgebundenheit kognitiver Prozesse im Allgemeinen und des Problemlösens im Besonderen hinweisen (siehe z.B. Nisbett, 2003; Nisbett & Norenzayan, 2002). Gerade im Kontext komplexen Problemlösens haben sich zahlreiche interessante Befunde beim Kulturvergleich ergeben (Strohschneider, 2001, 1996; Strohschneider & Güss, 1998, 1999), über die Strohschneider (in diesem Band) zusammenfassend berichtet. Kulturelle „Problemlöse-Stile“ sind Ausdruck kultureller Gebundenheit von Denken und Problemlösen, die wir – im Interesse eigenen Überlebens – verstärkt zur Kenntnis nehmen sollten.

Der Umgang mit komplexen Szenarien stellt eine erhebliche Gegenstandserweiterung der traditionellen Denk- und Problemlöseforschung dar. Die in den vergangenen knapp 30 Jahren zusammengetragenen Forschungsbefunde tragen zu einem besseren Verständnis menschlicher Akteure in derartigen Situationen bei, ohne dass wir bis heute befriedigende Antworten auf Schlüsselfragen (wie z.B. Trainierbarkeit) geben könnten. Der fundamentale Gedanke, Wirklichkeit zu simulieren und Akteure in diesen Simulationen zu beobachten, ist aus der psychologischen Landschaft nicht mehr wegzudenken. Er stand ja bereits Pate bei frühen Untersuchungen der Psychotechnik im beginnenden 20. Jahrhundert. Das 21. Jahrhundert wird diesen Ansatz fruchtbar weiterführen.

8 Literatur

- Ackerman, P. L. (1992). Predicting individual differences in complex skill acquisition: Dynamics of ability determinants. *Journal of Applied Psychology, 77*, 598-614.
- Ackerman, P. L., Kanfer, R., & Goff, M. (1995). Cognitive and non-cognitive determinants of complex skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 1*, 270-304.
- Alluisi, E. A. (1967). Methodology in the use of synthetic tasks to assess complex performance. *Human Factors, 9*, 375-384.
- 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. (1990). Transfer beim Umgang mit einem einfachen dynamischen System. In D. Frey (Ed.), *Bericht über den 37. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel 1990. Band 1: Kurzfassungen* (pp. 2-3). Göttingen: Hogrefe.
- Andresen, N., & Schmid, U. (1993). Zur Invarianz von Problemlösestilen über verschiedene Bereiche. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 40*, 1-17.
- Anzai, Y. (1984). Cognitive control of real-time event-driven systems. *Cognitive Science, 8*, 221-254.
- 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.
- Badke-Schaub, P. (1993a). 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. (1993b). *Gruppen und komplexe Probleme. Strategien von Kleingruppen bei der Bearbeitung einer simulierten AIDS-Ausbreitung*. Frankfurt: Peter Lang.
- Badke-Schaub, P., & Dörner, D. (1988). *Ein Simulationsprogramm für die Ausbreitung von Aids - Erweiterte Fassung* (Memorandum Nr. 59). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.

- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Becker, O., & Selten, R. (1970). Experiences with the management game Sinto-Market. In H. Sauermann (Ed.), *Beiträge zur experimentellen Wirtschaftsforschung. Zweiter Band* (pp. 136-150). Tübingen: J.C.B. Mohr.
- Beckmann, J. (1990). *Erste Überlegungen zur Konstruktion von Parametern zur Erfassung der Wissenserwerbs- und Wissensnutzungsprozesse beim komplexen Problemlösen*. Unpublished Diplomarbeit, Sektion Psychologie der Karl-Marx-Universität, Leipzig.
- Beckmann, J. F. (1994). *Lernen und komplexes Problemlösen. Ein Beitrag zur Konstruktvalidierung von Lerntests*. Bonn: Holos.
- 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. (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.
- 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).
- Bredenkamp, J. (1990). Kognitionspsychologische Untersuchungen eines Rechenkünstlers. In H. Feger (Ed.), *Wissenschaft und Verantwortung. Festschrift für Karl Josef Klauer* (pp. 47-70). Göttingen: Hogrefe.
- 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.
- Breuer, K. (1985). *Küchenfronten-Werk. Simulationssoftware (Apple II+) für den Einsatz im Unterricht*. Unpublished manuscript, Paderborn, Gesamthochschule.

- 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.
- 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., 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. (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. (2002). Goal specificity effects on hypothesis testing in problem solving. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A, 241-261.
- Carling, E., & Rigas, G. (2000). Strategies in a real time decision making task. In N. Georgantzis & I. Barreda (Eds.), *Spatial economics and ecosystems: The interaction between economics and the natural environment* (pp. 379-409). Southampton: WIT Press.
- Casti, J. (1979). *Connectivity, complexity, and catastrophe in large-scale systems*. New York: Wiley.
- Clark, A. (1997). *Being there. Putting brain, body, and world together again*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Clément, E., & Richard, J.-F. (1997). Knowledge of domain effects in problem representation: The case of Tower of Hanoi isomorphs. *Thinking & Reasoning*, 3, 133-157.
- Dauenheimer, D., Köller, O., Strauß, B. G., & Hasselmann, D. (1990). Unterschiede zwischen Einzelpersonen und Kleingruppen beim Bearbeiten komplexer Probleme. In D. Frey (Ed.), *Bericht über den 37. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel 1990. Band 1: Kurzfassungen* (pp. 20-21). Göttingen: Hogrefe.
- Dauer, F. W. (1989). *Critical thinking. An introduction to reasoning*. New York: Oxford University Press.
- Dörner, D. (1975). Wie Menschen eine Welt verbessern wollten. *Bild der Wissenschaft*, 12, 48-53.
- 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. (1980a). Heuristics and cognition in complex systems. In R. Groner, M. Groner & W. F. Bischof (Eds.), *Methods of heuristics* (pp. 98-108). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Dörner, D. (1980b). 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. (1983a). Denken, Problemlösen und Intelligenz. In G. Lüer (Ed.), *Bericht über den 33. Kongreß der DGfPs in Mainz 1981* (Vol. Band 1, pp. 354-367). Göttingen: Hogrefe.
- Dörner, D. (1983b). 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). Einige Anmerkungen zu Funkes "Diagnose der westdeutschen Problemlöseforschung in Form einiger Thesen". *Sprache & Kognition*, 3, 171-172.
- Dörner, D. (1985). Zeitabläufe, Aids und Kognition. *Sprache & Kognition*, 4, 175-177.
- Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica*, 32, 290-308.
- 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: 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. (1983). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Hans Huber.

- 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., 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., Stäudel, T., & Strohschneider, S. (1986). *Moro - Programmdokumentation* (Memorandum Nr. 23). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.
- 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 (computersimulated) theory. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 65-99). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Durso, F. T., & Gronlund, S. D. (1999). Situation awareness. In F. T. Durso (Ed.), *Handbook of applied cognition* (pp. 283-314). New York: Wiley & Sons.
- Ebert, R. J. (1972). Human control of a two-variable decision system. *Organizational Behavior and Human Performance*, 7, 237-264.
- 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.
- Endres, J., & Putz-Osterloh, W. (1994). Komplexes Problemlösen in Kleingruppen: Effekte des Vorwissens, der Gruppenstruktur und der Gruppeninteraktion. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 25, 54-70.
- Endsley, M. R. (1995). Towards a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, 32-64.
- Erdfelder, E., Buchner, A., Faul, F., & Brandt, M. (2004). GPOWER: Teststärkeanalysen leicht gemacht. In E. Erdfelder & J. Funke (Eds.), *Allgemeine Psychologie und deduktivistische Methodologie* (pp. 127-147). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Erdfelder, E., & Funke, J. (Eds.). (2004). *Allgemeine Psychologie und deduktivistische Methodologie*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Eyferth, K., Hoffmann-Plato, I., Muchowski, L., Otremba, H., Rossbach, H., Spiess, M., et al. (1982). *Studienprojekt Handlungsorganisation* (Forschungsbericht No. Nr. 82-4). Berlin: Institut für Psychologie der TU Berlin.
- Eyferth, K., Schömann, M., & Widowski, D. (1986). Der Umgang von Psychologen mit Komplexität. *Sprache & Kognition*, 5, 11-26.

- Feuchter, A., & Funke, J. (2004). Positive Effekte sozialen Faulenzens beim Lösen komplexer Probleme. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 56, 304-325.
- Fischer, C., Oellerer, N., Schilde, A., & Kluwe, R. H. (1990). *System "MIX": Development of a research instrument for the experimental investigation of human process control* (Report 1.1RHK, Project "LUCAS", ESPRIT Basic Research Action #3219 "KAU-DYTE"). Hamburg: Institut für Kognitionsforschung an der Universität der Bundeswehr.
- Fischer, H. (1990). Modelle zur Planung von Produktion und Beschaffung bei substitutionalen Produktionsfaktoren - Entscheidungshilfe in einem Planspiel. In D. Frey (Ed.), *Bericht über den 37. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel 1990. Band 1: Kurzfassungen* (pp. 336). Göttingen: Hogrefe.
- Fodor, J. (2001). *The mind doesn't work that way*. Cambridge, MA: MIT-Press.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*: The Massachusetts Institute of Technology.
- Frensch, P. A., & Buchner, A. (1999). Domain-generalität versus domain-spezifität: 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. (Eds.). (1995). *Complex problem solving: The European perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Fritz, A., & Funke, J. (1988). Komplexes Problemlösen bei Jugendlichen mit Hirnfunktionsstörungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 196, 171-187.
- 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. (1985a). Problemlösen in komplexen computersimulierten Realitätsbereichen. *Sprache & Kognition*, 4, 113-129.
- Funke, J. (1985b). 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. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Berlin: Springer.
- 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. (2001a). Dynamic systems as tools for analysing human judgement. *Thinking and Reasoning*, 7, 69-89.
- Funke, J. (2001b). Neue Verfahren zur Erfassung intelligenten Umgangs mit komplexen und dynamischen Anforderungen. In E. Stern & J. Guthke (Eds.), *Perspektiven der Intelligenzforschung. Ein Lehrbuch für Fortgeschrittene* (pp. 89-107). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Funke, J. (2004). Komplexes Problemlösen: Möglichkeiten deduktivistischen Vorgehens. In E. Erdfelder & J. Funke (Eds.), *Allgemeine Psychologie und deduktivistische Methodologie* (pp. 281-300). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- 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., & 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., & Müller, H. (1988). Eingreifen und Prognostizieren als Determinanten von Systemidentifikation und Systemsteuerung. *Sprache & Kognition*, 7, 176-186.
- 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. (1991). Die Validität einer computergestützten Systemsimulation zur Diagnose von Problemlösekompetenz. In H. Schuler & U. Funke (Eds.), *Eignungsdiagnostik in Forschung und Praxis. Psychologische Information für Auswahl, Beratung und Förderung von Mitarbeitern* (pp. 114-122). Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Funke, U. (1993). Computergestützte Eignungsdiagnostik mit komplexen dynamischen Szenarios. *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.
- Gediga, G., Schöttke, H., & Tücke, M. (1983). Problemlösen in einer komplexen Situation. *Archiv für Psychologie*, 135, 325-339.
- Geilhardt, T. (1991). NADIROS. Ein gruppenorientiertes computerunterstütztes Planspiel. In H. Schuler & U. Funke (Eds.), *Eignungsdiagnostik in Forschung und Praxis. Psychologische Information für Auswahl, Beratung und Förderung von Mitarbeitern* (pp. 162-171). Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Gibson, F. P. (1996). The sugar production factory - A dynamic decision task. *Journal of Computational and Mathematical Organization Theory*, 2, 49-60.

- Gibson, F. P., Fichman, M., & Plaut, D. C. (1997). Learning in dynamic decision tasks: Computational model and empirical evidence. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 71, 1-35.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gigerenzer, G., & Selten, R. (2001). Rethinking rationality. In G. Gigerenzer & R. Selten (Eds.), *Bounded rationality. The adaptive toolbox* (pp. 1-12). Cambridge, MA: MIT Press.
- Gonzales, C., Lerch, J. F., & Lebiere, C. (2003). Instance-based learning in dynamic decision making. *Cognitive Science*, 27, 591-636.
- Graumann, C. F. (1997). Zur Ökologie des Gedächtnisses. In G. Lürer & U. Lass (Eds.), *Erinnern und Behalten. Wege zur Erforschung des menschlichen Gedächtnisses* (pp. 269-286). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- 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.
- 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.
- Haider, H. (1992). Implizites Wissen und Lernen. Ein Artefakt? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 39, 68-100.
- Halpern, D. F. (1989). *Thought and knowledge. An introduction to critical thinking*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hartung, S., & Schneider, I. (1995). Entwicklung und Anwendung computersimulierter Szenarien. In B. Strauß & M. Kleinmann (Eds.), *Computersimulierte Szenarien in der Personalarbeit* (pp. 219-236). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Hasselmann, D. (1993). *Computersimulierte komplexe Problemstellungen in der Management-Diagnostik*. Hamburg: Windmühle.
- Hasselmann, D., & Strauß, B. (1995). *Textilfabrik*. Hamburg: Windmühle.
- Hasselmann, D., & Strauß, B. G. (1988). Reliabilität von Leistungen bei der Bearbeitung von komplexen Problemlöseaufgaben. In W. Schönplüg (Ed.), *Bericht über den 36. Kongress der DGfPs in Berlin 1988. Band 1* (pp. 68). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselmann, G., Strauß, B., & Hasselmann, D. (1993). Entwicklung einer PC-gestützten Unternehmenssimulation als Verfahren der betrieblichen Eignungsdiagnostik. In A. Gebert & U. Winterfeld (Eds.), *Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie vor Ort. Bericht über die 34. Fachtagung der Sektion Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie des BDP in Bad Lauterberg* (pp. 551-560). Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.
- Hayes, N. A., & Broadbent, D. E. (1988). Two modes of learning for interactive tasks. *Cognition*, 28, 249-276.
- Heckhausen, H. (1987). Wünschen - Wählen - Wollen. In H. Heckhausen, P. M. Gollwitzer & F. E. Weinert (Eds.), *Jenseits des Rubikon: Der Wille in den Humanwissenschaften* (pp. 3-9). Berlin: Springer.

- 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.
- 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.
- Hirsig, R., & de With, A. E. (1992). STRATOS-00: Ein PC-gestütztes Erhebungsinstrument zum integralen Problemmanagement. In U. Imoberdorf, R. Käser & R. Zihlmann (Eds.), *Psychodiagnostik heute. Beiträge aus Theorie und Praxis* (pp. 105-123). Stuttgart: Hirzel.
- Hirsig, R., & de With, A. E. (1997). PC-gestützte Simulationen für die Diagnostik: Fallbeispiel ATLANTIS. In U. Imoberdorf, R. Käser & R. Zihlmann (Eds.), *Psychodiagnostik von Individuen, Gruppen und Organisationen* (pp. 140-160). Stuttgart: Hirzel.
- Holyoak, K. J. (1985). The pragmatics of analogical transfer. *The Psychology of Learning and Motivation*, *19*, 59-87.
- Holzkamp, K. (1970). Zum Problem der Relevanz psychologischer Forschung für die Praxis. *Psychologische Rundschau*, *21*, 1-22.
- 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.
- 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. (im Druck). Entscheiden unter Risiko: Aktive Risiko-Entschärfung. *Psychologische Rundschau*.
- Huber, O., & Wearing, A. J. (2002). Better ways of breeding lizards: Simulating three strategies for managing a multistage investment decision task. *Risk Decision and Policy*, *7*, 285-308.
- Hübner, R. (1987). Eine naheliegende Fehleinschätzung des Zielabstandes bei der zeitoptimalen Regelung dynamischer Systeme. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, *34*, 38-53.
- Hübner, R. (1989). Methoden zur Analyse und Konstruktion von Aufgaben zur kognitiven Steuerung dynamischer Systeme. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, *36*, 221-238.
- Hussy, W. (1984a). *Denkpsychologie. Ein Lehrbuch. Band 1: Geschichte, Begriffs- und Problemlöseforschung, Intelligenz*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hussy, W. (1984b). Zum Begriff der Problemschwierigkeit beim komplexen Problemlösen. *Trierer Psychologische Berichte*, *11*(4).
- Hussy, W. (1985). Komplexes Problemlösen - Eine Sackgasse? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, *32*, 55-77.
- Hussy, W. (1989). Intelligenz und komplexes Problemlösen. *Diagnostica*, *35*, 1-16.
- Hussy, W., & Granzow, S. (1987). Komplexes Problemlösen, Gedächtnis und Verarbeitungsstil. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, *34*, 212-227.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Jacobson, M. J. (2001). Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices. *Complexity*, 6, 41-49.
- 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.
- Jansson, A. (1994). Pathologies in dynamic decision making: Consequences or precursors of failure? *Sprache & Kognition*, 13, 160-173.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology: Research & Development*, 48(4), 63-85.
- Kepser, M., & Vogt, H. (1991). *Ein neues Paradigma zur Erforschung des komplexen Problemlösens: Das Programmpaket "Elephanteninsel"*. Paper presented at the 33. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, 24.-28.3.1991, Gießen.
- Kersting, M. (1998). Differentielle Aspekte der sozialen Akzeptanz von Intelligenztests und Problemlösenszenarien als Personalauswahlverfahren. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 42, 671-675.
- Kersting, M. (1999a). Computergestützte Problemlösenszenarien 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 Problemlösenszenarien? Zur Kriteriumsvalidität von Problemlösenszenarien und Intelligenztests*. Göttingen: Hogrefe.
- Kersting, M. (2001). Zur Konstrukt- und Kriteriumsvalidität von Problemlösenszenarien 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.
- Klein, G.-A., Orasanu, J., Calderwood, R., & Zsombok, C.-E. (Eds.). (1993). *Decision making in action: Models and methods*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.
- Kleiter, G. D. (1970). Trend-control in a dynamic decision-making task. *Acta Psychologica*, 34, 387-397.
- 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.
- Kluge, A. (2004). *Problemlöseleistungen und Szenarioschwierigkeit: Über Wissenserwerb für das Steuern technischer Systeme*. Unpublished Habilitationsschrift, RWTH, Aachen.
- Kluwe, R., & Reimann, H. (1983). *Problemlösen bei vernetzten, komplexen Problemen: Effekte des Verbalisierens auf die Problemlöseleistung* (Bericht aus dem Fachbereich Pädagogik der Hochschule der Bundeswehr (unveröffentlichtes Manuskript)). Hamburg.

- 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., 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., Misiak, C., & Schmidle, R. (1985). Wissenserwerb beim Umgang mit umfangreichen Systemen: Lernvorgänge als Ausbildung subjektiver Ordnungsstrukturen. In D. Albert (Ed.), *Bericht über den 34. Kongreß der DGfPs in Wien 1984* (pp. 255-257). Göttingen: Hogrefe.
- Kluwe, R. H., Schilde, A., Fischer, C., & Oellerer, N. (1991). Problemlöseleistungen beim Umgang mit komplexen Systemen und Intelligenz. *Diagnostica*, 37, 291-313.
- 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.
- Kreuzig, H. W., & Schlotthauer, J. A. (1991). Ein Computer-Simulations-Verfahren in der Praxis: Offene Fragen - empirische Antworten. In H. Schuler & U. Funke (Eds.), *Eignungsdiagnostik in Forschung und Praxis. Psychologische Information für Auswahl, Beratung und Förderung von Mitarbeitern* (pp. 106-109). Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Kröner, S. (2001). *Intelligenzdiagnostik per Computersimulation*. Münster: Waxmann.
- 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.
- 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*. Unpublished manuscript, Universität Kassel.
- Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York: Oxford University Press.
- 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. (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.
- MacKinnon, A. J., & Wearing, A. J. (1980). Complexity and decision making. *Behavioral Science, 25*, 285-296.
- MacKinnon, A. J., & Wearing, A. J. (1983). Decision making in dynamic environment. In P. B. Stigum & F. Wenstop (Eds.), *Foundations of utility and risk theory with applications* (pp. 399-422). Dordrecht: D. Reidel.
- Mander, J., & Goldsmith, E. (Eds.). (2002). *Schwarzbuch Globalisierung. Eine fatale Entwicklung mit vielen Verlierern und wenigen Gewinnern*. München: Riemann.
- Marr, D. (1982). *Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York: W. H. Freeman.
- Mausfeld, R. (2003). No psychology in - No psychology out. Anmerkungen zu den "Visionen" eines Faches. *Psychologische Rundschau, 54*, 185-191.
- 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.
- McCloskey, M. (1991). Networks and theories: The place of connectionism in cognitive science. *Psychological Science, 2*, 387-395.
- McGuire, C. H., & Babbott, D. (1967). Simulation technique in the measurement of problem solving skills. *Journal of Educational Measurement, 4*, 1-10.
- 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.
- Mehtold, C. (1988). *Die Rolle von Vorstellungen beim Umgang mit einem dynamischen System*. Paper presented at the 30. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Marburg, 28.-31. 3. 1988.
- Medler, D. A. (1998). A brief history of connectionism. *Neural Computing Surveys, 1*, 61-101.
- Milling, P. (1996). Modelling innovation processes for decision support and managing simulation. *System Dynamics Review, 12*, 211-234.
- Moray, N., Lootsteen, P., & Pajak, J. (1986). Acquisition of process control skills. *IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics, 16*, 497-504.
- 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.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Newell, A., Shaw, J. C., & Simon, H. A. (1959). A general problem-solving program for a computer. *Computers and Automation, 8*(7), 10-16.

- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- 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: The Free Press.
- 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.
- Norman, D. A. (1993). Cognition in the head and in the world: An introduction to the special issue on situated action. *Cognitive Science*, 17, 1-6.
- Oberauer, K., & Süß, H.-M. (1996). Working memory starship. Computerbasierte Testbatterie zur Diagnostik der Arbeitsgedächtniskapazität. Mannheim: Universität Mannheim, Lehrstuhl Psychologie II.
- Obermann, C. (1991). *AIRPORT. Problemlösesimulation V. 2.2*. Göttingen: Hogrefe.
- Obermann, C. (1995). Computergestützte Planspiele in der Mitarbeiterauswahl – Anwendungsbeispiel Airport. In T. Geilhardt & T. Mühlbradt (Eds.), *Planspiele im Personal- und Organisationsmanagement* (pp. 401-409). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Omodei, M. M., & Wearing, A. J. (1993). *Fire Chief user manual*. Melbourne: Department of Psychology, University of Melbourne.
- Omodei, M. M., & Wearing, A. J. (1994). Perceived difficulty and motivated cognitive effort in a computer-simulated forest firefighting task. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 115-127.
- 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.
- Omodei, M. M., Wearing, A. J., & McLennan, J. (2000). Relative efficacy of an open versus a restricted communication structure for command and control decision making: An experimental study. In C. McCann & R. Pigeau (Eds.), *The human in command: Exploring the modern military experience* (pp. 369-386). New York: Plenum Publishing.
- 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., & Spada, H. (1985). Erwerb und Anwendung von Wissen über ökologische Systeme. In D. Albert (Ed.), *Bericht über den 34. Kongreß der DGfPs in Wien 1984* (pp. 258-260). Göttingen: Hogrefe.

- Otto, J. H., Döring-Seipel, E., & Lantermann, E.-D. (2002). Zur Bedeutung von subjektiven, emotionalen Intelligenzkomponenten für das komplexe Problemlösen. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 23, 417-433.
- Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1994). *Images of mind*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Pretz, J. E., Naples, A. J., & Sternberg, R. J. (2003). Recognizing, defining, and representing problems. In J. E. Davidson & R. J. Sternberg (Eds.), *The psychology of problem solving* (pp. 3-30). Cambridge: Cambridge University Press.
- Preußler, W. (1985). *Über die Bedingungen der Prognose eines bivariaten ökologischen Systems* (Memorandum Nr. 31). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.
- 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). Kommentare zu dem Aufsatz von J. Funke: Einige Bemerkungen zu Problemen der Problemlöseforschung oder: Ist Testintelligenz doch ein Prädiktor. *Diagnostica*, 29, 303-309.
- Putz-Osterloh, W. (1987). Gibt es Experten für komplexe Systeme? *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 63-84.
- Putz-Osterloh, W. (1993). 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., & 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., & 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.
- 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.
- Reichert, U. (1986). *Die Steuerung eines nichtlinearen Regelkreises durch Versuchspersonen* (Memorandum Nr. 42). Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II der Universität Bamberg.
- Reichert, U., & Dörner, D. (1988). Heuristiken beim Umgang mit einem "einfachen" dynamischen System. *Sprache & Kognition*, 7, 12-24.
- Reichert, U., & Stäudel, T. (1991). Computergestützte Diagnostik der Fähigkeiten für den Umgang mit komplexen und vernetzten Systemen. In H. Schuler & U. Funke (Eds.), *Eignungsdiagnostik in Forschung und Praxis. Psychologische Information für Aus-*

- wahl, *Beratung und Förderung von Mitarbeitern* (pp. 102-105). Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Reimann, P. (1998). Novizen- und Expertenwissen. In F. Klix & H. Spada (Eds.), *Wissen (=Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 6)* (pp. 335-365). Göttingen: Hogrefe.
- 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.
- Renkl, A., Gruber, H., Mandl, H., & Hinkofer, L. (1994). Hilft Wissen bei der Identifikation und Kontrolle eines komplexen ökonomischen Systems? *Unterrichtswissenschaft, 3*, 195-202.
- Rigas, G., & Brehmer, B. (1999). Mental processes in intelligence tests and dynamic decision making tasks. In P. Juslin & H. Montgomery (Eds.), *Judgement and decision making: Neo-Brunswikean and process-tracing approaches* (pp. 45- 65). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rigas, G., Carling, E., & Brehmer, B. (2002). Reliability and validity of performance measures in microworlds. *Intelligence, 30*, 463-480.
- Roth, T. (1987). Erfolg bei der Bearbeitung komplexer Probleme und linguistischer Merkmale des Lauten Denkens. *Sprache & Kognition, 6*, 208-220.
- 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.
- Scarr, S. (1997). Behavior-genetic and socialization theories of intelligence: Truce and reconciliation. In R. J. Sternberg & E. Grigorenko (Eds.), *Intelligence, heredity, and environment* (pp. 3-41). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Schaub, H. (1988). *Die Situationsspezifität des Problemlöseverhaltens*. Paper presented at the 30. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Marburg, 28.-31. 3. 1988.
- Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Hans Huber.
- Schaub, H., & Ströbele, H. (1989). *Garten: Verhaltenstypen beim Problemlösen*. Paper presented at the 31. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Bamberg, 20.-23. 3. 1989.
- Schaub, H., & Strohschneider, S. (1992). Die Auswirkungen unterschiedlicher Problemlöseerfahrung auf den Umgang mit einem unbekanntem 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>
- Scholz, C., & Oberschulte, H. (1996). Planspielerfahrungen im Umgang mit PLUS-P. In Arbeitskreis Assessment Center (Ed.), *Assessment Center als Instrument der Personalentwicklung* (pp. 345-357). Hamburg: Windmühle.
- 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.
- Schuler, H. (1990). Personenauswahl aus der Sicht der Bewerber: Zum Erleben eignungsdiagnostischer Situationen. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 34, 184-191.
- Simon, H. A. (1979/1967). Motivational and emotional controls of cognition. In H. A. Simon (Ed.), *Models of Thought*. New Haven: Yale University Press.
- Sonntag, K., & Schaper, N. (Eds.). (1997). *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen*. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Spring, M., Wagener, D., & Funke, J. (in press). The role of emotions in 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. (1999). Negative Stimmung, kognitive Verarbeitungskapazität und ablenkende Wirkung der Bearbeitung kognitiver Aufgaben. In W. Hacker & M. Rinck (Eds.), *Zukunft gestalten. Bericht über den 41. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Dresden 1998* (pp. 527-533). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Spies, K., & Hesse, F. W. (1986). Interaktion von Emotion und Kognition. *Psychologische Rundschau*, 37, 75-90.
- Starker, U., & Dörner, D. (1997). Kognitive, emotionale und motivationale Determinanten des Handelns und die Prognose ihrer Wirksamkeit. In R. H. Kluwe (Ed.), *Strukturen und Prozesse intelligenter Systeme* (pp. 233-254). Wiesbaden: Deutscher UniversitätsVerlag.
- Stäudel, T. (1987). *Problemlösen, Emotionen und Kompetenz*. Regensburg: Roderer.
- Sterman, J. D. (1989a). Misperception of feedback in dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43, 301-335.
- Sterman, J. D. (1989b). Modeling managerial behavior: Misperception of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35, 321-339.
- 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. (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.
- Steyer, R. (1987). Konsistenz und Spezifität: Definition zweier zentraler Begriffe der Differentiellen Psychologie und ein einfaches Modell zu ihrer Identifikation. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 8, 245-258.

- Steyer, R., & Schmitt, M. (1990). The effects of aggregation across and within occasions on consistency, specificity, and reliability. *Methodika*, 4, 58-94.
- 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.
- Strohschneider, S. (1986). Zur Stabilität und Validität von Handeln in komplexen Realitätsbereichen. *Sprache & Kognition*, 5, 42-48.
- 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. (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.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- Süß, H.-M. (1999). Intelligenz und komplexes Problemlösen - Perspektiven für eine Kooperation zwischen differentiell-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 Differentielle 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. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning & Instruction*, 4, 295-312.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- 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.
- 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.
- Tent, L. (1984). Intelligenz und Problemlösefähigkeit. Kommentar zu Dörner, D. & Kreuzig, H.W.: Problemlösefähigkeit und Intelligenz. *Psychologische Rundschau*, 35, 152-153.
- Thalmaier, A. (1979). Zur kognitiven Bewältigung der optimalen Steuerung eines dynamischen Systems. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 26, 388-421.
- 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.
- Toda, M. (1962). The design of a fungus-eater: A model of human behavior in an unsophisticated environment. *Behavioral Science*, 7, 164-183.
- Uttal, W. R. (2001). *The new phrenology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Vent, U. (1985). *Der Einfluß einer ganzheitlichen Denkstrategie auf die Lösung von komplexen Problemen* (Arbeitsbericht No. 6). Kiel: IPN.
- Vester, F. (1983). *Ökolopoly. Umweltspiel*. Ravensburg: Ravensburger Spiele.
- 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., Rollett, W., & Rheinberg, F. (1998). Motivation and learning in a complex system. In P. Nenninger, R. S. Jäger, A. Frey & M. Wosnitzer (Eds.), *Advances in motivation* (pp. 53-67). Landau: Verlag Empirische Pädagogik.
- Wagener, D. (2001). *Psychologische Diagnostik mit komplexen Szenarios. Taxonomie, Entwicklung, Evaluation*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Wagener, D., & Wittmann, W. W. (2002). Personalarbeit mit dem komplexen Szenario FSYS: Validität und Potential von Verhaltensskalen. *Zeitschrift für Personalpsychologie*, 2, 80-93.
- Wallach, D. (1998). *Komplexe Regelungsprozesse. Eine kognitionswissenschaftliche Analyse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

- 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.
- Wirth, J., & Klieme, E. (2003). Computer-based assessment of problem solving competence. *Assessment in Education: Principles, Policy, & Practice, 10*, 329-345.
- Wittmann, W. W. (2002). Brunswik-Symmetrie: Ein Schlüsselkonzept für erfolgreiche psychologische Forschung. In M. Myrtek (Ed.), *Die Person im biologischen und sozialen Kontext* (pp. 163-186). Göttingen: Hogrefe.
- Wittmann, W. W., & Matt, G. E. (1986). Aggregation und Symmetrie. Grundlage einer multivariaten Reliabilitäts- und Validitätstheorie, dargestellt am Beispiel der differentiellen Validität. *Diagnostica, 32*, 309-329.
- 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.
- Wundt, W. (1913). *Die Psychologie im Kampf ums Dasein. Zweite Auflage*. Leipzig: Alfred Kröner.
- Zeuschel, U. (1999a). Interkulturelle Synergie auf dem Weg: Erkenntnisse aus deutsch/U.S.-amerikanischen Problemlösegruppen. *Gruppendynamik, 30*, 131-149.
- Zeuschel, U. (1999b). Potentials and pitfalls of German/U.S.-American cooperation in workgroups. *Psychologische Beiträge, 41*, 385-402.
- Zsombok, C. E., & Klein, G. A. (Eds.). (1997). *Naturalistic decision making*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Tabellen

Tabelle ANFORD: Vergleichende Anforderungsanalyse IQ-Tests versus Umgang mit komplexen Systemen (nach Dörner & Kreuzig, 1983, S. 190; Putz-Osterloh, 1981, S. 83).

Anforderung	IQ-Test	Umgang mit komplexen Systemen
Aufstellen und Ableiten von Problemlösezielen	nein	ja
Art der Ziele	monotelisch	polytelisch
Auswahl von Handlungen zum Erreichen von Zielen	nein	ja
Aktive Suche nach relevanter Information	nein	ja
Verwertung „alten“ Wissens	nein	ja
Analyse von Variablen und deren Beziehung zu anderen Variablen	ja	ja
Regeln zur Beschreibung von Veränderungen	ja	ja

Tabelle WAGENER: Taxonomie komplexer Szenarios (TAKS) nach Wagener (2001, Kap. 3).

Merkmalsknoten	Einzelmerkmale
1 Inhaltliche Einkleidung	Breite, Tiefe und Impact des nötigen Vorwissens; Akzeptanz von Inhaltsbereich und Aufgabe; Auswahl des Inhaltsbereichs
2 Bedienungsinterface	Ergonomie des Interface; Instruktionmethode; Motivationswirkung der Darbietung; Modus der Kommandoübermittlung; Bearbeitung durch Gruppen; Organisation der Interaktion; Eingriffsmodus; Modus der Informationsbeschaffung; Notizen
3 Formale Systemstruktur	Anzahl der Variablen; Anzahl der Verknüpfungen; Verknüpfungsarten; Manipulierbarkeit; Taktzahl und Bearbeitungszeit; Echtzeitsimulationen

4 Funktionale Systemstruktur	Zufallseinflüsse; Vorwissenskompatibilität; strukturelle Redundanz; Antagonisten; Umfang und Reduzierbarkeit der Regeln; Kompensationen; Zeitverzögerung; Nebenwirkungen; Eigendynamik; Reversibilität; Fallen; übermächtige Entscheidungen; Schwierigkeitsverlauf; nötiger Planungshorizont
5 Informationsangebot	Anteil trivialer Regeln; Information über Zustände; Information über Trends; Verfälschung von Zustandsinformation; Assistentenfunktionen; Information über Regeln; Information über Erfolgskriterien
6 Auswertung	Ebenen der Auswertung; Methode der Auswertung
