

Schriftenreihe
Wirtschaftspsychologie
herausgegeben von
Prof. Dr. Heinz Schuler



Computersimulierte Szenarien in der Personalarbeit

herausgegeben von
**Dr. Bernd Strauß
und
Dr. Martin Kleinmann**



1995

**Verlag für Angewandte Psychologie
Göttingen**

Das Paradigma „Komplexes Problemlösen“

Burkhard Müller und Joachim Funke

Universität Bonn



In diesem Kapitel wird das Paradigma „Komplexes Problemlösen“ vorgestellt. Zunächst werden die aktuellen Linien der Forschung dargestellt. Als Beiträge nationaler Forschung wird neben den Arbeiten der Bamberger Gruppe auf die Arbeiten der Bayreuther, Bonner und Hamburger Forschungsgruppen eingegangen. Als internationale Forschung werden die Beiträge der Arbeitsgruppen in Oxford, Brüssel, die Arbeiten der Gruppe „Systems Dynamics“ in Cambridge (Massachusetts) und weiterer internationaler Arbeitsgruppen skizziert. Wesentliche Unterschiede der Forschungsansätze bestehen darin, inwiefern Konzeptionen der traditionellen Psychologie berücksichtigt werden, welche Bedeutung der formalen Beschreibbarkeit der Problemstellungen zugemessen wird und welche Gewichtung experimentelle Kontrolle gegenüber augenscheinlicher Validität erfährt. Im Anschluß daran werden exemplarische Ergebnisse empirischer Forschung nach Einflüssen von Person-, Situations- und Systemmerkmalen differenziert. Im Rahmen problematischer Aspekte werden als forschungsbezogene Probleme des Paradigmas die insbesondere im nationalen Bereich mangelnde Berücksichtigung traditioneller Konzepte und Befunde psychologischer Forschung sowie die im Zusammenhang mit abhängigen Maßen nur geringe Orientierung der Erhebungsverfahren an Modellen der Performanz kritisiert. Als anwendungsbezogene Problematik werden die individuelle Diagnostik komplexer Problemlösefähigkeit sowie die ökologische Validität der Untersuchungen erörtert. In einer abschließenden Bewertung wird die Notwendigkeit der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis hervorgehoben, um die Vorteile des Paradigmas nutzen zu können.

1 Forschungslinien

Erfolgreicher Umgang mit Komplexität gehört zu den zentralen Erfordernissen in unserer heutigen Gesellschaft. Sowohl im politischen und wirtschaftlichen Bereich als auch auf dem Gebiet der Umwelt fallen die weltweiten Abhängigkeiten besonders deutlich ins Auge: Wenn z.B. ein psychisch gestörter Attentäter in Jerusalem Moslems erschießt, belastet dies die Beziehungen zwischen Israel und den USA, läßt den Dollarpreis gering-

fällig fallen, beeinflusst damit die Exportchancen deutscher Automobile und somit den deutschen Arbeitsmarkt. Verliert ein Tanker auf hoher See Gefahrgut, werden die Anrainerstaaten des entsprechenden Gewässers dies zu spüren bekommen und dem Schädigerstaat mit Kostenrechnungen drohen. Komplexität tritt aber nicht nur im globalen Maßstab auf: Auch in unserer direkten Umgebung zeigen sich vielfältige Abhängigkeiten, die wir als handelnde Akteure täglich zu bewältigen haben: mit Freunden, Bekannten und Kollegen stehen wir z.B. in sozialen Beziehungen, die sehr sensibel auf Abweichungen (Scheidung, Erkrankung etc.) reagieren – manche sprechen hier gar vom notwendigen „Beziehungsmanagement“. Viele Beispiele wären aufzählbar, die vor allem auf die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität hinweisen.

Das Interesse von Psychologen am Umgang mit Komplexität reicht weit zurück. Erste Untersuchungen zum Einfluß von Komplexität auf die Handlungsregulation wurden schon 1955 von Ray durchgeführt. Die Untersuchungsinhalte bezogen sich damals allerdings nicht auf die Integration von kognitiven, emotionalen und motivationalen Einflüssen, sondern auf die Integration von sensorischen Vorgaben und motorischen Reaktionen. Der Verzicht auf die Annahme interner Modulationen äußerer Reiz-Reaktions-Kontingenzen in Form der oben genannten Unterscheidungen wurde erst durch die sogenannte kognitive Revolution aufgehoben. Damit entstanden erste Ansätze, die Bearbeitung komplexer Aufgabenstrukturen zu erforschen. Beispiele früherer Arbeiten finden sich bei Brewer (1975), D. Broadbent (1977), Dörner (1975), Kleiter (1970, 1974) sowie Metlay (1975). Einen besonderen Stellenwert haben dabei die Arbeiten von Dörner und Mitarbeitern, die diesen Phänomenbereich öffentlichkeitswirksam mit der zunehmenden Erkenntnis komplexer Wechselwirkungen in sozio-ökonomischen und ökologischen Systemen in Verbindung brachten.

Die folgende Darstellung der Forschungslinien ist nach Arbeitsgruppen im nationalen wie internationalen Bereich unterteilt. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, daß sich mit einzelnen Arbeitsgruppen meist eigene Überzeugungssysteme und Forschungstraditionen verbinden.

1.1 Nationale Forschung

Das Paradigma „Komplexes Problemlösen“ hat im Bereich nationaler Forschung einen „Boom“ an Untersuchungen ausgelöst, in denen versucht wurde und wird, durch die Beobachtung von Personen im Umgang mit computergestützten Simulationen realitätsnaher Situationen bzw. Situationskomplexen alltagsrelevante Erkenntnisse über die Handlungsregulation zu sammeln.

Als nationale Forschung werden die Arbeiten und Entwicklungen der Bamberger (Dörner), der Bayreuther (Putz-Osterloh), der Bonner (J. Funke) und der Hamburger Arbeitsgruppe (Kluwe) dargestellt. Daneben werden zusätzliche Arbeiten erwähnt, die von anderer Seite zu diesem Themenkomplex beigesteuert wurden. Die Strukturierung

nach Arbeitsgruppen erfolgt aus dem einfachen Grund, daß sich an bestimmten Orten eine Art „herrschende Lehre“ des Vorgehens etabliert hat, die für die jeweiligen Arbeiten kennzeichnend sind. So ist mit bestimmten Arbeitsgruppen auch eine bestimmte Forschungsstrategie verknüpft, auf die jeweils kurz hingewiesen wird. Die starke Paradigmenabhängigkeit vieler Untersuchungen macht es zudem erforderlich, zunächst die jeweils bevorzugten Szenarios kurz darzustellen.

1.1.1 Bamberger Arbeitsgruppe (Dörner)

Einer der ersten und bedeutendsten Vertreter der Forschungen zum „Komplexen Problemlösen“ im nationalen Bereich ist Dörner, der nach ersten Arbeiten u.a. mit Drewes und Reither 1975 vor allem durch das zusammen mit Mitarbeitern 1983 publizierte Projekt LOHHAUSEN den Untersuchungen zum Umgang mit komplexen Systemen zu einer breiten Öffentlichkeit verhalf.

Der Bamberger Arbeitsgruppe ging es von Anfang an um ein Aufzeigen der Schwierigkeiten, die beim Umgang mit komplexen Szenarien zu beobachten waren. Dabei standen weniger gruppenstatistische Analysen im Vordergrund als vielmehr detaillierte Analysen einzelner Individuen in speziellen Situationen. Von Bedeutung sind hier auch Begleitemotionen sowie entsprechende Motivationslagen, die neben den rein kognitiven Mechanismen eine steuernde Rolle übernehmen (Dörner, Schaub, Stäudel & Strohschneider, 1988). Klassische Experimentalpsychologie eignet sich aus dem Blickwinkel dieser Forschungsgruppe nicht zur Analyse des vorliegenden Phänomens. Benötigt wird eine generelle Theorie der Handlungsregulation in Situationen mit Ungewißheit. Konsequenterweise mündet dieser Ansatz in Computersimulationen individuellen Verhaltens (vgl. Dörner, 1993; Schaub, 1993).

Als Computersimulation einer städtischen Gemeinde, in der mehr als 2000 Variablen in komplexer Interaktion stehen, stellt LOHHAUSEN ein Extrembeispiel dieses Forschungsparadigmas dar. Die als realitätsnah komplex angesehene Aufgabe der Vpn bestand darin, als Bürgermeister die städtische Entwicklung in acht wöchentlich aufeinanderfolgenden Sitzungen über zehn simulierte Jahre zu steuern. Auf der Basis von Daten von 48 studentischen Vpn wurden vor allem qualitative Beschreibungen des Steuerungsverhaltens typisiert und vor dem Hintergrund plausibel scheinender Indikatoren unterschiedlicher Steuerungsleistung interpretiert (vgl. Dörner et al., 1983). Im Rahmen dieser Untersuchungen fanden erstmalig Konzepte wie „Vernetztheit“, „Eigendynamik“, „Intransparenz“ zur Beschreibung von Systemen, Konzepte wie „Vagabundieren“ oder „intellektuelle Notfallreaktion“ zur Beschreibung von charakteristischen Verhaltensmustern Eingang in die psychologische Forschung. Aber auch das wichtige Konzept der „heuristischen Kompetenz“ zur Beschreibung der subjektiven Einschätzung des Umgangs mit komplexen Situationen taucht bereits in diesen frühen Arbeiten auf (vgl. ausführlicher

dazu Dörner, 1985; Dörner, Reither & Stäudel, 1983; Stäudel, 1987, 1988; zur Kritik am Erhebungsinstrument vgl. Köller & Strauß, 1994).

Den Gegenpol zu LOHHAUSEN stellt das System KÜHLHAUS dar (Reichert & Dörner, 1988), bei dem die Aufgabe darin besteht, aufgrund eines Defekts in der automatischen Regulierung manuell die Temperatur durch ein Stellrad auf einen Zielwert einzustellen. Hierbei kann lediglich eine Variable manipuliert werden. Das Besondere dieses Systems ist die zeitlich verzögerte Temperaturberücksichtigung und die damit zumeist inadäquate Kühl- oder Heizwirkung der Stellradeinstellung. Die Einstellung eines konstanten Wertes führt zu einer gedämpft sinusförmigen Schwingung des Temperaturverlaufs. Vpn haben enorme Schwierigkeiten, die Funktionsweise des Systems zu verstehen und erreichen nur relativ schlechte Steuerungsleistungen.

Die bisherigen Untersuchungen dieser Arbeitsgruppe haben vor allem dazu geführt, eine Reihe von Fehlleistungen beim Umgang mit komplexen Systemen aufzudecken, die als charakteristisch für den Umgang mit Komplexität und Unbestimmtheit angesehen werden (Dörner, 1993a). Ausgangspunkt der Klassifikation von Verhaltensweisen als Fehlleistungen ist ein normatives Modell der Handlungsregulation. Das Modell enthält sieben Phasen einer Handlung, deren Ergebnisse teilweise in wechselseitiger Abhängigkeit stehen. Abbildung 1 zeigt diese Phasen und ihr angenommenes Wechselspiel.

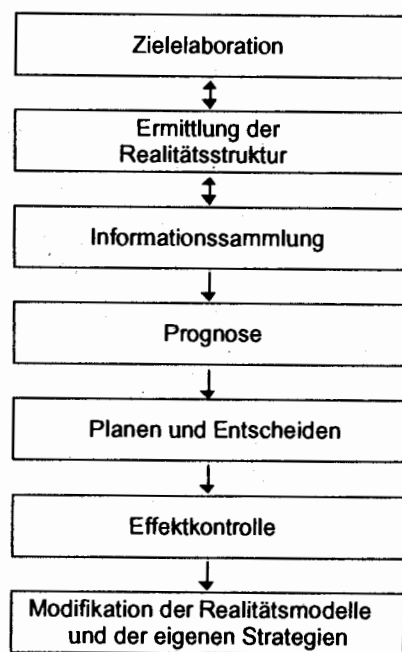


Abbildung 1: Angenommene Phasenstruktur bei Handlungen in komplexen Realitäten (nach Dörner, 1993a, S. 131)

So steht die Ausarbeitung des Handlungszieles bzw. einer Zielhierarchie am Anfang und ist abhängig von der ermittelten Realitätsstruktur. Dieses Umgebungsbild ergibt sich wiederum aus der hypothesengeleiteten Informationssammlung, so daß zukünftige Entwicklungen prognostiziert und zieladäquate Handlungen geplant und realisiert werden können. Die Kontrolle der Handlungseffekte kann dann zur Bestätigung bzw. Modifikation der Realitätsstruktur genutzt werden. Nach Mißerfolgen sollen durch Phasen der Selbstreflexion auch Modifikationen der Strategien möglich werden, die innerhalb einzelner Phasen benutzt werden.

Die beobachteten Fehlleistungen in der aktuellen Handlungsregulation bestehen vor dem Hintergrund des in Abbildung 1 gezeigten Modells in erster Linie aus: (1) mangelnder Konkretisierung des Handlungsziels; (2) mangelnder Balancierung gegenläufiger Ziele; (3) mangelnder Hintergrundkontrolle, d.h. Vernachlässigung von Neben- und Fernwirkungen; (4) einer reduktiven Hypothesenbildung, d.h. komplex bedingte Wirkungen werden auf eine Ursache reduziert; (5) Unzulänglichkeiten beim Erfassen von zeitlichen Abläufen; (6) linearem Denken in Ursache-Wirkungsketten, d.h. Wechselwirkungen werden nicht berücksichtigt; (7) ballistischem Handeln, d.h. Effekte von Handlungen werden nicht kontrolliert; (8) mangelnder Selbstreflexion.

Die diesen Fehlern zugrundeliegende „Logik des Mißlingens“ wird von Dörner (1993a) auf vier wesentliche Faktoren zurückgeführt: (1) Ökonomietendenzen, (2) Überwertigkeit des aktuellen Motivs, (3) Schutz des eigenen Kompetenzzempfindens, (4) Vergessen. Mit Ökonomietendenzen ist gemeint, daß die Begrenztheit der Ressource „bewußtes Denken“ in komplexen Situationen unweigerlich zu einer Reduktion der verfügbaren Informationen führt. Diese Reduktion wird durch vereinfachte Kausalmodelle, Verzicht auf die Betrachtung von Fern- und Nebenwirkungen sowie die Linearisierung von zeitlichen Entwicklungen erreicht. Obwohl sich aus den Ökonomietendenzen unmittelbar eine Überbewertung der aktuellen Motivlage ergeben sollte, wird dies als eigenständige Ursache von Fehlleistungen im Sinne reduzierter Informationsverarbeitung benannt. Für kognitionspsychologische Modelle zum Problemlösen neu ist die Annahme, daß der Schutz des eigenen Kompetenzzempfindens das Suchen und Berücksichtigen von Informationen beeinträchtigt, die die Vorstellung über die Realität und damit die Grundlage der Handlungsfähigkeit falsifizieren könnten. Interessant an dieser Annahme ist, daß in Verbindung mit dem Konzept der gelernten Hilflosigkeit (Seligman, 1975) folgen sollte, daß lediglich solche Personen kompetente Handlungsfähigkeit erreichen, die von ihrer Kompetenz nur halbwegs überzeugt sind.

Vergessen als Ursache für Fehlleistungen bezieht sich darauf, daß vor allem emotional positiv oder negativ gefärbte Ereignisse erinnerbar bleiben, emotional neutrale Ereignisse jedoch weniger. Da in komplexen dynamischen Umwelten häufig die neutralen Ereignisse bedeutsame Informationsträger sind, führt das dazu, daß Informationen über wichtige Zusammenhänge häufig gar nicht verfügbar sind.

Dörner (1993a) unterscheidet als Determinanten der erfolgreichen Handlungsregulation in dynamischen Systemen Kontextvariationen und Persönlichkeitsunterschiede. Als wichtige Kontextmerkmale werden Zeitdruck, Gruppendruck und informationelle Überlastung angesehen, die im Rahmen der genannten Modellvorstellungen zu typischen z.T. katastrophalen Prozeßverläufen der Systemsteuerung führen. Im Hinblick auf persönlichkeitsbedingte Unterschiede erachtet Dörner allgemeines Wissen, hervorgerufen durch Wißbegier sowie Selbstsicherheit als wichtige Merkmale erfolgreicher Problemlöser. Das allgemeine Wissen bedingt danach ein großes Reservoir an analogen Modellen, die auf eine komplexe Problemsituation übertragen werden können. Selbstsicherheit in bezug auf die eigene Fähigkeit, mit unbekanntem und unklaren Situationen umgehen zu können – gleichbedeutend mit dem bereits eingangs erwähnten Konstrukt der „heuristischen Kompetenz“ –, wird als wichtige Voraussetzung für den Erwerb dieses allgemeinen Wissens angesehen. Testintelligenz, Geschlecht, Studienfach oder Einstellungen haben keinen bedeutsamen Vorhersagewert für die erfolgreiche Lösung komplexer Problemsituationen. Über die Einführung computersimulierter Szenarien als Untersuchungsparadigma hinaus verbindet sich mit den Arbeiten der Bamberger Arbeitsgruppe auch die Abkehr von der experimentell analytisch orientierten Forschung (dies ist kein Spezifikum der Bamberger Gruppe; das Unbehagen an der gegenwärtigen Forschungspraxis findet sich etwa auch in den Sammelbänden von Jüttemann, 1983; oder Schorr, 1994). In gelegentlich polemisierenden Artikeln kritisiert Dörner (z.B. 1989) die Unangemessenheit varianzanalytischer Verfahren zur Aufdeckung der komplexen Interaktion psychischer Prozesse bei der Handlungsregulation. Er geht davon aus, daß die Beobachtung und qualitative Beschreibung von individuellem Verhalten über längere Zeiträume das einzig angemessene Verfahren darstellt, diese komplexe Interaktion zu entschlüsseln.

1.1.2 Bayreuther Arbeitsgruppe (Putz-Osterloh)

In den Untersuchungen der Bayreuther Arbeitsgruppe interessieren vor allem interindividuelle Unterschiede, die zum einen durch Testintelligenz beschrieben werden können, zum anderen durch Unterschiede des bereichsspezifischen wie -unspezifischen Wissens der Versuchspersonen. In Ergänzung zu den Instrumenten der Bamberger Arbeitsgruppe (und z.T. in Übernahme dort entwickelter Instrumente) werden dabei die Systeme SCHNEIDERWERKSTATT, MORO und neuerdings auch DYNAMIS eingesetzt (Putz-Osterloh, 1987, 1993; Putz-Osterloh & Lemme, 1987). Forschungsstrategisch gesehen findet man bei dieser Arbeitsgruppe durchaus experimentelle Designs, auch wenn die primäre Ausrichtung korrelativ genannt werden darf. Wiederholt werden ausführliche Korrelationsanalysen berichtet, die die Zusammenhangsstruktur der Variablen des komplexen Problemlösens, der Intelligenz und des Wissens erhellen sollen.

Bei der SCHNEIDERWERKSTATT handelt es sich um ein System mit 12 manipulierbaren und 11 abhängigen Größen, die das ökonomische Geflecht repräsentieren sollen, denen ein kleiner textilienverarbeitender Betrieb unterworfen ist. Die Aufgabe von Vpn besteht darin, in zumeist 12 Zeittakten, die als Monate deklariert sind, die Geschicke dieses Betriebes zu leiten. Neben der Einkaufsmenge von Rohmaterial müssen Preise, Löhne, Werbeausgaben, Reparaturkosten und Sozialleistungen festgelegt werden. Arbeiter können eingestellt oder entlassen, Maschinen unterschiedlicher Kapazität sowie LKWs gekauft und verkauft werden. Die Geschäftslage kann zwischen Vorstadt, Cityrand und City variieren. Die vorgegebenen Ziele variierten in unterschiedlichen Untersuchungen: So mußte z.T. nur das Flüssigkapital maximiert werden, in einigen Untersuchungen wurden außerdem hohe Gewinne pro Takt bei hohem Lohnniveau gefordert. Weiterhin wurde variiert, welche Informationsquellen über das System zur Verfügung standen. In einer transparenten Realisierung konnten Informationen über minimale Lohnkosten, den Schwankungsbereich vom Rohmaterialpreis, Lagerungskosten, Mietpreise, Kosten und Verkaufserlöse für Maschinen und LKWs sowie Informationen über die Abhängigkeitsstruktur zwischen den Variablen abgerufen werden, die in der intransparenten Bedingung nicht verfügbar waren. In aller Regel zeigte sich, daß Vpn kaum in der Lage waren, das System bei einmaliger Steuerung erfolgreich zu kontrollieren. Häufig konnten beobachtbare Leistungsunterschiede nicht durch Unterschiede im verbalisierbaren Wissen erklärt werden. Dies legt die Vermutung nahe, daß Leistungsvariationen wie bei anderen Systemen in erster Linie durch die zufällig mehr oder weniger gute Passung von Handlungstendenzen zu den Systemeigenschaften des Szenarios zustande kommen. Lediglich die weitgehende Transparenz der Systemzusammenhänge führte dazu, daß sich systematische Zusammenhänge mit Testintelligenz ergaben (Putz-Osterloh & Lürer, 1981).

Das System MORO simuliert ein Entwicklungshilfe-Szenario und ist von seiner Variablenzahl her wesentlich komplexer als die SCHNEIDERWERKSTATT. Die Aufgabe von Vpn besteht darin, über mehrere Jahrzehnte die Entwicklung eines Ackerbau und Viehzucht betreibenden Nomadenstammes zu fördern. 13 durch 8 Teilmodelle in komplexen Abhängigkeiten stehende Zentralvariablen müssen durch eine Vielzahl z.T. unbekannter und indirekter Eingriffsmöglichkeiten erfolgreich kontrolliert werden. Eingriffe können nur einmal pro Jahr vorgenommen werden. Als Ziele wurden einzeln oder in unterschiedlichen Kombinationen die Maximierung der Rinderzahl, der Stammesangehörigen, der Weide- oder Ackerflächen, des Grundwassers oder des verfügbaren Kapitals vorgegeben. Bei diesem System zeigte sich, daß sogar Experten in der Entwicklungshilfe in den meisten Fällen Hungerkatastrophen produzieren (Putz-Osterloh, 1987; vgl. Reither, 1981, mit ähnlichen Befunden zu einer Vorform des Systems).

1.1.3 Bonner Arbeitsgruppe (J. Funke)

J. Funke (1992) kritisiert an den Untersuchungen der Bamberger und Bayreuther Arbeitsgruppen, daß (1) Gütekriterien für Systemsteuerungen willkürlich bestimmt wurden, ohne Kenntnis der jeweiligen Reliabilität und Validität, (2) der Einfluß von Vorwissen häufig vorausgesetzt, aber (fast) nie kontrolliert bzw. variiert wurde, (3) die verschiedenen Systeme untereinander unvergleichbar sind und entsprechend unterschiedliche Verhaltenseffekte beobachtet wurden, die trotz kleiner Stichproben nur selten repliziert wurden, (4) keine Gelegenheit zur Exploration der Abhängigkeiten der Systemvariablen bestand und so aufgrund der Eigendynamik der Systeme unabhängig vom erworbenen Wissen über das System die Steuerungsleistung häufig sehr gering ausfällt.

In deutlicher Abgrenzung zu diesem Vorgehen erachtet es die Bonner Arbeitsgruppe daher als notwendig, *experimentelle* Untersuchungen durchzuführen, die zu einer Systematisierung dynamischer Systeme führen und die den folgenden vier Kriterien Genüge leisten: (1) Die Lösungsqualität bei der Bearbeitung komplexer Szenarien sollte an optimalen Lösungen zu messen sein (vgl. Hübner, 1989; Kolb, Petzing & Stumpf, 1992). Diese Forderung soll die oft willkürlich erscheinende Gütebestimmung durch ein objektiv nachvollziehbares Meßverfahren ersetzen, das systemtheoretische Überlegungen berücksichtigt und auf das klassische teststatistische Kriterien Anwendung finden können. (2) Die formalen Eigenschaften der komplexen Systeme, wie sie von der Systemtheorie unterschieden werden (z.B. Vernetztheit, Variablenzahl, Transparenz oder Eigendynamik), müssen berücksichtigt werden. Solange diese Eigenschaften in jeder Untersuchung konstant gehalten werden, können sich keine diesbezüglichen Effekte feststellen lassen, was vorschnell und eventuell fälschlich die Bedeutung von Personmerkmalen herausstellt. (3) Eine prozeßbegleitende Diagnostik des Systemwissens muß durchgeführt werden. Damit soll der Tatsache Rechnung getragen werden, daß beim Umgang mit derartigen komplexen Umwelten zum einen Wissen unbedingt notwendig ist, zum anderen neues Wissen in der Interaktion mit dem System erworben wird. (4) Phasen der ungezielten Wissensakquisition sind von solchen der gezielten Wissensanwendung zu unterscheiden. Während in der ersten Phase zunächst explorativ („learning by doing“) oder rezeptiv Wissen über das System und seine Kontrolle erworben wird, sollen in der zweiten Phase vorgegebene Zustände des Problemraumes so schnell wie möglich erreicht werden. Auf dieser Basis können präzise Verhaltensmaße zur Bewertung der Steuerungsleistung und des Systemwissens ermittelt werden.

In eigenen Untersuchungen wurden von dieser Gruppe Systemvarianten des Basissystems SINUS eingesetzt, in dem endogene *Zustandsvariablen* von exogenen *Eingriffsvariablen* unterschieden werden. Das Standardsystem wurde als Simulation von sechs Populationen auf dem Planeten SINUS vorgegeben, die als „Olschen“, „Mukern“ und „Raskeln“ bzw. als „Gaseln“, „Schmorken“ und „Sisen“ bezeichnet wurden. Während der Umfang der ersten drei Populationen im Sinne exogener Variablen durch Eingaben positiver oder negativer Ganzzahlen direkt manipulierbar war, konnten die als davon abhängig angege-

benen Umfänge der letzten drei Populationen im Sinne endogener Variablen nur beobachtet werden. Als Zielsetzung war standardmäßig vorgegeben, die Regeln des Zusammenlebens herauszufinden. Erst nach der Phase der Exploration des Systems wurden konkrete Werte vorgegeben, die als Umfang bestimmter Populationen möglichst genau zu erreichen waren.

Das Standardsystem wurde in einer numerischen Form präsentiert, die der Vp alle systemzugehörigen Variablen und alle „Rohdaten“ zum Systemzustand zugänglich machte, um die Gedächtnisbelastung bei der Systembearbeitung so weit wie möglich zu reduzieren. Es werden fünf Durchgänge mit jeweils sieben Takten präsentiert. Die Vp konnte dann beliebige *Maßnahmen* ansteuern, frei wählbare numerische Werte eingeben und gegebenenfalls Korrekturen vornehmen. Nach Abschluß der Maßnahmen wurde die Vp aufgefordert, *Prognosen* über den Zustand der exogenen Variablen nach ihrem Eingreifen abzugeben, um danach *Rückmeldung* über den resultierenden Systemzustand zu erhalten. Dabei bestand die Möglichkeit, sich die Differenzen der Zustandswerte zum vorangegangenen Takt ausgeben zu lassen.

Zur Bestimmung von manipulationsrelevanten abhängigen Variablen wurde zwischen Wissensdiagnostik und Könnensdiagnostik unterschieden. Es wurde angenommen, daß der Wissenserwerbsprozeß in erster Linie daraus besteht, Hypothesen über zunächst bivariate Zusammenhänge zu generieren und durch entsprechende Beobachtungen in der explorativen Phase zu überprüfen. Um die Ausprägung des Zusammenhangswissens zu erfassen, wurden „Kausaldiagramme“ eingesetzt, in die Vpn bei vorgegebenen exogenen und endogenen Variablen die vermuteten Beziehungen eintragen sollten. Hierbei wurde unterschieden, ob (a) lediglich ein unbestimmter Zusammenhang angegeben wurde, (b) spezifiziert wurde, welche Richtung ein Zusammenhang aufwies oder (c) die Proportionalität von Zusammenhängen numerisch genau eingetragen wurde. Zur Diagnostik des Könnens werden zum einen zielwertbezogen die logarithmierten Abstände über Zeittakte summiert. Die Logarithmierung trägt der Beobachtung Rechnung, daß höhere Abstände der Werte der Zielvariablen zum Optimum häufig auf unzureichendem Wissen basieren und damit weniger reliabel als optimumnahe Werte sind. Durch die Logarithmierung werden reliablere zielwertnahe Abstände auf- und unreliale zielwertferne Abstände abgewertet (vgl. H. Müller, 1993).

Im Sinne der Systematisierung dynamischer Systeme wird von der Bonner Gruppe zwischen Systemen mit kontinuierlichen und mit diskreten Variablen unterschieden. Während die eben beschriebenen Arbeiten sich mit *kontinuierlichen* Systemen beschäftigten, die mit dem formalen Ansatz der Strukturgleichungssysteme beschreibbar sind, wurde für *diskrete* Systeme von J. Funke und Buchner (1992, vgl. Buchner & J. Funke, 1993) die Anwendung der Theorie finiter Automaten vorgeschlagen. Die Brauchbarkeit dieses formalen Ansatzes z.B. zur konzeptuellen Integration verschiedenster experimenteller Paradigmen der Erforschung sogenannter „impliziter“ Gedächtnis-, Wahrnehmungs- oder allgemein Lerneffekte hat Buchner (1992) für die Bereiche Grammatiklernen, seriell-reaktionales Paradigma und auch dynamische Systeme eindrucksvoll de-

monstriert. B. Müller, J. Funke und Buchner (1994) berichten über Untersuchungen, die die Nutzbarkeit von Konzepten sequentiellen Lernens zur Untersuchung von Repräsentation und Transfer von Bediensequenzen zeigen. Die Aussicht, Gesetzmäßigkeiten des Umgangs mit diesen Automaten unter Berücksichtigung von formalen Eigenschaften formulieren zu können, ist neben der Anregung von Forschungsfragen auch für Anwendungsaspekte von Bedeutung, da eine Vielzahl von alltäglichen Systemen wie Waschmaschinen, Fahrkartenautomaten und auch Computerprogramme als finite Automaten aufzufassen sind.

1.1.4 Arbeiten der Hamburger Arbeitsgruppe (Kluwe)

Die Befunde zum komplexen Problemlösen aus der Bamberger Arbeitsgruppe wurden von der Hamburger Arbeitsgruppe um Kluwe aufgegriffen und kritisch beleuchtet. Bereits in einer frühen Arbeit (Kluwe & Reimann, 1983) zeigte sich die Absicht, Systeme zu konstruieren, die der experimentellen Manipulation zugänglich sind. Das damals vorgestellte abstrakte System SIM002 enthält bereits wesentliche Merkmale der später fortentwickelten Systeme und erfüllt bestimmte forschungsstrategische Ansprüche der experimentell ausgerichteten Arbeitsgruppe: es ist mathematisch präzise beschreibbar; es schließt Vorwissenseinflüsse aus; es erlaubt Manipulationen an kritischen Systemgrößen (Vernetztheit, Eigendynamik). Da es „nur“ über 10 Variablen verfügt, wurden die Variablenzustände auf dem Monitor als Histogramme angezeigt, Vpn können interaktiv und selbständig Eingriffe in das System tätigen. Ziel der Vpn ist es, angezeigte Zielzustände der Variablen zu erreichen; als Gütemaß dient die Differenz zwischen aktuellem Zustand und vorgegebenem Zielzustand. In späteren Arbeiten (Kluwe, Misiak, Ringelband & Haider, 1986) wurde das System SIM005 bzw. SIM006 verwendet, bei dem 15 Variablen insgesamt drei unabhängige Teilsysteme mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften konstituieren. Zu verschiedenen Zeitpunkten sollen Vpn während der Systembearbeitung vergangene Zustände reproduzieren bzw. zukünftige Zustände vorhersagen.

Theoretischer Ausgangspunkt der Hamburger Arbeitsgruppe ist, daß Vpn beim Bearbeiten von Systemen ein mentales Modell entwickeln. Diese komplexen Lernprozesse, die bevorzugt über längere Zeitstrecken und am Einzelfall untersucht wurden, betrachten die Hamburger unter der Perspektive der „Chunk“-Bildung: Variablen werden nach bestimmten Eigenschaften gruppiert. In begleitenden bzw. anschließenden Befragungen der Vpn wurde versucht, diese Eigenschaften zu erfassen sowie Information darüber zu erhalten, welche Abhängigkeitsstrukturen identifiziert wurden.

Kluwe und Haider (1990) gehen davon aus, daß komplexe Systeme in einem mentalen Modell flexibel repräsentiert werden. Diese Flexibilität bezieht sich auf (1) die Anpassung der mentalen Repräsentation an die wahrgenommene Kontroll- und Steueraufgabe, (2) die Fortentwicklung der Repräsentation (Erweiterung wie auch Vereinfachung), (3) den möglichen Wechsel zwischen verschiedenen Auflösungsstufen wie auch (4) die wechselnde Nutzung verschiedener Wissensformen. Ziel eines Akteurs in komplexen Umgebungen ist nach diesen Autoren die Entwicklung einer (vorläufigen) Handlungsbasis, die durch weiteren Wissenserwerb immer feiner präzisiert werden kann.

1.1.5 Arbeiten anderer nationaler Arbeitsgruppen

Neben den genannten Arbeitsgruppen gibt es eine Reihe einzelner Autoren, die sich mit dem Themengebiet intensiver beschäftigt haben. Hierzu zählen wir z.B. die Arbeiten von Eyferth, D. Hasselmann, Hussy, Leutner, Strauß und Süß. Diese Liste ist sicher unvollständig. Hier sollen auch nicht deren Ergebnisse berichtet werden (dazu siehe Kapitel 2 dieses Beitrags), sondern deren forschungsstrategische Sicht kurz geschildert werden.

Eyferth, Schömann und Widowski (1986) bezweifeln den faktischen Realitätsgehalt vieler Simulationsszenarien. Sie unterscheiden Szenarien „mit augenscheinlicher ökologischer Validität“ und solche „mit spezifischer Validität für spezielle Leistungen“ – die zuletzt genannte Kategorie enthält dabei zum einen Systeme, mit denen Aspekte der Wissensrepräsentation aufgedeckt werden sollen, zum anderen Systeme, die handlungsregulative Aspekte bei der Problemlösung beleuchten. Sie sind der Meinung, daß experimentelle Bedingungsvariation (wie sie z.B. von der Bonner Gruppe gefordert wird) die Situationsspezifität des Problemlösens zu stark gewichtet. Ihr Lösungsvorschlag besteht darin, das Konzept des Problemraums als Mediationsinstanz zu begreifen, die potentielle Interaktionen zwischen Aufgaben- und Personmerkmalen aufklären könnte. Eigene Untersuchungen hat diese Autorengruppe allerdings nicht vorgelegt.

D. Hasselmann (1991, 1993) sowie Strauß (1993) sind zwar dem experimentellen Vorgehen verhaftet, zeigen aber in einer Reihe darauf bezogener Arbeiten ein starkes Interesse an Anwendungsmöglichkeiten komplexer Systeme im Rahmen der Managementdiagnostik (z.B. Strauß, D. Hasselmann & G. Hasselmann, 1993). Die Überprüfung von Szenarien hinsichtlich teststatistischer Kriterien scheint dieser Gruppe ein wichtiges Anliegen zu sein, das sich aus dem Bedürfnis nach fundierter Individualdiagnostik speist. Hussy folgt einem streng experimentalpsychologischen Zugang, ohne dabei den Stellenwert der Persönlichkeitsvariablen aus den Augen zu verlieren. In einer Art Forschungsprogramm versucht er in einer Reihe von Arbeiten (Hussy, 1989, 1991a, b; Hussy & Granzow, 1987), den Zusammenhang zwischen komplexem Problemlösen und Subkomponenten der Testintelligenz aufzuhellen.

Leutner (1988, 1992) ist von seiner Forschungsstrategie her gesehen stärker an pädagogisch-psychologischen Konzepten wie z.B. „aptitude-treatment-interaction“ orientiert, was im Hinblick auf die Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Person- und Situationsmerkmalen, über die weiter unten zu berichten sein wird, ein offenkundiger Gewinn ist. Außerdem fragt Leutner stärker nach Anwendungsmöglichkeiten, die durch den Einsatz komplexer Szenarien z.B. im Unterrichtsalltag eröffnet werden.

Die Arbeiten von Süß, Kersting und Oberauer (1991, 1993; Süß, Oberauer & Kersting, 1993) schließlich repräsentieren den Ansatz der Intelligenzforscher aus der Arbeitsgruppe um A. O. Jäger, die sich bereits frühzeitig mit der These der mangelnden Korrelation zwischen Testintelligenz und komplexem Problemlösen konfrontiert sahen (z.B. Dörner & Kreuzig, 1983; Putz-Osterloh, 1981), aber darauf mit entsprechenden Gegenargumenten geantwortet haben: Waren diese Antworten anfangs rein theoretischer Art (z.B. Jäger, 1984, 1986) und auf die Konstruktebene bezogen, wird sie mit den erwähnten Arbeiten von Süß, Kersting und Oberauer auf eine empirische Stufe gehoben. Dabei zeigt sich vor allem die Notwendigkeit, das Konzept „Intelligenz“ mehrdimensional zu betrachten. Bei einer so differenzierten Betrachtung und unter Heranziehung reliabler Gütekennwerte des komplexen Problemlösens ergeben sich substantielle Zusammenhänge zwischen beiden Konstrukt Bereichen (vgl. Kapitel 2).

1.2 Internationale Forschung

Natürlich ist die Untersuchung des Umgangs mit dynamischen Systemen keine Domäne ausschließlich deutschsprachiger Forschung. Vielmehr gibt es schon vor den Arbeiten von Dörner und Mitarbeitern bzw. zeitgleich damit und unabhängig davon eine Reihe von anderen einschlägigen Arbeiten auf internationaler Ebene, auf die hier einzugehen ist. Dabei zeigt sich, daß eine breite Palette von Arbeitsgebieten (Grundlagenforschung im Bereich der Gedächtnispsychologie; industrielle Anwendungskontexte; militärische Fragestellungen; Analysen menschlicher Fehler; Training von Management-Personal) an der Untersuchung dynamischer Systeme interessiert ist.

1.2.1 Arbeiten der Oxforder Arbeitsgruppe (Broadbent)

In den Arbeiten der Oxforder Arbeitsgruppe wurden verschiedene, meist einfache Systeme eingesetzt. Das TRANSPORT-System (D. Broadbent, 1977) verlangt von Vpn, eine bestimmte Auslastung von Bussen und öffentlichen Parkplätzen durch die Variation der Busfrequenz und der Parkgebühren zu erreichen. Es handelt sich um ein System, daß weder dynamisch noch vernetzt ist. Die Auslastung der Busse sowie die Anzahl der Parkplätze ist lediglich von den aktuellen Werten der Busfrequenz und der Parkgebühren abhängig.

Im ECONOMY-System (D. Broadbent & Aston, 1978) beeinflussen die Steuerrate und die Höhe der Staatsausgaben Arbeitslosigkeit und Inflationsrate. Arbeitslosigkeit ist in diesem Modell direkt linear abhängig von Steuererhöhung und Ausgabensenkung. Die Inflationsrate dagegen reagiert verzögert. Steigt die Arbeitslosigkeit über drei Prozent, sinkt die Inflationsrate. Je kleiner diese wird, um so unempfindlicher wird sie gegenüber Änderungen der Arbeitslosigkeit. Bei dem System SUGAR FACTORY (Berry & D. Broadbent, 1984) handelt es sich um eine Fabrik, in der zwölf verschiedene Belegschaftsgrößen zwölf verschiedenen Produktionsmengen zugeordnet sind. Die Aufgabe besteht darin, in insgesamt 30 Zeitabschnitten ein vorgegebenes Produktionsziel durch die Wahl geeigneter Belegschaftsgrößen zu erreichen bzw. beizubehalten.

D. Broadbent (1977) sowie D. Broadbent, FitzGerald und M. Broadbent (1986) versuchen in ihren Arbeiten aufzuzeigen, daß zur Steuerung komplexer Systeme Informationsverarbeitungsprozesse auf verschiedenen Ebenen ablaufen. Hierbei interessieren sie sich vor allem für Unterschiede zwischen Verhalten und verbalisierbarem Wissen. D. Broadbent et al. (1986) nehmen an, daß beim Lösen von Problemen zwei prinzipiell verschiedene Strategien angewandt werden: (1) die Strategie der „model manipulation“ und (2) die des „situation matching“. Unter Modellmanipulation ist zu verstehen, daß ein Modell des zu steuernden Systems vorliegt, das den tatsächlichen Verhältnissen so genau wie möglich angepaßt ist. Auf der Basis dieses Modells können Vorhersagen und Begründungen für bestimmte Effekte gegeben werden. Unter Situationsanpassung ist eine Strategie zu verstehen, die im einfachsten Fall eine Tabelle korrekter Handlungen für bestimmte Situationen anlegt (ein „look-up table“, das als neuronales Netzwerk oder als Produktionssystem modellierbar wäre). Dieses Vorgehen kann zu guten Leistungen führen, ohne daß das Wissen explizit gemacht werden könnte. Nach Ansicht der Autoren wäre es unklug anzunehmen, daß verbales bzw. verbalisierbares Wissen das Ideal darstelle, auf das hin sich eine weniger explizite Wissensform zuzubewegen hätte. Vielmehr sei es wichtig festzustellen, unter welchen Bedingungen die eine oder die andere Form die situationsangemessene ist.

Berry und D. Broadbent (1986, 1987) beschäftigten sich mit der Frage, welche Erklärungsformen bei komplexen Suchproblemen für den Problemlöser hilfreich sind. Dieser Frage kommt im Zusammenhang mit Mensch-Maschine-Systemen große Bedeutung zu, da nicht klar ist, bis zu welchem Ausmaß Erklärungskomponenten in Expertensystemen von Nutzen sind. Erklärungskomponenten in Expertensystemen sollten nach den Autoren folgende Funktionen wahrnehmen: (1) sie sollten dem Wissensingenieur zu Testzwecken und zur Fehleranalyse in der Entwicklungsphase helfen; (2) sie sollten einen sachkundigen Benutzer davon überzeugen, daß das Wissen des Systems und seine Ableitungsverfahren angemessen sind; (3) sie sollten einen naiven Benutzer über das Wissen des Systems informieren; (4) sie sollten Benutzer über Alternativen informieren. Um zu systematischen Aussagen bezüglich der Rolle von Erklärungskomponenten zu gelangen, haben Berry und D. Broadbent das Szenario WATER POLLUTION eingesetzt, bei dem Vpn durch sequentielle Entnahmen von Abwasserproben herausfinden mußten, welche Firma

Schadstoffe in einen Fluß einleitet. Es wird eine Liste von 16 Firmen vorgegeben, von denen jede zwischen 3 und 10 Schadstoffe in den Fluß einleitet. Insgesamt gibt es 24 Schadstoffe. Statt idealerweise nach Schadstoffen zu suchen, die möglichst viele Firmen zu eliminieren erlaubten, suchten Vpn meist eine Firma aus und testeten alle dort vorkommenden Schadstoffe ab. Wenn nicht alle kritischen Schadstoffe vorhanden waren, wandten sie sich der nächsten Firma zu. Die Autoren konnten zeigen, daß es Hilfsmaßnahmen gibt, die das Vorgehen von Vpn verbessern können.

1.2.2 Arbeiten der Brüsseler Arbeitsgruppe (Karnas)

In einigen neueren Arbeiten der Brüsseler Arbeitsgruppe um Karnas wurde ebenfalls auf Unterschiede zwischen verbalisierbarem Wissen und Handlungsfähigkeit eingegangen (Cleeremans, 1988; Cleeremans & Karnas, 1988). Auf der Basis empirischer Befunde haben die Autoren ein Simulationsmodell des unterstellten Entscheidungsprozesses entwickelt, das die Kontrollqualität von Vpn im Umgang mit der SUGAR FACTORY (vgl. Berry & D. Broadbent, 1984) gut beschreibt. Zur Simulation wurden zwei Prozeduren verwendet: (1) die *implizite* Prozedur sieht die Konstruktion einer Tabelle vor, in der jede der zwölf möglichen Arbeitermengen mit jeder der zwölf möglichen Produktionsmengen dadurch in Beziehung gesetzt werden kann, daß die Häufigkeiten gemeinsamen Vorkommens gezählt werden; (2) eine *explizite* Prozedur, die dann eingreift, wenn die erste nicht bzw. noch nicht weiterhilft: hier wird in einer Variante (a) nach Zufall eine der möglichen Interventionen gewählt, in einer anderen Variante (b) nach einer linearen Regel entschieden, die in Abhängigkeit von der Differenz der beiden letzten Zielabstände die Produktion um einen Punkt erhöht bzw. erniedrigt. Die Simulation auf der Basis von Prozedur 1 und 2a liefert Leistungswerte, die denen von Vpn sehr nahe kommen. Wird Prozedur 1 mit 2b verwendet, verschlechtert sich die Leistung, da unter Verwendung der linearen Regel das System nicht so vielfältig wie unter Zufallsbedingungen reagiert und damit die Tabelleneinträge langsamer gefüllt werden.

Marescaux, Luc und Karnas (1989) beschäftigten sich mit dem Erwerb von Wissen über das System SUGAR FACTORY. Sie gehen dabei von der Unterscheidung zweier Lernmodi aus (vgl. Berry & D. Broadbent, 1984): ein *unselektives Lernen*, bei dem Kontingenzen zwischen Variablen gelernt werden und zur Leistungssteigerung führen, ohne daß dieses Wissen verbalisiert werden kann, und ein *selektives Lernen*, bei dem gezielt Hypothesen getestet werden, die ihrerseits verbalisierbar sind. Die Variable, die für die Wahl eines der beiden Modi verantwortlich gemacht wird, ist das Aufgabenmerkmal „salience“. Je salienter die Beziehungen in einem System sind, um so eher wird selektiv gelernt. Als Modell des assoziativen unselektiven Lernens nehmen die Autoren an, daß während der Lernphase in einer Tabelle die ausprobierten Maßnahmen zusammen mit den resultierenden Systemzuständen abgespeichert werden. Während der Steuerung soll dann auf diese Tabelle zurückgegriffen werden.

1.2.3 Arbeiten der „Systems Dynamics“-Gruppe am MIT

Am MIT (Massachusetts Institute of Technology) in Cambridge wurden Ende der 60er Jahre von Jay Forrester die bekannten Weltmodelle entwickelt (vgl. Meadows, Meadows, Zahn & Milling, 1972). Seit dieser Zeit sind am MIT viele Studien zum Thema „Dynamische Systeme“ durchgeführt worden. In einer neueren Untersuchung von Sterman (1989) hatten 49 MIT-Studenten die Aufgabe, 36 Takte lang mit einer Eingriffsvariable den Kapitalbestand einer kleinen Makroökonomik den Marktbedürfnissen anzupassen (System STRATAGEM; Sterman & Meadows, 1985). Im Sinne eines Lagerhaltungsproblems mußten Störungen aus der Umgebung (z.B. Bestandsentnahmen) kompensiert und Verzögerungen (z.B. bei der Bestandsauffüllung) antizipiert werden. Obwohl vollständige und korrekte Informationen über den jeweiligen Stand aller Variablen gegeben wurden, steuerte die überwiegende Mehrheit der Vpn das System weit entfernt vom Optimum. Als Erklärung für diesen Effekt führte Sterman zwei Arten von fehlerhaften Wahrnehmungen von Rückmeldungen an: (1) Fehlwahrnehmung von Zeitverzögerungen, (2) Fehlwahrnehmung von Entscheidungen aus der Systemumgebung. Unter den Zeitverzögerungsfehlern sind einerseits zu aggressive Reaktionen auf Abweichungen des tatsächlichen Bestands vom erwünschten zu verstehen, andererseits aber auch die Ungeduld, nach Durchführung einer Kontrollaktion auf deren vollen Effekt zu warten. Die geschilderten Schwächen sind jedoch nicht unüberwindlich: Sterman (1989) stellte fest, daß bereits nach drei bis fünf derartigen Bearbeitungsgängen die meisten seiner Vpn in der Lage waren, das System stabil zu halten – nicht jedoch Systeme mit veränderten Eigenschaften. Am Beispiel der amerikanischen Versicherungsgesellschaft „Hanover Insurance“ demonstrierten Senge und Sterman (1992), wie unter Einsatz eines Modellbildungssystems Führungskräfte dazu gebracht wurden, über firmeninterne Abhängigkeiten nachzudenken, diese in ein angemessenes Modell zu überführen und anschließend die Eigenschaften dieses Modells systematisch zu untersuchen. Die verwendeten Hilfsmittel (Kausaldiagramme) sollen bei der genannten Gesellschaft inzwischen zum „commonplace“ geworden sein. Diese positiven Effekte sind nach Morecroft (1988) nicht auf Unternehmen beschränkt. Er bewertete in seinem Übersichtsartikel Übungen zu strategischem Denken auf der Basis kleiner transparenter Modelle generell positiv für jede Art von „policymaker“ (vgl. auch Bakken, Gould & Kim, 1992, zum Einsatz von „Management Flight Simulators“).

1.2.4 Arbeiten anderer internationaler Arbeitsgruppen

In MacKinnon und Wearing's (1985) System BLACK BOX geht es um die Kontrolle eines abstrakten Feedback-Systems erster Ordnung über 75 Takte. Die Vp muß eine einzige Variable auf einem Zielwert halten, indem sie eine andere Variable manipuliert. Experimentell untersucht wurden von diesen Autoren (1) der Einfluß einer Begrenzungsfunktion („boundary function“), die Eingriffe der Vp direkt verstärkt oder abschwächt, sowie (2) der Einfluß von Feedback-Intensität, operationalisiert durch unterschiedliche Grade von zeitverzögerten Effekten: entweder ist das System nur vom letzten Input-Wert oder aber von den bis zu neun letzten Inputs abhängig, wobei im letzteren Fall gleiche Eingriffe „sanftere“ Effekte bewirken. Hinsichtlich der „Abweichung vom Zielwert“ fanden MacKinnon und Wearing bei 32 Vpn keinen Effekt des Verstärkungsfaktors, wohl aber hinsichtlich des Grades an Zeitverzögerung: bei fehlender Zeitverzögerung kommt es anfangs zu großen Zielabweichungen mit dann eintretenden Verbesserungen. Wenn zeitliche Verzögerungen bestehen, ist die Leistung von Anfang an besser. Brehmer (1987, 1989) interessiert sich für die mentalen Modelle, die Problemlöser beim Umgang mit dynamischen Entscheidungsproblemen entwickeln. Für derartige Probleme ist charakteristisch, daß (a) eine Reihe voneinander abhängiger Entscheidungen zur Zielerreichung erforderlich ist, (b) die Umwelt sich über die Zeit hinweg verändert, und (c) die Entscheidungen den Zustand dieser Umwelt verändern, so daß neue Entscheidungen zu treffen sind. Als Kriterien zur Beurteilung dynamischer Entscheidungsprobleme in Echtzeit nennt Brehmer (1989): (1) Komplexität (Effektivität von Operatoren; Art der Kausalstruktur; Anzahl der Elemente), (2) Feedback-Qualität (Menge und Art der Informationen über den Systemzustand), (3) Feedback-Verzögerung, (4) Möglichkeiten dezentraler Kontrolle, (5) Veränderungsrate des Systems, (6) Beziehung zwischen Eigenschaften des zu kontrollierenden Prozesses und denjenigen des Kontrollprozesses. In seinen Untersuchungen setzte Brehmer das Szenario FEUER ein, bei dem die Vp in der Rolle eines Einsatzleiters aus einem Aufklärungsflugzeug heraus die Entwicklung eines Waldbrandes beobachtet und entsprechende Löscharbeiten dirigiert. Bisher zeigte sich, daß Variationen der Anzahl und Leistungsfähigkeit der Löscheinheiten als Komplexitätsmaß kaum einen Einfluß haben, solange die gesamte Leistungsfähigkeit konstant bleibt. Dagegen hatten Verzögerungen selbst minimalen Feedbacks katastrophale Folgen. Nach Brehmer schafften es in diesem Fall die Vpn nicht, ein brauchbares Vorhersage-Modell für das System zu entwickeln, so daß ihre Reaktionen nur auf direkten Rückmeldungen basierten.

Moray, Lootsteen und Pajak (1986) untersuchten den Erwerb von Prozeßkontrolle am Beispiel eines Tanksystems, das aus vier Teilsystemen besteht. Jedes dieser Teilsysteme besteht aus einem Tank, Zufluß- und Abflußventilen sowie einem Heizstab. Temperatur und Füllstand jedes Tanks werden auf einem Bildschirm analog wie digital angezeigt. Aufgabe der Vpn ist es, in insgesamt 12 Durchgängen entweder einen oder alle Tanks jeweils so schnell wie möglich zu einem definierten Füllungs- und Temperaturzustand zu

bringen. Jeder Durchgang endet mit dem Erreichen dieses Zielzustands. Die Autoren machten deutlich, daß eine Datenanalyse auf der Basis aggregierter Daten angesichts der großen Verhaltens- und Leistungsvarianz wenig sinnvoll erscheint. Aus den Verläufen der zentralen Systemvariablen schließen sie, daß für eine erfolgreiche Kontrolle die Entdeckung kausaler Zusammenhänge und deren Berücksichtigung für Kontrolltaktiken wichtig ist.

Der Ansatz von Rasmussen (1987) zur Erklärung des Umgangs mit dynamischen Systemen basierte auf Fehleranalysen. Er versuchte, typische menschliche Fehler in Bezug zu den drei von ihm postulierten Ebenen kognitiver Kontrolle zu setzen. Die drei Verhaltensebenen „skill-based“, „rule-based“ und „knowledge-based“ gehen mit jeweils entsprechenden Informationstypen um: „signals“, „signs“ und „symbols“. Während *Signale* raum-zeitlich gebundene Informationen ohne darüber hinausgehende Bedeutung darstellen, beziehen sich *Zeichen* auf konventionelle Verhaltensweisen oder gründen auf Erfahrung; *Symbole* beziehen sich auf Konzepte, die an funktionale Eigenschaften der Objekte gebunden sind. Reason (1987) legte in Anlehnung an Rasmussen (1987) ein allgemeines Rahmenmodell zur Beschreibung der prinzipiellen kognitiven Beschränkungen und Verzerrungen vor, die Ursachen für menschliche Fehler bei der Bedienung komplexer Steuerungsanlagen sein können. Auf der Ebene der Routinetätigkeit können „skill-based errors“ (slips) auftreten, die als Überwachungsfehler der Entdeckung eines Problems vorangehen. In der Folge kann ein „rule-based error“ (mistake) oder ein „knowledge-based error“ (mistake) auftreten, die beide der Entdeckung eines Problems nachfolgen und als Problemlösefehler angesehen werden.

1.3 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurden die verschiedenen Forschungslinien zum Paradigma „Komplexes Problemlösen“ dargestellt. Im Rahmen der nationalen Forschung wurden die Beiträge der Bamberger, Bayreuther, Bonner und Hamburger Arbeitsgruppen näher erläutert. Es wurde deutlich, daß sich diese Gruppen grob danach differenzieren lassen, welchen Stellenwert sie in ihren Untersuchungen der experimentellen Kontrolle zubilligen. Die Bamberger und unterstützend auch die Bayreuther Arbeitsgruppe zeichnen sich dadurch aus, daß sie in erster Linie augenscheinlich valide Computersimulationen komplexer Zusammenhangsstrukturen einsetzen. Die in den meisten Fällen unbekannte Relation zwischen diesen Zusammenhängen und dem, was Testpersonen darüber wissen oder zu wissen meinen, führt zu einer enormen Variation individuellen Verhaltens. Durch Vergleiche von Gruppen, die sich auf der Basis plausibel scheinender Kriterien extrem unterscheiden, wird dann versucht, individuelle Voraussetzungen zu ermitteln, die für den erfolgreichen Umgang mit Komplexität notwendig und hinreichend sein sollen. Im Unterschied dazu versuchen die Bonner und Hamburger Arbeitsgruppen, auf der Basis kontrollierter Experimente die Einflüsse von individuellem Wissen und Intelligenz als

Personmerkmale, von Verfügbarkeit von Informationen, Darstellungsform relevanter Information oder Lernbedingungen als Situationsmerkmale sowie von Variablenzahl, Vernetzungsform von Variablen u.ä. als Systemmerkmale zu differenzieren. Im Rahmen internationaler Forschung wurden die Untersuchungen der Oxforder Arbeitsgruppe betrachtet, die sich vor allem für die spezifischen Einflüsse von Situations- und Systemmerkmalen auf den Umgang mit dynamischen Systemen konzentrieren. Als Personmerkmale werden dabei Wissen über das System von der Fähigkeit unterschieden, das System effektiv zu kontrollieren. Diese Bemühungen werden von der Brüsseler Arbeitsgruppe ergänzt. Wichtige anwendungsbezogene Arbeiten stammen von der Gruppe „Systems Dynamics“ am MIT, die sich um den Einsatz von Modellbildungssystemen bemühen sowie von Rasmussen, der versucht, grundlagenwissenschaftliche Erkenntnisse mit Beobachtungen von Fehlersuchverhalten im industriellen Bereich zu verknüpfen.

2 Empirische Ergebnisse

Im folgenden werden einige zentrale empirische Befunde zum Umgang mit komplexen Systemen dargestellt. Versuche, ordnungsstiftende Taxonomien für die durchgeführten Untersuchungen aufzustellen, sind wiederholt gemacht worden (z.B. J. Funke, 1986, 1990; Hussy, 1984, 1985). Eine zusammenfassende und bewertende Übersicht dazu liefert Strauß (1993). Für die nachfolgende Darstellung werden die Befunde nach Einflüssen der Merkmale von Personen, von situativen Kontexten und formalen Qualitäten der Systeme unterschieden (vgl. J. Funke, 1992). *Personmerkmale* werden dabei als Summe der Kenntnisse und Fähigkeiten angesehen, die von der Person in die Anforderungssituation des komplexen Problemlösens eingebracht werden bzw. während der Problemlösung neu erworben werden. *Situative Kontexte* variieren z.B. dadurch, daß Systeminformationen unterschiedlich transparent sind bzw. unterschiedliche Hilfen bei der Bearbeitung zur Verfügung stehen, dieselben formalen Zusammenhänge semantisch unterschiedlich eingebettet sind oder die Interaktionsform mit dem System variiert. Als *Systemmerkmale* sind formale Eigenschaften der Systeme anzusehen, die unabhängig von situativen Kontexten beschrieben werden können. Beispiele für Systemmerkmale sind die Komplexität der Variablenvernetzung, Eigendynamik, die Anzahl von Variablen, die Art der zwischen Variablen realisierten Beziehung (z.B. lineare vs. nichtlineare Abhängigkeiten), die Anzahl manipulierbarer Variablen und der Wertebereich möglicher Eingriffe.

2.1 Personmerkmale

Als zentrales Personmerkmal wurde die Intelligenztestleistung in einer Reihe von Arbeiten untersucht und in Hinblick auf ihre Prädiktionskraft für die Lösung komplexer Probleme betrachtet. Weitere Studien zu Personmerkmalen befassen sich mit der Rolle bereichsspezifischer Expertise, mit der Dissoziation von Wissen und Können, mit klinischen Gruppen oder der Bedeutung bestimmter Strategien. Andere untersuchte Personmerkmale, die hier aus Raumgründen nicht ausführlicher dargestellt werden können, betreffen die Bedeutung von Selbstreflexion (z.B. Putz-Osterloh, 1985; Reither, 1981), von Werthaltungen (z.B. Reither, 1985), von Emotionen (z.B. Dörner, Reither & Stäudel, 1983; Hesse, Spies & Luer, 1983; Stäudel, 1987) wie auch von Sprachmerkmalen (z.B. Roth, 1985; Roth, Meyer & Lampe, 1991).

2.1.1 Testintelligenz

Über den Zusammenhang von Testintelligenz und komplexem Problemlösen ist viel diskutiert worden. Nach heftigen Auseinandersetzungen ist mittlerweile deutlich, daß Teilskalen von Intelligenztests gute Prädiktoren von Steuerungsleistungen sein können, wenn diese sinnvoll gemessen werden, die Steuerungsleistung bei komplexen Systemen reliabel und der Wertebereich von Intelligenztestleistungen nicht zu gering ist (vgl. Beckmann & Guthke, in Druck; J. Funke, 1983; Hörmann & Thomas, 1989; Hussy, 1989, 1991a, b; Jäger, 1984, 1991; Süß, Oberauer & Kersting, 1993; einen Überblick über neuere Arbeiten geben Kluwe, Schilde, Fischer & Oellerer, 1991).

Als ein Beispiel für diesen Sachverhalt sei die Untersuchung von Süß, Oberauer und Kersting (1993) zum Zusammenhang von Testintelligenz und dem Umgang mit komplexen Systemen erwähnt. Als Intelligenztest wurde das gemäß dem Berliner Modell der Intelligenzstruktur (BIS; Jäger, 1982) konzipierte Meßverfahren eingesetzt. Wie bei nahezu allen Intelligenztests wird hierbei zwischen inhaltspezifischen und operativen Komponenten differenziert. Als komplexes System wurde die SCHNEIDERWERKSTATT eingesetzt. Auf der Basis globaler Maße für die Steuerungsleistung zeigte sich keinerlei Korrespondenz zu den verschiedenen Intelligenztestskalen. In einer genaueren Analyse der Aufgabenstellung ergab sich, daß es bei der Steuerung der SCHNEIDERWERKSTATT zwei sich gegenseitig kompensierende Zielsetzungen gibt: die Verkaufsmenge von Hemden sowie die Gewinnmarge. Systeminhärent besteht zunächst für alle Vpn eine negative Gewinnmarge, die von guten Problemlösern tatsächlich verbessert wird, nicht jedoch in den positiven Bereich gebracht wird. Gleichzeitig erhöhen gute Problemlöser die Verkaufszahlen. Da sich die Erträge aus dem Produkt von Verkaufszahlen und Gewinn pro Hemd ergeben, resultieren trotz prinzipiell richtiger Strategie erhöhte Verluste.

Die Addition beider Teilleistungen als angemesseneres Leistungsmaß erbringt dann auch substantielle Zusammenhänge mit der Teilskala „Kapazität der Informationsverarbeitung“ (vgl. ähnliche Befundmuster bei Süß, Kersting & Oberauer, 1991, 1993).

Hinsichtlich der Erwartungen an auftretende bzw. unterbleibende Zusammenhänge zwischen Testintelligenz und Parametern des komplexen Problemlösens hat Putz-Osterloh (1981, S. 83) auf die unterschiedlichen Anforderungen in den beiden Situationen verwiesen. Beiden Anforderungen gemeinsam seien (1) die Analyse der Veränderung von Variablen, (2) die Analyse des Zusammenhangs zwischen Variablen, (3) das Ziehen von Analogieschlüssen sowie (4) das Aufstellen von Regeln zur Beschreibung von Veränderungen. Ausschließlich für komplexe Problemstellungen charakteristisch seien dagegen (5) das Aufstellen und Ableiten von Problemlösezielen, (6) die Auswahl von Handlungen zum Erreichen der Ziele sowie (7) die aktive Suche nach Informationen über relevante Systemvariablen. Wegen dieser nur partiellen Übereinstimmung in den Anforderungen erwartet die Autorin folgerichtig auch nur partielle Übereinstimmungen zwischen den Leistungswerten aus beiden Bereichen.

2.1.2 Bereichsspezifisches Wissen und Können (Expertise)

Eine Reihe von Untersuchungen zum Vergleich von Experten und Novizen der Bamberger und Bayreuther Arbeitsgruppen (z.B. Putz-Osterloh, 1987; Putz-Osterloh & Lemme, 1987; Reither, 1981; Schaub & Strohschneider, 1992) zeigen, daß die bei Experten unterstellte Verfügbarkeit bereichsspezifischer Wissensinhalte und Fertigkeiten zu, gegenüber Novizen, unterschiedlichem Verhalten, nicht jedoch immer zu besseren Leistungen führen. Da bei den simulierten Realitätsbereichen jedoch höchst unklar ist, wie valide die Abbildung der Wirklichkeit in die Simulationsprogramme ausgefallen ist, liegt die Vermutung nahe, daß nicht mangelhaftes Expertenwissen für diese Leistungsdefizite verantwortlich ist, sondern genauso gut die unzureichende Realitätsnähe der Systeme als Erklärung für diese Datenlage herangezogen werden kann.

Putz-Osterloh (1987) verglich die Leistungen von Wirtschaftsprofessoren und Studenten der Betriebswirtschaft bei der Bearbeitung von SCHNEIDERWERKSTATT und MORO auf drei Ebenen: (1) Verhaltenseffekte auf der Basis globaler Gütekriterien; (2) Unterschiede im Ausmaß verbalisierter bereichsübergreifender Strategien; (3) Unterschiede im Ausmaß verbalisierter bereichsspezifischer Zusammenhänge. Für das System SCHNEIDERWERKSTATT ergaben sich auf allen drei Analyseebenen Vorteile für die Experten. Für das System MORO zeigte sich, daß die Wirtschaftsprofessoren gegenüber den Studenten bei gleichem Ausmaß an Informationssammlung häufiger richtig planten, die richtigen Ziele verfolgten, Beziehungen richtig analysierten und auch mehr richtige Beziehungen benennen konnten, hinsichtlich der globalen Gütekriterien jedoch nicht besser abschnitten. Neben der Unklarheit, ob es sich bei dem Vorteil der Wirtschaftsprofessoren um bereichsübergreifende Verarbeitungsstrategien aufgrund intensiver Kenntnis eines

Inhaltsbereichs oder um alterskorrelierte Faktoren handelt (vgl. J. Funke, 1992), kann die Dissoziation von verbalisierbarem Wissen und Steuerungsleistung bei dem komplexeren System (MORO) als Bestätigung dafür angesehen werden, daß ein bedeutender Anteil der Kriteriumsvarianz systembedingt ist.

2.1.3 Dissoziationen zwischen Wissen und Können

Das eben geschilderte Phänomen einer Dissoziation zwischen Wissen über ein System und der Leistung bei dessen Kontrolle hat in der Fachliteratur breiteren Raum eingenommen, da es die Frage aufwirft, ob eventuell unabhängig voneinander operierende Lernsysteme für derartige Dissoziationen verantwortlich zu machen sind, eine Beobachtung, die erstmalig von D. Broadbent (1977) gemacht wurde und seither eine Flut von Untersuchungen produziert hat (Berry & D. Broadbent, 1984, 1987; D. Broadbent & Aston, 1978; D. Broadbent, FitzGerald & M. Broadbent, 1986; Hayes & D. Broadbent, 1988).

Untersuchungen, in denen der Wissenserwerb von Novizen durch wiederholte Kontrolle der Systeme gefördert wurde (z.B. Dörner & Pfeifer, 1992; J. Funke, 1985; Heineken et al., 1992; Schmuck, 1992), belegen, daß spezifisches Wissen ein wesentlicher Faktor hinsichtlich der Steuerungsleistung komplexer Systeme darstellt. In den Untersuchungen von J. Funke (1992), aber auch von Putz-Osterloh, Bott und Houben (1988) zeigten sich prinzipiell klare Zusammenhänge zwischen Systemidentifikation und Systemsteuerung. Haider (1992) setzt sich kritisch mit den Arbeiten von Berry und D. Broadbent (1984) auseinander. Nach von ihr durchgeführten Untersuchungen an der SUGAR FACTORY kommt Haider zu dem Urteil, daß zur Steuerung dieses Systems vollständige Kenntnis der Systemzusammenhänge nicht erforderlich ist. Auch unrichtige Modelle, die sich nur auf die starken Wirkungen beschränken, erweisen sich als funktional tauglich. Dies Ergebnis ist vor allem in Hinblick auf die von D. Broadbent konstatierten Dissoziationseffekte bedeutsam. Das Auseinanderklaffen von Wissen und Handeln wird damit als potentiell Artefakt (vgl. hierzu auch Sanderson, 1989) betrachtet: Solange mit unzureichendem Wissen gute Steuerung möglich ist, sind geringe Korrelationen zwischen Wissensumfang und Handlungsgüte wenig überzeugend. Hier wäre möglicherweise eine differenziertere Diagnostik angebracht. Ähnlich argumentiert Kluwe (1991) in seiner Analyse der Dissoziationsbefunde.

Eine etwas andere Stoßrichtung der Kritik an den Oxforder Dissoziationsphänomenen wird von Buchner, J. Funke und Berry (in Druck) vorgetragen. Hier wird vor dem Hintergrund der Theorie finiter Automaten argumentiert, daß „gute“ Problemlöser (d.h. solche, die oft den geforderten Zielzustand erreichen) geradezu zwangsläufig weniger Erfahrungen mit der gesamten Zustandsübergangsmatrix der SUGAR FACTORY machen und somit anschließende Fragen nach einzelnen Übergängen schlechter beant-

worten können als „schlechte“ Probanden, die das Ziel nicht erreicht haben und daher viele verschiedene Zustandsübergänge kennengelernt haben.

Aufgrund der methodischen Probleme der Wissensdiagnostik und fehlender Performanzmodelle ist somit das mehrfach berichtete Phänomen einer fehlenden Korrespondenz von Wissen und Kontrolleistung nur mit Vorsicht zu genießen. Zwar entspräche diese Beobachtung Modellen zum Fertigkeitserwerb (z.B. Anderson, 1983, 1987), nach denen expertenhafte Handlungsfähigkeit durch „Produktionen“ realisiert wird, deren Inhalte nicht direkt verbalisierbar sind. J. Funke (1992) wies jedoch darauf hin, daß zum einen die valide Erfassung von strukturellem Wissen in Form von Zusammenhangsexplikationen aufgrund interindividuell unterschiedlicher Antworttendenzen und Verbalisierungsfreudigkeit erschwert ist, zum anderen bei wenigen Takten die selbstgenerierten Daten für Vpn vieldeutig interpretierbar sind. In Verbindung mit der Vielzahl von Modellen, die nicht gleichermaßen Annäherungen an die Systemstruktur darstellen, jedoch hinsichtlich der erfaßten Kontrolleistung funktional äquivalent sind, ist also offen, ob die mangelnde Korrespondenz zwischen Wissensdiagnose und dieser Leistung theoretisch bedeutsam ist oder lediglich methodische Probleme reflektiert.

2.1.4 Klinische Gruppen

In einer prospektiven Längsschnittuntersuchung verglichen Fritz und J. Funke (1988; vgl. auch Fritz & J. Funke, 1990) komplexes Problemlösen bei einer Stichprobe von Schülern mit „minimalen cerebralen Dysfunktionen“ (MCD) mit den Leistungen einer parallelisierten Kontrollgruppe gesunder Schüler beim Bearbeiten eines simulierten ÖKOSYSTEMS. Alle Pbn sollten zunächst das System explorieren und anschließend gezielt steuern. In Hinblick auf den Wissenserwerb, der über die Technik der subjektiven Kausaldiagramme erfaßt wurde, zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Auch bei der Steuerungsleistung blieb der erwartete Gruppenunterschied aus, obwohl immerhin 20% der Vpn in der Kontrollgruppe den geforderten Zielzustand mindestens einmal erreichten, während dies in der MCD-Gruppe fast keiner Vpn gelang. Substantielle Unterschiede fanden sich auf Seiten der verwendeten Strategien: Die Kontrollgruppe benutzte zur Systemidentifikation mehr als dreimal so oft wie die MCD-Gruppe die Methode der isolierten Bedingungsvariation, mit der die kausale Abhängigkeitsstruktur des Systems leichter zu erkennen war als bei gleichzeitiger Veränderung mehrerer Eingabegrößen. Diese zentrale Rolle der Strategien leitet direkt zur nächsten Gruppe von Untersuchungen über.

2.1.5 Strategien

Als besonderer Aspekt der individuellen Verhaltenssteuerung beim Umgang mit unbekanntem komplexen Systemen wurden gezielt Strategien der Handlungsausführung, der Systemexploration oder allgemein der Informationssammlung betrachtet. So zeigte sich z.B. in einer Untersuchung von Schmuck (1992) mit dem FEUER-Szenario, daß von vornherein bestehende Unterschiede in der Kontrollqualität mit Unterschieden in der Steuerungsleistung korrespondieren. Mit einem spontan günstigeren Eingriffsverhalten geht allerdings eine größere Variabilität des beobachtbaren Verhaltens einher.

In einer Untersuchung von Vollmeyer und Holyoak (1993) mit dem System BIOLOGY LAB zeigte sich, daß eine unsystematische Explorationsstrategie zu einer schlechteren Repräsentation des Systems und schlechteren Vorhersagen eingriffsbedingter Zustandsänderungen führte, nicht jedoch zu schlechteren Kontrolleistungen. Interessanterweise werden die strategischen wie die anscheinend daraus folgenden Unterschiede der Repräsentation auf Anforderungen zurückgeführt, die für die jeweilige Aufgabenstellung spezifisch sei.

Putz-Osterloh (1993) betont ebenfalls die besondere Bedeutung individueller Bearbeitungsstrategien. Im Unterschied zu den Ergebnissen von Vollmeyer und Holyoak (1993) ergab sich jedoch bei ihrer Untersuchung mit dem DYNAMIS-Szenario ein klarer Zusammenhang zwischen Explorationsstrategien und Kontrolleistungen. Auf die Rolle einfacher Heuristiken vor allem bei Steuerungsanforderungen verweisen Reichert und Dörner (1988).

2.2 Situationsmerkmale

Als Situationsmerkmale sind Aspekte wie die Transparenz des Systems, die semantische Einbettung des Systems, die Form der Informationspräsentation, die Form des Erwerbs von Wissen über das System, die Wirkung von unspezifischen Störungen wie Lärm oder die Beteiligung weiterer Personen untersucht worden.

Variierende Situationsmerkmale sind z.B. in einer Untersuchung von Schaub (1990) dafür verantwortlich gemacht worden, daß Korrelationen auf Verhaltens- wie Leistungsebene gering sind, wenn die gleichen Vpn zwei verschiedene Systeme (bei Schaub: MASCHINE bzw. SIMUTANIEN) bearbeiten. Was nach Schaub's Befunden transsituativ stabil bleibt, sind Versuchsleiter-Ratings bzw. subjektive Einschätzungen der Problemlösefähigkeit – also selbst oder fremd beurteilte Personenmerkmale.

2.2.1 *Transparenz*

Putz-Osterloh und Lür (1981) konnten zeigen, daß die Präsentation der Zusammenhänge der verschiedenen Variablen in der SCHNEIDERWERKSTATT gegenüber einer nichtinformierten Gruppe zu besseren Steuerungsleistungen führte. Allerdings zeigte sich in einer neueren Untersuchung mit einem DYNAMIS-Szenario (Putz-Osterloh, 1993), daß die Präsentation struktureller Diagramme erst in einer Transferaufgabe bessere Leistungen bedingte. In anderen Untersuchungen (Putz-Osterloh, 1987) wurde gefunden, daß sowohl Systemidentifikation als auch Steuerungsleistung davon profitierten, wenn den Vpn weitere Informationen zur Verfügung standen.

2.2.2 *Semantische Einbettung*

Die Arbeit mit isomorphen Problemvarianten, d.h. strukturgleichen Systemen mit unterschiedlicher Semantik, wurde von Hayes und Simon (1976) vorgeschlagen. Sie ist seitdem gerade auf dem Gebiet des komplexen Problemlösens wiederholt verwendet worden (z.B. Berry & D. Broadbent, 1984; J. Funke & Hussy, 1984; Huber, in Druck) und belegt die Bedeutung semantischer Aspekte des Problemraums. Die semantische Einkleidung zählt hier zu den Situationsmerkmalen, da sie den Kontext bestimmt, in den ein und dasselbe System wahlweise eingebettet werden kann.

In einer eindrucksvollen Studie hat Hesse (1982) systematisch die semantische Einkleidung bei Konstanzhaltung des zugrundeliegenden Systems untersucht. Das EPIDEMIE-Szenario beschreibt die Ausbreitung einer Krankheit in einer kleinen Gemeinde, die von den Vpn als Leiter der Gesundheitsbehörde zu bekämpfen war. Unter einer Bedingung handelte es sich um eine harmlose Grippeepidemie, in der anderen Version war es eine lebensbedrohende Pockenepidemie. Die Änderung der semantischen Einkleidung änderte das Verhalten der Vpn drastisch: In der „gefährlicheren“ Variante waren die Vpn z.B. viel stärker emotional beteiligt und ließen sich deutlich mehr Zeit für ihre Entscheidungen.

Die semantische Einbettung von Systemen führt vor allem dann zu besseren Steuerungsleistungen, wenn die realisierte Systemstruktur den Vorstellungen der Vpn entspricht. Bei Inkompatibilität mit verfügbaren Wissensbeständen bewirkt sie eine schlechte Steuerungsleistung, weil analytische Prozeduren nur selten eingesetzt werden (z.B. Beckmann & Guthke, in Druck).

2.2.3 *Format der Informationspräsentation*

Hübner (1988) konnte zeigen, daß die grafische gegenüber der numerischen Präsentation des Systemzustandes zu besseren Leistungen führte. Die daraus abgeleitete Folgerung, daß analoge mentale Modelle das steuerungsrelevante Wissen repräsentieren, muß jedoch als voreilig gelten. Zum einen werden keine Vorstellungen darüber spezifiziert, wie dieses Modell entsteht sowie in entsprechenden Aufgaben genutzt wird. Vielmehr ist lediglich anzunehmen, daß für Steuerungsaufgaben relevante Informationen aus der grafischen Präsentationsform leichter als aus der numerischen Präsentationsform extrahiert werden können. Untersuchungen von J. Funke (1992) bestätigen dies dadurch, daß die grafische Präsentation gegenüber der numerischen Präsentation zu Nachteilen führt, wenn die gegebene größere Genauigkeit in entsprechenden Aufgaben relevant wird. Daß hierbei allerdings nicht nur einfache Haupteffekte wirksam werden, sondern auch Wechselwirkungen mit Personmerkmalen zu beachten sind, zeigt die weiter unten beschriebene Untersuchung von Rost und Strauß (1993).

2.2.4 *Variationen des Wissenserwerbs*

J. Funke und H. Müller (1988) fanden anhand des Systems SINUS, daß die reine Beobachtung des Systemverhaltens zu besseren Leistungen bei einem Wissenstest, nicht jedoch bei der Steuerung des Systems führte. Berry (1991) konnte zeigen, daß sowohl wissensbezogene als auch steuerungsbezogene Leistungsvorteile durch Beobachtung des Systemverhaltens resultieren, wenn die Systemzusammenhänge „salient“ sind. D. Broadbent, FitzGerald und M. Broadbent (1986) konnten in einer Untersuchung mit dem TRANSPORT-System zeigen, daß Übung in der Kontrolle eines komplexen dynamischen Systems generell die Kontrolleleistung verbessern kann, ohne zugleich das diagnostizierte Wissen darüber zu erweitern. Bezog sich die Übung dagegen auf überschaubarere Teile des Systems, zeigten sich Verbesserungen sowohl hinsichtlich der Steuerungsleistung als auch hinsichtlich des verbalisierbaren Wissen.

2.2.5 *Lärmerzeugter Streß*

Die Einordnung dieses Merkmals unter die Situationsmerkmale ist sicher diskutabel, handelt es sich doch bei Streß eigentlich um ein Merkmal der Person. Die Zuordnung wurde gewählt wegen der experimentellen Manipulation von Dörner und Pfeifer (1992), bei der unterstellt wird, daß das Situationsmerkmal „Lärm“ Streß auslöst.

Diese Autoren verglichen die Bearbeitungsleistung von Pbn, die das System FEUER entweder in Ruhe oder unter unangenehmem Lärm bearbeiten sollten. Sie fanden, daß lärminduzierter Streß keinen Einfluß auf globale Maße der Steuerungsleistung hat, wohl aber zu eher reaktivem Verhalten und spezifischen Fehlerarten führt.

2.2.6 Beteiligung mehrerer Personen

In einer Untersuchung von Köller, Dauenheimer und Strauß (1993) erreichten Paare von Vpn bessere Leistungen als Einzelpersonen, allerdings nur in Abhängigkeit von der individuellen Leistungsfähigkeit. Im allgemeinen scheint die Beteiligung weiterer *unwissender* Personen am Problemlöseprozeß jedoch zu einer Durchschnittsbildung der Einzelleistungen zu führen, so daß extreme Katastrophen wie auch enorme Erfolge verhindert werden (Dörner, 1993a). Diese Befunde berühren allerdings nicht die anzunehmenden Vorteile gemeinsamer Problemlösebemühungen von Personen, die in jeweils unterschiedlichen relevanten Sachgebieten Experten sind.

Leutner (1988) konfrontierte einzelne Schüler bzw. Schüler in Dreiergruppen mit einer Variante der SCHNEIDERWERKSTATT. Im Unterschied zu der vorangehenden Untersuchung waren Individuen den Gruppen deutlich überlegen hinsichtlich ihres Wissenserwerbs, während sich bei den Steuerleistungen keine Unterschiede zeigten (nähere Details bei Leutner, 1992).

Badke-Schaub (1993) verglich die Problemlösestrategien von Individuen und Kleingruppen bei der Bearbeitung einer simulierten Aids-epidemie. Die Vpn sollten Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung von Aids vorschlagen. Für die Kleingruppen war es schwieriger, ein gemeinsames Ziel festzulegen; dafür gelang es ihnen besser, sich problemrelevante Informationen zu beschaffen. Kleingruppen produzierten außerdem mehr Lösungsvorschläge, wenngleich es ihnen schwerer fiel, einen oder mehrere dieser Vorschläge auszuwählen und umzusetzen.

2.2.7 Zusätzliche Informationen und Hilfen

Berry und D. Broadbent (1986, 1987) untersuchten verschiedene Arten von Hilfestellungen mit dem ökologischen Szenario WATER POLLUTION, in dem Verursacher von Schadstoffemissionen ermittelt werden müssen. Sie fanden, daß einfache Hinweise auf die kritischen Schadstoffe sowie kurze Informationstexte weniger hilfreich waren als zusätzliche Erklärungen und die Möglichkeit, Rückfragen stellen und Informationsquellen elaborieren zu können.

Cleeremans (1988) fand in einer Untersuchung mit dem System SUGAR FACTORY, daß weder die vorherige Bearbeitung eines strukturgleichen, aber semantisch verschiedenen eingebetteten Problems noch die vorherige Exploration des Systems Vorteile bewirkten, dafür aber die plausible *Erklärung* von zeitlichen Verzögerungen sowohl Leistungs- als auch Wissensvorteile bedingte.

2.3 Systemmerkmale

Als Systemmerkmale sind bisher die Eigendynamik von Variablen, die verzögerte Rückmeldung von Wirkungen, die Anzahl und Vernetztheit von Variablen sowie die Art der Abhängigkeiten zwischen Variablen variiert worden (vgl. Strauß & Kleinmann, in diesem Band). Bedauerlich ist, daß diese Aspekte nur selten systematisch variiert wurden und für die verschiedenen Systeme keine vergleichbaren Indikatoren von Wissen oder Steuerungsleistung vorliegen.

2.3.1 Eigendynamik

Untersuchungen von J. Funke (1992; vgl. H. Müller, J. Funke & Rasche, 1988) mit dem System SINUS zeigten, daß Variationen der Eigendynamik von Variablen zu um so schlechteren Steuerungsleistungen führten, je mehr die Eigendynamik von der naiven Erwartung abweicht. Die Wissensmaße zeigten dagegen keine signifikante Abhängigkeit vom Ausmaß der Eigendynamik. Weiterhin wurde festgestellt, daß eine erwartungskonkrete Eigendynamik früher als Nebenwirkungen erkannt werden. Massivere Abhängigkeiten wurden eher als gemäßigte Abhängigkeiten erkannt, was die Bedeutung der „Salienz“ von Zusammenhängen bestätigt (Berry, 1991). In den Untersuchungen von D. Broadbent, FitzGerald und M. Broadbent (1986) mit dem System ECONOMY wurde eine Gruppe von Vpn mit einer Systemvariante konfrontiert, bei der die stabilisierende Eigendynamik der Inflationsrate entfernt wurde. Unter dieser Bedingung wurden zwar bedeutsame Wissenszuwächse hinsichtlich der Inflationsvariablen erzielt, mit zunehmender Übung zeigten sich jedoch Verschlechterungen der Steuerungsleistung.

2.3.2 Verzögerte Rückmeldung

In Untersuchungen von D. Broadbent, FitzGerald und M. Broadbent (1986), bei denen für eine Teilgruppe *alle* Effekte in dem System ECONOMY zeitverzögert präsentiert wurden, zeigten sich klare Leistungseinbußen. Reichert und Dörner (1988) konnten in ihrer Untersuchung mit dem System KÜHLHAUS ebenfalls zeigen, daß die zeitverzögerte Steuerwirkung Vpn erhebliche Schwierigkeiten bereitete. Heineken et al. (1992) konnten

für eine leicht modifizierte Variante dieses Systems bestätigen, daß verzögerte Rückmeldung von Wirkungen zu einer schlechteren Steuerungsleistung führt (vgl. auch Brehmer & Allard, 1991). Auch die bloße Mitteilung, daß Wirkungen erst mit Verzögerung eintreten, konnte diesen Effekt nicht verhindern. Allerdings zeigte sich, daß Vpn nach hinreichend langer Zeit in der Lage sind, die zeitlich verzögerten Wirkungen effektiv zu berücksichtigen.

2.3.3 Variablenzahl, Vernetztheit und Zusammenhangsform

Eine systematische Variation von Vernetztheit wurde im Experiment von J. Funke (1985) mit dem ÖKOSYSTEM vorgenommen. Bei konstant gehaltener Variablenzahl (jeweils drei Eingabe- und drei Zustandsgrößen) wurde der Grad der Vernetzung in drei Stufen realisiert. Dabei zeigte sich mit zunehmender Variablenzahl eine Verschlechterung der Lösungsgüte. Strauß (1993) fand dagegen, daß Steuerungsleistungen in einem System mit mehr Variablen nicht schlechter ausfallen als bei einem System mit wenigen Variablen, wenn der Anteil richtiger Lösungen konstantgehalten wird.

Hussy (1985) variierte in seinem Experiment mit dem Szenario MONDLANDUNG sowohl das Systemmerkmal der Vernetztheit (linear vs. nichtlinear) als auch die Variablenanzahl (drei vs. fünf Variablen). Mit einer Erhöhung der Variablenzahl verringerte sich die Steuerungsleistung ebenso wie mit dem Wechsel von einer linearen zu einer nichtlinearen Form der Beziehungen.

J. Funke (1992) konnte mit dem System SINUS zeigen, daß die Identifikation und Steuerung eines Systems um so schlechter gelingt, je mehr Nebenwirkungen auftreten. MacKinnon und Wearing (1985) stellten fest, daß die Vorhersage exponentieller Wirkungen auf linearen Extrapolationen basiert und um so schlechter gelingt, je größer der Abstand vorherzusagender Werte zu den beobachtbaren Werten ist. Kluwe et al. (1986) fanden in ihren Untersuchungen mit SIM005 und SIM006 die größten Abweichungen vom Optimum der Zielvariablen bei zwar unverbundenen, aber oszillierenden Variablen, gefolgt von hoch vernetzten, mittel vernetzten und unverbundenen Variablen. Diese Effekte waren unabhängig von der sinnhaften oder artifiziellen Benennung der Systemvariablen.

2.4 Studien zu Interaktionen

Interaktionen zwischen den drei genannten Einflüßbereichen Person, System und Situation sind bislang noch wenig untersucht worden, obwohl sich hier ein vielversprechendes Feld auftut. Beispielhaft sei hier eine experimentelle Arbeit von Rost und Strauß (1993) erwähnt, in der simultan der Typ der Informationspräsentation (numerisch oder graphisch, hier als Situationsmerkmal verstanden) und die Art des induzierten mentalen Modells (propositional oder analog; Personmerkmal) manipuliert wurden. Die Autoren

folgten der Annahme, daß die Vorteile eines bestimmten Präsentationsformats sich nur dann zeigen sollten, wenn es auf das *Repräsentationsformat* des Wissens passend abgestimmt sei. Ideal seien also die Kombinationen „numerisch-propositional“ und „graphisch-analog“. Geprüft wurde diese Annahme über die Leistung bei der Bearbeitung eines Kleinsystems LADEN, das für 25 Zeittakte von den Vpn zu steuern war. Als Ergebnis zeigte sich, daß bei analoger Repräsentation die grafische Präsentation sehr wichtig ist, während bei propositionaler Repräsentation keine signifikanten Unterschiede für die beiden Präsentationsarten resultieren.

Andere Arbeiten zu Wechselwirkungen stammen z.B. von Leutner (1988, 1992), der sich im Rahmen von Forschungen zur sog. „aptitude-treatment-interaction“ dafür interessiert, unter welchen individuellen Lernvoraussetzungen bestimmte Unterrichtsformen Wirkung zeigen. Da dies vor allem pädagogische Aspekte berührt, soll hier darauf nicht weiter eingegangen werden.

2.5 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde eine Auswahl von empirischen Befunden vorgestellt, die jeweils spezifische Einflüsse von Person-, Situations- und Systemmerkmalen auf den Umgang mit komplexen Systemen bzw. Problemen aufzeigen. Es wurde mehrfach deutlich, daß insbesondere die spezifische Relation von individuellem Wissen über als ähnlich angesehene Sachverhalte und den durch das System realisierten Zusammenhängen kritisch ist. Komplexität, Vernetztheit, Eigendynamik sowie Transparenz und der Grad der Übereinstimmung zwischen verfügbarer Information und den für die spezifischen Anforderungen benötigten Informationen scheinen darüber hinaus lediglich generelle Unterschiede hinsichtlich der Dauer des Wissenserwerbs oder der Kontrollqualität zu bedingen. Intelligenztestleistung als Bündelung elementarer Qualitäten der Informationsverarbeitung wird erwartungsgemäß dann bedeutsam, wenn bei unbekanntem Zusammenhangsstrukturen hinreichend Information verfügbar ist, deren Analyse eine effiziente Lösung des Problems bzw. Steuerung des Systems ermöglicht. Für die Erfolgsprognose beim Umgang mit einem gegebenen System bedeutet das, möglichst alle relevanten Merkmalsausprägungen zu kennen.

3 Problematische Aspekte

In der Darstellung der verschiedenen Forschungslinien als auch der empirischen Ergebnisse wurde schon angedeutet, daß bei den Untersuchungen zum Umgang mit komplexen Systemen eine Reihe problematischer Aspekte bestehen, die bereits frühzeitig in differenzierter Form aufgezeigt wurden (J. Funke, 1984). Hierbei können forschungsbezogene von anwendungsbezogenen Problemen unterschieden werden. Für die Grundlagen-

forschung ist neben der geringen Berücksichtigung traditioneller Konzepte und Methodologien der Psychologie insbesondere der Mangel an Modellen kritisch, die ausgehend von Wissen, Kompetenzen und Anforderungen beobachtbares Verhalten (Performanz) vorhersagen. Ohne derartige Modellvorstellungen kann die resultierende Erkenntnis aufgrund ungesichert stabiler oder fragiler Kovariationen auf der Basis *interpretierter* Verhaltensbeobachtungen und weitgehend beliebig eingeführter Gütekriterien nur gering sein. Für Anwendungsaspekte wie Diagnostik oder Training von Kompetenzen ergibt sich daraus das Problem, über keine gesicherte Basis zur performanzabhängigen Bestimmung individueller Fähigkeiten im Umgang mit komplexen Zusammenhangsstrukturen zu verfügen. Diese Mängel werden auch nicht durch die in vielen Fällen fragwürdige Realitätsnähe der eingesetzten Szenarien kompensiert.

3.1 Forschungsbezogene Problematik

3.1.1 *Mangelnde Berücksichtigung traditioneller Konzepte und Befunde psychologischer Forschung*

Angesichts der langen Tradition experimenteller Grundlagenforschung zu allgemeinen Charakteristika menschlicher Verhaltenssteuerung ist vor allem im nationalen Bereich die Geringschätzung der dabei gewonnenen Erkenntnisse mit Bedauern festzustellen. Die insbesondere von der Bamberger Arbeitsgruppe vertretene Auffassung, bei traditionellen laborexperimentellen Untersuchungen handele es sich zwangsläufig um aus Gründen experimenteller Kontrolle ihrer ökologischen Validität beraubten Problemstellungen, führte dazu, traditionelle Konzepte psychologischer Forschung zu ignorieren, um mit Hilfe des Computers formal weitestgehend unbekannte Zusammenhangsstrukturen zu simulieren und deren Steuerung durch meist naive Vpn zu beobachten. Für den Umgang mit diesen komplexen Systemen mußte demnach ein Modell der Informationsverarbeitung scheinbar neu erfunden werden.

Als Rationale dieser Orientierung muß angesehen werden, daß die Nichtverfügbarkeit von Theorien über komplexe Interaktionen der unbekanntem Struktur kognitiver, motivationaler und emotionaler Prozesse dadurch überwunden werden könne, daß man nicht isolierte Phänomene und deren Bedingtheit, sondern von vornherein die ganze Vielfalt dieser Interaktionen untersuche. Das darin liegende Mißverständnis experimenteller Vorgehensweisen wird deutlich, wenn man die bisherigen Ergebnisse dieser Neuorientierung betrachtet. Auf der Seite der Verhaltensdeskription steht ein Katalog von Verhaltensdefiziten zur Verfügung, für die weitestgehend unklar ist, welche der erklärtermaßen nicht systematisch zu untersuchenden Person-, Situations- oder Systemvariationen welche der Defizite bedingen. Auf der Seite der Erklärungen für diese Vielfalt wurde zunächst das Individualdiagnostiker interessierende Konstrukt der „operativen Intelligenz“ (Dörner, 1986) kreiert, das in seiner Interessanztheit in erster Linie von dem prognostischen Erfolg

von Testintelligenzmessungen profitiert. Hierbei wurde völlig übersehen, daß die alte Auffassung von angeborenen oder wie Muskeln zu trainierenden generellen Fähigkeiten sich in empirischen Untersuchungen schon zu Beginn dieses Jahrhunderts nicht bewährt hat (vgl. Singley & Anderson, 1989).

In einigen der Ansätze (z.B. Dörner, 1976) werden zumeist als erlernbar angenommene Wissensinhalte, die manchmal nach Qualitäten (z.B. strategisch, heuristisch, epistemisch, metakognitiv, mathematisch usw.) differenziert werden, in unterschiedlichem Maße als bedeutsam für die Bewältigung von Anforderungen der Informationsverarbeitung und damit als Voraussetzung der Verhaltensteuerung angesehen. Im Rahmen dieser Konzeption ist viel Raum zur Realisierung interindividueller Differenzen, ohne daß es einer Formulierung von individuenbezogenen und inhaltsunabhängigen Fähigkeiten bedarf. Wenn auf der anderen Seite eine solche Fähigkeit angenommen wird, dann sollte doch wenigstens gezeigt werden, daß entweder die Erfassung dieser Fähigkeit stabil mit Leistungen in unterschiedlichsten Problemstellungen korrespondiert, oder aber immer eine Transformation von Leistungsindikatoren möglich ist, die eine solche Stabilität entstehen läßt. Die lediglich anekdotisch basierte Postulierung individuell gebundener Verhaltenstendenzen, deren Notwendigkeit zur Problembewältigung keinesfalls gesichert ist, hat dagegen keinerlei Erkenntniswert.

Der korrelative Zugang zum komplexen Problemlösen handelt sich durch den Verzicht auf experimentelle Methodik weitere Risiken ein. Neben der Verwechslung von statistischer Analyse und theoretischer Analyse werden traditionell in den Sozialwissenschaften bekannte und bewährte methodologische Grundsätze wie Reliabilitätskontrolle, die Abhängigkeit von Reliabilität und Validität sowie die Implikationen der Varianzeinschränkung für die Erfassung korrelativer Zusammenhänge weitestgehend ignoriert. Ein besonderer Schwachpunkt ist die fehlende Systematisierung der Systemmerkmale und deren Beziehung zu Verhaltensmaßen. Obwohl Untersuchungen wie die zum KÜHLHAUS und zur Vorhersage der epidemischen Ausbreitung von AIDS die unmittelbare Abhängigkeit von Fehlleistungen von allgemein formulierbaren Zusammenhangsstrukturen, die fatale Wirkung zeitverzögerter Rückmeldung bzw. die Neigung von Personen, exponentielle Zusammenhänge linear zu extrapolieren, replizieren (vgl. MacKinnon & Wearing, 1985), hat es die Bamberger Gruppe bisher versäumt, die formalen Merkmale der eingesetzten Systeme zu erfassen und als Determinanten der Problemlösungen systematisch zu variieren.

Für die Forschung zum „Komplexen Problemlösen“ ist zu wünschen, daß sich die Bemühungen behaupten, die auf der Basis einer validen Wissensdiagnostik und darauf bezogenen Modellen der Performanz mit überschaubaren und formal beschreibbaren Systemen arbeiten, und die im Sinne einer Integration verschiedener Phänomenbereiche versuchen, bewährte Konzepte aus anderen Bereichen psychologischer Forschung auf das Paradigma „Komplexes Problemlösen“ zu übertragen.

3.1.2 Unzureichende Orientierung diagnostischer Verfahren an Modellen der Performanz

In den systematischeren Untersuchungen zum komplexen Problemlösen stellen Wissen über das System sowie die Steuerungsleistung die wesentlichen Beobachtungseinheiten dar. Damit erhält die valide Diagnose von Wissen, daß für die Steuerungsleistung relevant ist, eine zentrale Bedeutung für diesen Forschungsbereich. Trotz der von Wundt (1907, 1908) schon früh geäußerten negativen Einschätzung der Brauchbarkeit verbaler Daten zur Rekonstruktion mentaler bzw. kognitiver Prozesse wird man auch heute kaum an dieser Datenquelle vorbeikommen. Kluwe (1988) hält in seinem Übersichtsbeitrag vier prinzipiell verschiedene diagnostische Zugänge zu Wissensbeständen für möglich: (a) die Methode des Lauten Denkens, (b) Befragungsmethoden, (c) Kategorisierungsverfahren und (d) die mittels freier Reproduktion feststellbaren Organisationsformen von Wissens-elementen. Bei allen vier Zugängen ist im Zusammenhang mit komplexem Problemlösen zu bemängeln, daß keine gesicherten Erkenntnisse dazu vorliegen, welche Beziehung derartig erfaßte Maße untereinander aufweisen und in welcher Relation sie zu den eigentlich interessierenden Steuerungsmaßnahmen bzw. -leistungen stehen.

Wie Tergan (1986) feststellte, verfügt die Wissensdiagnostik generell über kein ausreichendes Inventar an Methoden, das der kognitiven Theorieentwicklung gerecht werde und zur empirischen Erfassung von Wissensstrukturen herangezogen werden könnte. Dies sei vor allem durch die meist pragmatischen Zielsetzungen bei der Entwicklung von Erhebungsverfahren bedingt. In seiner Monographie über „Modelle der Wissensrepräsentation als Grundlage qualitativer Wissensdiagnostik“ wies Tergan auf drei Typen von Repräsentationssystemen hin, aus denen diagnostische Bemühungen abzuleiten sind: (1) semantische Raummodelle (psychometrischer, Netzwerk- und Schema-Ansatz), (2) Produktionssysteme und (3) analoge Repräsentationssysteme.

Ein grundlegendes Problem der häufig ad hoc entwickelten Verfahren zur Wissensdiagnostik scheint darin zu bestehen, daß ihnen eine alltagsnahe Konzeption von Wissen zugrundeliegt, die offensichtlich nicht richtig ist: Man stelle sich vor, jemand „wisse“ in diesem Sinne, daß $y = x + 5z$. Dieses Wissen kann als mentales Modell oder auch als Hypothese mit drei Variablen dargestellt werden. Auf der Basis dieses „Wissens“ wird nun erwartet, daß die folgenden Fragen sämtlich richtig beantwortet werden können:

- (a) $x = 2$, $5z = 10$, Welchen Wert nimmt y an?
- (b) $x = 2$, $z = 2$, Welchen Wert nimmt y an?
- (c) $y = 14$, $z = 2$, Welchen Wert muß x haben?
- (d) $y = 14$, $x = 2$, Welchen Wert muß z haben?

Es ist zu vermuten, daß man bei erwachsenen Versuchspersonen auf alle Fragen tatsächlich die richtige Antwort erhält. Dieses dürfte jedoch dann nicht mehr gelingen, wenn man Grundschulern diese Fragen vorlegt (von Schwierigkeiten beim Aufgabenverständnis einmal abgesehen), da die Beantwortung der Fragen in unterschiedlichem Maße die kombinierte Anwendung der vier Grundrechenarten verlangt. So kann Frage (a) richtig

beantwortet werden, wenn lediglich die Addition der beiden vorgegebenen Werte gelingt. Die richtige Antwort auf Frage (b) involviert jedoch zusätzlich die Multiplikation von z mit 5, während bei (c) neben der Multiplikation mit 5 optimalerweise die Subtraktionsoperation verlangt wird (ein Generiere-Teste-Verfahren unter Anwendung der Addition kann zwar auch erfolgreich sein, ist aber zeitraubend und nicht notwendig erfolgreich). Die richtige Beantwortung der Frage (d) involviert idealerweise sowohl die Subtraktion als auch die Division der berechneten Differenz. Damit verdeutlichen diese einfachen Aufgaben, daß die Behauptung wertlos ist, *eine* mentale Repräsentation struktureller Zusammenhänge sei für deren Bearbeitung relevant, solange nicht ebenfalls angegeben wird, wie sie in unterschiedlichen Anforderungssituationen genutzt wird. Untersuchungen zum Transfer kognitiver Leistungen (Singley & Anderson, 1989) belegen darüber hinaus, daß Wissen sehr spezifisch auf einzelne Anforderungssituationen zugeschnitten repräsentiert wird. Die Annahme einer für verschiedene Anforderungen gleichermaßen relevanten Repräsentation struktureller Zusammenhänge konnte in Untersuchungen zur Übungsabhängigkeit von Wissen (B. Müller, 1993) nur durch die Zusatzannahme aufrecht erhalten werden, daß aus Gründen kognitiver Ökonomie die Bearbeitung spezifischer Anforderungen häufig zu einer unvollständigen Repräsentation führt.

Im Sinne von Spada und Reimann (1988) ist aufgrund dieser diagnostischen Schwierigkeiten zu fordern, daß die beteiligten Wissenskomponenten in Form von formalen computerisierten Modellen spezifiziert werden, mittels derer die beobachteten Leistungen nicht nur beschrieben, sondern auch erzeugt werden können. Die in diesem Zusammenhang vielversprechendsten Ansätze bestehen in den Arbeiten von Anderson (1993) und Newell (1990). Sowohl für den Modellrahmen ACT-R als auch SOAR sind ablauffähige Programmsysteme verfügbar, so daß die computersimulierte Rekonstruktion der Bearbeitung komplexer Probleme möglich wird. Durch die Spezifikation der Wissens-elemente im Rahmen des gewählten formalen Modells kann dann eine „Wissensdiagnostik auf kognitionswissenschaftlicher Basis“ durchgeführt werden. Hierbei kann - für das Paradigma komplexes Problemlösen interessant - auch heuristisches Wissen einfließen. Inwiefern die im Bereich der Bamberger Arbeitsgruppe sich andeutenden Bemühungen um eine computersimulierte Integration kognitiver, motivationaler und emotionaler Faktoren im Rahmen der PSI-Theorie (Schaub, 1993) sich als brauchbar erweisen, kann zur Zeit noch nicht eingeschätzt werden.

3.2 Anwendungsbezogene Problematik

3.2.1 Diagnostik individueller Fähigkeiten

Aus der mangelnden Verfügbarkeit performanzorientierter Modelle der Verhaltenssteuerung ergeben sich unmittelbar diagnostische Probleme bei der Interpretation von Verhaltensmaßen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß eine Sequenz von Eingriffen oder Operationen aufgrund einer Vielzahl unterschiedlicher zugrundeliegender Mechanismen bedingt sein kann. Aus Anwendungsgesichtspunkten erscheint es daher sinnvoll, zur Individualdiagnostik auf globale individuumkennzeichnende Konstrukte wie „operative Intelligenz“ auszuweichen, die als Bündelung sehr heterogener Teilaspekte der Steuerungsleistung anzusehen sind. Diese Strategie knüpft unmittelbar an den prognostischen Erfolg von IQ-Werten an, in denen ebenfalls ganze Bündel elementarer Informationsverarbeitungsprozesse kulminieren.

Dörner (1986) hielt diese Orientierung für seine Forschungsbemühungen für sinnvoll. Ohne eine präzise Definition für das Konzept der operativen Intelligenz als ein wesentliches Personmerkmal im Umgang mit komplexen Problemen zu liefern, führte er einige notwendige Bestandteile auf: „*Umsicht* (als Antizipation von Neben- und Fernwirkungen), *Steuerungsfähigkeit* der kognitiven Operationen ..., *Verfügbarkeit über Heuristiken* (hängt natürlich eng mit der Steuerungsfähigkeit zusammen) ...“ (Dörner, 1986, S. 294). Die operative Intelligenz sei das, was auf der durch Intelligenztests gemessenen Geschwindigkeit und Genauigkeit elementarer Intelligenzprozesse aufbaue: diese seien zwar notwendige, aber keineswegs hinreichende Bedingungen für Intelligenz. Operative Intelligenz entspräche einem „strategischen Moment“ (Dörner, 1986, S. 293), das durch die Leistung bei der Kontrolle komplexer Systeme erfaßt werde. Die Problematik dieses Ansatzes sieht der Autor selbst: „Ich bin mir darüber im klaren, daß sowohl der Begriff der 'operativen Intelligenz' noch weiterer Elaboration bedarf, als auch, daß die Frage, welche Parameter man zur Messung derselben am besten benutzt, keineswegs erschöpfend beantwortet werden kann.“ (Dörner, 1986, S. 294f.).

Bei allem Optimismus, daß es sich hierbei tatsächlich um etwas von herkömmlicher Intelligenztestleistung Verschiedenes handelt, bleibt festzustellen, daß die Verwendbarkeit operativer Intelligenz als individuenkennzeichnendes Merkmal für gezielte Trainingszwecke unbrauchbar ist. Aufgrund der bisherigen Befunde zum Transfer kognitiver Leistungsfähigkeit (vgl. Singley & Anderson, 1989) ist sowohl hinsichtlich der Konstruktvalidität als auch hinsichtlich der kriterienbezogenen Validität der Steuerungsleistungen bei einzelnen Systemen nicht viel zu erwarten. Untersuchungen zum Transfer von Steuerungsleistungen zwischen in unterschiedlichem Maße strukturell und inhaltlich ähnlichen Systemen bestätigen diese Einschätzung (vgl. U. Funke, 1993). Hierbei konnten die Steuerungsleistungen für die einzelnen Systeme durch IQ-Werte zum Teil gut vorhergesagt werden, intraindividuell erwiesen sich die Leistungen jedoch nicht als stabil (z.B. Strohschneider, 1990, 1991). Angesichts der Euphorie über die Bedeutsamkeit von

Simulationen komplexer Abhängigkeitsstrukturen ist verwunderlich, daß erst relativ spät begonnen wurde, überhaupt Untersuchungen durchzuführen, die aufklären könnten, inwieweit im Vergleich der Steuerungsleistung für unterschiedlichste Systeme intraindividuell Stabilität hinsichtlich möglichst objektiv bestimmbarer Leistungswerte besteht oder die Leistungsbestimmung so gestaltet werden kann, daß intraindividuelle Stabilität der Messungen entsteht (vgl. H. Müller, 1993). Im letzteren Fall muß natürlich beachtet werden, daß die Veränderung der Kriteriumsbestimmung noch als Leistung im Sinne einer günstigen Systemsteuerung zu interpretieren ist.

3.2.2 Ökologische Validität

Ein wichtiger Anspruch des Forschungsparadigmas ist, im Gegensatz zur traditionellen psychologischen Forschung nicht artifizielle Problemstellungen, sondern „real life“-Situationen zu untersuchen. Die damit keineswegs aufgehobene Notwendigkeit der Anbindung an traditionelle Modellvorstellungen sowie die ebenfalls nicht aufgehobene Meßproblematik wurden schon hervorgehoben. Hinsichtlich der beanspruchten ökologischen Validität sind zwei weitere Aspekte kritisch: die Realitätsnähe der simulierten Zusammenhangsstruktur und der untersuchten Population.

Zur computergestützten Simulation realer Situationen ist vorauszusetzen, daß gültige Modellvorstellungen über die abgebildeten Zusammenhänge zur Verfügung stehen. Tatsächlich werden in SCHNEIDERWERKSTATT, MORO oder ähnlichen Systemen komplexe sozio-ökonomische Zusammenhänge simuliert, die substanzwissenschaftlich ungeklärt sind. Von der wohl noch viel weniger als realitätsangemessen anzusehenden Simulation der Vorgänge in einer Kleinstadt im System LOHHAUSEN ganz zu schweigen. Angesichts dieser Situation ist es denn auch weniger verwunderlich, wenn erfahrene Experten in der Kontrolle der entsprechenden Systeme fast vollständig versagen. Wenn weniger komplexe Systeme einigermaßen zielgerecht reguliert werden können, belegt das zwar immer noch nicht die sachgebietsangemessene Abbildung der Zusammenhänge, deutet aber darauf hin, daß zumindest eine geringere Inkompatibilität dieser Abbildung zu den Erfahrungen entsprechender Experten besteht.

Ein hinsichtlich der ökologischen Validität mindestens genauso problematischer Aspekt besteht darin, daß die für unterschiedlich erfolgreiche Problemlöser als charakterisierend angenommenen Verhaltenstendenzen auf der Basis von studentischen Vpn erfaßt wurden. Es ist gar nicht zu erwarten, daß die einem Laien nicht verfügbaren Kenntnisse über einen Sachbereich zu einem Verhalten führen, das erfolgreich ist. Sollte bei hinreichend komplexen Simulationssystemen doch einmal erfolgreiches Verhalten beobachtet werden, so ist dies erwartungsgemäß durch die Anwendung einfachster Strategien zu erklären. Weder das erfolglose noch das erfolgreiche Verhalten von Laien im Umgang mit komplexen Problemen lassen Rückschlüsse auf das Verhalten von Personen zu, die aufgrund ihrer bereichsspezifischen Erfahrung als Experten anzusehen sind. Die scheinbare

Korrespondenz zwischen der Nichtverbalisierbarkeit sogenannter intuitiver Expertenentscheidungen und der häufig geringen Korrespondenz von verbal erfaßten Wissensmaßen und Steuerungsleistungen reflektiert wohl nicht, daß hier vergleichbare Prozesse beobachtet werden, sondern lediglich methodisch schwache Diagnostik betrieben wurde. In diesem Zusammenhang könnte die Berücksichtigung und Anwendung von Modellvorstellungen weiterhelfen, die sich mit der Entwicklung kognitiver Fertigkeiten als Basis von Expertise befassen (z.B. Anderson, 1983, 1993; Newell, 1990).

3.3 Zusammenfassung

Im Anschluß an die Darstellung der Forschungslinien und empirischer Ergebnisse wurden problematische Aspekte des Paradigmas „Komplexes Problemlösen“ erörtert. Im Interesse der Grundlagenforschung wurde die häufig fehlende Berücksichtigung traditioneller Konzepte und Methodologien der Psychologie kritisiert, die zu einem Wildwuchs an theoretischen Konzeptionen und empirischen Befunden führt, ohne neue Erkenntnisse zu schaffen. Es wurde betont, daß eine valide Diagnostik individueller Wissensvoraussetzungen auf der Basis performanzorientierter Modelle als wesentliche Voraussetzung anzusehen ist, den Umgang mit komplexen Systemen und die daraus sich ergebenden Verhaltensphänomene angemessen zu erklären. Für Anwendungsfragen wie Diagnostik oder Training von Problemlösefähigkeit ergibt sich daraus das Problem, für gegebene Systeme über keine gültigen Modelle zu verfügen, die erlauben, erreichte Steuerungsleistungen auf individuelle invariante oder modifizierbare Merkmale zurückzuführen. Der Verweis auf die ökologische Validität der Szenarien als Ersatz für angemessene psychologische Modelle dürfte in vielen Fällen wertlos sein, da neben der substanzwissenschaftlichen Unklarheit über die simulierten Zusammenhangsstrukturen die Untersuchungssituationen wie auch die herangezogenen Versuchspersonen vielfach kaum als realitätsnah zu bezeichnen sind.

4 Abschließende Bewertung

Die Darstellung der verschiedenen Forschungslinien hat deutlich gemacht, daß das Paradigma „Komplexes Problemlösen“ innerhalb kurzer Zeit von einer Vielzahl von Forschungsgruppen aufgegriffen und teilweise sehr heterogen bearbeitet wurde. Insbesondere im deutschsprachigen Bereich hat es einen regelrechten „Boom“ ausgelöst, der sich allerdings in deutlich unterscheidbare Richtungen entwickelt hat. Wie bei jedem Neuanfang ist auch hier die anfängliche Euphorie über einen völlig neuen Zugang zu Denk- und Problemlöseprozessen von einer Phase der Ernüchterung abgelöst worden, bedingt durch die zunehmend erkennbaren Probleme dieser Zugangsweise.

Was bedeutet diese Bestandsaufnahme für den Praktiker in Personalauswahl und -entwicklung? In allererster Linie heißt das: kritisch hinschauen, ob die begeistert behaupteten Fortschritte in Richtung auf „ökologische Validität“ tatsächlich bestehen. Die Tatsache, daß manche Bildschirmoberfläche realistischer aussieht als etwa klassische Intelligenztestaufgaben, macht eine faire Bewertung nur um so schwieriger, da Schwächen in der Tiefenstruktur von Simulationsszenarien durch angenehme Oberflächen kaschiert werden können. Zugleich suggeriert die Tatsache, daß mit einem Computer gearbeitet wird, eine höhere Glaubwürdigkeit von individuellen Leistungsmessungen verglichen etwa mit manuell aggregierten Beobachtungsdaten.

Mit der Komplexität der Simulationsszenarien sinkt die Transparenz in die psychodiagnostischen Qualitäten solcher Instrumente, so daß Praktiker bei der Entscheidung über den möglichen Einsatz dieser Verfahren im Rahmen der Personalauswahl oder -entwicklung leicht überfordert werden. Angesichts dieser Situation wächst u. E. die Verantwortung von Wissenschaftlern, entsprechende Hilfestellungen und Bewertungen zu liefern. Es ist daher eine stärkere Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis gefordert, da nur durch sorgfältige Evaluationen der verschiedenen Verfahren sichergestellt werden kann, daß die bei aller Ernüchterung über das Paradigma „Komplexes Problemlösen“ bestehenden Vorteile dieses Ansatzes genutzt werden können.

Literatur

- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Anderson, J.R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94, 192-210.
- Anderson, J.R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Badke-Schaub, P. (1993). *Gruppen und komplexe Probleme. Strategien von Kleingruppen bei der Bearbeitung einer simulierten Aids-Ausbreitung*. Frankfurt/M.: Peter Lang.
- Bakken, B., Gould, J. & Kim, D. (1992). Experimentation in learning organizations: A management flight simulator approach. *European Journal of Operational Research*, 59, 167-182.
- Beckmann, J.F. & Guthke, J. (in Druck). Complex problem solving, intelligence, and learning ability. In P. A. Frensch & J. Funke (Hrsg.), *Complex problem solving: The European Perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Berry, D.C. (1991). The role of action in implicit learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43 A, 881-906.

- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36 A, 209-231.
- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1986). Human search procedures and the use of expert systems. *Current Psychological Research & Reviews*, 5, 130-147.
- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1987). Explanation and verbalisation in a computer assisted search task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39 A, 585-609.
- Brehmer, B. (1987). Development of mental models for decision in technological systems. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Hrsg.), *New technology and human error* (S. 111-120). Chichester: Wiley.
- Brehmer, B. (1989). Dynamic decision making. In A. P. Sage (Hrsg.), *Concise encyclopedia of information processing in systems and organizations* (S. 144-149). New York: 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 (Hrsg.), *Distributed decision making: Cognitive models for cooperative work* (S. 319-334). Chichester: Wiley.
- Brewer, G.B. (1975). Analysis of complex systems: An experiment and its implications for policy making. In T. R. L. Porte (Hrsg.), *Organized social complexity* (S. 175-219). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Broadbent, D.E. (1977). Levels, hierarchies, and the locus of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 181-201.
- 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. (1992). *Implizites Lernen: Probleme und Perspektiven*. Weinheim: PVU.
- Buchner, A. & Funke, J. (1993). Finite state automata: Dynamic task environments in problem solving research. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46 A, 83-118.
- Buchner, A., Funke, J. & Berry, D.C. (in Druck). Negative correlations between control performance and verbalizable knowledge: Indicators for implicit learning in process control tasks? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*.
- Cleeremans, A. (1988). Relations entre performance et connaissances verbalisables dans le contrôle de processus. *Le Travail Humain*, 51, 97-111.

- Cleeremans, A. & Karnas, G. (1988). Application de l'analyse typologique à l'étude de la performance lors d'un apprentissage. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 8, 95-103.
- Dörner, D. (1975). Wie Menschen eine Welt verbessern wollten. *Bild der Wissenschaft*, 12, 48-53.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1985). Verhalten, Denken und Emotionen. In L.H. Eckensberger & E.D. Lantermann (Hrsg.), *Emotion und Reflexivität* (S. 157-181). München: Urban & Schwarzenberg.
- Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica*, 32, 290-308.
- Dörner, D. (1989). Die kleinen grünen Schildkröten und die Methoden der experimentellen Psychologie. *Sprache & Kognition*, 8, 86-97.
- Dörner, D. (1993a). Denken und Handeln in Unbestimmtheit und Komplexität. *GAIA*, 2, 128-138.
- Dörner, D. (1993b). Wissen, Emotionen und Handlungsregulation oder Die Vernunft der Gefühle. *Zeitschrift für Psychologie*, 201, 167-202.
- Dörner, D., Drewes, U. & Reither, F. (1975). Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen. In W.H. Tack (Hrsg.), *Bericht über den 29. Kongreß der DGfPs in Salzburg 1974* (S. 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: Huber.
- Dörner, D. & Pfeifer, E. (1992). Strategisches Denken, Strategische Fehler, Streß und Intelligenz. *Sprache & Kognition*, 11, 75-90.
- Dörner, D., Reither, F. & Stäudel, T. (1983). Emotion und problemlösendes Denken. In H. Mandl & G.L. Huber (Hrsg.), *Emotion und Kognition* (S. 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.
- Eyferth, K., Schömann, M. & Widowski, D. (1986). Der Umgang von Psychologen mit Komplexität. *Sprache & Kognition*, 5, 11-26.
- Fritz, A. & Funke, J. (1988). Komplexes Problemlösen bei Jugendlichen mit Hirnfunktionsstörungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 196, 171-187.

- Fritz, A. & Funke, J. (1990). Superhirn trotz Teilleistungsschwäche? *Acta Paedopsychiatrica*, 53, 146-162.
- Funke, J. (1983). Einige Bemerkungen zu Problemen der Problemlöseforschung oder: Ist Testintelligenz doch ein Prädiktor? *Diagnostica*, 29, 283-302.
- Funke, J. (1984). Diagnose der westdeutschen Problemlöseforschung in Form einiger Thesen. *Sprache & Kognition*, 3, 159-172.
- Funke, J. (1985). Steuerung dynamischer Systeme durch Aufbau und Anwendung subjektiver Kausalmodelle. *Zeitschrift für Psychologie*, 193, 435-457.
- Funke, J. (1986). *Komplexes Problemlösen - Bestandsaufnahme und Perspektiven*. Heidelberg: Springer.
- Funke, J. (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. & Buchner, A. (1992). Finite Automaten als Instrumente für die Analyse von wissensgeleiteten Problemlöseprozessen: Vorstellung eines neuen Untersuchungsparadigmas. *Sprache & Kognition*, 11, 27-37.
- 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, U. (1993). Computergestützte Eignungsdiagnostik mit komplexen dynamischen Szenarios. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 37, 109-118.
- Haider, H. (1992). Implizites Wissen und Lernen. Ein Artefakt? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 39, 68-100.
- Hasselmann, D. (1991). Einsatzmöglichkeiten computersimulierter, komplexer Problemstellungen als neues Mittel der Eignungsdiagnostik? In H. Schuler & U. Funke (Hrsg.), *Eignungsdiagnostik in Forschung und Praxis. Psychologische Information für Auswahl, Beratung und Förderung von Mitarbeitern* (S. 110-113). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Hasselmann, D. (1993). *Computersimierte komplexe Problemstellungen in der Management-Diagnostik*. Hamburg: Windmühle.
- Hayes, J.R. & Simon, H.A. (1976). The understanding process: Problem isomorphs. *Cognitive Psychology*, 8, 165-190.
- Hayes, N.A. & Broadbent, D.E. (1988). Two modes of learning for interactive tasks. *Cognition*, 28, 249-276.
- 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. (1982). Effekte des semantischen Kontexts auf die Bearbeitung komplexer Probleme. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 29, 62-91.
- Hesse, F.W., Spies, K. & Lürer, G. (1983). Einfluß motivationaler Faktoren auf das Problemlöseverhalten im Umgang mit komplexen Problemen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 30, 400-424.
- Hörmann, H.-J. & Thomas, M. (1989). Zum Zusammenhang zwischen Intelligenz und komplexem Problemlösen. *Sprache & Kognition*, 8, 23-31.
- Huber, O. (in Druck). Decision behavior in a multistage investment task. *Acta Psychologica*.
- Hübner, R. (1988). Die kognitive Regelung dynamischer Systeme und der Einfluß analoger versus digitaler Informationsdarbietung. *Zeitschrift für Psychologie*, 196, 161-170.
- Hübner, R. (1989). Methoden zur Analyse und Konstruktion von Aufgaben zur kognitiven Steuerung dynamischer Systeme. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 36, 221-238.
- Hussy, W. (1984). *Denkpsychologie. Ein Lehrbuch. Band 1: Geschichte, Begriffs- und Problemlöseforschung, Intelligenz*. Stuttgart: Kohlhammer.
- 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. (1991a). Eine experimentelle Studie zum Intelligenzkonzept „Verarbeitungskapazität“. *Diagnostica*, 37, 314-333.
- Hussy, W. (1991b). Komplexes Problemlösen und Verarbeitungskapazität. *Sprache & Kognition*, 10, 208-220.
- Hussy, W. & Granzow, S. (1987). Komplexes Problemlösen, Gedächtnis und Bearbeitungsstil. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 34, 212-227.
- Jäger, A.O. (1982). Mehrmodale Klassifikation von Intelligenzleistungen: Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. *Diagnostica*, 28, 195-225.

- Jäger, A.O. (1984). Intelligenzstrukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. *Psychologische Rundschau*, 35, 21-35.
- Jäger, A.O. (1986). Validität von Intelligenztests. *Diagnostica*, 32, 272-289.
- Jäger, A.O. (1991). Beziehungen zwischen komplexem Problemlösen und Intelligenz - eine Einleitung. Zur ungebrochenen Vitalität einer mit „Lohhausen“ aufgeschreckten Hydra. *Diagnostica*, 37, 287-290.
- Jüttemann, G. (Hrsg.) (1983). *Psychologie in der Veränderung. Perspektiven für eine gegenstandsangemessene Forschungspraxis*. Weinheim: Beltz.
- Kleiter, G. (1970). Trend-control in a dynamic decision making task. *Acta Psychologica*, 34, 387-397.
- Kleiter, G. (1974). Mehrstufige Entscheidungsmodelle in der Psychologie. *Psychologische Beiträge*, 16, 93-127.
- Kluwe, R.H. (1988). Methoden der Psychologie zur Gewinnung von Daten über menschliches Wissen. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 359-385). München: PVU.
- Kluwe, R.H. (1991). Zum Problem der Wissensvoraussetzung für Prozeß- und Systemsteuerung. *Zeitschrift für Psychologie, Supplement 11*, 311-324.
- Kluwe, R.H. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache & Kognition*, 9, 173-192.
- Kluwe, R.H., Misiak, C., Ringelband, O. & Haider, H. (1986). Lernen durch Tun: Eine Methode zur Konstruktion von simulierten Systemen mit spezifischen Eigenschaften und Ergebnisse einer Einzelfallstudie. In M. Amelang (Hrsg.), *Bericht über den 35. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Heidelberg 1986* (S. 208). Göttingen: Hogrefe.
- Kluwe, R.H. & Reimann, H. (1983). *Problemlösen bei vernetzten, komplexen Problemen: Effekte des Verbalisierens auf die Problemlöseleistung* (Bericht aus dem Fachbereich Pädagogik der Hochschule der Bundeswehr). Hamburg: Fachbereich Pädagogik der Hochschule der Bundeswehr.
- Kluwe, R.H., Schilde, A., Fischer, C. & Oellerer, N. (1991). Problemlöseleistungen beim Umgang mit komplexen Systemen und Intelligenz. *Diagnostica*, 37, 291-313.
- Kölller, 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.
- Kölller, O. & Strauß, B. (1994). Was mißt der Kompetenzfragebogen? Eine Reanalyse der Kurzform des Kompetenzfragebogens von Stäudel. *Diagnostica*, 40, 42-60.

- Kolb, S., Petzing, F. & Stumpf, S. (1992). Komplexes Problemlösen: Bestimmung der Problemlösequalität von Probanden mittels Verfahren des Operations Research - ein interdisziplinärer Ansatz. *Sprache & Kognition*, 11, 115-128.
- Leutner, D. (1988). Computersimulierte dynamische Systeme: Wissenserwerb unter verschiedenen Lehrmethoden und Sozialformen des Unterrichts. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 20, 338-355.
- Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme. Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. München: PVU.
- MacKinnon, A.J. & Wearing, A.J. (1985). Systems analysis and dynamic decision making. *Acta Psychologica*, 58, 159-172.
- Marescaux, P.-J., Luc, F. & Karnas, G. (1989). Modes d'apprentissage sélectif et non-sélectif et connaissances acquises au contrôle d'un processus: évaluation d'un modèle simulé. *European Bulletin of Cognitive Psychology*, 9, 239-264.
- Meadows, D., Meadows, D., Zahn, E. & Milling, P. (1972). *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Metlay, D. (1975). On studying the future behavior of complex systems. In T.R.L. Porte (Hrsg.), *Organized social complexity* (S. 220-250). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Moray, N., Lootsteen, P. & Pajak, J. (1986). Acquisition of process control skills. *IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics*, 16, 497-504.
- Morecroft, J. (1988). System dynamics and microworlds for policymakers. *European Journal of Operational Research*, 35, 301-320.
- Müller, B. (1993). *Kognitive Fertigkeiten. Produktionen und das Prinzip der Gebrauchsspezifität*. Bonn: HoloS.
- Müller, B., Funke, J. & Buchner, A. (1994). Diskrete dynamische Systeme: Der Einfluß perzeptueller Merkmale auf Komposition und Transfer von Bediensequenzen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 41, 443-473.
- Müller, H. (1993). *Komplexes Problemlösen: Reliabilität und Wissen*. Bonn: HoloS.
- Müller, H., Funke, J. & Rasche, B. (1988). *Wechselseitige Abhängigkeiten: Zum Einfluß von Nebenwirkungen und Eigendynamik auf die Bearbeitung dynamischer Systeme* (Berichte aus dem Psychologischen Institut der Universität Bonn Nr. 14, Heft 1). Bonn: Psychologisches Institut der Universität Bonn.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Putz-Osterloh, W. (1981). Über die Beziehung zwischen Testintelligenz und Problemlöseerfolg. *Zeitschrift für Psychologie*, 189, 79-100.
- Putz-Osterloh, W. (1985). Selbstreflexionen, Testintelligenz und interindividuelle Unterschiede bei der Bewältigung komplexer Probleme. *Sprache & Kognition*, 4, 203-216.
- Putz-Osterloh, W. (1987). Gibt es Experten für komplexe Systeme? *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 63-84.
- Putz-Osterloh, W. (1993). Unterschiede im Erwerb und in der Reichweite des Wissens bei der Steuerung eines dynamischen Systems. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 40, 386-410.
- Putz-Osterloh, W., 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.
- Rasmussen, J. (1987). Cognitive control and human error mechanisms. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Hrsg.), *New technology and human error* (S. 53-61). Chichester: Wiley.
- Ray, W.S. (1955). Complex tasks for use in human problem-solving research. *Psychological Bulletin*, 52, 134-149.
- Reason, J. (1987). Generic error-modeling system (GEMS): A cognitive framework for locating common human error forms. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Hrsg.), *New technology and human error* (S. 63-83). Chichester: Wiley.
- Reichert, U. & Dörner, D. (1988). Heuristiken beim Umgang mit einem „einfachen“ dynamischen System. *Sprache & Kognition*, 7, 12-24.
- 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.
- Rost, J. & Strauß, B. (1993). Zur Wechselwirkung von Informationsdarbietung und mentalem Modell beim Umgang mit einem komplexen Problem. *Sprache & Kognition*, 12, 73-82.

- Roth, T. (1985). Sprachstatistisch objektivierbare Denkstilunterschiede zwischen „guten“ und „schlechten“ Bearbeitern komplexer Probleme. *Sprache & Kognition*, 4, 178-191.
- Roth, T., Meyer, H.A. & Lampe, K. (1991). Sprachgebrauch, Informationsstrukturierung und Verhalten in einer komplexen Problemsituation. *Sprache & Kognition*, 10, 28-38.
- 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.
- Schaub, H. (1990). Die Situationsspezifität des Problemlöseverhaltens. *Zeitschrift für Psychologie*, 198, 83-96.
- Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Huber.
- 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.
- Schmuck, P. (1992). Zum Zusammenhang zwischen der Effizienz exekutiver Kontrolle und dem mehrfachen Lösen eines komplexen Problems. *Sprache & Kognition*, 11, 193-207.
- Schorr, A. (Hrsg.). (1994). *Die Psychologie und die Methodenfrage. Reflexionen zu einem zeitlosen Thema*. Göttingen: Hogrefe.
- Seligman, M.E.P. (1975). *Helplessness. On depression, development, and death* (2nd ed.). New York: W. H. Freeman.
- Senge, P.M. & Stermann, J.D. (1992). Systems thinking and organizational learning: Acting locally and thinking globally in the organization of the future. *European Journal of Operational Research*, 59, 137-150.
- Singley, M.K. & Anderson, J.R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Spada, H. & Reimann, P. (1988). Wissensdiagnostik auf kognitionswissenschaftlicher Basis. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 9, 183-192.
- Stäudel, T. (1987). *Problemlösen, Emotionen und Kompetenz*. Regensburg: Roderer.
- Stäudel, T. (1988). Der Kompetenzfragebogen. Überprüfung eines Verfahrens zur Erfassung der Selbsteinschätzung der heuristischen Kompetenz, belastenden Emotionen und Verhaltenstendenzen beim Lösen komplexer Probleme. *Diagnostica*, 34, 136-148.

- Sterman, J.D. (1989). Misperception of feedback in dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43, 301-335.
- Sterman, J.D. & Meadows, D. (1985). STRATEGEM-2. A microcomputer simulation game of the Kondratiev cycle. *Simulation & Games*, 16, 174-202.
- 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., Hasselmann, D. & Hasselmann, G. (1993). Validitätsaspekte computer-gestützter Szenarien in der Managementdiagnostik. In A. Gebert & U. Winterfeld (Hrsg.), *Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie vor Ort* (S. 530-540). Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.
- Strohschneider, S. (1990). *Wissenserwerb und Handlungsregulation*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- Strohschneider, S. (1991). Problemlösen und Intelligenz: Über die Effekte der Konkretisierung komplexer Probleme. *Diagnostica*, 37, 353-371.
- 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.
- Tergan, S.-O. (1986). *Modelle der Wissensrepräsentation als Grundlage qualitativer Wissensdiagnostik*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Vollmeyer, R. & Holyoak, K.J. (1993). *Hypothesis-testing strategies in learning a complex dynamic system*. Vortrag gehalten auf der Fifth Annual Convention of the American Psychological Society, Chicago, June 25-28.
- 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.

Teil B: Aufbau der Szenarien