

Steuerung dynamischer Systeme durch Aufbau und Anwendung subjektiver Kausalmodelle¹

Von J. Funke

Mit 7 Abbildungen

Problemstellung

Komplexes Problemlösen ist in den vergangenen zehn Jahren mit Hilfe computersimulierter Systeme untersucht worden, an denen Probanden (Pbn) ihre Fähigkeit zur Systemsteuerung unter Beweis stellen sollten (vgl. zu einer Übersicht über bisher publizierte Studien Funke 1984b, S. 15–34). Allen Studien gemeinsam ist ihr Anspruch, eine neuartige Untersuchungssituation geschaffen zu haben, die sich wesentlich von den traditionell verwendeten Paradigmen der Problemlöseforschung abhebt (vgl. hierzu etwa Dörner, Kreuzig, Reither und Stäudel 1983, S. 19–26).

Gemeinsam ist allen diesen Studien auch eine Reihe von ungelösten Problemen. Neben Fragen untersuchungstechnischer Art (etwa bezüglich der Kommunikation zwischen Pb und System oder bezüglich der Gütebeurteilung von Maßnahmen des Pb) stellen sich auch Fragen nach theoretischen Modellen für den Umgang von Pbn mit diesen Systemen etwa bezüglich der subjektiven Repräsentation dynamischer Modelle oder bezüglich der Kontextabhängigkeit bestimmter Reaktionsformen. An anderer Stelle bin ich auf die hier erwähnten wie auch auf andere Probleme dieses Vorgehens ausführlicher eingegangen (vgl. Funke 1984a).

Hier soll ein Problem hervorgehoben werden, das m. E. zentralen Stellenwert besitzt, nämlich die Frage nach der Komplexität der Untersuchungssituation. Vorliegende Studien heben in überwiegender Zahl darauf ab, die Anzahl der beteiligten Variablen zu einem nicht unwichtigen Kriterium der Komplexität zu machen, wohingegen detailliertere Angaben über die Art der Vernetztheit nur selten gemacht werden (und wenn, dann auf einer nicht formalen Ebene!). Es sind mir wenige Untersuchungen bekannt, die in der Beschreibung des Reizmaterials so unpräzise und lückenhaft sind wie die Arbeiten dieses Themengebiets. Dabei ist zu konzedieren, daß die Beschreibung derart komplexen Reizmaterials einen wesentlich größeren Aufwand bedeutet als z. B. bei einem Experiment zur Konzeptbildung. Dennoch darf darauf nicht verzichtet werden.

Nachfolgend versuche ich zu zeigen, (a) wie die Terminologie multivariater autoregressiver Prozesse zur Beschreibung komplexer Systeme verwendet werden kann, (b) wie auf der Grundlage einer gezielten Konstruktion unterschiedlicher dynamischer Systeme Hypothesen über den Umgang von Pbn mit diesen Systemen abgeleitet werden können und

¹ Für hilfreiche Kommentare zu einer Erstfassung des Manuskripts danke ich Prof. J. Bredenkamp und Dipl.-Psych. E. Erdfelder.

(c) wie die Ergebnisse einer ersten Erkundungsstudie ausgefallen sind. Daß der hier vorgeschlagene Ansatz ebenfalls mit Problemen verbunden ist, zeigt die anschließende Diskussion der Vorgehensweise.

Zur Terminologie multivariater autoregressiver Prozesse

Neuere methodische Ansätze zur Beschreibung und Überprüfung kausaler Variablen-zusammenhänge finden sich im Kontext von Strukturgleichungsmodellen (vgl. Duncan, 1975; Goldberger, 1964, 1971; Jöreskog, 1978; u. v. a.) ebenso wie in der Theorie latenter Variablen (vgl. Bentler, 1980; Hamerle, 1982; Lazarsfeld, 1959; u. v. a.). Die formale Beschreibung kausaler Abhängigkeiten zwischen endogenen und exogenen Variablen erfolgt in dieser Arbeit in Form multivariater autoregressiver Prozesse (AR-Prozesse). Ich halte mich dabei an die von Steyer (1982, 1984) ausführlicher beschriebene Darstellung dieses Ansatzes.

Auf einem gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, \mathcal{A}, P) mit Ω als Menge der Elementarereignisse, \mathcal{A} als Sigmaalgebra daraus bildbarer einfacher und zusammengesetzter Ereignisse sowie P als Funktion, die jedem der Ereignisse $A \in \mathcal{A}$ eine feste Wahrscheinlichkeit zuordnet, wird ein stochastischer Prozeß definiert, der aus einer Familie $(Z(t), t \in T)$ stochastischer Vektoren $Z(t)$ besteht.

Unter einem stochastischen Vektor versteht man eine \mathcal{A} -meßbare Abb. der Ereignisse A in die reellen Zahlen \mathbb{R} , so daß der stochastische Vektor – und jede einzelne stochastische Variable – mit einer Verteilung ausgestattet ist. Autoregressiv heißen die Prozesse nicht deswegen, weil Variablen von ihren eigenen früheren Zuständen abhängig sind (dies ist nicht erforderlich), sondern weil der aktuelle Vektor von Variablen von früheren Zuständen dieses Vektors abhängt, Autoregression also nicht auf Variable-, sondern auf Vektor-Ebene vorliegt. Lediglich im univariaten Fall bezeichnet der Begriff „autoregressiv“ die Abhängigkeit einer Variablen von sich selbst; im multivariaten Fall ist die Bezeichnung dagegen so wie eben ausgeführt zu verstehen.

Ein autoregressiver Prozeß erster Ordnung (AR₁-Prozeß) läßt sich nun durch folgende drei Eigenschaften charakterisieren:

- Die Menge T ist diskret und besteht aus den natürlichen Zahlen (geordnete Indexmenge)
- Für alle $t \in T$ kann man die Abhängigkeit der R Variablen des Vektors $Z(t)$ von den R Variablen der vorangegangenen Zeitpunkte $Z(t-1), Z(t-2), \dots$, durch multiple Regressionsgleichungen bestimmen
- In einem AR₁-Prozeß wird die Abhängigkeit des Vektors $Z(t)$ von den vorangegangenen Vektoren $Z(t-1), Z(t-2), \dots$ ausreichend durch $Z(t-1)$ beschrieben.

In der Schreibweise für bedingte Erwartungen (vgl. Steyer, 1984) kann man dies auch so darstellen:

$$E[Z(t) | Z(t-1), \dots, Z(0)] f_s = AZ(t-1)$$

wobei A eine reellwertige $R \times R$ -Matrix und $E[Z(t) | Z(t-1), \dots, Z(0)]$ die bedingte Erwartung von $Z(t)$ unter $Z(t-1), \dots, Z(0)$ bedeutet. Die Matrix A enthält somit die ent-

scheidende Information, welche Variablen in $Z(t)$ wie stark von welchen Variablen in $Z(t-1)$ abhängen. Das Konzept eines AR₁-Prozesses kann ohne Probleme auf Prozesse k -ter Ordnung übertragen werden (AR_k-Prozesse).

Bislang habe ich von den stochastischen Vektoren $Z(t)$ eines AR_k-Prozesses gesprochen, ohne eine weitere Differenzierung der stochastischen Variablen vorzunehmen; dies soll nun nachgeholt werden. Zunächst einmal soll zwischen *endogenen* und *exogenen* Teilprozessen unterschieden werden: ein stochastischer Vektor $Z(t)$ enthalte x exogene und y endogene Variablen, die in den Teilvektoren $X(t)$ bzw. $Y(t)$ zusammengefaßt sind. Als exogene oder X -Variablen seien solche bezeichnet, die nie von anderen Teilprozessen abhängig, sondern höchstens von ihren eigenen vorangegangenen Zuständen determiniert werden. Endogene oder Y -Variablen sind dagegen immer auch von anderen Teilprozessen abhängig. Die Prozesse werden als *deterministisch* bezeichnet, wenn gilt:

$$E[Z(t) | Z(t-1), \dots, Z(0)] f_s = Z(t)$$

ansonsten hat man es mit einem *stochastischen* Prozeß zu tun, der wie folgt beschrieben wird:

$$Z(t) f_s = AZ(t-1) + F(t)$$

Durch die Unterscheidung endogener und exogener Teilprozesse läßt sich die Matrix A des direkten AR₁-Prozesses in vier Teilmatrizen zerlegen:

$$A = \begin{bmatrix} D & 0 \\ A_{YX} & A_{YY} \end{bmatrix}$$

Entsprechend der pfadanalytischen Notationsweise (vgl. Opp und Schmidt, 1976) bezeichnet das erste Subskript in der unteren Zeile die „abhängige“ (endogene), das zweite Subskript die unabhängige (exogene) Variable. Die Parameter der Teilmatrix D geben die Stärke an, mit der die exogenen Teilprozesse von Zeitpunkt zu Zeitpunkt aufrechterhalten werden. Nimmt man hier eine Einheitsmatrix an, bleiben einmal gegebene Werte von X -Variablen konstant erhalten (sofern keine weitere Änderung vorgenommen wird). Nimmt man eine Nullmatrix an, haben einmal gegebene Werte von X -Variablen eine „Schockwirkung“, d. h. sie nehmen im darauffolgenden Zeittakt den Wert Null an. Andere als Diagonalmatrizen sind für D nicht erlaubt, da gemäß der Definition einer exogenen Variablen diese höchstens von sich selbst abhängig sein kann. Die Teilmatrix 0 ist eine Nullmatrix, da gemäß obiger Definition die exogenen X -Variablen nicht von den endogenen Y -Variablen beeinflusst werden können. Die Teilmatrix A_{YX} enthält die Parameter der direkten AR₁-Abhängigkeit der Y - von den X -Variablen; hier sind keine Beschränkungen vorgesehen. Die Teilmatrix A_{YY} gibt schließlich die wechselseitige Abhängigkeit der endogenen Variablen untereinander an, was für die Bestimmung der Stabilität eines Prozesses von entscheidender Bedeutung ist (vgl. Steyer, 1982).

Zu unterscheiden sind direkter, indirekter und totaler Effekt einer exogenen Variablen. Als *totalen Effekt* bezeichnet man die Summe der direkten und indirekten Effekte. Der Parameter des *direkten Effekts* (π_{rs}) gibt an, um welchen Betrag sich erwartungsgemäß zwei Werte einer Variablen Z_r zum Zeitpunkt t_i und t_{i-k} unterscheiden, wenn sich die zugehörigen Werte einer anderen Variablen Z_s zum Zeitpunkt t_{i-k} um den Betrag Eins unter-

scheiden und zugleich alle übrigen Variablen konstant gehalten werden. Als *indirekten Effekt* von Z_s auf Z_r bezeichnet man jeden Effekt von Z_s auf Z_r , der erst über dritte Variablen Z_x vermittelt wird.

Die Beschreibung eines dynamischen Systems durch AR-Prozesse bezieht sich zunächst nur auf das ungestörte System, wie es ohne Eingriff einer V_p abläuft. Kommt es zu einem Eingriff, gelten zwar nach wie vor die gleichen Parameter für jeden Prozeß, aber die Vorhersage des Systemzustands ist bei „interrupted timeseries“ nicht mehr möglich, da die zukünftigen Interventionen nicht vorhersagbar sind. Neben die Beschreibung des ungestörten Systemablaufs durch AR-Prozesse tritt somit die Beschreibung des Steuerungsprozesses, mit dem ein Individuum in das System eingreift.

Gezielte Systemkonstruktion und Hypothesenableitung

Bisherige Simulationsprogramme wurden in dem Bestreben konzipiert, wenigstens Grundstrukturen des simulierten Gegenstandsbereichs realitätsnah abzubilden. Exemplarisch für diese Haltung hier ein Ausschnitt aus der Instruktion zum computersimulierten System „Lohhausen“ von Dörner und Mitarb. (1983):

„Lohhausen existiert natürlich nicht tatsächlich. Aber alle Verhältnisse in Lohhausen sind so, daß sie tatsächlich existieren könnten. Allerdings sind die Verhältnisse in Lohhausen einfacher als in der Realität, wiewohl immer noch kompliziert genug, um Ihnen Schwierigkeiten zu machen.“ (Dörner und Mitarb. 1983, S. 107).

Auf der einen Seite ist man sich also der Fiktivität, der verkürzten Abbildung der Realität durch das Simulationsmodell bewußt, auf der anderen Seite wird die Grenze zwischen realitätsnahen und realitätsfernen Verhältnissen im System gegenüber den Probanden verwischt. So überrascht es kaum, daß ein- und dasselbe Simulationsprogramm mit leichten Modifikationen einmal ein Gebiet in der Sahelzone abbilden soll („Dori“; vgl. Hesse, 1982), zum anderen aber auch den Verlauf einer Epidemie in einer kleinen Stadt darstellen kann (Hesse, Spies und Lürer, 1982; wobei für Grippe- und Pockenepidemie übrigens außer semantischen Unterschieden keine Differenzierungen im System vorgenommen werden, etwa unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten usw., obwohl solche Variablen vernünftigerweise anzunehmen sind, wie die Arbeit von Cliff und Haggett, 1984 zeigt).

Angesichts dieser Lage scheint es mir konsequent, ganz gezielt künstliche Systeme herzustellen, deren Realitätsnähe erst gar nicht behauptet werden muß (auch nicht gegenüber den Probanden), sondern deren Künstlichkeit ganz im Gegenteil zum Zwecke der Forschung genutzt werden kann. Entscheidend für die subjektiv empfundene Schwierigkeit eines komplexen Problems – ein Konzept, das von Hussy (1984a, b) betont wird – dürfte die Diskrepanz zwischen dem subjektiven Modell des Problemlösers und dem vom Versuchsleiter realisierten Programm sein, eine Distanz, die nach meinen Vorstellungen bislang zu wenig beachtet wurde.

Konstruktion von Systemen unterschiedlicher Komplexität

Um zu demonstrieren, daß Systemkomplexität auch anders als über die Anzahl beteiligter Variablen operationalisiert werden kann, bleibt die Variablenzahl in den nachfolgend vorgestellten künstlichen Systemen konstant, während die beteiligten Teilprozesse variieren. Aus Gründen der Einfachheit liegen drei X und drei Y -Variablen vor.

Die inhaltliche Einbettung erfolgt durch Variablenbezeichnungen aus ökologischem Kontext und steht – wie auch die anderen getroffenen Festlegungen – voll im Ermessen des Versuchsleiters. In Abb. 1 ist ein Grundmodell dargestellt.

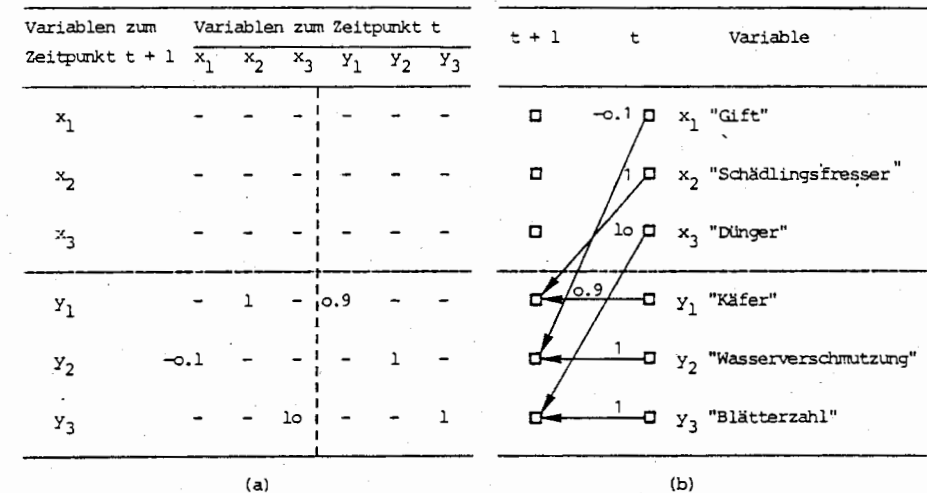


Abb. 1 Das willkürlich festgelegte Grundmodell der Untersuchung (a) als Parametermatrix, (b) in Form eines Pfeildiagramms (die Zahlen an den Pfeilen geben die Stärke des jeweiligen Teilprozesses an)

Die sechs Variablen des Grundmodells tragen die Bezeichnung „Gift“ (= X_1), „Schädlingsfresser“ (= X_2), „Dünger“ (= X_3), „Käfer“ (= Y_1), „Wasserverschmutzung“ (= Y_2) und „Blätterzahl“ (= Y_3). Die in Klammern angegebenen Variablenkürzel machen deutlich, daß den drei exogenen Variablen X_1 bis X_3 drei endogene Variablen Y_1 bis Y_3 gegenüberstehen.

Wie aus Abb. 1 hervorgeht, realisiert das Grundmodell einen AR_1 -Prozeß, d. h. der Zustand des Systems zum Zeitpunkt $t+1$ ist ausschließlich von den Werten in Zustand t abhängig. Die Parameter der einzelnen Teilprozesse sind von ihrer Größenordnung her gesehen so gewählt, daß sie vom Pbn durch Kopfrechnen leicht ermittelt werden können. Es handelt sich um einen deterministischen Prozeß.

Das in Abb. 1 dargestellte Grundmodell besitzt insofern eine „Einfachstruktur“, als jeder exogenen genau eine endogene Variable zugeordnet ist. Nach der Terminologie von Funke (1984b, S. 206) können die X -Variablen als uni-effektiv, die Y -Variablen als bi-dependent bezeichnet werden, da erstere jeweils genau einen Effekt hervorrufen, während letztere

von jeweils zwei Teilprozessen abhängen (vgl. das Konzept der „Effektanz- und Dependenzanalyse“ von Dörner und Mitarb. 1983, S. 420).

Das Grundmodell besitzt trotz erklärter Fiktivität eine gewisse Plausibilität, besser: man ist versucht, den dargestellten Prozessen eine plausible Interpretation zu unterlegen. „Gift“ reduziert in schwacher Form die „Wasserverschmutzung“, „Schädlingsfresser“ führen vermehrt zu „Käfern“, „Dünger“ erhöht die „Blätterzahl“ erheblich „Käfer“ sterben allmählich aus (alle Aussagen gelten ceteris paribus).

Um bei gleichbleibender Variablenzahl die Komplexität zu steigern, wurden zum Grundmodell weitere Teilprozesse hinzugefügt. Abb. 2 zeigt die vorgenommenen Ergänzungen. Wie man sieht, wird das Grundmodell um zwei resp. vier Teilprozesse erweitert (vgl. Abb. 2a und b), die je zur Hälfte die exogenen bzw. endogenen Variablen betreffen. In diesen Erweiterungen sind erstmals wechselseitige Abhängigkeiten zwischen den endogenen Variablen vorgesehen, die im Grundmodell noch nicht enthalten waren. Die oben angegebenen „Interpretationen“ der Teilprozesse sind entsprechend zu ergänzen. Damit liegen also insgesamt drei unterschiedlich stark vernetzte Systeme mit gleicher Variablenzahl vor bzw. genauer: bei gleicher Variablenzahl variiert die Anzahl der autoregressiven Teilprozesse.

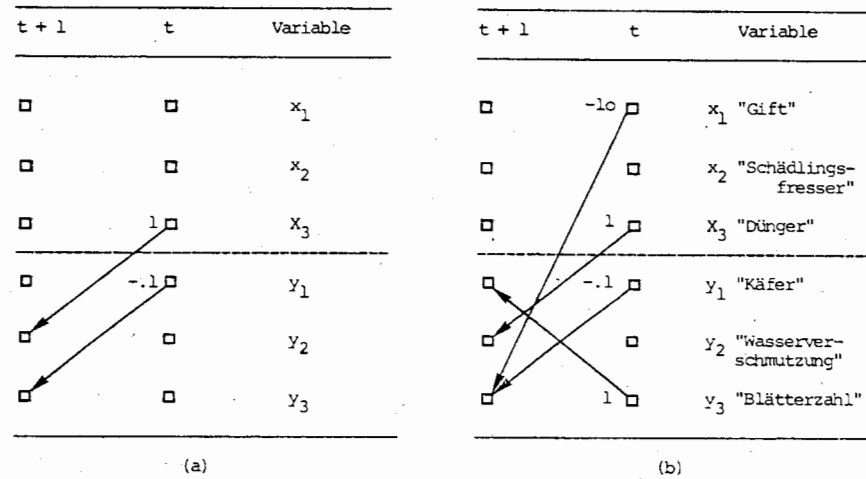


Abb. 2 Zwei Varianten des Grundmodells aus Abb. 1 mit wachsender Vernetztheit (aus Gründen der Übersicht sind nur die neu hinzukommenden Teilprozesse eingezeichnet)

Eine weitere Eigenschaft multivariater autoregressiver Prozesse soll für die willkürliche Systemkonstruktion nutzbar gemacht werden: nämlich die Unterscheidbarkeit von Systemen nach dem Grad der Differenzgleichung oder anders: nach dem Grad der Zeitverzögerung von dynamischen Prozessen. Abb. 3 zeigt, wie durch eine einfache Modifikation des AR₁-Modells aus Abb. 1 ein AR₂-Modell gemacht werden kann (für das man zwei Parametermatrizen benötigt).

Eine Intervention bei den Variablen X₁ und X₂ zum Zeitpunkt t führt erst zum Zeitpunkt t+2 zu einem sichtbaren Effekt, wirkt also um einen Takt verzögert. Die übrigen Teil-

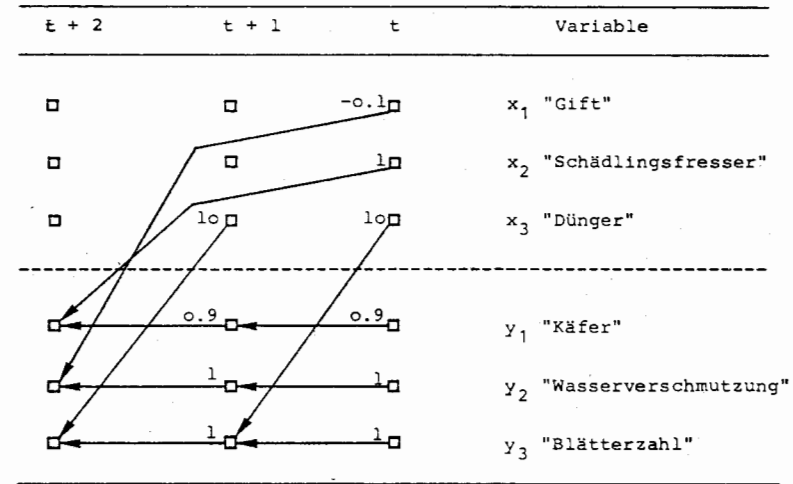


Abb. 3 Variante des Grundmodells aus Abb. 1 zwei Teilprozesse (x₁y₂ und x₂y₁) wirken zeitverzögert.

prozesse bleiben unverändert wirksam. Selbstverständlich kann man diese Zeitverzögerung nicht nur in das Grundmodell aus Abb. 1, sondern auch in den beiden Varianten mit steigendem Vernetztheitsgrad (vgl. Abb. 2) implementieren, sodaß insgesamt sechs Varianten (drei Vernetztheitsgrade jeweils als AR₁- und als AR₂-Modell) mit spezifischen Eigenschaften resultieren. Nachfolgend sollen einige Hypothesen über den Umgang von Pbn mit diesen dynamischen Systemen formuliert werden.

Hypothesen über den Umgang mit den konstruierten Systemen

Da bislang keine befriedigende Theorie über den Umgang von Personen mit dynamischen Systemen existiert und auch publizierte Arbeiten² eher unsystematisch einzelne Aspekte der Problemsituation variiert haben, sind die nachfolgenden Formulierungen als vorsichtiger Versuch zu betrachten, einen Rahmen für gezielte Vorhersagen zu schaffen. In diesem Punkt stimmen wir Dörner (1983, S. 20) zu, wenn er schreibt:

„Hinterher‘ kann man menschliches Handeln eigentlich immer ganz gut erklären. Es gibt hinterher fast nie einen Mangel der Hypothesen über die Ursachen psychischer Ereignisse ... Schwierigkeiten macht die *Voraussage* des Handelns.“

Die Voraussagen, die an dieser Stelle gemacht werden, beziehen sich zunächst auf die möglichen Effekte beim Umgang mit den eben geschilderten fiktiven dynamischen Systemen. Eine Generalisierung auf andere Situationen unterbleibt vorerst. Dieses Vorgehen unterscheidet sich bewußt von demjenigen, bei dem die an einem ganz spezifischen (und kaum spezifizierten) System gewonnenen Daten ex-post-facto stimmig interpretiert werden, die so empirisch fundierte Theorie als repräsentativ für den Bereich komplexer

² Nach Abfassung dieses Manuskripts erhielt ich die Arbeit von Schott, Neeb und Wieberg (1984), in der ebenfalls die systematische Variation eines einfachen Modells vorgenommen wird.

Probleme ausgegeben wird und ein Validierungsversuch dieser „Theorie“ unter Hinweis auf das „chaotische System Mensch“ und allen daraus resultierenden Implikationen unterbleibt. – Die Hypothesen beziehen sich auf einen Versuchsplan mit drei unterschiedlich stark vernetzten Systemen (Faktor A: Vernetztheit; Stufen: 6, 8, 10 Teilprozesse), die in zwei Formen existieren (Faktor B: Grad des AR-Prozesses; Stufen: AR₁, AR₂). Dieses „Reizmaterial“ ist im vorangegangenen Abschnitt ausführlich beschrieben worden.

Eine erste Prognose betrifft den Effekt wachsender Vernetztheit auf die Güte der internen Repräsentation, die in Anlehnung an Funke (1984b; vgl. auch Funke und Steyer, 1985) als „subjektives Kausalmodell“ (SK-Modell) bezeichnet wird. Behauptet wird ein monoton fallender Zusammenhang zwischen Güte des SK-Modells und Anzahl der am System beteiligten Teilprozesse. Diese Hypothese, die im Vergleich zu einer Linearitätshypothese schwächer ausfällt, d. h. mit mehr empirischen Ereignissen vereinbar ist, soll für die beiden Stufen des Faktors B (Zeitverzögerung) separat geprüft werden. Daraus resultieren somit folgende zwei wissenschaftliche Hypothesen (wH):

wH₁: Im Fall von AR₁-Prozessen besteht ein monoton fallender Zusammenhang zwischen der Güte des SK-Modells und der Anzahl der Teilprozesse.

wH₂: Im Fall von AR₂-Prozessen besteht ein monoton fallender Zusammenhang zwischen der Güte des SK-Modells und der Anzahl der Teilprozesse.

Den Effekt zeitverzögerter Prozesse auf die Repräsentationsgüte beschreibt die dritte Hypothese:

wH₃: Die Güte des SK-Modells sinkt, wenn anstelle von AR₁-Prozessen der Umgang mit AR₂-Prozessen tritt.

Dörner (1981) nennt im Zuge einer Aufzählung von Primärfehlern beim Umgang mit einem komplexen System an erster Stelle die mangelhafte Berücksichtigung zeitlicher Abläufe, an zweiter Stelle Schwierigkeiten im Umgang mit exponentiellen Entwicklungen. Beide Fehler sollten den Aufbau eines SK-Modells über AR₂-Prozesse erschweren.

Wie die Güte eines SK-Modells bestimmt werden kann, soll einem späteren Abschnitt vorbehalten bleiben. Wir unterstellen hier einstweilen, daß eine derartige Qualitätsbestimmung eines SK-Modells durch Vergleich mit dem objektiven Kausalmodell möglich ist. Bezeichnet man diese Eigenschaft eines SK-Modells als seine *Repräsentationsgüte*, kann man unter dem Begriff *Anwendungsgüte* die vom Pbn vorgenommenen, zielgerichteten Anwendungen seines SK-Modells bezüglich ihres Erfolges bewerten. Mit dieser Zweiteilung wird dem bekannten Unterschied zwischen Theorie und Praxis Rechnung getragen, d. h. es wird zugelassen, daß ein Pb zwar eine korrekte Repräsentation des Modells besitzt, aber in der konkreten Anwendung dieses Modells hinsichtlich der Erreichung einer spezifischen Zielvorgabe scheitert. Der umgekehrte Fall – korrekte Zielerreichung ohne korrekte Repräsentation – kann in zweierlei Weise interpretiert werden: entweder resultiert die Zielerreichung aus Zufall (z. B. bei großer Nähe des aktuellen zum geforderten Systemzustand) oder es muß der Fall vorliegen, daß der Pb richtig handelt, ohne sein handlungsleitendes Modell spezifizieren zu können („unbewußte“ Repräsentation).

Die Annahme unterschiedlicher Differenziertheitsgrade von Wissen findet man auch bei Greeno und Riley (1984), die theoretisches Verstehen als Kenntnis allgemeiner Prinzipien

von intrinsischem Verstehen als Konstruktion einer internen Repräsentation unterscheiden und für die erstgenannte Verstehensart drei Stufen der Wissensdifferenziertheit auf dem Kontinuum implizites vs. explizites Verstehen ansiedeln. Die von Greeno und Riley (1984) getroffene Unterscheidung von Problemschemata und Aktions-schemata, die mir nicht ganz klar wird, könnte der Unterscheidung von Repräsentations- und Anwendungsgüte zugrundeliegen. – Eine genaue Beschreibung der Gütemaße erfolgt im Abschnitt (Abhängige Variablen) weiter unten.

Um die eben formulierten wissenschaftlichen Hypothesen wH₁–wH₃ in adäquate statistische Hypothesen (sH) zu übersetzen, werden die erwarteten Mittelwertsunterschiede spezifiziert. Dieser Schritt, den Hager und Westermann (1983b) unter dem Aspekt der „Hypothesenvalidität“ betrachten, ist insofern nicht unproblematisch, da in aller Regel eine wH in mehrere sH überführt werden kann, die unterschiedlich streng den fraglichen Effekt testen.

Zunächst werden die Populationsmittelwerte durch jeweils zwei Indizes markiert, deren erster den Grad der Vernetztheit (Faktor A; 1=sechs, 2=acht, 3=zehn Prozesse) und deren zweiter den Grad des AR-Prozesses (Faktor B; 1=AR₁, 2=AR₂-Prozeß) kennzeichnet. Bei Randsummen wird der Index derjenigen Variable, über die summiert wird, durch einen Punkt ersetzt. Ein größerer Mittelwert soll jeweils einer besseren Leistung entsprechen.

Die erste wH sagt sinkende Repräsentationsgüte mit steigender Vernetztheit in den unverzögerten Systemen voraus. Diesen bedingten, gerichteten Haupteffekt von Faktor A unter der ersten Stufe des Faktors B kann man als sH₁₍₁₎ spezifizieren:

$$sH_{0(1)} : \mu_{11} \leq \mu_{21} \vee \mu_{21} \leq \mu_{31}$$

$$sH_{1(1)} : \mu_{11} > \mu_{21} \wedge \mu_{21} > \mu_{31}$$

Die Nullhypothese sH₀₍₁₎ enthält die zwei Ergebnismuster, deren Eintreten wH₁ erschüttert, wohingegen die Alternativhypothese sH₁₍₁₎ den in wH₁ erwarteten monotonen Abfall in Form einer Konjunktion zweier Mittelwertsunterschiede repräsentiert.

Die wH₂ behauptet ebenfalls einen monotonen Abfall der Gütemaße, diesmal jedoch für die zweite Stufe des Faktors B:

$$sH_{0(2)} : \mu_{12} \leq \mu_{22} \wedge \mu_{22} \leq \mu_{32}$$

$$sH_{1(2)} : \mu_{12} > \mu_{22} \wedge \mu_{22} > \mu_{32}$$

Die Interpretation von sH₀₍₂₎ und sH₁₍₂₎ erfolgt analog zu den eben beschriebenen statistischen Hypothesen.

Mit wH₃ wird eine schlechtere Repräsentation zeitverzögerter Systeme im Vergleich mit unverzögerten behauptet. Daraus kann man sH₁₍₃₎ ableiten:

$$sH_{0(3)} : \mu_{.1} \leq \mu_{.0}$$

$$sH_{1(3)} : \mu_{.1} > \mu_{.2}$$

Auch hier entspricht die Alternativhypothese sH₁₍₃₎ wiederum der wH eines gerichteten Mittelwertsunterschieds.

Angesichts der so spezifizierten Hypothesen stellt sich die Frage nach der adäquaten statistischen Prüfung. Tab. 1 zeigt die gewählte orthogonale Kontrastkodierung in Form von 5 Kontrasten, die den formulierten statistischen Hypothesen entsprechen.

Tabelle 1 Kontrastkodierung für die Hypothesenprüfung

Zelle	Kontrast				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
11	1	0	0	0	1
21	-1	1	0	0	1
31	0	-1	0	0	1
12	0	0	1	0	-1
22	0	0	-1	1	-1
32	0	0	0	-1	-1

Wie man sieht, repräsentieren die ersten zwei Kontraste einfache t -Tests zwischen μ_1 und μ_2 bzw. μ_2 und μ_3 unter der ersten Stufe von B . Beide Kontraste müssen signifikant von Null verschiedene Varianzanteile aufklären, um die Entscheidung zugunsten von wH_1 zu bewirken; natürlich muß das Vorzeichen der entsprechenden wie auch der folgenden t -Tests positiv ausfallen, da die Hypothese einen monotonen Leistungsabfall prognostiziert und die Vorzeichen der Kodiervariablen im Sinne der wH_n gewählt wurden. Die mit x_3 und x_4 bezeichneten Kontraste spezifizieren den Monotonie-Test unter der zweiten Stufe von B . Die Kodiervariable x_5 schließlich prüft die postulierte Überlegenheit der ersten über die zweite Stufe des Faktors B .

Das hier geschilderte Verfahren, das von Hager und Westermann (1983b) zur Prüfung eines monotonen Trends favorisiert wird, ist der Auswertung gemäß einer zweifaktoriellen Varianzanalyse überlegen, da letztere lediglich unspezifische Mittelwertsunterschiede aufdeckt. Dieses Vorgehen wäre jedoch mit den geschilderten wH_n nicht zu vereinbaren.

Durchführung einer experimentellen Studie³

Zur Klärung der drei vorgestellten Hypothesen bezüglich der Haupteffekte „Vernetztheit“ und „Zeitverzögerung“ sowie der Additivität der beiden genannten Variablen wurde ein Experiment mit dem bereits erwähnten „Reizmaterial“ durchgeführt. Nachfolgend werden einige versuchstechnische Details dargestellt, bevor ich im darauffolgenden Abschnitt auf die Ergebnisse zu sprechen komme.

Versuchsmaterial: Realisation der experimentellen Faktoren

Als Versuchsmaterial dienten die drei in Abb. 1 und 2 dargestellten Grundsysteme mit sechs, acht bzw. zehn beteiligten Teilprozessen. Um diese drei unterschiedlichen Vernetztheitsgrade mit dem Faktor Zeitverzögerung zu kreuzen, wurden die Abhängigkeiten zwi-

³ Ich danke den Studentinnen H. Gierke, P. Krings, M. Spelten und E. Wentura ganz herzlich für ihre intensive Mitarbeit bei Planung, Durchführung und Auswertung des Experiments im Rahmen eines einjährigen „Experimentalpsychologischen Praktikums“ an der Universität Trier.

sehen x_1 und y_2 sowie zwischen x_2 und y_1 auf jeder Vernetzungsstufe einmal unverzögert und einmal verzögert realisiert. Damit standen sechs verschiedene Varianten eines Ökosystems zur Verfügung.

Versuchspersonen

Zur apriori-Bestimmung des Stichprobenumfangs wurde willkürlich eine α - und β -Fehlerwahrscheinlichkeit von 0.10 zugelassen. Da wH_1 und wH_2 in Form einer Konjunktion von einfachen Alternativhypothesen ausgedrückt wurden, muß in diesem Fall keine Adjustierung der α -Irrtumswahrscheinlichkeiten vorgenommen werden, worauf Hager und Westermann (1983a; vgl. auch Bredenkamp 1980, S. 56f) hinweisen. Da $sH_{1(1)}$ oder $sH_{1(2)}$ dann fälschlich angenommen und damit wH_1 oder wH_0 fälschlich als bewährt gelten, wenn mindestens eine der beiden Hypothesen falsch ist und zugleich ein Fehler erster Art begangen wird, ist die Wahrscheinlichkeit dafür höchstens gleich α . Anders steht es dagegen um die fälschliche Ablehnung von $sH_{1(1)}$ oder $sH_{1(2)}$; sie erfolgt, wenn mindestens ein Fehler zweiter Art eintritt, sodaß eine β -Adjustierung erforderlich wird mit $\beta^* = \beta/2$.

Die Ermittlung optimaler Stichprobenumfänge (n^*) setzt neben der Festlegung von α und β eine Angabe über die erwarteten Mindesteffektstärken voraus. Unterstellt man für wH_1 , wH_2 und wH_3 jeweils große Mindest-Effekte (partiell R^2 von 0.26 nach der Konvention von Cohen, 1977), so ergibt sich nach den bei Cohen (1977) angegebenen Tabellenwerten für wH_3 ein Nonzentralitätsparameter $L=8.56$ für $\alpha=\beta=0.10$ und $u=1$ Prädiktor sowie für wH_1 und wH_2 ein $L=13.02$ für $\alpha=0.10$, $\beta^*=0.05$ und $u=2$ Prädiktoren. Nach Formel (9.4.6) von Cohen (1977, S. 445) findet man unter Zugrundelegung von partiellen $R^2_{y.x_1,x_2}=0.26$, $R^2_{y.x_3,x_4}=0.26$ sowie $R^2_{y.x_5}=0.26$ einen optimalen Stichprobenumfang n^* von 43 für wH_1 und wH_2 sowie ein n^* von 31 für wH_3 . Da diese Bedingungen davon ausgehen, bei additiven Effekten ein Gesamt- R^2 von mindestens 0.51 zu erreichen, wurde eine Stichprobenberechnung auch für geringere Mindesteffektstärken durchgeführt. Legt man ein Gesamt- R^2 von 0.30 fest, das anteilmäßig auf die mit den drei wH_n verbundenen sH_n verteilt werden soll, betragen die jeweiligen partiellen R^2 nunmehr $R^2_{y.x_1,x_2}=0.13$, $R^2_{y.x_3,x_4}=0.13$ sowie $R^2_{y.x_5}=0.13$ und damit $n^*=94$ für wH_1 und wH_2 sowie $n^*=64$ für wH_3 .

Die Zellbesetzungen lagen für die Bedingung „unverzögert“ bei 11, 12 und 11 (für niedrige, mittlere und hohe Vernetztheit), für die Bedingungen „verzögert“ bei 11, 10 und 10. Aus auswertungstechnischen Gründen wurde auf fünf zufällig ausgewählte Pbn verzichtet, um einen orthogonalen Versuchsplan mit $N=10$ pro Bedingung zu erhalten. Die unterschiedlichen Zellbesetzungen sind auf fehlerhafte Datenaufzeichnungen zurückzuführen und nicht mit den Experimentalbedingungen konfundiert. Die unter dem so erzielten Gesamt- N von 60 aufdeckbaren Mindesteffekte mit den angegebenen Irrtumswahrscheinlichkeiten belaufen sich auf ein partielles R^2 von 0.19 für wH_1 und wH_2 sowie auf 0.14 für wH_3 , was einem Gesamt- R^2 von 0.52 entspricht.

Bei den Probanden handelte es sich – mit einer Ausnahme – um Psychologie-Studenten

der ersten Semester, die für ihre freiwillige Teilnahme mit einer Bescheinigung über die abgeleisteten Versuchspersonenstunden „entlohnt“ wurden. Von einer Teilmenge ($N=43$) lagen Daten einer Experimentalversion des „Berliner Intelligenzbaukastens“ (Jäger, 1982) vor, eine weitere Teilmenge daraus ($N=42$) nahm auch zu einem früheren Zeitpunkt an einer Studie mit der „Schneiderwerkstatt“ teil, über die andernorts berichtet wird. Die Datenerhebung erfolgte in einem Zeitraum von knapp drei Wochen Ende April und Anfang Mai 1984.

Versuchsdurchführung

Wie bereits in früheren Studien mit computersimulierten Systemen (vgl. Funke, 1983; Funke und Hussy, 1984) sollte ein möglicher Versuchsleitereinfluß gering ausfallen. Daher wurde einem Kleincomputer die Versuchssteuerung und Datenregistrierung so weit wie möglich übertragen. Zunächst hatte der Proband eine dreiseitige Instruktion zu lesen; hier ein Ausschnitt daraus, der wesentliche Details der Versuchsdurchführung beschreibt:

„Stelle Dir bitte vor, Du wärest Kleingärtner und in Deinem Garten befände sich ein Baum. Dieser Baum hat eine bestimmte Anzahl Blätter, auf dem Baum sitzt eine bestimmte Anzahl Käfer und die Grundwasserverschmutzung hat einen bestimmten Betrag.

Du hast nun drei Möglichkeiten einzugreifen: Du kannst Dünger geben, kannst Gift geben, oder kannst Schädlingfresser auf den Baum setzen. Du weißt nicht, wie sich diese Maßnahmen auswirken. Gerade das sollst Du herausfinden. Dabei ist es wichtig, daß Du Dich nicht auf Deine Vorstellung, wie etwas wirken sollte, verläßt, sondern genau beobachtest, was geschieht. Es kann auch sein, daß manche Maßnahmen sich nicht sofort, sondern erst später auswirken.

Du sollst „Deinen Baum“ nun fünf Mal jeweils sechs Wochen lang „pflegen“. Zu Beginn hat der Baum eine Blätterzahl von 5000, 200 Käfer sitzen auf ihm, die Wasserverschmutzung liegt bei 3. Jeder der fünf Durchgänge beginnt mit diesem Zustand.

Während der ersten vier Durchgänge sollst Du herausfinden, wie Deine Maßnahmen den Zustand des Baumes beeinflussen. Dabei ist es völlig egal, wie „gut“ oder „schlecht“ es Deinem Baum geht. Erst im fünften Durchgang sollst Du dann ein ganz bestimmtes Ziel erreichen: Dein Baum soll 10000 Blätter haben es sollen sich noch 100 Käfer auf ihm befinden, und die Wasserverschmutzung soll 0 sein. Wenn Du diese Zahlen exakt erreichst, ist das natürlich toll, aber es ist auch schon prima, wenn Du ihnen einigermaßen nahe kommst.

Jetzt kommen einige wichtige technische Hinweise zum Umgang mit dem Computer. Du gibst Deine gewünschten Maßnahmen ein und der Computer zeigt Dir, was eine Woche später daraus geworden ist. Die Anzahl Dünger, Gift oder Schädlingfresser muß man jede Woche neu bestimmen: wenn Du also in der nächsten Woche wieder die gleiche Anzahl Schädlingfresser haben möchtest, mußt Du erneut diese Zahl eintippen.

Völlig anders als in der Wirklichkeit können hier auch negative Zahlen auftreten, d. h. es kann Dir also passieren, daß Du auf einmal -500 Käfer hast; laß Dich dadurch nicht verwirren, es läuft alles streng logisch ab. Genauso kannst Du auch „negative Maßnahmen“ treffen, z. B. kannst Du 10 Einheiten Dünger hinzugeben oder 10 Einheiten wegnehmen (-10), was genau das Gegenteil bewirkt.

Zur Tastatur findest Du eine Erläuterung auf einem separaten Blatt. Bei auftretenden technischen Schwierigkeiten kannst Du natürlich jederzeit fragen.

Uns interessiert, wieviel Du über die Verbindung zwischen den Variablen weißt. Deswegen wirst Du nach jedem Durchgang gebeten, die Verbindungen aufzumalen, wofür Du hier extra Blätter hast, pro Durchgang eines, auf denen Du Dir auch Notizen machen kannst.

Nun noch ein ausgedachtes Beispiel, wie das aussehen könnte . . .“.

Damit dürften der Ablauf eines Einzel-experiments und die vom Probanden zu erbringenden Tätigkeiten deutlich geworden sein. Während der gesamten Dauer einer Sitzung (im Schnitt etwa zwei Stunden) befand sich ein Versuchsleiter im Raum, um bei Bedarf mögliche Schwierigkeiten im Umgang mit dem Computer zu beheben und darauf zu achten, daß nach jedem der insgesamt fünf Durchgänge ein Pfeildiagramm des subjektiven Kausalmodells angefertigt wurde. Aus der Instruktion geht hervor, daß ein Proband zwei Phasen durchläuft:

- die Phase des möglichen *Wissenserwerbs* in Durchgang 1–4 mit beliebiger Manipulationsmöglichkeit des Systems,
- die Phase der gezielten *Wissensanwendung* in Durchgang 5 mit polytelischer Zielvorgabe.

Die einzelnen Phasen („Wochen“) eines Durchgangs wurden säulenartig auf dem Bildschirm des Computers präsentiert, wobei der obere Säulenteil den zu einer gegebenen Woche aktuellen Systemzustand der drei endogenen Variablen angibt, während der untere Teil die in dieser Woche realisierten Maßnahmen auf seiten der exogenen Variablen repräsentiert. Tab. 2 zeigt einen typischen Zwischenstand.

Tabelle 2 Präsentation des Systems auf dem Monitor (hier ein typischer Zwischenstand für das in Abb. 2a gezeigte System)

	Durchgang 1				
Woche:	1	2	3	4	5
Gartenzustand					
Käfer:	200	180	162	146	231
Wasser:	10	10	9	29	29
Blätter:	5000	4980	4962	5046	5031
Maßnahmen					
Gift:	0	10	-100	0	?
S-Fresser:	0	0	0	100	
Dünger:	0	0	10	0	

Aus Platzgründen konnten nur jeweils fünf Säulen simultan gezeigt werden, d. h. in der sechsten Woche waren die Werte der ersten Woche nicht mehr verfügbar. Die in der sechsten Woche getätigten Maßnahmen wurden in ihren Auswirkungen auf den Zustand der siebten Woche noch gezeigt. Zeitbeschränkungen für die Systemsteuerung bestanden nicht, sämtliche Zahlenwerte wurden aus Gründen der Einfachheit zur nächsten ganzen Zahl auf- bzw. abgerundet. Nach jedem Durchgang forderte der Computer den Pb zur Zeichnung des vermuteten Pfeildiagramms auf, vor dem fünften Durchgang wurden die zu erreichenden Zielwerte nochmals in Erinnerung gerufen.

Abhängige Variablen

Wie aus der Beschreibung des Versuchsablaufs bereits hervorgeht, liegen zwei Klassen von Daten vor: einmal die objektiven Systemdaten (also Eingriffe des Probanden und – daraus resultierend – Zustände des Systems), zum anderen die Angaben über die ver-

mutete Kausalstruktur in Form gezeichneter Pfeildiagramme auf Vordrucken, deren linke Seite drei benannte Rechtecke (die endogenen Variablen) und deren rechte Seite drei unbenannte Rechtecke für die exogenen Variablen enthielt. Da die drei formulierten Hypothesen beide Bereiche ansprechen, ist sowohl die Güte der subjektiven Repräsentation als auch die Qualität der Anwendung des Systemwissens, d. h. der Zielannäherung, zu bestimmen.

Die Repräsentationsgüte bezieht sich auf den Grad der Übereinstimmung von subjektivem und objektivem Pfeildiagramm. Hierbei wurden drei Ebenen unterschieden, nämlich Relations-, Richtungs- und Stärkewissen. Unter *Relationswissen*, der einfachsten der drei Ebenen, wird eine Übereinstimmung derart verstanden, daß eine Beziehung zwischen je zwei Variablen korrekt vermutet wird. *Richtungswissen* bezieht sich auf die korrekte Erkenntnis des Vorzeichens einer Variablenbeziehung, *Stärkewissen* schließlich betrifft darüberhinausgehend die Aufnahme des korrekten numerischen Werts einer Beziehung in das subjektive Modell, also die Erkenntnis der korrekten Stärke dieser Beziehung. Die bei dem gewählten Vorgehen aus logischen Gründen bestehende einseitige Abhängigkeitsstruktur der AVn untereinander ($\text{Relationswissen} \cong \text{Richtungswissen} \cong \text{Stärkewissen}$) bedeutet das Anlegen eines qualitativ abgestuften Maßstabs der Repräsentationsgüte, an dessen oberem Ende das Stärkewissen eines Pbn und an dessen unterem Ende die schwächste Repräsentationsform – das Relationswissen – steht. Für alle drei Ebenen wurden pro Proband und pro Übereinstimmung jeweils ein Punkt vergeben. Eine unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Teilprozesse unterblieb, da kein Teilprozeß wichtiger als der andere war. Ein Maß für die Repräsentationsgüte muß zweierlei Korrekturen vornehmen:

- (a) das Verhältnis richtig erkannter Teilprozesse zur Gesamtzahl vermuteter Teilprozesse (dieser „Sorgfaltsindex“ benachteiligt Viel-Ankreuzer, die Teilprozesse auf Verdacht annehmen und gelegentlich auch per Zufall richtig liegen);
- (b) das Verhältnis richtig erkannter Teilprozesse zur Gesamtzahl maximal richtiger Teilprozesse (dies macht die Werte von Probanden vergleichbar, die an Systemen mit unterschiedlichem Umfang gearbeitet haben).

Folgende Formel diene der Beurteilung der Güte des Systemwissens (GS):

$$GS = \frac{R}{R + F} * \frac{R}{R_{\max}}$$

wobei R = Punktzahl für richtiges Wissen,
 R_{\max} = maximale Punktzahl für richtiges Wissen
 F = Punktzahl für falsches Wissen.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Hat eine Vp drei richtige bei sechs zu erkennenden Teilprozessen vermutet, resultiert ein $GS = (3/3) * (3/6) = 0.5$; hat sie zusätzlich drei falsche Teilprozesse vermutet, resultiert ein $GS = (3/6) * (3/6) = 0.25$. Einen Wert $GS = 0.5$ erzielt auch eine Vp, die fünf von maximal zehn Teilprozessen fehlerfrei identifiziert. Der so für die drei Ebenen des Systemwissens bestimmbar Index GS ist über unterschiedlich stark vernetzte Systeme hinweg vergleichbar, schwankt zwischen 0 (=kein richtiges Systemwissen) und 1 (=nur richtiges Systemwissen) und reagiert nicht fälschlich auf

„Vielschreiber“, die zwischen fast jedem Variablenpaar eine Beziehung vermuten und dabei auch einmal (zufällig) richtig liegen. Zur Bewertung wurden die Unterlagen des 5. Durchgangs herangezogen, da sie das größte Systemwissen eines Probanden enthalten sollten. Gab es für diesen Durchgang keine Unterlagen mehr (weil das System bereits erkannt worden war, was unter der leichten Bedingung gelegentlich vorkam), wurde auf die Unterlagen des zuletzt bearbeiteten Durchgangs zurückgegriffen.

Zur *Bestimmung der Anwendungsgüte* mußte der vorgegebene Zielzustand (siehe Instruktion) mit dem vom Probanden erreichten Systemzustand verglichen werden. Die naheliegende Form der Abstandsbestimmung via einfachem oder gewichtetem Distanzmaß bringt Probleme mit sich. Einfache Distanzmaße verbieten sich schon durch die unterschiedlichen Wertebereiche, in denen die beteiligten Zielvariablen variieren: eine Abweichung von 1 bei einem Zielwert 10000 ist anders zu bewerten als die gleiche Abweichung bei einem Zielwert 0. Bei einem gewichteten Distanzmaß fehlen rationale Kriterien für die Gewichtung. Folgende zweistufige Strategie wurde daher eingeschlagen. Zunächst einmal erfolgte für jede der drei Zielvariablen Y_1 bis Y_3 eine Rangordnung über die sechs Wochen des letzten Durchgangs einer Person in bezug auf die Zielnähe; die Woche mit dem niedrigsten Rangsummenwert wurde dann ausgewählt und in den zweiten Schritt eingebracht, da es wegen des dynamischen Charakters nicht immer gelang, einen einmal erreichten „guten“ Zustand bis zum letzten Zeittakt aufrechtzuerhalten. Ein Beispiel demonstriert den ersten Teil des Vorgehens (hier Daten von drei Wochen bei einer Person A; in Klammern: Rangplatz):

Variable	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Ziel
Y_1	180 (3)	190 (2)	195 (1)	200
Y_2	10 (4)	20 (2)	30 (3)	0
Y_3	12000 (2)	10100 (1)	14000 (3)	10000
Rangsumme:	(6)	(5)	(7)	

Im Beispielfall werden für Person A die Daten von Woche 2, die die niedrigste und damit beste Rangsumme erzielt haben, weiter verarbeitet. Die Daten der „besten“ Woche jedes Probanden werden nun variablenweise in eine Rangordnung über die Probanden hinweg gebracht (gemessen an der Zielvorgabe), die jeweiligen Rangplätze aufsummiert und so das Gütemaß für die Wissensanwendung erzielt. Wiederum soll ein Beispiel den zweiten Teil des Vorgehens veranschaulichen (in Klammern: Rangplatz):

Person	Variable Y_1	Variable Y_2	Variable Y_3	Rangsumme
A	190 (2)	20 (4)	10100 (2)	(8)
B	50 (3)	1 (2)	12000 (4)	(9)
C	200 (1)	10 (3)	11050 (3)	(7)
D	20 (4)	0 (1)	10000 (1)	(6)
Ziel:	200	0	10000	

Somit liegt die Reihenfolge der Probanden $D-C-A-B$ fest. Der ermittelte Rangsummenwert bildet die abhängige Variable für den Grad des Anwendungswissens. Bei insgesamt 60 Pbn schwankt der erreichbare Wert zwischen 3 (auf allen drei Variablen den ersten Platz erzielt) und $3 \cdot 60$ (auf allen drei Variablen den letzten Platz belegt).

Ergebnisse des Experiments

Zur Überprüfung der formulierten wissenschaftlichen Hypothesen wurden statistische Analysen über die nach dem oben beschriebenen Verfahren bestimmten AVn Relations-, Richtungs- und Stärkewissen sowie Anwendungsgüte (Rangplatz) durchgeführt, deren Resultate nachfolgend vorgestellt werden. Außerdem sind Ergebnisse zu einigen weiteren interessanten Variablen zu berichten.

Entsprechend der in Tab. 1 gezeigten Kontrastkodierung wurden t -Tests über die abhängigen Variablen des Systemwissens gerechnet, deren Ergebnisse in Tab. 3 zusammenfassend dargestellt sind.

Tabelle 3 Ergebnisse der t -Tests über die AVn Systemwissen gemäß den in Tab. 1 spezifizierten Kontrasten

Kontrast	Relationswissen			Richtungswissen			Stärkewissen		
	$R^2_{part.}$	β	$t_{(58)}^*$	$R^2_{part.}$	β	$t_{(58)}$	$R^2_{part.}$	β	$t_{(58)}$
x_1	.164	.575	4.47	.173	.528	3.95	.184	.525	3.86
x_2	.087	.341	2.65	.037	.222	1.67	.027	.190	1.40
x_3	.020	.079	0.61	.032	.181	1.36	.027	.140	1.03
x_4	.012	-.126	-0.98	.000	.004	0.03	.002	-.052	-0.39
x_5	.046	.216	1.94	.035	.188	1.62	.012	.110	0.93

* $t_{crit} (df=58, \alpha \leq 0.10 \text{ einseitig}) = 0.85$

Neben den partiellen R^2_i -Werten sind die Ergebnisse der entsprechenden t -Tests sowie die jeweiligen Beta-Gewichte der Prädiktoren aufgeführt. Die Interkorrelationen der drei AVn zur Repräsentationsgüte sind hoch: zwischen Relations- und Richtungswissen 0.853, zwischen Relations- und Stärkewissen 0.821 sowie zwischen Richtungs- und Stärkewissen 0.886. Die Korrelationen von Relations-, Richtungs- und Stärkewissen zum Maß der Anwendungsgüte (Rangplatz) liegen bei -0.556 , -0.605 und -0.575 .

Die Ergebnisse der t -Tests sollen nun hinsichtlich der drei wHn beurteilt werden. Für die Annahme von wH_1 , repräsentiert durch die Kontraste x_1 und x_2 , sprechen die Resultate auf allen Ebenen des Systemwissens: Auf der Stufe von AR_1 -Prozessen sinkt mit wachsender Vernetztheit die Wissensrepräsentation; die Mittelwerte der AV Relationswissen betragen unter den drei Vernetztheitsstufen 0.77, 0.43 und 0.32, bei der AV Richtungswissen 0.58, 0.25 und 0.19, bei der AV Stärkewissen 0.52, 0.14 und 0.12.

Die in gleicher Form für AR_2 -Prozesse behauptete monotone Abnahme des Systemwis-

sens bei steigender Vernetztheit ($=wH_2$) hat sich dagegen nicht bewährt: Zwar zeigen sich für zwei der drei Maße Mittelwertsunterschiede zwischen leichter und mittlerer Vernetztheit (Kontrast x_3), jedoch kann Kontrast x_4 hier keine weitere Stützung liefern, sondern zeigt sogar gegenläufige Trends an. Die Mittelwerte der drei Vernetztheitsstufen betragen hier 0.39, 0.24 und 0.41 bei Relations-, 0.27, 0.10 und 0.20 bei Richtungs- sowie 0.21, 0.06 und 0.19 bei Stärkewissen. Abb. 4 zeigt die Mittelwertsverläufe der drei AVn über die drei Stufen des Faktors A getrennt nach den zwei Stufen des Faktors B.

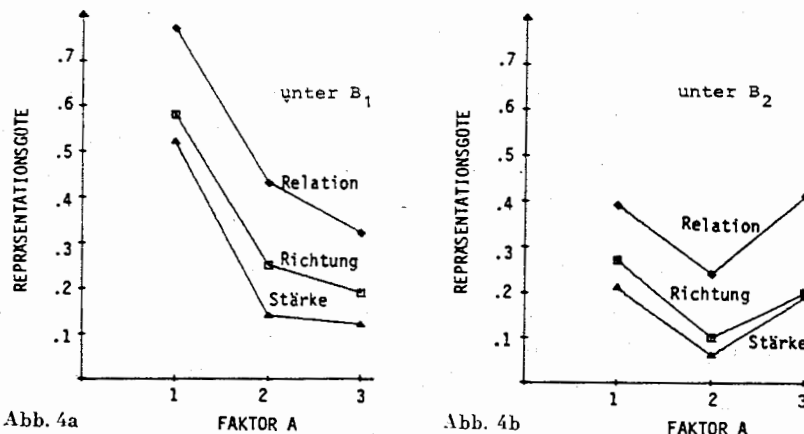


Abb. 4a

Abb. 4b

Abb. 4 Mittelwerte der drei AVn des Systemwissens über die drei Stufen des Faktors A für AR_1 - ($=a$) und AR_2 -Prozesse ($=b$)

Die mit wH_3 behauptete bessere Repräsentation von AR_1 - gegenüber AR_2 -Prozessen bestätigt der in Tab. 3 gezeigte Kontrast x_5 .

Mittelwerte für AR_1 - und AR_2 -Bedingung betragen 0.51 und 0.35 für Relations-, 0.34 und 0.19 für Richtungs- sowie 0.26 und 0.15 für Stärkewissen; Abb. 5 veranschaulicht diese Werte.

Betrachtet man schließlich die Ergebnisse zu dem als „Anwendungsgüte“ bezeichneten Bereich, bietet die durchgeführte Rangvarianzanalyse über die entsprechende AV einen

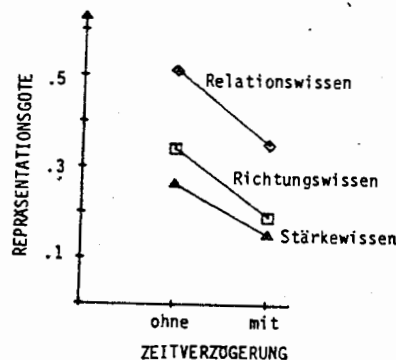


Abb. 5 Mittelwerte der AVn des Systemwissens unter den beiden Stufen des Faktors B

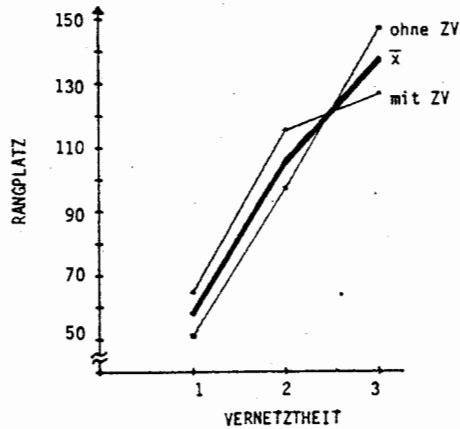


Abb. 6 Mittelwerte der AV „Anwendungsgüte“ unter den sechs verschiedenen Bedingungen

bedeutsamen Effekt des Faktors A sowie eine Wechselwirkung, nicht aber einen Effekt des Faktors B. Abb. 6 zeigt die mittleren Rangplätze in den verschiedenen Gruppen. Danach erzielen die Gruppen mit wachsender Vernetztheit schlechtere Rangplätze hinsichtlich der Anwendungsgüte. Der Effekt zeitverzögerter Systeme tritt demgegenüber nicht in Erscheinung. Eine detaillierte Interpretation der Effekte unterbleibt wegen der Problematik mehrfaktorieller Rangvarianzanalysen, über die bei Erdfelder und Bredenkamp (1984) berichtet wird.

Tabelle 4 Einfache Produktmoment-Korrelationen zwischen den Gütemaßen und jeder der zwölf Zellen des Berliner Intelligenzstrukturmodells von Jäger sowie multiple R^2 zwischen allen Intelligenzprädiktoren und dem jeweiligen Gütemaß (N=43)

Intelligenzdimension		Gütemaß			
Material	Operation	Relation	Richtung	Stärke	Rangplatz
N ^a	B				
N	G	0.15		0.12	
N	K				
N	E	-0.20			
V	B				
V	G	0.23		0.23	(-0.15) ^c
V	K	0.28	0.27	0.37	(-0.17)
V	E				(0.15)
F	B				(-0.12)
F	G			0.16	
F	K			0.12	(-0.10)
F	E		0.12	0.12	
Multiples R^2		0.236	0.148	0.237	(0.176)

^a N = numerisch, V = verbal, F = figural; B = Bearbeitungsgeschwindigkeit, G = Gedächtnis, K = Kapazität, E = Einfallsreichtum

^b Es werden nur Korrelationen $\geq (0.10)$ aufgeführt

^c Die Werte der AV Rangplatz sind wegen der entsprechenden Skalenqualität nur unter Vorbehalt zu interpretieren

Interessant ist die Beziehung der Gütemaße zu Intelligenzskalen, wie sie etwa durch die zwölf Zellen des Berliner Intelligenzstrukturmodells von Jäger (1982) und seinen Mitarb. repräsentiert werden. Tab. 4 gibt Auskunft über diese Zusammenhänge.

Einem Vorschlag von Jäger folgend, wurden die Rohwerte nicht über die jeweils andere Dimension des zweidimensionalen Modells agglomeriert, um Informationen auf Zellebene zu erhalten. Wie Tab. 4 zeigt, ist das Ergebnismuster unbefriedigend: Sowohl die insgesamt durch Intelligenzvariablen aufgeklärte Varianz bleibt bedeutungslos (die globalen F-Tests erzielen Werte unter Eins) wie auch die bei einzelnen Zellen zu erkennenden Zusammenhänge zu den Gütemaßen sind gering.

Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse liefern erste Hinweise auf Einflußgrößen bei der Bearbeitung dynamischer Systeme. Im Rahmen der realisierten Untersuchung kann das Annahmefüge über Determinanten des Systemwissens und der Anwendungsgüte präzisiert werden.

Die Behauptung monoton sinkenden Systemwissens mit wachsender Systemvernetztheit läßt sich für Systeme ohne Zeitverzögerung aufrechterhalten: Unter verschieden „scharfen“ Operationalisierungsformen findet man den angegebenen Effekt in der prognostizierten Richtung. Anders sieht es dagegen bei Systemen mit Zeitverzögerung aus. Den monotonen Abfall des Systemwissens erhält man nur für den Kontrast x_3 bestätigt, der die leichte mit der mittleren Vernetztheitsbedingung vergleicht. Ein Ausbleiben weiterer Abnahme des Systemwissens unter der höchsten realisierten Vernetztheitsbedingung könnte unter Hinzunahme nicht-kognitiver Einflußfaktoren plausibel gemacht werden, indem man unter dieser schwierigsten Versuchssituation etwa das Vorliegen einer beson-

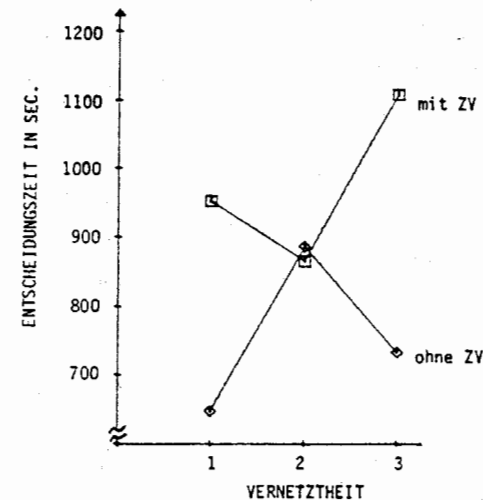


Abb. 7 Mittlere Bearbeitungszeiten für einen Durchgang getrennt nach den experimentellen Bedingungen

deren „Herausforderung“ an die Vp annimmt. Das System verhält sich derart undurchschaubar, daß man angesichts der (bekannt) deterministischen Struktur nun doch als Vp versuchen möchte, wenigstens etwas von dem „Nebel“ zu lüften. Dies sollte sich in einer Erhöhung der Gesamtbearbeitungszeit niederschlagen, durch die eine weitere Verschlechterung des Systemwissens kompensiert würde. Abb. 7 zeigt die mittleren Bearbeitungszeiten für einen Durchgang unter jeder der sechs Bedingungen.

Wie man erkennt, ist der zeitliche Aufwand für Systeme ohne Zeitverzögerung anders als in solchen mit Verzögerung. Unter Bedingung $A_3 B_2$ liegt die Bearbeitungszeit um knapp 30% über dem Gesamtmittel, ein Befund, der die oben angeführte Interpretation stützt. Bei gleichen Bearbeitungszeiten wäre ein monotoner Leistungsabfall auch bei AR_2 -Prozessen möglich.

Eine andere Erklärung des ausbleibenden monotonen Abfalls von Systemwissen bei AR_2 -Prozessen bezieht sich auf einen erkennbaren „Bodeneffekt“: Insbesondere für die höherwertigen Wissensarten liegen die mittleren Werte am unteren Ende der Skala, was eine weitere Differenzierung von Nicht-Wissen verhindert. Andere Formen der Wissensdiagnostik wären an dieser Stelle wünschenswert, mit Hilfe derer eine „Skalierung des Unwissens“ möglich wird. Man könnte allerdings auch eine „Schwellenannahme“ treffen derart, daß oberhalb eines gewissen Komplexitätsgrades Systemwissen nur sehr langsam aufgebaut werden kann. Überlegungen zum Verhältnis von aufgenommener Systeminformation und Zeitdauer der Systemexposition könnten sich daran anknüpfen.

Die Bedeutung der Einflußgröße „Zeitverzögerung“ fällt – wenn man sich auf die Höhe der Koeffizienten der t -Tests bezieht – vergleichsweise schwach aus. Dies ist insofern aufschlußreich, als man die starken Effekte von Faktor A auf Kapazitätsbegrenzungen zurückführen kann, während die Effekte von Faktor B eher „operative“ Fähigkeiten (Identifikation) betreffen.

Das hier in Form einer Pilotstudie vorgestellte Konzept einer systematischen Konstruktion von Systemen mit bestimmten Eigenschaften bedarf weiterer Ausarbeitung, um seine volle Tragweite zu entfalten. Wesentlichen Gewinn verspricht dieser Ansatz, wenn die vielfältigen Möglichkeiten der Komplexitätsvariationen in ihren isolierten wie auch kombinierten Auswirkungen untersucht werden. Dies kann nicht in einer einzelnen Arbeit erfolgen, sondern bildet den Gegenstand eines Forschungsprogramms, dessen weitere Ausarbeitung demnächst vorgelegt werden soll.

Zusammenfassung

Die Arbeit beschäftigt sich mit dem Umgang von Personen mit computersimulierten dynamischen Systemen, bei denen Steuerungsaufgaben übernommen werden. Im Unterschied zu bisherigen Arbeiten, in denen realitätsangenehmere Systeme mit unbekanntem Systemeigenschaften verwendet wurden, erfolgt hier die Konstruktion eines künstlichen Systems mit bekannter formaler Struktur, das im ökologischen Kontext angesiedelt ist. Im Zusammenhang mit Hypothesen über den Einfluß von Vernetztheit und Zeitverzögerung auf die Konstruktion eines subjektiven Modells über den simulierten Bereich wird ein Experiment mit den Faktoren „Anzahl der autoregressiven Prozesse“ (Vernetztheit; drei Stufen) und „Grad der autoregressiven Prozesse“ (Zeitverzögerung; zwei Stufen) geschildert, an dem $N=60$ Studenten teilnahmen. Erfasst wurden die Güte der Systemrepräsentation durch die Vp („Systemwissen“)

sowie deren Fähigkeit, eine vorgegebene polytelische Zielsituation anzusteuern („Anwendungswissen“). Die Ergebnisse zeigen, daß die eingetretenen Vernetztheitseffekte die ebenfalls beobachtbaren Verzögerungseffekte an Stärke weit übertreffen und daß zumindest im Fall von AR_1 -Prozessen ein monotoner Abfall der Güte der Wissensrepräsentation mit wachsender Vernetztheit einhergeht. Die Diskussion betont neben dem möglichen (unkontrollierten) Einfluß motivationaler Faktoren die Bedeutung der gefundenen Ergebnisse für eine Theorie subjektiver Kausalmodelle. Mögliche Ursachen für die nicht aufgefundenen Zusammenhänge zwischen Intelligenztestleistung und den Gütemaßen werden erläutert.

Summary

The present article is concerned with the control behavior of people which interact with a dynamic computersimulated system. In contrast to recent studies in which reality-like systems with unknown properties were used, here a fictive system with known formal structure, embedded in ecological context, is constructed. Hypotheses about the effects of connectivity and effects of time-delayed processes on the construction of a subjective model about the simulated system lead to an experiment with the factors „connectivity“ (3 levels) and „time-delay“ (2 levels). Quality of system representation as well as the competence of reaching a defined state of the system were measured ($N=60$ students). The results show that the connectivity-effect is more powerful than the effect of time-delayed processes and that the postulated monotonic decline of knowledge representation with growing connectivity at least under the condition „no time-delay“ can be shown. The discussion points to the potential uncontrolled effects of motivation and on the implications of the results for a theory of subjective causal models about the simulation system. Causes for a failing interrelation between intelligence test scores and quality scores are also discussed.

Резюме

Содержанием данного исследования явилось взаимодействие испытуемых с динамическими системами, стимулированными на ЭВМ, которое включало задачи управления. В отличие от предыдущих работ, где применялись приближенные к реальности системы с неизвестными системными свойствами, для данного исследования была сконструирована искусственная система с известной формальной структурой и заключена в экологический контекст. В связи с гипотезами о влиянии переплетенности и временной задержки на конструкцию субъективной модели в симулированной области описывается эксперимент с факторами: «число авторегрессивных процессов» (переплетенность; три ступени) и «степень авторегрессивных процессов» (временная задержка; две ступени), в котором участвовали 60 студентов. Учитывалось качество репрезентации системы испытуемыми (знание системы) и их способность к достижению заданной целевой ситуации (примененное знание). Результаты показали, что проявившиеся эффекты переплетенности по силе значительно превосходят, также наблюдаемые в эксперименте эффекты временной задержки, и что, по крайней мере, в случае AR_1 -процессов при увеличении переплетенности имеет место монотонный спад качества репрезентации знаний. В дискуссии подчеркивается наряду с возможным (неконтролируемым) влиянием мотивационных факторов значение полученных результатов для теории субъективных каузальных моделей. Указываются возможные причины необнаружившихся связей между данными интеллектуальной диагностики и использованным качественным показателем.

Literatur

- Bentler, P. M.: Multivariate analysis with latent variables: Causal modeling. *Ann. Rev. Psychol.* 31 (1980) 419–456.
 Bredekamp, J.: Theorie und Planung psychologischer Experimente. Darmstadt: Steinkopff, 1980.
 Cliff, A.; Haggett, P.: Insuläre Epidemien. *Spektrum der Wissenschaft* 6 (1984) 50–58.

- Cohen, J.: Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2. Aufl. New York: Academic Press 1977.
- Dörner, D.: Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität. Psychol. Rundsch. 32 (1981) 163–179.
- Dörner, D.: Empirische Psychologie und Alltagsrelevanz. In: Psychologie in der Veränderung. Perspektiven für eine gegenstandsangemessene Forschungspraxis. Hrsg. Jüttemann, G., Weinheim: Beltz 1983. S. 13–29.
- Dörner, D.; Kreuzig, H.-W.; Reither, F.; Stäudel, T.: Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität. Bern: Huber 1983.
- Duncan, O. D.: Introduction to structural equation models. New York: Academic Press 1975.
- Erdfelder, E.; Bredenkamp, J.: Kritik mehrfaktorieller Rangvarianzanalysen. Psychol. Beitr. 26 (1984) 263–282.
- Funke, J.: Einige Bemerkungen zu Problemen der Problemlöseforschung oder: Ist Testintelligenz doch ein Prädiktor? Diagnostica 29 (1983) 283–302.
- Funke, J.: Diagnose der westdeutschen Problemlöseforschung in Form einiger Thesen. Sprache & Kognition 3 (1984 a) 159–172.
- Funke, J.: Komplexes Problemlösen: Kritische Bestandsaufnahme und weiterführende Perspektiven. (Dissertation, Photokopie). Fachbereich I der Universität. Trier 1984b.
- Funke, J.; Hussy, W.: Komplexes Problemlösen: Beiträge zu seiner Erfassung sowie zur Frage der Bereichs- und Erfahrungsabhängigkeit. Z. Exp. Angew. Psychol. 31 (1984) 19–38.
- Funke, J.; Steyer, R.: Komplexes Problemlösen als Konstruktion und Anwendung von subjektiven Kausalmodellen. In: Bericht über den 34. Kongreß der DGfPs in Wien. Hrsg. Albert, D., Göttingen: Hogrefe 1985. S. 264–267.
- Goldberger, A. S.: Econometric theory. New York: Wiley 1964.
- Goldberger, A. S.: Econometrics and psychometrics: A survey of communalities. Psychometrika 36 (1971) 83–107.
- Greeno, J. G.; Riley, M. S.: Prozesse des Verstehens und ihre Entwicklung. In: Metakognition, Motivation und Lernen. Hrsg. Weinert, F. E.; Kluwe, R. H., Stuttgart: Kohlhammer 1984. S. 252–274.
- Hager, W.; Westermann, R.: Entscheidung über statistische und wissenschaftliche Hypothesen: Probleme bei mehrfachen Signifikanztests zur Prüfung einer wissenschaftlichen Hypothese. Z. Sozialpsychol. 14 (1983 a) 106–117.
- Hager, W.; Westermann, R.: Zur Wahl und Prüfung statistischer Hypothesen in psychologischen Untersuchungen. Z. Exp. Angew. Psychol. 30 (1983 b) 67–94.
- Hamerle, A.: Latent-Trait-Modelle: Die meßtheoretische und multivariate statistische Analyse kategorialer Reaktionsmodelle. Weinheim: Beltz 1982.
- Hays, W. L.: Statistics. New York: Holt, Rinehart and Winston 1970.
- Hesse, F. W.: Effekte des semantischen Kontexts auf die Bearbeitung komplexer Probleme. Z. Exp. Angew. Psychol. 29 (1982) 62–91.
- Hesse, F. W.; Spies, K.; Lüer, G.: Einfluß motivationaler Faktoren auf das Problemlöseverhalten im Umgang mit komplexen Problemen. Z. Exp. Angew. Psychol. 30 (1983) 400–424.
- Hussy, W.: Denkpsychologie. Ein Lehrbuch. Bd. 1. Geschichte, Begriffs- und Problemlöseforschung, Intelligenz. Stuttgart: Kohlhammer 1984 a.
- Hussy, W.: Zum Begriff der Problemschwierigkeit beim komplexen Problemlösen. Trierer Psychologische Berichte 11, Heft 4. Trier: 1984 b.
- Jäger, A. O.: Mehrmodale Klassifikation von Intelligenzleistungen: Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. Diagnostica 28 (1982) 195–225.
- Jöreskog, K. G.: Structural analysis of covariance and correlation matrices. Psychometrika 43 (1978) 443–477.
- Lazarsfeld, P. F.: Latent structure analysis. In: A study of a science. Hrsg. Koch, S., Vol. 3. New York: McGraw-Hill 1959. S. 476–543.
- Opp, K.-D.; Schmidt, P.: Einführung in die Mehrvariablenanalyse. Grundlagen der Formulierung und Prüfung komplexer sozialwissenschaftlicher Aussagen. Reinbek: Rowohlt 1976.

- Schott, F.; Neeb, K.-E.; Wieberg, H.-J. W.: Kleine Systeme als Problem der internen Repräsentation und der kognitiven Entwicklung. FB 06-Psychologie der Universität Gießen, Gießen 1984. (unveröffentl. Manuskript).
- Steyer, R.: Modelle zur kausalen Erklärung statistischer Zusammenhänge. Institut für Psychologie der Universität Frankfurt 1982. (unveröffentl. Manuskript)
- Steyer, R.: Conditional expectations: An introduction to the concept and its applications in empirical sciences. Trierer Psychol. Berichte 11, Heft 3. Trier: 1984.
- Eingegangen am 28. 1. 1985
- Anschr. d. Verf.: Dr. J. Funke
Psychologisches Institut der Universität Bonn
Römerstr. 164, D - 5300 Bonn 1