

Eingreifen und Prognostizieren als Determinanten von Systemidentifikation und Systemsteuerung

Joachim Funke & Horst Müller*

Psychologisches Institut der Universität Bonn

Zusammenfassung. Gegenstand dieser Arbeit sind die Auswirkungen unterschiedlicher Aktivitätsanforderungen auf die Bearbeitung eines unbekannt dynamischen Systems namens SINUS. Zwei Aktivitätsanforderungen wurden als orthogonale, je zweifache Faktoren experimentell manipuliert: (1) die Möglichkeit des aktiven Eingreifens in das System, (2) die Aufforderung zur Prognose des kommenden Systemzustands. Als AV dienen Gütemaße für das Systemwissen und die Systemsteuerung. Erwartet wurde, daß «Eingreifen» sowohl hinsichtlich Wissen als auch Können den bloßen «Beobachtern» überlegen seien, und daß «Prognostikern» gegenüber den «Nicht-Prognostikern» mehr Wissen akkumulieren. Die pfadanalytische Auswertung der Daten von N=32 studentischen Pbn entspricht nur partiell den Erwartungen jedoch weniger zu wissen als die Beobachter. Prognostiker zeigen gegenüber Nicht-Prognostikern nur in einer speziellen Form vermehrtes Wissen. Generell ist das Wissen über das System ein entscheidender Prädiktor für die Steuerungslösung. Die zur Bearbeitung aufgewendete Zeit steht in negativem Verhältnis zum Erfolg. Detailanalysen sog. experimenteller «Zwillings»-Pbn-Paare, die jeweils gleiche Systemabläufe bearbeiten – weisen auf hohe interindividuelle Variabilität hin und zeigen den Stellenwert personenspezifischer Verarbeitungsmuster.

Intervention and prediction as determinants of system identification and system control.

Abstract. The paper is concerned with the effects of different demands of activity on the handling of an unknown dynamic system called SINUS. Two requirements of activity are experimentally manipulated as orthogonal factors, each of them with two conditions: (1) The possibility of active intervention in the system, (2) the demand for prediction of the following system situation. The amount of knowledge about the system and the quality of dealing with serve as dependent variables. We expected (1) the «interventors» to be superior to the just «observers» in regard to knowledge as well as efficient operations and (2) the «predictors» to accumulate more knowledge than the «non-predictors». Subjects are N=32 college-students. Path-analytical evaluation of the data does not support the expectations entirely: «interventors» are indeed better in dealing with the system, but seem to know less or something else than «observers». «Predictors» show more knowledge compared to the «non-predictors», but only in a special mode. The knowledge about the system is generally a decisive predictor for the operating performance. There is a negative relation between the duration of the experiment and the results in steering the system. Detailed analyses of so-called «experimental twins» – pairs of subjects, who had to deal with the same progress of the system – indicate a high interindividual variability and show the relevance of person-specific ways of data-evaluation.

1. Problemstellung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit den Effekten unterschiedlicher Aktivitätsanforderungen und an Probanden (Pbn) bei der Identifikation und Steuerung dynamischer Systeme. Die Verwendung dynamischer Systeme stellt in der neueren Problemlöseforschung insofern einen Fortschritt

* Die Arbeit stammt aus einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt (Az. Fu 173/1-4) im Rahmen des Schwerpunktprogramms «Wissenspsychologie». Wir danken Bärbel Rasche und Gerd Fahrenbrück für ihre Mitarbeit bei Durchführung und Auswertung des Experiments sowie für ihre Diskussionsbeiträge. Wertvolle Anregungen zum methodischen Vorgehen im Zusammenhang mit der Prüfung unseres Pfadmodells verdanken wir Dr. Edgar Erdfelder. Von einem anonymen Gutachter haben wir Kommentare erhalten, die ebenfalls in die vorliegende Fassung eingearbeitet wurden.

reich darstellen. In welcher Form jedoch Individuen die Möglichkeiten zum Testen von Zusammenhangshypothesen nutzen, ist weniger klar. Auch das Verhältnis zwischen Wissen und Können scheint ungeklärt.

In früheren Arbeiten haben wir den Rahmen unseres experimentellen Ansatzes genauer beschrieben (Funke, 1986), die zur Simulation dynamischer Systeme verwendeten Programme angegeben (Funke, Fahrenbrück & Müller, 1986) und die von uns gewählten wissensdiagnostischen Zugänge dokumentiert (Fahrenbrück, Funke & Müller, 1987). Hier geht es nun um die ersten experimentellen Befunde.

2. Methode

Zunächst wird die «Benutzeroberfläche» des eingesetzten Simulationssystems beschrieben. Darauf folgen die Darstellungen des realisierten Versuchsplans, der handlungsleitenden Hypothesen, der untersuchten Stichprobe sowie der konkreten Versuchsdurchführung.

2.1 «Benutzeroberfläche» des Simulationssystems

Grundlage der Simulation ist das universell verwendbare Simulationssystem DYNAMIS (vgl. Funke et al., 1986), das die Erzeugung vielfältiger dynamischer Systeme auf der Basis von linearen Strukturgleichungssystemen ermöglicht. Dabei

kann ein Pbn durch die von ihm gewählten Ausprägungen von exogenen Variablen den Zustand endogener Variablen beeinflussen. Die endogenen Variablen hängen aber – je nach Vernetzungsstruktur – nicht nur von exogenen Variablen ab, sondern auch von den Zuständen anderer endogener Variablen und/oder auch von ihren eigenen vergangenen Zuständen.

Die verwendete Simulation SINUS – so der Name des fiktiven Planeten, auf dem das Szenario angesiedelt ist – besteht aus drei exogenen und drei endogenen Variablen. Aufgabe des Pbn ist es, die Zusammenhänge zwischen den als verschiedene Lebewesen deklarierten Variablen zu erübeln und nach einer Erkundungsphase von vier Durchgängen zu je sieben Takten im abschließenden fünften Durchgang einen eingangs mitgeteilten Zielzustand zu erreichen und zu halten (ausführlicher beschrieben in Müller, Funke, Fahrenbrück & Rasche, 1987). Das System wird in einer numerischen Variante präsentiert, die dem Pbn alle systemzugehörigen Variablen und alle «Rohdaten» zum Systemzustand auf dem Monitor des Steuerrechners zugänglich macht. Die Gedächtnisbeanspruchung reduzieren wir auf ein Minimum, indem wir den Pbn alle zurückliegenden Systemzustände vollständig präsentieren, soweit die Kapazität des Bildschirms dazu ausreicht. Abbildung 1 gibt ein typisches Display des SINUS-Systems exemplarisch wieder.

Der Pbn kann durch mehrmaliges Drücken der Leertaste beliebige Maßnahmen ansteuern, frei wählbare numerische Werte eingeben und gege-

SINUS	Durchgang 1				
	1	2	3	4	5
Woche...					
Zustand:					
Gesamt.....	1600	1700	1800	1900	2000
Schwärzen.....	900	957	1013	1056	1096
Stein.....	300	293	286	281	306
Maßnahmen:					
Olischen.....	10	10	10	10	10
Mütern.....	12	11	13	13	28
Reskeln.....	-1	-1	-3	-5	-5

*** Durch Drücken der Leertaste eine der Maßnahmen auswählen, ***
 *** evtl. einen neuen Wert eingeben und dann "return" drücken ***

Abbildung 1: Möglicher Bildschirmaufbau von DYNAMIS bei der Präsentation des Systems SINUS nach vier Takten.

benenfalls Korrekturen vornehmen. Nach Abschluss der Maßnahmen wird der Zustand des Systems zum nächsten Zeitpunkt präsentiert und es besteht die Möglichkeit, sich die Differenzen der Zustandswerte zum vorangegangenen Takt ausgeben zu lassen. Anschließend kann der Pb erneut eingreifen.

2.2 Versuchsspiel

In diesem Abschnitt wird zunächst der Versuchsplan des Experiments skizziert. Dies geschieht durch eine ausführliche Beschreibung der unabhängigen und abhängigen Variablen.

Unabhängige Variablen

Geprüft werden soll der Zusammenhang zwischen der Aktivität des Pb bei der Systembearbeitung und seinen Leistungen bei der Systemerkennung und der Systemsteuerung. Die beiden ausgewählten unabhängigen Variablen (UVn) realisieren jeweils zwei unterschiedliche Aktivitätsanforderungen bzw. -möglichkeiten.

(1) UV «Eingriffsmöglichkeit»: Eine Versuchsbedingung (E+) erlaubt bzw. verlangt den aktiven Eingriff in das System, die andere Bedingung fordert bzw. gestattet nur Systembeobachtung (E-).

(2) UV «Prognoseforderung»: Eine Versuchsbedingung (P+) verlangt vom Pb nach dem Durchführen bzw. Beobachten von Systemeingriffen die Vorhersage des resultierenden Systemzustands, die andere Bedingung (P-) fordert keine expliziten Prognosen. Die Wahl unserer UVn begründet sich folgendermaßen. In fast allen uns bekannten Untersuchungen zu dynamischen Systemen sollen Pbn in Szenarios eingreifen, wobei meist implizit oder mitunter auch explizit angenommen wird (sofern das Lernen des Pb überhaupt thematisiert wird), daß der aktive Umgang mit dem System eine entscheidende Lernbedingung ist, also «learning by doing» stattfindet (vgl. Kluwe, Misiak, Ringelband & Heider, 1986). Ob die aktive Handlungsmöglichkeit tatsächlich so entscheidend ist, ist eine der Fragen, die unser Experiment beantworten soll. Es sei darauf verwiesen, daß Eyerth et al. (1982) diese Frage bereits mit ihrem System «Welt» untersuchten, jedoch – wohl aufgrund von System- und Darbietungsmöglichkeiten –

diesbezüglich zu keinem interpretierbaren Ergebnis kamen.

Das Interesse an der Wirkung von Prognosen, die der Pb machen soll, ist pragmatischer begründet. In zukünftigen Experimenten sollen Vorhersagen des Pb als prozediagnostischer Zugang zu seinem aktuellen Wissen verwendet werden. Hier wollen wir prüfen, inwieweit eine so beschaffene Prozediagnostik die Güte und Art der Systembearbeitung verändert und inwieweit Prognosen zur Abbildung des Wissenserwerbs geeignet sind. Ein sehr ähnliches Vorgehen verwenden Spada, Reimann und Häusler (1983) bei der Erhebung der Erwartungskomponente ihrer «WEIV»-Sequenzen.

Entsprechend den geforderten Versuchsbedingungen wurden neben der bereits kurz beschriebenen Standard-Ausführung zwei Varianten des DYNAMIS-Programms erstellt, die mit ihren Besonderheiten nachfolgend dargestellt werden. Die (E-)-Bedingung: Das DYNAMIS-Programm ist normalerweise so konzipiert, daß die Pbn in das System eingreifen können und somit das Systemgeschehen selbst steuern. Diese Version entspricht also der (E+)-Bedingung. Die (E-)-Bedingung realisieren wir dadurch, daß den zugehörigen Pbn je eines der Systeme vorgegeben wird, die von der (E+)-Gruppe produziert werden. So gibt es zu jedem Pb der (E+)-Gruppe einen «experimentellen Zwilling» der (E-)-Gruppe, der die Systemeingriffe seines Vorgängers als experimentelle Bedingung antrifft. Ein derartiges Vorgehen wird im allgemeinen als Parallelisieren oder auch als Zwillingsmethode bezeichnet (vgl. auch Hager, 1987, S. 63ff.). Die Systemabläufe von je zwei Pbn in (E+) und (E-)-Gruppe sind somit identisch und vergleichbar.

Die Pbn der (E-)-Bedingung werden nicht mehr zum Eingriff aufgefordert, sondern beobachten stattdessen zu jedem Zeitpunkt die drei Maßnahmen ihres experimentellen Zwillings. Nach der Darstellung des Systemzustands und der Differenzwerte werden also auf Tastendruck die drei Eingriffe des Zwillings angezeigt, anschließend – wiederum auf Tastendruck des Pb – der resultierende Systemzustand, der natürlich identisch ist mit dem Verlauf, den der Zwilling erzeugt und beurteilt hat, und so fort.

Die (P+)-Bedingung: Diese Versuchsbedingung verlangt vom Pb nach Eingabe oder Beob-

achtung von Maßnahmen, daß er den Zustand der endogenen Variablen im kommenden Takt prognostiziert, ehe er die Resultate des Eingreifens beobachtet kann. Während der ersten Systemtakte können von den Pbn keine exakten numerischen Vorhersagen erwartet werden. Daher geben wir ihnen die Möglichkeit, auf einer dreistufigen Skala anzugeben, in welcher Richtung sie Änderungen der endogenen Variablen erwarten. Wenn der Pb es wünscht, kann er natürlich den erwarteten Wert der AV exakt angeben, will er überhaupt keine Vorhersage machen, teilt er dies durch die Eingabe eines «?» mit. Abbildung 2 stellt das Display während der Vorhersage dar, wobei die in der letzten Bildschirmzeile angegebenen Symbole in der Instruktion erläutert werden.

In Abbildung 2 sind bis zum vierten Takt zurückliegende Eingriffe und Systemzustände zu sehen. Die vom Pb abgegebene Vorhersage bezieht sich auf den erwarteten Systemzustand im fünften Takt.

Abhängige Variablen

Wir verwenden drei abhängige Variablen, die den zwei Leistungsbereichen Systemerkennung und Systemsteuerung zuzuordnen sind: einmal interessiert uns – wie bei Untersuchungen mit komplexen dynamischen Systemen üblich – die «Güte der Systemsteuerung» (GdS), also wie gut ein Pb das System zielgerichtet steuern kann; zum anderen halten wir es für wichtig, den zweifellos statt-

findenden Wissenserwerb zu erfassen und Zusammenhänge zwischen Wissens- und Handlungsqualität aufzuzeigen. Im durchgeführten Experiment verwenden wir zwei Maße, die das Wissen der Pbn einschätzen sollen: die «Güte des Kausaldiagramms» (GdK) und die «Güte der Vorhersagen» (GdV). Auf die drei Maße, deren genaue Bestimmung bei Fähnenbruck et al. (1987) dargelegt ist, wird nachfolgend kurz eingegangen.

Die AV «Güte der Systemsteuerung» (GdS). Im letzten der insgesamt fünf Bearbeitungs-durchgänge soll jeder Pb, auch der «Beobachter», der bisher nur die Eingriffe seines experimentellen Zwillings beobachten konnte, durch das Ergreifen adäquater Maßnahmen das System in einen bestimmten vorgegebenen Zielzustand steuern. Da zu jedem Zeitpunkt ein klar berechenbarer optimaler Eingriffvektor existiert, kann das Ziel unter allen Umständen sofort erreicht werden. Als Maß für die Güte der Systemsteuerung berechneten wir zu jedem Zeitpunkt die Distanz der vom Pb erreichten Zustände von den Ziel-Zuständen, summierten die absoluten Abstände über die drei Zustandsvariablen und die sieben Takte des fünften Durchgangs auf und mittelten anschließend. Es resultiert ein Maß, das den mittleren Abstand einer Zustandsvariable vom Zielwert in einem Takt des fünften Durchgangs wiedergibt. Das hier verwendete GdS entspricht dem Maß, das in Fähnenbruck et al. (1987, S. 16) mit GdS₅ bezeichnet wird.

Die AV «Güte des Kausaldiagramms» (GdK).

SINUS	Durchgang 1				VORHERSAGE
	1	2	3	4	
Woche...					
Zustand:					
Gesamta...	1600	1700	1800	1900	2000
Schwächen...	900	957	1013	1055	+
Sisem...	300	293	286	281	-
Maßnahmen:					
Olischen...	10	10	10	10	10
Mütern...	12	11	13	13	28
BaskeIn...	-1	-1	-5	-5	-5

*** Bitte eine Zahl oder eines der folgenden Symbole eingeben ***
 "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "0", "+", "-"

Abbildung 2. Möglicher Bildschirmaufbau von DYNAMIS in der Prognose-Bedingung von SINUS nach vier Taktten.

Wir bitten die Pbn nach jedem Durchgang um die Anfertigung eines Pfeildiagramms zu Ihren Vorstellungen von den Systemeigenschaften. Die von Pb angegebenen Relationen werden mit den «wahren» Beziehungen im System verglichen. Der Index GdK der Güte des Kausaldiagramms berechnet sich als Differenz aus dem Verhältnis richtig angegebener Relationen zu objektiv richtigen Relationen und dem Verhältnis falsch angegebener Relationen zu objektiv falschen Relationen. Die Verhältnisbildung gewährleistet, daß Kausaldiagramme beliebiger linearer Systeme erster Ordnung untereinander verglichen werden können, unabhängig von der Anzahl implementierter Variablen und Wirkungen (vgl. Fahnenbruck et al., 1987, S. 24). Als «ganz richtig» wird die Angabe eines Pbn gewertet, wenn sie eine Relation auch quantitativ richtig wiedergibt, als «halb richtig», wenn sie verunsicherte und abhängige Variable richtig bezeichnet, jedoch quantitativ falsch ist. Es resultiert ein Maß, dessen Wert zwischen 0 bei «zufälligem Raten» und 1 bei optimaler Erkenntnis der Kausalstruktur liegt.

Von den fünf anfallenden Kausaldiagrammen verwenden wir zu statistischen Zwecken insbesondere das zuletzt erhobene. Es kann als Maß des Wissensstandes des Pb am Ende der Systembearbeitung verstanden werden.

Die AV «Güte der Vorhersagen» (GdV). Die beiden vorangegangenen abhängigen Variablen erfassen einmal (GdK) das Wissen als Abstraktionsleistung, die Projektion wahrgenommener Systemeigenschaften auf ein Kausaldiagramm, und im anderen Fall (GdS) eine praktische Steuerung. Wir verwenden neben GdK ein weiteres Maß der Systemerkennung, bei dem der Pb sein Wissen nicht wie beim Pfeildiagramm in Form eines Wirkungsgelüges äußern muß, sondern in Form von quantitativen Vorhersagen des Systemverhaltens. So geben wir allen unseren Pbn nach der Bearbeitung des Systems SINUS und nach der Erhebung der Maße GdS und GdK zehnmal verschiedene Systemzustände und -eingriffe vor und verlangen jeweils Vorhersagen der Ausprägung der Zustandsvariablen zum nächsten Takt. In dieser abschließenden Vorhersagephase erhalten die Pbn keine Rückmeldung über das Systemverhalten, so daß ein weiteres Lernen in dieser Phase des Experiments ausgeschlossen werden kann. Die resultierenden Daten erlauben

eine Fülle von Auswertungsmöglichkeiten, die bei Fahnenbruck et al. (1987, S. 27ff.) nachzulesen sind. Hier mag der Hinweis genügen, daß wir als dritte abhängige Variable ein Maß GdV verwenden, das analog zum oben beschriebenen Maß GdS den Abstand der taktweise abgegebenen Vorhersagen von den wahren, tatsächlich resultierenden Zustandswerten enthält und das möglicherweise implizite Wissen (vgl. Broadbent, Fitzgerald & Broadbent, 1986) des Systembearbeiters ohne die beim Pfeildiagramm erforderliche Identifikation der Kausalstruktur erfassen soll. Da GdK zeitlich vor GdV erhoben wird und eine gute Leistung im Kausaldiagramm auch zu einer guten Vorhersage-Leistung führen sollte, betrachten wir GdV als ein von GdK abhängiges Maß.

2.3 Hypothesen

Die Kreuzung der beiden genannten zweistufigen Faktoren «Eingreifen» und «Prognostizieren» führt zu einem Versuchsplan mit vier Zellen, wobei wir die beiden folgenden Hypothesen formulieren, die sich varianzanalytisch gesehen jeweils auf Haupteffekte der UVn beziehen.

Bezüglich des Haupteffekts «Eingriffsmöglichkeiten» haben wir folgende Hypothese. Die Möglichkeit des Eingreifens in das Szenario (E+) erlaubt es, individuelle Annahmen über Systemeigenschaften zu testen. Auch wenn die Pbn über keine idealen experimentellen Strategien verfügen, so können sie doch «naive» Experimente durchführen, einfach etwas ausprobieren. Die Möglichkeit, während der Wissenserwerbs-Phase durch Eingriffe in das System aktive eigene Erfahrungen zu sammeln, sollte unserer Meinung nach zu einer besseren Systemerkennung und Systemsteuerung führen als eine reine Systembeobachtung (E-), bei der aktive Wissenserwerbs-Strategien nicht angewendet werden können. Unter dieser «passiven» Bedingung kommt der Auswertung der präsentierten Daten entscheidende Bedeutung zu, strategische Überlegungen können zwar angestellt, jedoch nicht in die Tat umgesetzt werden. Die Eingriffs-Bedingung sollte sich also auf Wissen und Steuerung der Pbn positiv auswirken. Die bessere Steuerung sollte nicht allein aufgrund elaborierteren explizierbaren Wissens zustandekommen, sondern auch durch direktes «learning by doing».

Hinsichtlich des Haupteffekts «Prognose-Bedingung» nehmen wir an, daß sich die Aufforderung zu Vorhersagen in erster Linie auf das Systemwissen der Pbn positiv auswirkt. Die geforderte Formulierung von Hypothesen und die Möglichkeit ihrer anschließenden «empirischen Prüfung» sollte den Pbn unter der Versuchsbedingung mit Prognoseanforderung zu einem besser elaborierten kognitiven Modell von den Verhältnissen auf SINUS verhelfen. Einen direkten Effekt auf die Qualität der Systemsteuerung sollte diese Variable nicht ausüben, wohl aber einen indirekten über die elaboriertere Systemrepräsentation.

Zusammenfassend lassen sich unsere Erwartungen in dem in Abbildung 3 angegebenen Pfadmodell darstellen.

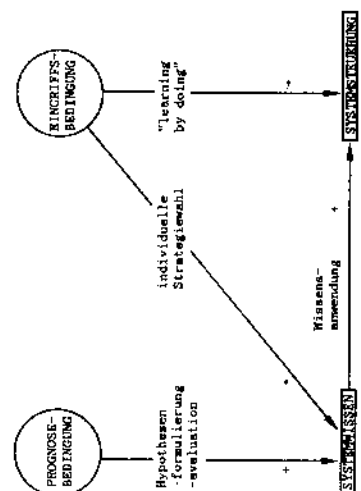


Abbildung 3: Pfeildiagramm der Hypothesen über die Auswirkungen unterschiedlicher Aktivitätsanforderungen auf Systemwissen und Systemsteuerung.

Es sei nochmals darauf verwiesen, daß wir das Systemwissen für die experimentelle Prüfung auf zwei verschiedene Arten erfaßt haben: auf der Ebene des Strukturwissens mit dem Maß GdK und auf der Ebene der Vorhersageleistung mit dem Maß GdV. Wir differenzieren bei der Hypothesenbildung zwischen diesen beiden Variablen nicht und subsumieren sie in Abbildung 3 unter dem Begriff «Systemwissen». Wir nehmen damit an, daß sich unser Treatment auf beide Variablen in gleicher Weise auswirkt. Die Güte der Systemsteuerung wurde wie bereits beschrieben als GdS operationalisiert.

2.4 Stichprobe

Wir untersuchten 32 Pbn, so daß pro Zelle des Versuchsplans 8 Pbn zur Verfügung standen. Bei diesem Stichprobenumfang können nur große Effekte nach Signifikanz-Kriterien ($\alpha = \beta = 0.10$) bestätigt bzw. verworfen werden. Wir beschränken uns darauf, bei allen unseren Pbn das Abitur vorauszusetzen. Männer und Frauen sollten in jeder Zelle des Versuchsplans gleich häufig und in jeder Zelle die Paarungen Frau-Frau, Frau-Mann, Mann-Frau und Mann-Mann als Zwillingspaare Eingreifer-Beobachter gleich häufig, also jeweils zweimal, vorkommen. Außerdem sollte keiner der Pbn älter als 30 Jahre alt sein.

So setzt sich die hier untersuchte Stichprobe aus 16 Frauen und 16 Männern zusammen, ein großer Teil waren Studenten und Studentinnen der Psychologie in niedrigen Semestern. Diese wurden durch Bescheinigungen über abgeleitete Versuchspersonen-Stunden entlohnt, die restlichen Pbn erhielten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von zehn DM.

2.5 Durchführung der Untersuchung

Das Experiment wurde in Einzel Sitzungen durchgeführt. Bis zu zwei Pbn konnten von der Versuchsleiterin (Vl) simultan im gleichen Raum betreut werden. Nach kurzer Information über den Versuchsablauf wurden einige Kontrollvariablen erhoben. Jeder Pb bearbeitete zunächst das erste Set des APM («Advanced Progressive Matrices») von Raven und anschließend den PLF (Problemlöse-Fragebogen) von König, Liepmann, Holling und Otto (1985). Die Handhabung des Systems SINUS erfolgte am Personalcomputer. Die Vl erklärte den Gebrauch der Infrastruktur zum Lesen und beantwortete etwaige Fragen. Auch beim weiteren Verlauf blieb die Vl anwesend und legte dem Pb nach jedem der insgesamt fünf Durchgänge ein leeres Kausaldiagramm zur Bearbeitung vor. Nach Beendigung des fünften Durchgangs wurden schließlich die Vorhersage-Daten zur Bestimmung von GdV erhoben.

Die Pbn wurden den einzelnen Versuchsbedingungen randomisiert zugeordnet mit der Einschränkung, daß ein Pb der Bedingung «Beobachten» erst dann zugewiesen werden konnte,

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Pfadanalyse

In Tabelle 1 und Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Pfadanalyse in numerischer und grafischer Form dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse von drei Regressionsanalysen mit unterschiedlichen Prädiktoren für die drei verschiedenen AVN Güte des Kausaldiagramms (GdK), Güte der Vorhersagen (GdV) und Güte der Systemsteuerung (GdS). In Klammern sind hinter den standardisierten Pfadkoeffizienten die zugehörigen t-Werte aufgeführt. Für alle Analysen gilt N=32.

Prädiktor	abhängige Variable		
	GdK	GdV	GdS
Eingriff (E)	-.30 (-1.83)*	-	.42 (2.50)*
Prognose (P)	-.38 (-2.35)*	.31 (2.05)*	-
GdK	-	.70 (4.59)*	.41 (2.52)*
Zeit	-	-	-.33 (-2.05)*
df	29	29	28
F	4.4	10.6	4.2
adjustiertes multiples R ²	.18	.38	.24

* p ≤ .10

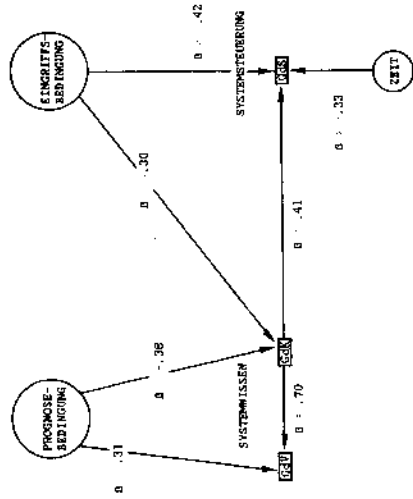


Abbildung 4: Darstellung der für N=32 bei einem Alpha-Fehler-Risiko von .10 signifikanten Ergebnisse, wobei β standardisierte Pfadkoeffizienten bezeichnet.

Wie aus der Ergebnisdarstellung hervorgeht, muß das hypothetisch angenommene Pfadmodell aus Abbildung 3 angesichts der Befunde verworfen werden.

Die nach dem Pfadmodell formulierte Hypothese (vgl. Abbildung 3), wonach die Prognosebedingung einen positiven Effekt auf das Sy-

stemwissen hat, wurde nur teilweise besträtigt: bezogen auf GdV liegt ein positiver Effekt vor, bezüglich GdK zeigt sich jedoch ein starker negativer Effekt. Die Eingriffsbedingung erweist sich wie erwartet als signifikanter Prädiktor von GdK, allerdings - genau wie die Prognosebedingung - in entgegengesetzter Richtung zu unseren ursprünglichen Annahme! Das negative Gewicht für die Wirkung der Bearbeitungszeit auf GdS bleibt überraschenderweise signifikant.

Konform mit unseren Annahmen zeigt sich, daß GdK ein starker Prädiktor von GdV ist. Der standardisierte Pfadkoeffizient β beträgt .70 und ist damit mit Abstand der höchste Gewichtungs-faktor in unserem Modell.

Weiter finden wir den für unser Experiment zentralen Eingriffseffekt auf GdS bestätigt. Auch das Regressionsgewicht für die Wirkung von GdK auf GdS ist hypothesenkonform deutlich positiv von 0 verschieden.

Darmit finden wir unser hypothetisches Pfadmodell zwar strukturell bestätigt, auf GdK scheint das Treatment jedoch gegenüber unseren Erwartungen umgekehrt zu wirken. Wir werden in der Diskussion eine plausible Interpretation dieses überraschenden Ergebnisses zu geben versuchen.

3.2 Der Vergleich experimenteller «Zwillinge»

Wie oben dargelegt realisierten wir unsere UV Eingriffsmöglichkeit so, daß zu jedem Eingreifer genau ein Beobachter existiert, also für jeden objektiven Systemverlauf der ersten vier Durchgänge zwei Versuchspersonen vorliegen, denen exakt gleiche Informationen über das System zur Verfügung standen. Für diese beiden Vpn verwenden wir den Begriff «Zwillinge», so daß bei 32 Vpn 16 Zwillingspaare vorliegen. Wir gehen davon aus, daß der objektive Systemverlauf und damit auch Eingriffsstrategien für den Wissenserwerb von Relevanz sind - eine Ansicht, die wohl von den meisten Autoren geteilt wird. Z.B. sollte es geschickte und weniger geschickte, informationsträchtige und redundante Eingriffe geben, es sollte schwer zu analysierende Systemverläufe - z.B. bei zufälligen Eingriffen - und leicht zu analysierende Systemverläufe geben.

Da die Zwillinge nun während der ersten vier Durchgänge genau die gleiche Sequenz von Eingriffen und Systemzuständen als Informations-

grundlage besaßen, verfügen wir in unserem Experiment über einen direkten Weg, die Annahme zu überprüfen, daß Strategien einen Einfluß auf den Wissenserwerb haben: Wir können Zwillinge mit Nicht-Zwillingen hinsichtlich verschiedener Maße vergleichen und erwarten, daß sich die Zwillinge ähnlicher sind als die Nicht-Zwillinge, da sie auf einer identischen Sequenz von Eingriffen und Zuständen beruhen.

Eine zunächst naheliegende Möglichkeit des Vergleichs besteht darin, die Korrelation zwischen den oben bereits verwendeten drei Gütemaßen GdV, GdK und GdS unter den Zwillingen zu berechnen, wobei wir annehmen, daß ein gutes Kausaldiagramm des Beobachters ein gutes Kausaldiagramm des Beobachters nach sich ziehen sollte und das Analoge für GdV und GdS gilt: Da bei diesem Vergleich Werte innerhalb eines Zwillingspaars verglichen werden, schrumpft unser N auf 16 Zwillingspaare bei 32 beobachteten Korrelationen.

Von den Korrelationen in Tabelle 2 ist lediglich die Korrelation zwischen GdK des Eingreifers und GdS des Beobachters auf dem 10%-Niveau signifikant. Da wir vorher keine entsprechende Hypothese formuliert hatten und es bei neun berechneten Korrelationen und einem Alpha-Fehler-Risiko von .10 recht wahrscheinlich ist, daß eine dieser Korrelationen «zufällig» signifikant wird, verzichten wir auf eine Interpretation dieses Befundes.

Bezüglich unserer vorher formulierten drei Hypothesen, wonach die Diagonalelemente in Tabelle 2 signifikant positiv von 0 verschieden sein sollten, können wir zunächst festhalten, daß die entsprechenden Korrelationen nicht signifikant sind; andererseits sind sie nicht klein genug, um die H₀ annehmen zu können, die besagen würde, daß diese Korrelationen in der Population

Tabelle 2: Korrelationen der Güte-Maße GdV, GdK und GdS zwischen den experimentellen Zwillingen (N=16 Pbn-Paare von jeweils einem Eingreifer und dem zugehörigen Beobachter).

Güte-Maß des Eingreifers	Güte-Maß des Beobachters		
	GdV	GdK	GdS
GdV	.24	.03	.01
GdK	.21	.10	.46*
GdS	.02	.35	.26

* p ≤ .10

wenn mindestens ein anderer Pbn vorher die Bedingung «Eingreifen» bearbeitet hatte und damit als experimenteller Zwilling zur Verfügung stand.

Die Dauer des Versuchs bestimmen die Pbn selbst durch die Geschwindigkeit ihrer Systembearbeitung. Im Schnitt dauerte dies etwa zwei Stunden.

2.6 Hypothesenprüfung

Wenn wir das Pfadmodell aus Abbildung 3 in die Sprache der Regressionsanalyse übersetzen, um es einer statistischen Prüfung unterziehen zu können, müssen die bisher noch ungenau spezifizierten «Effekte» präziser formuliert werden.

Aus einer ersten Datenanalyse für N=20 Pbn hatten wir den Hinweis, daß die Versuchsdauer sich möglicherweise negativ auf GdS auswirkt. So nahmen wir die Variable «Zeit» als weiteren Prädiktor in das Pfadmodell auf. Die von uns erhobenen Kontrollvariablen, der APM-Wert, die PLF-Werte, Alter, Geschlecht und Vorerfahrung der Pbn, erbrachten im Zusammenhang mit der hier vorgestellten Pfadanalyse keine zusätzlichen Aufschlüsse und bleiben im weiteren unerwähnt (vgl. dazu genauer Müller et al., 1987).

Die beiden unabhängigen Variablen Eingriff und Prognosebedingung wurden als Dummy-Variablen E und P codiert. Das Systemwissen wurde mit den oben beschriebenen Variablen GdK und GdV erfaßt. Weiter nehmen wir an, daß GdK GdV nicht nur zeitlich vorgeordnet ist, sondern auch auf GdV wirkt. So dient in den durchgeführten Regressionsanalysen GdK als Prädiktor von GdV. Die GdV-Werte mußten wegen linkschiefer Verteilung logarithmisch transformiert werden, was auch auf die Variable GdS zutrifft, die die Steuerungsteilung des Pbn repräsentieren soll. Da GdS und GdV zudem Abweichungen von einem Optimalwert darstellen, wir jedoch von Güte-Maßen sprechen, wurden alle Werte von GdS und GdV für die statistische Auswertung mit negativen Vorzeichen versehen, so daß Abbildungen und Tabellen leichter verständlich werden.

Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programmpaket SAS und der darin enthaltenen Prozedur GLM. Der Datensatz ist vollständig, so daß sich Probleme bei der Behandlung fehlender Werte von vornherein nicht stellten.

0 betragen. Immerhin sind alle drei Korrelationskoeffizienten positiv und haben damit das erwartete Vorzeichen. Insbesondere die Korrelation von Δ mit dem GdS des Eingreifers und GdS des Beobachters könnte durchaus »substantiell« sein und nur wegen des kleinen N nicht signifikant werden. So liefert uns die durchgeführte Korrelationsanalyse wenig befriedigende Resultate: mit Hilfe dieser Methode kann weder für noch gegen Ähnlichkeit zwischen den Zwillingen entschieden werden.

Aufgrund dieser Überlegungen führen wir eine Reihe von weiteren statistischen Analysen durch, in denen wir prüfen, ob die Kausaldiagramme in ihrer Struktur bei Zwillingspaaren ähnlicher ausfallen als bei anderen Paarungen. Die genaue Beschreibung unseres Vorgehens würde an dieser Stelle zu viel Platz einnehmen, so daß wir hier nur darauf verweisen möchten, daß auch diese Analysen keinen Beleg für eine »Zwillings-Ähnlichkeit« erbrachten (vgl. dazu genauer Müller et al., 1987).

4. Diskussion

4.1 Diskussion »Pfadmodell«

Der Variable GdK scheint in obigem Modell eine gewisse Schlüsselrolle zuzufallen. Sie steht in einem positiven Zusammenhang mit den beiden anderen Kriteriumsvariablen GdV und GdS und dieser Zusammenhang kann möglicherweise sogar als Wirkung von GdK verstanden werden. Beide Treatment-Variablen wirken jedoch negativ auf GdK, wobei gleichzeitig Eingriff positiv auf GdS wirkt und Prognose positiv auf GdV. Dies bedarf weiterer Erklärung, da die Wirkungen beider unabhängigen Variablen auf GdK in-teressanterweise im Vorzeichen genau umgekehrt zu unseren ursprünglichen Annahmen ausfallen. Alle anderen Wirkungen in obigem Modell decken sich mit unseren ursprünglichen Annahmen bis auf den negativen Zusammenhang des Zeitverbrauchs mit GdS, auf den wir an dieser Stelle nicht weiter eingehen wollen (vgl. dazu Müller et al., 1987).

Da die Begründungen für die positiven Wirkungen bereits im Zusammenhang mit unseren Hypothesen gegeben wurden, soll im folgenden eine uns plausibel erscheinende Erklärung der

negativen Treatmenteffekte auf GdK versucht werden.

Dies ist vielleicht eher möglich, wenn wir uns fragen, welchen Vorteil ein »Nicht-Eingreifer« und ein »Nicht-Prognostiker« möglicherweise haben. Das negative Vorzeichen für Eingreifer und Prognostiker entsteht ja erst im Vergleich mit diesen Referenzgruppen. Wir halten es für wahrscheinlich, daß unsere Pbn ihr Aufgabenverständnis nicht nur aus der Instruktion konstruieren, sondern auch während des Versuchsablaufes modifizieren. Unter dieser Annahme liegt folgende Interpretation nahe:

1. *Eingreifer messen der Steuerung des Systems hohen Wert bei* – es ist dies die Aufgabe, die sie während jedes Durchgangs bei jedem der sieben Takte zu erfüllen haben.
2. *Prognostiker sehen im Erstellen guter Prognosen ihre Hauptaufgabe.*
3. *Beobachter und Nicht-Prognostiker sehen der Erstellung der Kausaldiagramme vermehrt Aufmerksamkeit.* Für Pbn, die weder eingreifen noch prognostizieren können, sind die Kausaldiagramme während der ersten vier Systemdurchgänge von durchschnittlich zwei Stunden Dauer die einzige Leistung, die ihnen abverlangt wird.

Obige Interpretation bedeutet, daß Pbn ihre Ziele und damit die Art der Bearbeitung von S-NUS möglicherweise entscheidend am jeweiligen Präsentationsmodus orientieren.

Wenn die eben ausgeführten Überlegungen richtig sind, so sollten sich bei Eingreifern wie Prognostikern auch Unterschiede in der Art der Bearbeitung von Kausaldiagrammen finden lassen, nicht nur in der Güte. Da Eingreifer nach unseren Erwartungen die Kausaldiagramme nicht so gründlich bearbeiten wie Beobachter, stellen wir also die Hypothese auf, daß in der Eingriffsbedingung mehr nicht-numerische Angaben im Kausaldiagramm gemacht werden als in der Beobachterbedingung und weniger numerische. Wir können annehmen, daß sich auch die Prognostiker durch einen spezifischen Bearbeitungsstil der Kausaldiagramme auszeichnen, können diesbezüglich jedoch vorerst keine exakte Hypothese formulieren. Tabelle 3 gibt die mittlere Anzahl numerischer und nicht-numerischer Angaben und deren Quotient für jede Kombination der beiden unabhängigen Variablen Eingriff und Prognose wieder. Dabei wurde für jeden Pbn

die entsprechende Anzahl über alle fünf erhobenen Kausaldiagramme hinweg aufsummiert und anschließend die Werte in den einzelnen Gruppen gemittelt.

Tabelle 3 zeigt im oberen Teil mit den Haupteffekt-Befunden deutliche Unterschiede zwischen Eingreifern (E+) und Beobachtern (E-), die in der von uns erwarteten Richtung ausfallen: Eingreifer machen häufiger nicht-numerische und damit nicht exakte Angaben, Beobachter bestimmen demgegenüber häufiger numerische Faktoren. Besonders deutlich wird dieser Unterschied im Quotienten, der so zu interpretieren ist, daß bei den Eingreifern mit einem Wert von 0.53 gegenüber den numerischen Angaben fast doppelt so viele nicht-numerische Relationen angegeben werden und bei den Beobachtern mit einem Wert von 1.17 deutlich mehr numerische Angaben als nicht-numerische gemacht werden. Wir können dieses Ergebnis so interpretieren, daß Eingreifer möglicherweise auf eine exakte numerische Ausarbeitung ihrer Kausaldiagramme verzichteten und demgegenüber verstärkt ihr Steuerungsgeschick verbesserten. Die Prognostiker machen insgesamt weniger Angaben in den Kausaldiagrammen (Summe numerischer und nicht-numerischer Angaben: 17.38) als Nicht-Prognostiker (22.56), was möglicherweise als reduziertes Bemühen der Prognostiker um die Kausaldiagramme verstanden werden kann.

Im unteren Teil von Tabelle 3 befinden sich die Ergebnisse detailliert für die vier Zellen des Versuchsplans. Betrachtet man die Zelle »E+P+« als

Tabelle 3: Unterschiede in der Bearbeitung der Kausaldiagramme zwischen den je zwei Stufen der Haupteffekte »Eingriffsmöglichkeit« (E+, E-) und »Prognoseforderung« (P+, P-); oberer Teil sowie zwischen den vier Zellen des Versuchsplans im Detail (unterer Teil): Mittelwerte (x) und Streuungen (s) für die Anzahl numerischer (NUM) und nicht-numerischer (N-NUM) Angaben sowie Quotient der Mittelwerte (QUOT).

	NUM		N-NUM		QUOT	N
	x	s	x	s		
E+	7.19	5.4	13.63	8.5	0.53	16
E-	10.31	6.7	8.81	6.2	1.17	16
P+	7.00	5.8	10.38	5.6	0.67	16
P-	10.50	6.2	12.06	9.5	0.87	16
E-P-	11.50	5.66	8.75	7.29	1.31	8
E+P-	9.50	6.99	15.38	10.77	0.62	8
E-P+	9.13	7.74	8.88	5.41	1.03	8
E+P+	4.88	1.55	11.88	5.77	0.41	8

»reine Eingreiferbedingung«, die Zelle »E-P+« als »reine Prognosebedingung«, lassen sich deren Kennwerte auf die Zelle »E-P-« als einer Kontrollbedingung beziehen, in der keines der beiden Treatments vorliegt. Auch unter dieser Betrachtungsweise zeigt sich: (a) reine Eingreifer machen im Mittel deutlich mehr nicht-numerische und weniger numerische Angaben als die Kontrollgruppe, (b) reine Prognostiker machen annähernd gleichviele numerische wie nicht-numerische Angaben und insgesamt weniger Angaben als die Kontrollgruppe und die reinen Eingreifer.

4.2 Diskussion »Zwillingsbefunde«

Die erwartete Ähnlichkeit zwischen Zwillingen konnte nicht demonstriert werden. Dies gilt sowohl für die Korrelationen der Gütemaße als auch für den Vergleich der Struktur der Kausaldiagramme. An diese Beobachtung muß sich die Frage anschließen, wie dies zu erklären sei. Wir können an dieser Stelle keine empirisch gesicherte Interpretation vorlegen, wollen aber vier Argumentationslinien darlegen, die unseres Erachtens den beobachteten Phänomenen Rechnung tragen könnten, wieso gleiche objektive Information über das System (und damit gleiche Eingriffsstrategie) keine Ähnlichkeit der Kausaldiagramme von Zwillingen nach sich zieht.

Argumentation 1: Eingriffsstrategien und Systemverläufe sind von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung subjektiver Kausalmodelle; in der vorliegenden Untersuchung waren lediglich Novizen am Werk, so daß die Unterschiede in den Strategien und Verläufen so gering waren, daß das Ausbleiben eines »Zwillingseffekts« nicht als »Bedeutungslosigkeit von Strategien« interpretiert werden kann.

Argumentation 2: Eingriffsstrategien und Systemverläufe haben einen systematischen Einfluß auf die Systembearbeitung. Allerdings nicht auf die vorgelegten Kausaldiagramme. Kausaldiagramme bilden sehr spezielle explizierbare kognitive Modellstrukturen ab, die im wesentlichen eine abstrahierende Eigenleistung des Pbn darstellen, die durch Strategie und Systemablauf nicht determiniert ist. Argumentation 2 verweist darauf, daß die aus den Kausaldiagrammen abgeleiteten Maße GdK und das oben nicht näher beschriebene Maß der Strukturähnlichkeit nicht

die Meßverfahren sind, in denen sich eine Zweilingsähnlichkeit niederschlagen sollte.

Argumentation 3: Wir haben die ausbleibende Ähnlichkeit der Zwillinge in der Struktur der Kausaldiagramme bei einer «natürlichen» Variation dieses Merkmals zur Kenntnis zu nehmen und müssen uns fragen, ob bei der Bearbeitung dynamischer Systeme interpretative, schlußfolgernde und evaluierende Prozesse im Probanden nicht wichtiger sind als seine Eingriffsweise. Argumentation 3 betont den internen Prozeß der Datenverarbeitung gegenüber dem «externen», beobachtbaren Prozeß der Datengenerierung.

Argumentation 4: Ähnlichkeit zwischen Zwillingen ist nur dann zu erwarten, wenn die Daten jedem Individuum eine bestimmte Interpretation nahelegen. Möglicherweise verfügt jeder Pb über eigene Interpretationsmuster, die nur durch für speziell dieses Individuum geeignete Eingriffsstrategien und Systemverläufe optimal genutzt werden, so daß unterschiedliche Deutungen gleicher Reizvorlagen nicht verwundern. Argumentation 4 betont die notwendige Passung von Eingriffsstrategie und subjektivem Modell.

Alle vier Argumentationen, die sich im übrigen nicht gegenseitig ausschließen, sind im Moment nicht von der Hand zu weisen. Wir müssen an dieser Stelle weitere empirische Befunde abwarten - und gründlicher nachdenken.

Literatur

Bainbridge, L. (1987). Ironies of automation. In: Rasmussen, J.; Duncan, L. & Leplat, J. (Eds.), *New technology and human error* (pp. 271-283). Chichester: Wiley.

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.

Eyferth, K., Schömann, M. & Widowski, D. (1986): Der Umgang von Psychologen mit Komplexität. *Sprache & Kognition*, 5, 11-26.

Eyferth, K., Hoffmann-Plato, I., Muchowski, L., Otremba, H., Rosbach, H., Spiess, M. & Widowski, D. (1982): *Strukturprojekt Handlungsorganisation* (Forschungsbericht Nr. 82-4, korrigierter Nachdruck). Berlin: Technische Universität, Institut für Psychologie.

Fahrenbrück, G.; Funke, J. & Müller, H. (1987): Wissensdiagnose bei dynamischen Systemen. *Berichte aus dem Psychologischen Institut der Universität Bonn*, 13, Heft 1.

Funke, J. (1985): Problemlösen in komplexen computersimulierten Realitätsbereichen. *Sprache & Kognition*, 4, 113-129.

Funke, J. (1986): Ein Forschungsprogramm zu subjektiven Repräsentation dynamischer Kleinsysteme: Aufbau und Anwendung von Wissen in Abhängigkeit von Person- und Systemmerkmalen. *Berichte aus dem Psychologischen Institut der Universität Bonn*, 12, Heft 1.

Funke, J., Fahrenbrück, G. & Müller, H. (1986): DYNAMIS - ein Computerprogramm zur Simulation dynamischer Systeme. *Berichte aus dem Psychologischen Institut der Universität Bonn*, 12, Heft 3.

Hager, W. (1987): Grundlagen einer Versuchsplanung zur Prüfung empirischer Hypothesen in der Psychologie. In: Lühr, G. (Ed.), *Allgemeine experimentelle Psychologie* (pp. 43-264). Stuttgart: Gustav Fischer.

Kluwe, R.; Misiak, C.; Ringelband, O. & Heider, H. (1986): Lernen durch Tun: Eine Methode zur Konstruktion von simulierten Systemen mit spezifischen Eigenschaften und Ergebnisse einer Einzelfallstudie. In: Amelang, M. (Ed.), *Bericht über den 35. Kongreß der DG/Ps in Heidelberg 1986. Band 1* (p. 208). Göttingen: Hogrefe.

König, F.; Liepmann, D.; Holling, H. & Otto, J. (1985): Entwicklung eines Fragebogens zum Problemlösen (PLF). *Zeitschrift für Klinische Psychologie, Psychopathologie und Psychotherapie*, 33, 5-19.

Müller, H.; Funke, J.; Fahrenbrück G. & Rasche, B. (1987): Über die Auswirkungen verschiedener Aktivitätsanforderungen auf Wissen und Können im Kontext dynamischer Systeme. *Berichte aus dem Psychologischen Institut der Universität Bonn*, 13, Heft 2.

Spada, H.; Reimann, P. & Häusler, B. (1983): Hypothesenarbeit und Wissensaufbau beim Schüler. In: Köster, L. & Mandl, H. (Eds.), *Kognitive Prozesse und Unterricht. Jahrbuch für Empirische Erziehungswissenschaft 1983* (pp. 139-167). Düsseldorf: Schwann.

Dr. Joachim Funke, Dipl.-Psych. Horst Müller, Psychologisches Institut, Universität Bonn, Römerstr. 164, D-5300 Bonn 1