

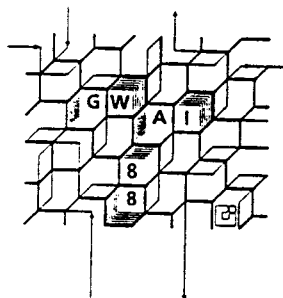
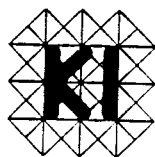
W. Hoepfner (Hrsg.)

Künstliche Intelligenz

GWAI-88, 12. Jahrestagung

Eringerfeld, 19.-23. September 1988

Proceedings



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo

(1988)

Künstliche Intelligenz und Kognitive Psychologie:
Zum Stand der Beziehung

Joachim Funke

Psychologisches Institut der Universität Bonn

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird behauptet, daß die wechselseitige "Befruchtung" von KI-Forschung und Kognitiver Psychologie nicht wirklich stattfindet. Vielmehr wird ein einseitiges "Ausbeuten" kognitionspsychologischer Befunde durch die KI-Forschung konstatiert und an Beispielen demonstriert. Der Gewinn für Kognitionspsychologen liegt im Zwang zur genauen Explikation und ggf. Formalisierung ihrer Annahmen. Die Gefahr besteht in der Aufgabe des Kriteriums der empirischen Adäquatheit zugunsten des in der KI verbreiteten Kriteriums der Lauffähigkeit. Die Übereinstimmung zwischen Modell und Wirklichkeit sollte der für empirisch arbeitende Kognitionspsychologen nach wie vor oberste Maßstab sein.

1 EINLEITUNG

Als Fachfremder auf einer Spezialistentagung einen eingeladenen Hauptvortrag zu halten ist - neben der damit verbundenen Ehre - einerseits herausfordernd, andererseits riskant. Herausfordernd insofern, als er Gelegenheit dazu gibt, einmal grundsätzliche Aspekte im Verhältnis zweier Wissenschaften zu diskutieren und die möglichen Vorteile interdisziplinärer Kontakte zu bewerten. Riskant insofern, als ich mich zwar als Kognitionspsychologe definiere, der ein offenes Ohr für Entwicklungen in Nachbardisziplinen hat, aber natürlich nicht den Anspruch erheben kann, das hier angesprochene Feld der Künstlichen Intelligenz zu überblicken. Dies muß als Entschuldigung reichen, sollten Sie mit meinen weiteren Ausführungen nicht zufrieden sein.

Zur Gliederung meines Vortrags: Zunächst möchte ich kurz auf die Begriffe "Künstliche Intelligenz" und "Kognitionspsychologie" eingehen, ehe ich dann im nächsten Abschnitt auf meine zentrale These über die "Ausbeutung" kognitionspsychologischer Forschungsergebnisse zu sprechen komme, die ich anhand konkreter Beispiele zu

belegen versuche. Schließlich soll das Verhältnis zwischen KI und Kognitionspsychologie in konstruktiver Hinsicht diskutiert werden.

Was KI eigentlich ist, läßt sich nicht ganz einfach sagen. Klar dürfte sein, daß es sich hierbei um ein Teilgebiet der Informatik handelt.¹ Savory (1985, p.13) versteht KI als "being a collection of computer supported techniques emulating some of the natural capabilities of human beings". Im "Handbook of Artificial Intelligence" (Barr & Feigenbaum, 1981, p.3) heißt es: "Artificial Intelligence (AI) is the part of computer science concerned with designing intelligent computer systems, that is, systems that exhibit the characteristics we associate with intelligence in human behavior - understanding language, learning, reasoning, solving problems, and so on."²

Was die Verwendung des Begriffs "Intelligenz" in dem Begriffspaar KI betrifft, verweist Daiser (1984) darauf, daß er nur sehr selten überhaupt in seiner Bedeutung reflektiert würde. Angesichts der beschränkten Leistungsfähigkeit (Bereichsspezifität) vorliegender KI-Programme sollte man allenfalls von "talentierten", nicht aber von intelligenten Programmen reden.³ In der oben genannten Definition von Barr & Feigenbaum wird durch Aufzählung exemplarischer Leistungen wenigstens versucht, den Bereich intelligenten Verhaltens etwas einzugrenzen.

2 KOGNITIONSPSYCHOLOGIE ALS HEURISTIK DER KI-FORSCHUNG

Ich möchte an den Beginn meiner Ausführungen eine These stellen, die ich weiteren Verlauf mit Beispielen belegen will. Ich denke, daß die Kognitionspsychologie wenig von der Forschung zur Künstlichen Intelligenz profitieren kann, während umgekehrt die KI-Forschung bestimmte Befunde der Kognitionspsychologie als Heuristik für eigene Arbeiten verwenden kann, es aber auch nur halbherzig tut.

¹ Dies ist nicht ohne Bedeutung, denn "Informatik ist die wissenschaftliche Beschäftigung der Informationsverarbeitung durch Automaten" (Scheffe, 1985, p. 17)- und damit ihrem Verständnis nach eine Ingenieurwissenschaft.

² Nicht unerwähnt bleiben sollte, daß man aus psychoanalytischer Sicht das Motiv zur Konstruktion intelligenter Maschinen vom Typ "Frankenstein" in männlichen Allmachtsphantasien vermuten könnte.

³ Böse Zungen sprechen ja auch nicht von "künstlicher", sondern von "gekünstelter" Intelligenz ...

Ich l
"naive I
schern :
men, so
Als e
der Art
auf dies
Beiträge
(1988),
wurden.

Im B
rung be
ein plan
keit auf
System
stützen,
dieses S
des For

Was
verweis
logische
sei, daß
einfache
Ertrag
diese n
Fall vor
zur Ver
"Einem
bietung

Ich habe den Verdacht, daß anstelle empirisch/experimenteller Befunde häufig eine "naive Kognitionspsychologie" (analog zur "naiven Physik") den Ratgeber von KI-Forschern abgibt. Kognitionspsychologische Befunde werden nicht eigentlich ernst genommen, sondern dienen als Stichwortgeber für eigene Intuitionen.

Als ein Beispiel für das hier kritisierte Verständnis von Kognitiver Psychologie und der Art ihrer Rezeption durch KI-Forscher möchte ich kurz auf die drei Beiträge der auf dieser Tagung nachfolgenden Sektion "Kognition" eingehen. Es handelt sich um die Beiträge von Krems & Mehmanesh (1988), Pribbenow (1988) und Ripplinger & Kobsa (1988), die mir von der Kongreßleitung dankenswerterweise vorher zugänglich gemacht wurden.

Im Beitrag von Ripplinger & Kobsa (1988) geht es um eine intelligente Benutzerführung beim Ausfüllen des Formulars für den Lohnsteuerjahresausgleich. Beabsichtigt ist, ein planloses Bearbeiten des Formulars zu verhindern und stattdessen die Aufmerksamkeit auf das vollständige Abarbeiten eines gegebenen Teilplans zu richten. Obwohl das System namens PLUG selbst keinerlei Planung durchführt, soll es den Benutzer unterstützen, nicht blindlings von einem Bereich zum nächsten zu wechseln. Zusätzlich kann dieses System dynamisch hinzukommende bzw. wegfallende Teilziele je nach Ausfüllen des Formulars erkennen und verwalten.

Was ist an dieser Arbeit der kognitionspsychologische Bezug? Ripplinger & Kobsa verweisen - und dies sind im übrigen auch die einzigen Referenzen auf genuin psychologische Studien - auf drei Arbeiten Mitte der siebziger Jahre, aus denen zu schließen sei, daß ganz allgemein komplexe Aufgaben dann "besser gelöst werden, wenn sie in einfachere Unterziele zerlegt und diese konsequent verfolgt werden". Wenn dies der Ertrag von Forschungsarbeiten gewesen sein soll, muß man bitter konstatieren, daß diese nur Trivialitäten zutage gefördert hätten. Denn könnte man sich ernsthaft einen Fall vorstellen, in dem Teilzielbildung und konsequente Abarbeitung dieser Teilziele zur Verschlechterung der Problemlösung führen würden? Eine persische Weisheit lautet: "Einem Mann, der ein Bündel Reiser zu brechen versucht, wird dies auch unter Aufbietung aller Kräfte kaum gelingen. Um wieviel klüger ist doch der, der das Bündel

⁴ Diesen Hinweis verdanke ich Uwe Kleinemas.

löst: er wird jeden der Reiser brechen wie ein Kind die Zündhölzer." Mit anderen Worten: Der kognitionspsychologische Bezug stellt sich als Rekurs auf - sicherlich vernünftiges - Alltagswissen heraus.

Der Beitrag von Krems & Mehmanesh (1988) befaßt sich der "Modellierung experten-naher Debuggingstrategien" zum Aufdecken nicht-syntaktischer Fehler in Computerprogrammen. Die Autoren diskutieren zunächst das Kriterium der kognitiven Adäquatheit und geben an, daß Erkenntnisse der kognitiven Psychologie⁵ die Konstruktion von Modellen beeinflussen könnten. Empirische Befunde aus Novizen-Experten-Studien dienen in ihrer Arbeit als Grundlage der Modellkonstruktion von SHERLOCK, einem Expertensystem zur Aufdeckung einfacher Fehler in Lisp-Programmen. Es werden nicht nur die Fehler angezeigt, sondern auch wahrscheinliche Fehlerursachen angegeben. Hierzu wird eine Wissensbasis modelliert, die aus einer Kurzzeit- und einer Langzeitspeicherkomponente besteht. Das LZG enthält unter anderem Objektklassen, die Wissen über Lisp-Primitive enthalten, sowie Produktionsregeln. Das KZG besteht aus Instanzenspeicher, Arbeitsspeicher und einer temporären Datenbasis.

In welcher Weise nun etwa Klassen- und Instanzenvariablen der Wissensbasis von SHERLOCK oder seine Interpreter-Kontrollmechanismen noch auf empirische Befunde zurückgeführt werden können, bleibt unklar. Man könnte davon sprechen, daß Novizen-Experten-Studien mit empirischem Charakter allenfalls den Hintergrund, nicht aber das Fundament von SHERLOCK ausmachen.

Pribbenow (1988) befaßt sich in ihrem Beitrag mit der Verträglichkeitsprüfung von räumlichen Aussagen. Dabei geht es darum zu prüfen, inwiefern neue gegebene Informationen über Objektlokalisierungen mit vorliegenden Informationen konsistent sind oder eine Abschwächung oder gar einen Widerspruch zu bisherigen Informationen darstellen. Die Autorin macht deutlich, daß einfache Mechanismen der Konsistenzprüfung hier nicht weiterhelfen, zumal in Fällen vager Gebietsgrenzen, in denen kein scharfer Übergang zwischen konsistenten und inkonsistenten Deutungen besteht. Ihre Alternative sieht die Verwendung von domänenspezifischen Metaregeln durch die

⁵ Die Autoren schreiben (p.1) von "kognitiven Erkenntnissen" - gemeint sind wohl Erkenntnisse der Kognitionspsychologie.

angenomme

Auch d:
chungen 2

wenig säh
ment zu k
tiert werd

Bei der
wird somi
stimmte Ar

3 KOGNIT

Was lie

Informatio

KI-System

für den K

lichen" Vc

Präzision

menschlic

mittel zur

diejeniger

Genere

sich aus l

zuverarbe

natürlich

stimmte

Lernen a

beitung v

⁶ Die
so benan
"face val
rell Prob

angenommene Inferenzmaschine vor.

Auch diese Arbeit nimmt nicht explizit Bezug auf kognitionspsychologische Untersuchungen zur Repräsentation räumlicher Objekte und räumlicher Relationen. Genauso wenig sähe man sich als experimentell arbeitender Psychologe in der Lage, ein Experiment zu konzipieren, in dem Pribbenows Annahmen mit empirischen Befunden konfrontiert werden könnten.

Bei der Betrachtung aller drei Beiträge dieser Tagung für die Sektion "Kognition" wird somit deutlich, daß Kognitionspsychologie allenfalls einen "Aufhänger" für bestimmte Arbeiten liefert, aber auch nicht mehr.

3 KOGNITIONSPSYCHOLOGIE UND KI-FORSCHUNG: WECHSELSEITIGE ERTRÄGE?

Was liefert die Kognitionspsychologie der Forschung zur Künstlichen Intelligenz für Informationen, die sie für ihre Aufgaben benötigt? Die Tatsache, daß in vielen Fällen KI-Systeme gegenüber dem intelligenten System Mensch nicht konkurrenzfähig sind, legt für den KI-Forscher - so Spada & Opwis (1987, p. 257) - die Frage nach dem "menschlichen" Vorgehen nahe. Die Antwort falle häufig enttäuschend aus, da es (1) häufig an Präzision und Detailliertheit psychologischer Forschung mangle, (2) die Komplexität menschlicher intelligenter Leistungen zu hoch sei und (3) die sprachlichen Ausdrucksmittel zur Beschreibung kognitiver Strukturen und Prozesse bestenfalls so gut seien wie diejenigen der KI.

Generell ist die - heuristisch sinnvolle - Strategie der KI-Forschung zu konstatieren, sich aus benachbarten Disziplinen Konzepte "auszuleihen" und in eigener Regie weiterzuverarbeiten. Als aktuelles Beispiel sei das Stichwort "neural modeling" genannt: natürlich wird kein Gehirn simuliert, wie manche bereits suggerieren⁶, sondern bestimmte Funktionsprinzipien wie Parallelverarbeitung, distribuierte Repräsentation, Lernen als Änderung von Gewichten, etc., werden auf ihre Tauglichkeit bei der Bearbeitung von Problemen etwa der Mustererkennung hin geprüft. Daß zu diesem Zeitpunkt

⁶ Dies ist ein in der KI häufig anzutreffender Fall, in dem ein bestimmtes Produkt so benannt wird, daß der Leser oder Anwender der durch die Bezeichnung intendierten "face validity" erliegt (z.B. "General Problem Solver" - GPS löst natürlich nicht generell Probleme ...).

neurologische Befunde nicht mehr interessieren (etwa zur Verarbeitung von Information in zwei Hirnhälften oder zur Rolle biochemischer Transmittersubstanzen), dürfte verständlich sein. Man holt sich das, was man brauchen kann, und arbeitet damit weiter. Die alten Etiketten aber behält man bei. Dies soll nicht den Wert solcher Strategien mindern: ganz im Gegenteil ist etwa das Zusammenbringen von Erkenntnissen so verschiedener Disziplinen wie Biologie ("Emergenz"), Neurologie ("massive Parallelität") und Physik ("simulated annealing") höchst fruchtbar - steht aber längst unter einem anderen Stern! Besser ist es, wenn hier von "neurally inspired modeling" (Rumelhart & McClelland, 1986, p. 130f.) gesprochen wird und die Betonung wirklich auf "inspired" liegt.

Was liefert umgekehrt die Künstliche-Intelligenz-Forschung der Kognitionspsychologie? Nach Furbach, Freksa & Dirlich (1988) sollten sich Psychologen für Wissensrepräsentation in Computern aus vier Gründen interessieren:

- (1) Wegen der Modellierung menschlicher Informationsverarbeitung: Nach Searle (1980) laufen in Rechnern mentale Prozesse ab, wenn sie entsprechend programmiert werden.
- (2) Wegen KI-Forschung: Psychologen sollten Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz der neuen Technologie aufzeigen.
- (3) Wegen der Mensch-Computer-Kooperation in interaktiven Systemen, wo die Maschine vom Werkzeug zum Assistenten wird.
- (4) Wegen "der mentalen Prozesse, die bei der Entwicklung von Computerprogrammen im allgemeinen und von wissensbasierten Systemen im speziellen durchgeführt werden" (p. 506).

Dieser Verweis auf die Wichtigkeit der Repräsentationsproblematik, den Furbach et al. geben, trifft einen Punkt, der in der Kognitionspsychologie derzeit heftig debattiert wird (vgl. Engelkamp & Pechmann, 1988; Herrmann, 1988; Le Ny, 1988) und vor allem auf die Unterschiede zwischen künstlichen und natürlichen Repräsentationen abhebt. Während für den Kognitionspsychologen die natürliche, mentale Repräsentation den Untersuchungsgegenstand ausmacht, ist der KI-Forscher - so Le Ny (1988) - mehr an den Repräsentationen zweiten Grades, den künstlichen also, interessiert.

Ei
Zusan
citly
systeme
Rechn
Erfind
"Natu
Häu
eröffn
unums
liefert
mit ein
ten me
heit is
für ein
unten)
Einfluß
einer
hierfür
Man
Tools
Gigerer
Prozes
Analogi
wie akt
verkör
charakt
kognitiv
das We
geklärt.

Einen anderen, für die Kognitionspsychologie möglicherweise fruchtbaren Aspekt der Zusammenarbeit hebt Newell (1982, p.125) hervor: "... seeing what the computer implicitly tells us about the nature of intelligence as we struggle to synthesize intelligent systems ...". Newells Vorschlag, den Leuten zuzuschauen, die intelligente Systeme auf Rechnern entwickeln, ist allerdings nicht sehr stichhaltig: genausogut könnte man Erfindern oder anderen Experten bei ihrer Tätigkeit zuschauen, um etwas über die "Natur der Intelligenz" in Erfahrung zu bringen.

Häufig wird gesagt, die Möglichkeiten der Computersimulation kognitiver Prozesse eröffneten gänzlich neue Dimensionen der Theorieentwicklung. Dies ist jedoch nicht unumstritten (vgl. Neches, 1982). Ein aktuelles Beispiel für ein derartiges Vorgehen liefert die Arbeit von Reichert & Dörner (1988). In ihr werden Heuristiken zum Umgang mit einem nichtlinearen Regelungsproblem computersimuliert und mit bestimmten Aspekten menschlicher Vorgehensweisen verglichen. Das Kriterium der empirischen Adäquatheit ist somit eine Variante des klassischen "protocol-trace"-Vergleichs. Dies ist jedoch für eine empirisch arbeitende Wissenschaft ein zu schwaches Kriterium (siehe weiter unten). Im übrigen macht die Arbeit von Reichert & Dörner deutlich, daß hier keinerlei Einfluß von KI-Seite erfolgt: es handelt sich um einfache Entscheidungsregeln, die in einer gängigen Programmiersprache formuliert sind. Eine aufwendige Modellierung ist hierfür nicht notwendig.

Man kann sich natürlich fragen, ob nicht Kognitionspsychologen ähnlich mit KI-Tools umgehen wie umgekehrt KI-Forscher mit kognitionspsychologischen Resultaten. Gigerenzer (1988) beschäftigt sich mit der Frage, woher Theorien über kognitive Prozesse eigentlich kommen. Seine Antwort lautet: Man verwendet Metaphern bzw. Analogien und bedient sich hierzu in erster Linie bestimmter Forschungs-Werkzeuge, wie aktuell z.B. Statistik und Computer. "Beide Werkzeuge, Statistik und Computer, verkörpern die Ideale der Präzision und Vorhersagbarkeit, und diese für Rechenprozesse charakteristischen Eigenschaften werden heute von vielen als kennzeichnende Merkmale kognitiver Prozesse angesehen." (p. 94). Ob es aber stimmt, daß Rechnen und Präzision das Wesen kognitiver Funktionen und menschlicher Intelligenz ausmachen, sei nicht geklärt.

4 AUSBLICK

Klix (1987, p. 242) konstatiert, "daß die bloße Übernahme von Modellgedanken aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz keineswegs nur segensreich gewesen ist für die psychologische Hypothesen- oder Theoriebildung". Als Beispiel für diese These führt er das Modell semantischer Netze von Collins & Quillian an, in denen lediglich Worte auf Worte bezogen seien, also die Etiketten verfügbar seien, aber die begriffliche Substanz fehle.

Folgt man Spada & Opwis (1987, p. 257), beklagt sich der Psychologe über die Begrenztheit der KI-Modellierungssprachen. In der Quintessenz resultiere "ein weit verbreitetes gegenseitiges Wundern über die Begrenztheit des Erkenntnisstandes der jeweils anderen Seite". Als einzige Konsequenz sei hier die Zusammenarbeit unter dem Dach einer interdisziplinären Kognitionswissenschaft zu fordern, wie sie in den USA seit langem Realität sei.

Eine derartige Konzentration von Forschern verschiedener Herkunft kann ganz befruchtend wirken. Jedoch allgemein die Einrichtung eines Faches "Cognitive Science" oder auf gut deutsch "Kognitionswissenschaft" zu fordern, ist zwar modern, verdeckt aber grundsätzliche Unterschiede, die die an diesem Gegenstand gemeinsam arbeiten Vertreter verschiedener Disziplinen besitzen⁷. Beziehen wir dies nur einmal auf Informatik und Psychologie, so ist der entscheidende Unterschied im Erfolgskriterium zu sehen. Während in der Psychologie als empirischer Wissenschaft das Wahrheitskriterium zum Maß aller Dinge werden muß - und daher das Experiment und nicht die Simulation nach wie vor die einzige Methode der Wahl bleibt - (vgl. dagegen Ueckert, 1983), ist für den KI-Forscher die Lauffähigkeit der zentrale Punkt (früher war Effizienz das Kriterium). Anstelle der Untersuchung des Möglichkeitscharakters bestimmter Prozeduren tritt in der Psychologie als empirischer Wissenschaft die Tatsachenorientierung. Dieser grundsätzliche methodologische Unterschied schließt - wie eben gezeigt werden

⁷ Dies entspricht einer der zwei Visionen, die Gardner (1985, p. 389f) in seiner lesenswerten Geschichte der Kognitionsforschung darlegt: die schwächere sieht die lose Kooperation vor, die stärkere impliziert eine "reconfiguration of the territory of cognitive science" mit der Aufgabe traditioneller Bereichsgrenzen.

sollte - e:
Heirat und
nicht gere
lassen.

Literatur

Barr, A.
Volume
Daiser, W.
gen. F:
Engelkamp
Reprä:
Furbach,
symbol
Münche
Gardner, J.
York: I
Gigerenzer
Rundsc
Herrmann,
Mannhe
stuhl F
Klix, F. I
Eigens
ergeb
Gesells
Krems, J.
strateg
Le Ny, J.-
Kogniti
Neches, F
Method
Neumann,
der Ko
logie. I
Newell, A.
Pribbenow
Vortra:
Reichert,

sollte - eine fruchtbare Freundschaft beider Disziplinen nicht aus, läßt eine baldige Heirat und den anschließenden Einzug in das Haus der Kognitionswissenschaft aber nicht gerade als ratsam erscheinen - die Trennung würde nicht lange auf sich warten lassen.

Literatur

- Barr, A. & Feigenbaum, E.A. (Eds.) 1981. The handbook of Artificial Intelligence. Volume 1. Los Altos, Calif.: William Kaufmann.
- Daiser, W. 1984. Künstliche Intelligenz Forschung und ihre epistemologischen Grundlagen. Frankfurt: Lang.
- Engelkamp, J. & Pechmann, T. 1988. Kritische Anmerkungen zum Begriff der mentalen Repräsentation. Sprache & Kognition 7, 2-11.
- Furbach, U., Freksa, C. & Dirlich, G. 1988. Wissensrepräsentation in künstlichen symbolverarbeitenden Systemen. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), Wissenspsychologie. München: Psychologie Verlags Union, 505-528.
- Gardner, H. 1985. The mind's new science. A history of the cognitive revolution. New York: Basic Books.
- Gigerenzer, G. 1988. Woher kommen Theorien über kognitive Prozesse? Psychologische Rundschau 39, 91-100.
- Herrmann, T. 1988. Mentale Repräsentation - ein erläuterungsbedürftiger Begriff. Mannheim: Bericht Nr. 42 der Forschungsgruppe Sprache und Kognition am Lehrstuhl Psychologie III der Universität Mannheim.
- Klix, F. 1987. Kognitive Psychologie und Künstliche Intelligenz: Wechselwirkung und Eigenständigkeit verschiedener Disziplinen, dargestellt am Beispiel neuer Forschungsergebnisse. In M. Amelang (Ed.), Bericht über den 35. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Heidelberg 1986. Band 2. Göttingen: Hogrefe, 237-252.
- Krems, J. & Mehmanesh, H. 1988. SHERLOCK - Kognitive Modellierung von Debuggingstrategien. Vortrag gehalten auf der GWAI-88, Schloß Eringerfeld.
- Le Ny, J.-F. 1988. Wie kann man mentale Repräsentationen repräsentieren? Sprache & Kognition 7, 113-121.
- Neches, R. 1982. Simulation systems for cognitive psychology. Behavior Research Methods & Instrumentation 14, 77-91.
- Neumann, O. 1985. Informationsverarbeitung, Künstliche Intelligenz und die Perspektiven der Kognitionspsychologie. In O. Neumann (Ed.), Perspektiven der Kognitionspsychologie. Heidelberg: Springer, 3-37.
- Newell, A. 1982. The knowledge level. Artificial Intelligence 18, 87-127.
- Pribbenow, S. 1988. Verträglichkeitsprüfungen für die Verarbeitung räumlichen Wissens. Vortrag gehalten auf der GWAI-88, Schloß Eringerfeld.
- Reichert, U. & Dörner, D. 1988. Heurismen beim Umgang mit einem "einfachen" dynamischen

- schen System. *Sprache & Kognition* 7, 12-24.
- Ripplinger, B. & Kobsa, A. 1988. PLUG: Benutzerführung auf Basis einer dynamisch veränderlichen Zielhierarchie. Vortrag gehalten auf der GWAI-88, Schloß Eringerfeld.
- Rumelhart, D.E. & McClelland, J.L. 1986. PDP models and general issues in cognitive science. In D.E. Rumelhart & J.L. McClelland (Eds.), *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume 1: Foundations*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 110-146.
- Savory, S.E. 1985. Artificial intelligence - State of the art 1984. In S.E. Savory (Ed.), *Künstliche Intelligenz und Expertensysteme*. München: Oldenbourg, 13-34.
- Scheffé, P. 1985. *Informatik - Eine konstruktive Einführung. LISP, PROLOG und andere Konzepte der Programmierung*. Mannheim: BI-Wissenschaftsverlag.
- Searle, J.R. 1980. Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences* 3, 417-457.
- Spada, H. & Opwis, K. 1987. Wissenspsychologie: Erwerb, Repräsentation und Nutzung von Wissen. In M. Amelang (Ed.), *Bericht über den 35. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Heidelberg 1986. Band 2*. Göttingen: Hogrefe, 253-264.
- Ueckert, H. 1983. Computer-Simulation. In J. Bredenkamp & H. Feger (Eds.), *Hypothesenprüfung. (=Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich B: Methodologie und Methoden, Serie I: Forschungsmethoden der Psychologie, Band 5)*. Göttingen: Hogrefe, 530-616.