

# Wissenserwerb mit kooperativen Systemen

Claus Möbus

## Zusammenfassung

Kooperative Systeme gewähren benutzerspezifische Hilfen in Stocksituationen. Das sind Situationen in denen ein Problemlöser mit seinem Domänenwissen in der Problemlösung nicht mehr weiter kommt. Diese Hilfen ermöglichen die Wissenserweiterung des Benutzers, so daß er die Stocksituation auf der Basis der Hilfen und schwacher domänenunspezifischer Heuristiken überwinden kann. Wir stellen eine kognitive Wissenserwerbtheorie (ISP-DL) vor, die es erlaubt, eine Taxonomie der Stocksituationen und damit eine Taxonomie der Hilfen zu entwickeln. Es wird an Hand von vier konkreten kooperativen Systemen skizzenhaft untersucht, ob derartige Bezüge herstellbar sind.

## 1. Wissenserwerb mit kooperativen Systemen

Es ist eine unbestrittene und von vielen Wissenschaftlern im Bereich CAI, CBT und ITS gar nicht gerne zugegebene Tatsache, daß Wissenserwerb auch in Systemen stattfindet, die nicht als Lernumgebungen oder Tutorsysteme konzipiert wurden. Wissenserwerb ist sogar in relativ benutzerunfreundlichen Systemen beobachtbar. Diese an und für sich erfreuliche Tatsache erschwert leider die Rechtfertigung wissenschaftlicher Forschung gegenüber manchen Diskussionspartnern. So kann man oft das Argument hören: "Lernen findet immer statt - auch unter ungünstigen Bedingungen -, warum es also erforschen."

Wir können uns aus mehreren Gründen einer derartigen Argumentation nicht anschließen. Es ist natürlich ein legitimes Forschungsziel, die Bedingungen des menschlichen Wissenserwerbs in Computersystemen und ihre Erleichterung bzw. ihre Optimierung zu untersuchen. Es ist auch von Interesse, wann welche Information bei einem Schüler oder Studenten zu neuem Wissen wird und wann nicht. In die gleiche Richtung zielt die Frage, wann welche Information *hilfreich*, *lästig* oder gar *schädlich* für den Wissenserwerbsprozess des Lerners bzw. Problemlösers ist.

Was verstehen wir unter einem *kooperativen* System? Wir wollen ein Computersystem als kooperativ bezeichnen, das dem Problemlöser in *Stocksituationen*, in denen sein Wissen für den weiteren Lösungsweg nicht ausreicht, *situations- und problemlöserbezogene Hilfen* anbieten kann. Damit ist dann auch klar, daß diese Definition nicht nur auf Lernumgebungen und Tutorsysteme zutrifft. Weiter wollen wir uns mit der Frage beschäftigen, ob mit den Hilfen Wissen *implizit* transportiert werden kann. Damit heben wir uns z.B. von normalen Tutorsystemen ab, die das Wissen *explizit* vermitteln wollen. Bei Systemen mit expliziter Wissenskommunikation (d.h. mit Instruktionen) werden Stocksituationen nur als störend angesehen. Dagegen ist aus der Sicht impliziter Wissensvermittlung die Stocksituation unerlässlich für den Wissenserwerb, der vermittelt Hilfen und nicht über Instruktionen stattfindet.

## 2. Hilfen in wissensbasierten Systemen

Die Generierung von Hilfen in wissensbasierten Systemen ist erst seit dem Aufkommen der großen CAI-Systeme (z.B. PLATO, TICCIT) Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtungen. Inzwischen ist die *benutzerspezifische* Hilfegenerierung zu einem Lackmustest der "Intelligenz" oder Benutzerfreundlichkeit eines Systems (z.B. einer Lernumgebung) avanciert (KASS & FININ, 1989; MÖBUS & THOLE,

---

An dieser Stelle möchte ich mich bei cand.inf.Jörg Ritter und Dr.Olaf Schröder dafür bedanken, daß ihre Informationen bei Erstellung dieses Papiers immer Hilfen und nie "lästige Ratschläge" waren. Sie haben meine Impasses gut diagnostiziert!

1989; MÖBUS, 1990, 1991; MÖBUS, SCHRÖDER & THOLE, 1991).

Aber auch außerhalb der Forschergemeinde, die sich mit intelligenten Lernumwelten befaßt, wird der Nutzen einer systematischen wissenschaftlichen Erforschung der Hilfgenerierung anerkannt (BAUER, 1988; BOY, 1991; HOUGHTON, 1984; KEARSLEY, 1988). Immerhin hat sich die Kooperativität eines Systems als ein so diffiziles Problem erwiesen, daß mehrere KI-orientierte Forschungsprojekte Teilaspekte wie z.B. Planerkennung und Intensionsdiagnostik untersuchen (BREUKER et al., 1989; CARBERRY, 1991; HARTLEY et al., 1988a,b; RETZ-SCHMIDT (in press); WAHLSTER, BIUNDO & HECKING, 1989; WINKELS, BREUKER & SANDBERG, 1988; WINKELS & SANDBERG, 1987; WOODROFFE, 1988). Die Etablierung dieses interdisziplinären Forschungsfelds wird auch durch die Gründung der Zeitschrift "User Modeling and User-Adapted Interaction" dokumentiert.

Auffällig bei diesen vielfältigen Aktivitäten ist, daß in den allermeisten Fällen *Designentscheidungen* bei der Gestaltung eines kooperativen Systems nicht aus einer Theorie der humanen Wissensveränderung bzw. des Wissenserwerbs hergeleitet werden. Oftmals werden nur mehr oder minder plausibel erscheinende "Daumenregeln" aus einer naiven Psychologie angeführt (so z.B.: "Any sequence or screen that requires the user to remember or attend to more than five items simultaneously is likely to need a help"; KEARSLEY, 1988, S.50).

Zwar sind auch teilweise kognitive Theorien wie z.B. ANDERSON's ACT\* (ANDERSON et al., 1990) herangezogen worden, Designentscheidungen zu kommentieren; oft waren die Begründungen nicht konsistent mit Theorie und Empirie. So mag es zwar angehen, daß die folgenden Designentscheidungen im ANDERSON'schen LISP-Tutor aus der ACT\*-Theorie herleitbar sind:

"Therefore, in order to continue the model tracing, we are forced to stop the student when we detect such an error and ask him to reconsider it. Frequently, such errors are slips, and students will spontaneously correct themselves. However, if they do not, we force them to take a step which is along a correct solution path.

If one believed that such correction was harmful to the learning, one would be in a situation where the learning theory and methodology were in opposition. However, fortunately our learning theory implies that immediate feedback is important. Even in the 80 percent of the cases where we can interpret the error in the model, we point the error out to the student and encourage the student to return to a correct path" (ANDERSON, 1987).

Jeder erfahrene Pädagoge oder pädagogischer Psychologe weiß jedoch, daß die Empirie derartige Schlußfolgerungen nicht stützt. So können sich häufige Unterbrechungen hemmend auf die Lernmotivation und auf die Problemlöseaktivität auswirken, insbesondere wenn nicht nur Fehler, sondern auch "umständliche" Vorgehensweisen angemahnt werden, wie dies im LISP-Tutor häufig zu beobachten ist.

### **3. Kognitive Theorien des Stocksituationslernens, des erfolgsgesteuerten Lernens und der Motivation-Volition**

Nach VanLEHN's (1988) und unseren Erfahrungen sind *direktive* instruktionsbezogene Unterbrechungen des Problemlöseprozesses, wie sie ANDERSON für seinen LISP-Tutor propagiert, für den Problemlöser vorschnell und für den Wissenserwerb abträglich. Statt dessen formulierte VanLEHN (1988, 1990, 1991) die Theorie des Impasse-Driven Learning (IDL). Wissenserwerb findet bevorzugt *nach* Stocksituationen (Impasses) statt. In derartigen Situationen kann der Lernende den Problemlöseprozeß nicht fortsetzen, weil ihm domänenspezifisches Wissen fehlt (Eine genauere Definition eines Impasse gibt van LEHN, 1991b, S. 19). Als Reaktion auf die Stocksituation wendet der Lernende schwache (domänenunabhängige) *Heuristiken* an, wie: Fragen zu stellen, sich Hilfe zu holen, nach Analogien zu suchen, oder durch Konfliktdiagnose (DUNCKER, 1963) in einen Problemlöseprozeß einzutreten. Ist die Anwendung der schwachen Heuristik erfolgreich in dem Sinne, daß die Stocksituation überwunden werden kann, wird neues Wissen erworben: nämlich die Information, die zu der Überwindung der Stocksituation beigetragen bzw. deren vorheriges Fehlen zu der Stocksituation geführt hat. Dieses Wissen steht dann in späteren Situationen zur Verfügung und hilft so, ähnlich begründete

Stocks Situationen zu vermeiden. Kann die Stocks Situation hingegen mit der aufgesuchten Information nicht überwunden werden, so kann, ähnlich wie schon im General Problem Solver (ERNST & NEWELL, 1969) oder in SOAR (LAIRD, ROSENBLOOM & NEWELL, 1987), ein neues Problem (sekundäre Stocks Situation nach BROWN & van LEHN, 1980) entstehen.

Eine wichtige Folgerung aus der IDL-Theorie ist, daß der Lernende neue Information nur dann aufsucht bzw. für sie empfänglich ist, wenn er sich in einer Stocks Situation befindet. Stocks Situationen sind also der Motor des Wissenserwerbs, da sie Problemlösen, Anforderung von Hilfen etc. anregen (van LEHN, 1988). Ohne Stocks Situation hingegen werden neue Informationen als lästig empfunden ("unerbetene Ratschläge"). Das aktive Aufsuchen von Information durch den Lernenden gibt also Hinweise auf Wissenslücken und damit auf seine Wissensstrukturen sowie auf die ablaufenden Wissenserwerbsprozesse. Es ist damit ein wichtiges empirisches Datum (vgl. auch SELF, 1990).

Im Unterschied zu früheren Ansätzen zur Modellierung von Wissenserwerbsprozessen versucht die IDL-Theorie also, *Bedingungen* des Erwerbs neuen Wissens zu spezifizieren.

Wir haben dann im Verlauf der weiteren Forschungsarbeiten dem IDL-Modell die Wissensoptimierung nach Erfolgssituationen (Success-Driven Learning = SDL; SCHRÖDER, 1990a,b) und die HECKHAUSEN/GOLLWITZERsche 4-Phasen Motivations- bzw. Handlungstheorie ("Rubikonmodell") hinzugefügt.

Unter SDL wollen wir die *Wissensoptimierung nach Erfolg* verstehen. Sie läuft ohne Stocks Situationen ab. Beispiele für Wissensoptimierungsprozesse im Sinne des SDL sind Chunking (ELIO, 1986; IBA, 1989; ROSENBLOOM & NEWELL, 1986; 1987; WOLFF, 1987), Komposition (ANDERSON, 1983a; b; 1986; 1989; LEWIS, 1987; NEVES & ANDERSON, 1981), Prozeduralisierung (ANDERSON, 1983a; 1986; 1989) und die Bildung rekursiver Makrooperatoren (CHENG & CARBONELL, 1986). Da SDL *ohne* Stocks Situationen abläuft, ist auch kein Wissenserwerb nötig: Hilfen werden als *lästig* erlebt. Diese Modellvorhersage stimmt auch mit unserer Alltagserfahrung überein.

Für Phasen, in denen weder IDL noch SDL stattfindet, haben HECKHAUSEN (1987, 1989) und HECKHAUSEN & GOLLWITZER (1986, 1987) ein Motivations-Volitions-Modell ("Rubikonmodell") vorgeschlagen, das vier Phasen handlungspsychologischer Folgen unterscheidet:

1. die prädezisionale Motivationsphase mit Fazit-Tendenz
2. die präaktionale Volitionsphase mit Fiat-Tendenz
3. die aktionale Volitionsphase
4. die postaktionale Motivationsphase

Die *prädezisionale Motivationsphase* ist gekennzeichnet durch die Erzeugung von Wünschen und das Abwägen möglicher Handlungsalternativen unter den Kriterien Machbarkeit und Wünschbarkeit. Um überlange bzw. endlose Abwägephasen zu verhindern, wird ein metavolitionaler Kontrollprozeß ("Fazit-Tendenz") angenommen. Die Fazit-Tendenz soll umso stärker werden, je länger die Person das Für und Wider von Alternativen bedacht hat.

Ist die *Fazit-Tendenz* so groß, daß eine Schwelle überschritten wird, wird eine Entscheidung getroffen ("der Rubikon wird überschritten"), aus der Menge der Wünsche eine Zielintention auszuwählen, die zur Menge schon vorhandener Intentionen hinzukommt und mit diesen in der nächsten präaktionalen Volitionsphase um den Zugang zur *Handlungsphase* konkurriert.

Diese Phase ist durch Planungsaktivitäten gekennzeichnet, weil Intentionen oft nicht sofort realisiert bzw. implementiert werden können. Unter Umständen müssen leichter realisierbare Subziele gebildet werden. Ferner treten Fragen nach dem Zeitpunkt, dem Ort, dem Modus und der Länge der intendierten Handlung auf.

Ob eine gebildete Intention zur Handlungsinisierung führt, hängt von ihrer "*Fiat-Tendenz*" ab. Diese hängt ab von der Volitionsstärke im Vergleich zu anderen in Konkurrenz stehenden Intentionen und von der Eignung der Situation auch im Vergleich zu anderen zu erwartenden zukünftigen

Situationen. Die Fiat-Tendenz ist so gestaltet, daß die Realisation einer Intention auch bei schwach ausgeprägter Zieltendenz möglich ist. Die Phase wird durch die Handlungsinitiierung abgeschlossen.

Damit beginnt die *Aktionsphase*, die durch den Wunsch der Zielerreichung gekennzeichnet ist. Dabei kann die Volitionsstärke entsprechend der Art und Größe von Hindernissen ansteigen. Nach der Theorie kann die mentale Zielrepräsentation auf verschiedenen Abstraktionsebenen verteilt sein und je nach aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Handlungsausführung verschieden gewichtet werden.

Auf die aktionale Phase mit der Intentionsrealisierung schließt sich die Intentionsdesaktivierung und die *Handlungsbewertung* an. Sie liefert zusätzliche Information für zukünftige Planungen und weitere Durchläufe des 4-Phasenzyklus. Die Bewertung kann sich dabei zu einem neuen Problem ausweiten, wenn erst Bewertungskriterien gefunden werden müssen.

Die nichtformale verbale bzw. diagrammartige Formulierung des "Rubikonmodells" brachte es mit sich, daß unerwünschte Interpretationen auftauchten. Diese auszuräumen, formulierte GOLLWITZER (1990) einige Präzisionsversuche hinsichtlich der temporalen Abfolge der Phasen und der Hierarchie von Zielen.

So muß nicht jeder Handlungsinitiation die Abwägenphase und die Formung einer Zielintention vorausgehen. Gründe hierfür sind die Aufnahme unterbrochener Handlungen oder die Verfolgung übergeordneter Ziele (z.B. "Lebensziele"). Auch kann die Planungsphase übersprungen werden. Sie ist nur wahrscheinlich, wenn die leichte Ausführung von Handlungen gefährdet ist. Auch die Überlappung von Phasen wird nicht ausgeschlossen: "Similarly, during the execution of goal-related actions, individuals may deliberate wishes, ready themselves for implementing other goals, or evaluate some terminated goal pursuit as long as executing the critical actions is largely automatized" (GOLLWITZER, 1990,S.61). Um den Eindruck zu vermeiden, das "Rubikonmodell" kenne nur eine unstrukturierte Menge von Zielen oder Intentionen, erfolgt ein weiterer Präzisionsversuch hinsichtlich der möglichen Hierarchisierung von Zielen: "People frequently form goal intentions in the service of other (superordinate) goal intentions" (GOLLWITZER, 1990,S.61).

Insgesamt kommt GOLLWITZER (1990,S.62) zu der Wertung: "At the core of the Rubicon model of action phases is the assumption that the realm of goal-oriented behavior comprises various phenomena (deliberating, planning, acting, evaluation) that are ruled by different principles."

GOLLWITZER (1990) löst sich von der HECKHAUSEN'schen Motivations-Volitions-Dichotomie der Aktionsphasen und betont die Eigenständigkeit der vier Phasen: *Abwägen* (deliberating), *Planen* (planning), *Handeln* (acting) und *Bewerten* (evaluating) durch Zuordnung aktionsspezifischer Einstellungen (mind sets). So sind folgende Einstellungen charakteristisch für eine Aktionssequenz, die zur Bewertung des Erreichten führt:

1. Einstellungen in der *Abwägenphase* (Deliberative Mind-Sets):
  - 1.1 kognitive Feineinstellung (cognitive tuning) auf Informationen, die die Machbarkeit und Wünschbarkeit von Zielen betreffen
  - 1.2 Orientierung zur korrekten, unverfälschten und unparteiischen Verarbeitung solcher Information
  - 1.3 Erhöhte Bereitschaft, allgemein Informationen aufzunehmen (open-mindedness)
2. Einstellungen in der *Planungsphase* (Implemental Mind-Sets):
  - 2.1 kognitive Feineinstellung auf Informationen, die den Zeitpunkt, die Länge, die Umstände und die Art der Handlung betreffen
  - 2.2 Bereitschaft zur Informationsabwehr; Konzentration nur auf Information, die der Zielrealisation dient
  - 2.3 Tendenz zur parteiischen und optimistischen Informationsauswertung hinsichtlich der Machbarkeit und Wünschbarkeit des ausgewählten Ziels

3. Einstellungen in der *Aktionsphase* (Actional Mind-Sets):
  - 3.1 kognitive Feineinstellung auf interne und externe Hinweise, die bei der Zielerfüllung hilfreich sein könnten
  - 3.2 Tendenz zur Abwehr (closed mindedness) von Informationen, die eine Neubewertung des angestrebten Ziels, des Plans oder eine Selbstbewertung in Gang setzen könnten
4. Einstellungen in der *Bewertungsphase* (Evaluative Mind-Sets)
  - 4.1 kognitive Feineinstellung gegenüber Informationen, die die Qualität des Erreichten und die Wünschbarkeit der Konsequenzen betreffen
  - 4.2 Orientierung zur korrekten, unverfälschten und unparteiischen Verarbeitung dieser Information
  - 4.3 Orientierung zum Vergleich zwischen Erreichtem und seiner Konsequenz mit dem Intendierten und seiner Konsequenz

Wir haben versucht die einzelnen Theorien zu einer einheitlichen *Wissenserwerbstheorie* zusammenzufassen. Diese Theorie erlaubt es, Stocksituationen zu klassifizieren und vorherzusagen. Entsprechend der Klassifikation lassen sich dann Hilfemöglichkeiten als Maßnahmen zuordnen. Da der Problemlöser sich ständig in seinem Wissenstand ändert, ist es grundsätzlich wichtig, den Wissenserwerbsprozess am Einzelfall zu modellieren und zu diagnostizieren.

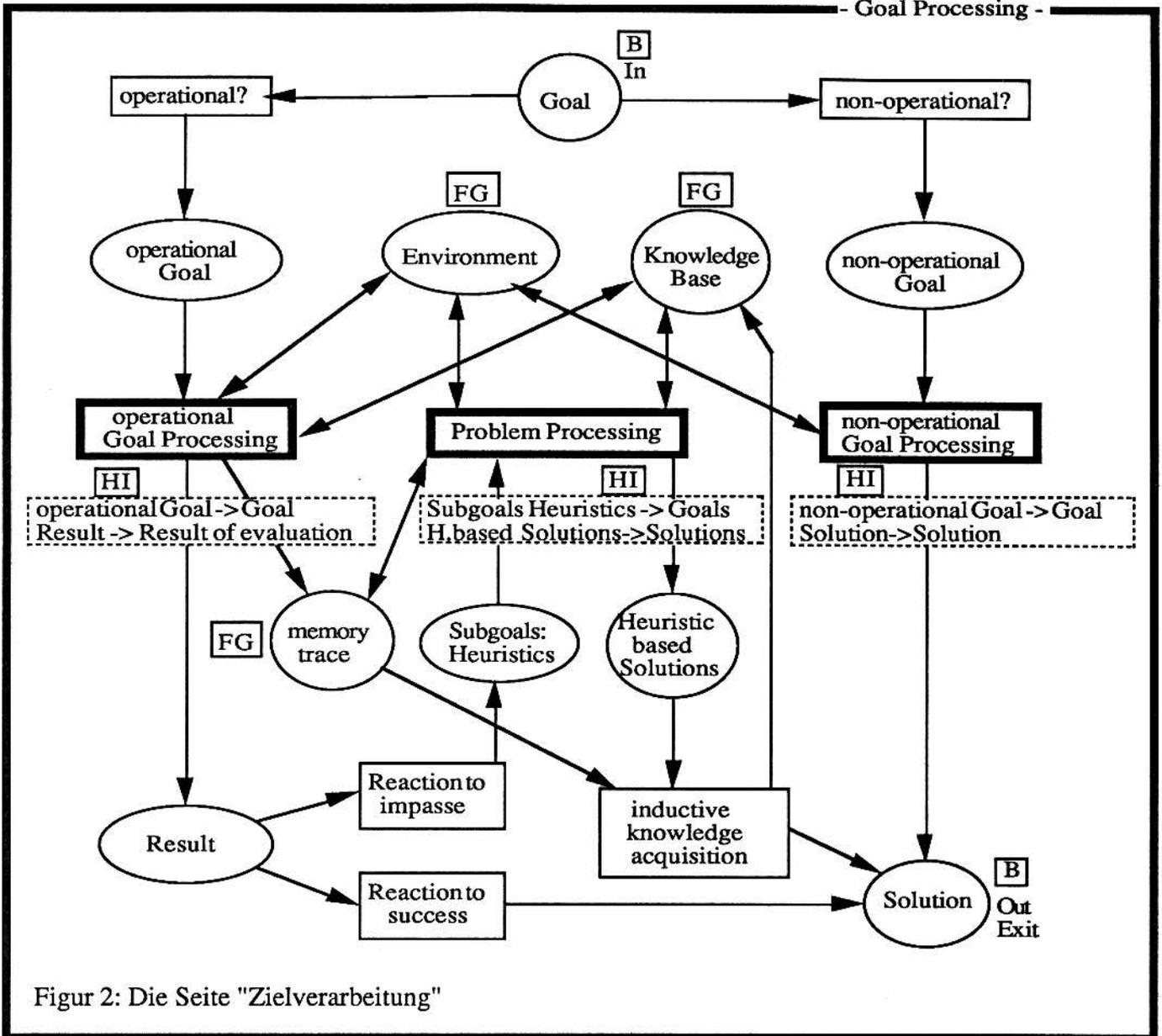
#### 4. Das IDL-SDL Problemlösemodell des Wissenserwerbs

Wir wählen als Acronym ISP-DL für Impasse-und Success-Problemsolving-Driven-Learning. Die für den Wissenserwerb relevanten Aspekte des ISP-DL sind in informeller Darstellung in der Form eines höheren hierarchischen *Petrinetzes* in den Figuren 1 - 4 dargestellt. Petrinetze dienen der Modellierung *verteilter* informationsverarbeitender Prozesse. Die Semantik einfacher Netze ist u.a. in REISIG (1982) und die der höheren hierarchischen Netze in HUBER et al. (1990) präziser dargestellt. Wir wollen es bei einer natürlichsprachlichen Beschreibung bewenden lassen.

Das Wissenserwerbsmodell gliedert sich in vier Subaspekte (Seiten): *Problemlösen*, *Zielverarbeitung*, *operationale* und *nichtoperationale Zielverarbeitung*. Innerhalb einer Seite befindet sich ein Subnetz, das diesen speziellen Subprozess modelliert. Wir unterscheiden *Stellen* (Ellipsen) und *Transitionen* (Rechtecke). Die Transitionen modellieren Ereignisse bzw. Verarbeitungsschritte und die Stellen Zustände bzw. Datenbehälter.

Die *Stellen* können Marken tragen, die für mentale Objekte (z.B. Ziele, Gedächtnisspuren, Heuristiken) oder reale Objekte (z.B. eine Problemlösung oder ein Verhaltensprotokoll) stehen. Stellen können zusätzliche Bezeichner (tags) tragen: So bedeutet ein "B" in einem Quadrat, daß diese Seite über diese Border-Stelle betreten (IN) oder verlassen (OUT/EXIT) wird. Stellen mit dem Bezeichner "FG" gehören einer *globalen* Fusionsmenge an. Diese Stellen stehen in allen Seiten mit gleichem Inhalt zur Verfügung; d.h. sie modellieren Ressourcen, Speicher etc., die *allen* Seiten zur Verfügung stehen.

Die Informationsverarbeitung wird durch das Schalten von Transitionen modelliert. Eine *Transition* kann schalten, wenn sie von allen Stellen im Vorbereich (d.h. Stellen, die durch einen Pfeil mit Spitze in Richtung Transition verbunden sind) ein *Token* (Ziel, Regel etc.) abzieht und allen Stellen im Nachbereich (d.h. Stellen, die durch einen Pfeil ausgehend von der Transition mit der Transition verbunden sind) ein Token zuliefert. Bei einem Doppelpfeil befindet sich die Stelle sowohl im Vor- als auch im Nachbereich der Transition.



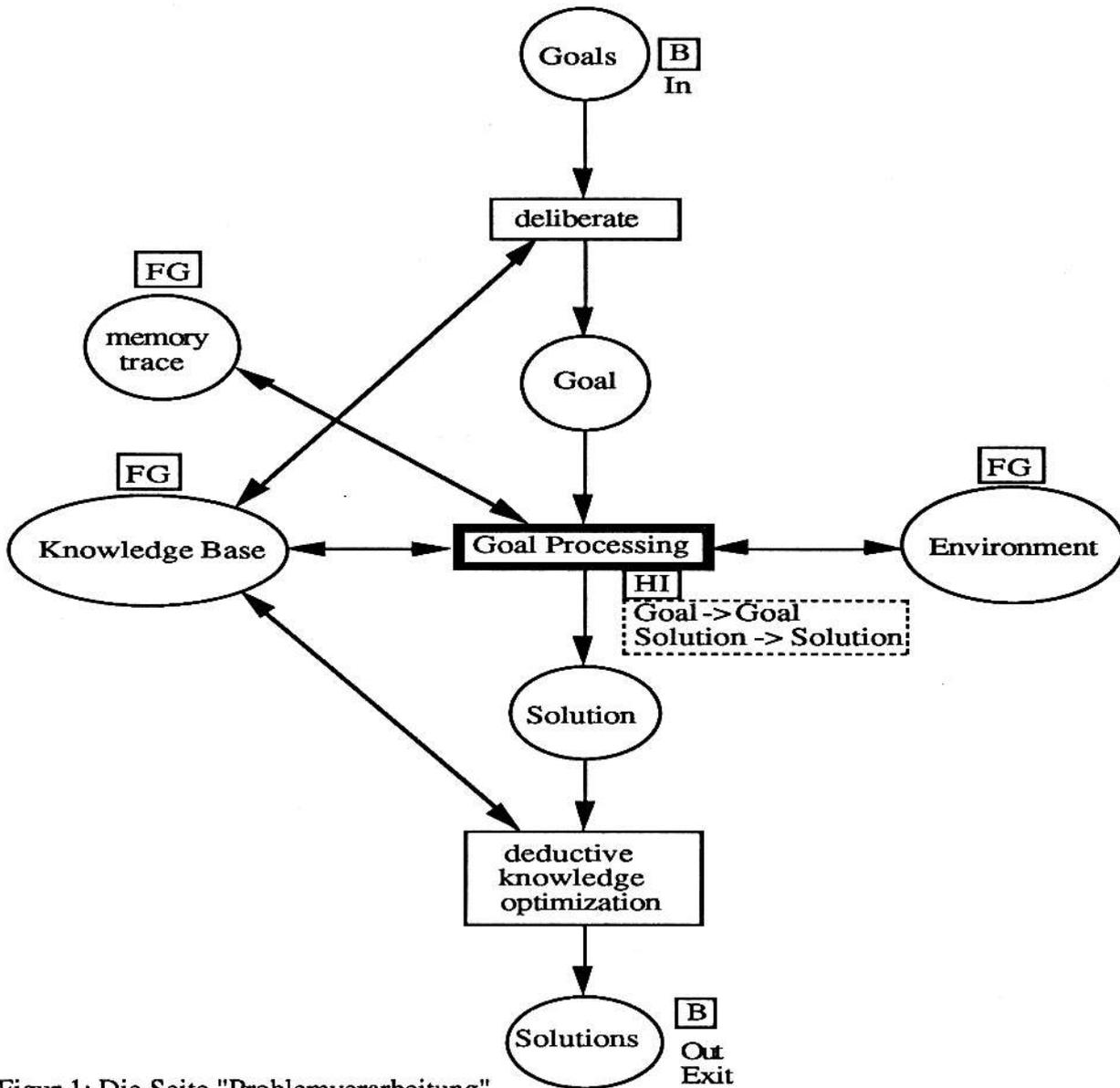
Figur 2: Die Seite "Zielverarbeitung"

Im Prozeß "Goal Processing" (Figur 2) prüft der PL, ob er Problemlöseoperatoren für das Ziel einsetzen kann (operational?) oder nicht (non-operational?). Wenn es als nichtoperational eingeschätzt wird, kann der Prozess nach der Beschreibung der Seite "non-operational Goal Processing" fortgeführt werden (Figur 3). Das Problem kann zerlegt und die Teillösungen können zu einer Gesamtlösung integriert werden.

Schätzt der PL das Problem dagegen als operational ein, wird der Prozess auf der Seite "operational Goal Processing" fortgeführt (Figur 4). Aus dem Ziel wird ein Lösungsplan synthetisiert. Darunter wollen wir eine partielle Sequenz oder Hierarchie von Problemlöseoperatoren oder Heuristiken verstehen, die vom PL in einer Art Probehandeln als lösungsrelevant angesehen wird. Der PL bevorzugt für die Lösung PL-Operatoren gegenüber Heuristiken. Bei der Anwendung von Heuristiken wird eine Gedächtnisspur angelegt. In jedem der zwei Alternativen wird aber ein Lösungsprotokoll erzeugt, das einer Bewertung unterzogen wird. Das Ergebnis der Bewertung erzeugt eine Stock- oder Erfolgssituation. Die Bewertung der Situation taucht in der Seite "Goal Processing" wieder in der Stelle "Result" auf.

Die Reaktion auf eine Erfolgssituation bewirkt die Beendigung von "Goal Processing". Interessant für den induktiven Wissenserwerb ist jedoch die modellhafte Reaktion auf eine Stocksituation.

In einer derartigen Situation werden ein oder mehrere Subziele erzeugt, schwache domänenunabhängige Heuristiken (z.B.: Ausprobieren, systematische Suche, um Rat fragen, in Lexika nachschlagen etc.) zur Problemlösung einzusetzen. Der entsprechende Problemlöseprozess liefert u.a. Gedächtnisspuren während des Einsatzes der Heuristiken und heuristikbasierte Lösungen. Anschließend wird der PL

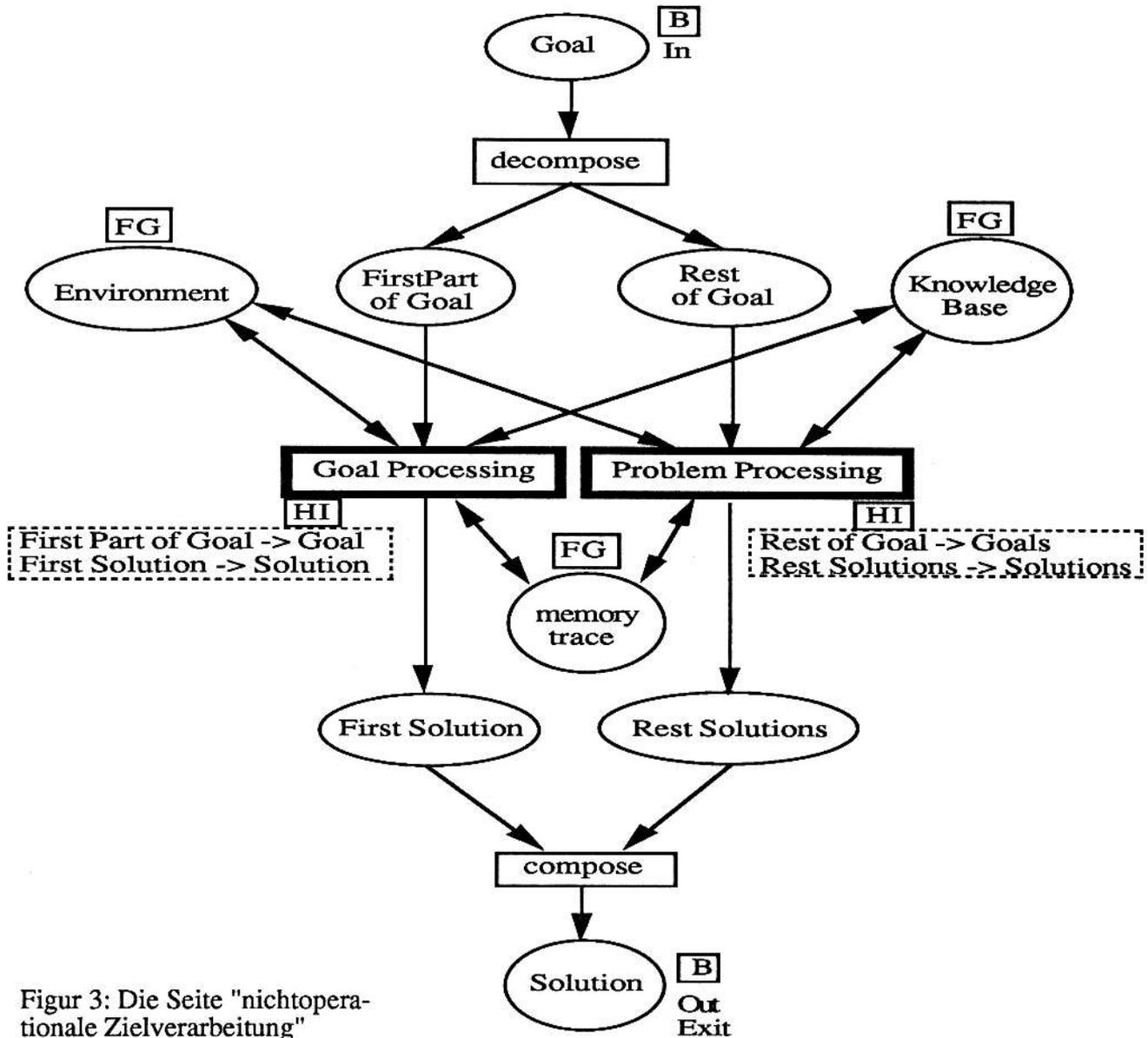


Figur 1: Die Seite "Problemverarbeitung"

Beginnen wir die Prozessbetrachtung mit der Hauptseite "Problemverarbeitung" (Figur 1). Zunächst wägt der Problemlöser (PL) zwischen den verschiedenen alternativen Zielen unter Einbeziehung seines Wissens ("Knowledge Base") ab. Diese "Deliberate"-Phase führt zur Auswahl eines bestimmten Ziels ("Goal"). Danach wird das Ziel bearbeitet ("Goal Processing"). Dieser Prozeß ist in der gleichnamigen Seite (Figur 2) verfeinert.

Die Transition "Zielverarbeitung" in der Seite "Problemverarbeitung" trägt den tag "HI" (hierarchical invocation transition). Damit wird der Fortgang des kognitiven Prozesses in einer neu erzeugten Instanz der Subseite "Zielverarbeitung" angezeigt. Zusätzlich wird durch die beiden Zuordnungen "Goal->Goal" und "Solution->Solution" gefordert, daß der Inhalt der Stelle "Goal" in der Seite "Problem Processing" in der Stelle "Goal" der Subseite "Goal Processing" auftaucht. Entsprechend tauchen die Inhalte der Stelle "Solution" in der Subseite "Goal Processing" wieder in der Stelle "Solution" der Seite "Problem Processing" auf.

Kommt es zu einer Lösung, wird das eingesetzte Wissen *deduktiv* so optimiert (SDL), daß vergleichbare Probleme schneller gelöst werden können. Die Seite wird verlassen, wenn die Stellen "Goals", "Goal" und "Solutions" leer sind.



Figur 3: Die Seite "nichtoperative Zielverarbeitung"

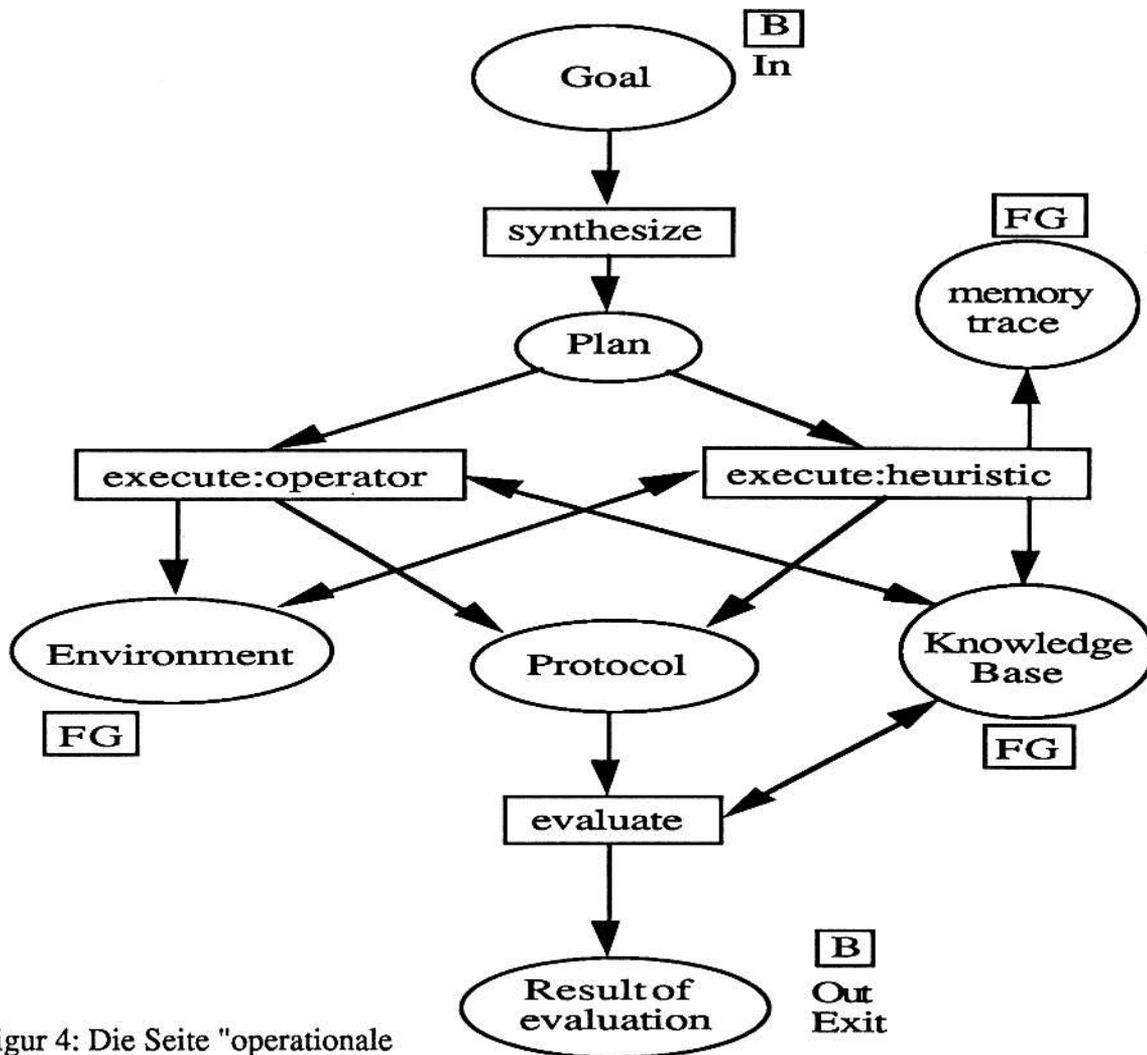
aus dem Wissen um eine Lösung und der Gedächtnisspur der Heuristiken induktiv einen neuen PL-Operator generieren und in die Wissensbasis aufnehmen (IDL).

Es ist prinzipiell möglich, Stellen und Transitionen weiter zu verfeinern. Das scheint sinnvoll zu sein, weil bei jeder Transition Fehler und Stocksituationen auftreten können. Letzteres kann z.B. beim Abwägen passieren, wenn alternative Ziele als gleich schwer realisierbar erscheinen. Eine andere Möglichkeit für Stocksituationen bietet die Synthetisierung eines Plans. Es können z.B. die PL-Operatoren nicht zusammenpassen, so daß nur Planfragmente entstehen.

Für den gegenwärtigen Zweck genügt aber dieses einfachere Modell. Für uns bleibt zusammenfassend festzustellen: *Neues Wissen wird nur nach Stocksituationen und nach dem Einsatz von Heuristiken unter der Verwendung von Gedächtnisspuren erworben. Informationen sind nur dann Hilfen, wenn sie in derartigen Situationen wissensstandsangepaßt angeboten oder vom PL abgerufen werden.*

## 5. Bezüge zu den Workshopbeiträgen

Die Projekte von MÜLLER & WEBER (MW), KREMS (K), REIMANN & SCHULT (RS) sowie PITTSCHKE, SCHRÖDER & MÖBUS (PSM) (in diesem Band) lassen sich aufteilen in zwei schon recht



Figur 4: Die Seite "operationale Zielverarbeitung"

fortgeschrittene Implementierungen (MW, K) und zwei neubegonnene Projekte (RS, PSM).

Das Projekt K modelliert einen Tutor oder Lehrer, der fremde Programmwürfe korrigiert. Insofern bietet es benutzerspezifische Informationen zu Planungsfehlern an. Offen bleibt, ob der PL selber schon eine Stocksituation realisiert hat oder ob das System ungefragt diagnostiziert. Bei MW kann ein PL in einer derartigen Situation gestufte Hilfen abrufen. Die Autoren haben die 4-stufige Hilfsinformation (Lokalisation, Fehlermodus, fehlervermeidende Pläne u. korrekte Lösung) im Hinblick auf die "Bewertungsphase" konzipiert. Der Verweis auf Fehlkonzepte, die durch Parsen fehlerhafter Entwürfe mit "Malrules" gefunden werden, weist dagegen eher auf die "Planungsphase". RS will mit AXE die "Deliberate"-Phase durch die Inferenz von Plänen und Zielen unterstützen. Das Retrieval relevanter Beispiele und Lösungen ist dagegen eine Maßnahme, die mehrere Phasen ("Deliberate", "Suche nach schwachen Heuristiken nach Impasse") betrifft. Auch PSM will durch die Unterstützung des Hypothesentestens und der Zielinferenz das "Deliberate" stützen, während das "Planen" durch Modelchecking und Vorgabe von Designregeln profitieren soll. Aus räumlichen Gründen kann der Bezug hier leider nur skizzenhaft bleiben.

## Literatur

ANDERSON, J.R., Production Systems, Learning, and Tutoring, 437-458, in: KLAHR, D., LANGLEY, P. & NECHES, R. (ed), Production System Models of Learning and Development, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1987

- ANDERSON, J.R., *The Architecture of Cognition*. Cambridge: Harvard University Press, 1983 a
- ANDERSON, J.R., *Acquisition of Proof Skills in Geometry*, in: MICHALSKI, R.S., CARBONELL, J.G., MITCHELL, T.M., *Machine Learning*, Palo Alto: Tioga Press, 1983b, 191-219
- ANDERSON, J.R., *Knowledge Compilation: The General Learning Mechanism*, in: MICHALSKI, R.S., CARBONELL, J.G., MITCHELL, T.M., *Machine Learning*, Vol. 2. Los Altos: Morgan Kaufman, 1986, 289-310
- ANDERSON, J.R., *A Theory of the Origins of Human Knowledge*, *Artificial Intelligence*, 1989, 40, 313-351
- ANDERSON, J.R., BOYLE, F., CORBETT, A.T. & LEWIS, M.W., *Cognitive Modeling and Intelligent Tutoring*, *Artificial Intelligence*, 1990, 42, 7-49
- BAUER, J., *Konzepte und Prototypen interaktiver Hilfesysteme*, Inst. f. Informatik, Uni Stuttgart, 1988
- BOY, G., *Intelligent Assistant Systems*, New York: Academic Press, 1991
- BREUKER, J., DUURSMA, C., WINKELS, R. & SMITH, M., *Knowledge Representation in EUROHELP: Modelling operation and understanding of computer applications for Help Systems*, Progress Report of the ESPRIT Project EUROHELP, 1989
- BROWN, J.S. & VanLEHN, K., *Repair Theory: A Generative Theory of Bugs in Procedural Skills*, *Cognitive Science*, 1980, 4, 379-426
- CARBERRY, S., *Plan Recognition in Natural Language Dialogue*, MIT Press, 1991
- CHENG, P.W.; CARBONELL, J.G.: *The FERMI System: Inducing Iterative Macro-operators from Experience*. AAAI-'86 Proceedings, Los Altos: Morgan Kaufman, 1986, 490-495
- DUNCKER, K., *Zur Psychologie des produktiven Denkens*, Berlin: Springer, 1963 (2. Aufl.)
- ELIO, R., *Representation of Similar Well-Learned Cognitive Procedures*, *Cognitive Science*, 1986, 10, 41-73
- ERNST, G.W. & NEWELL, A., *GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving*, New York: Academic Press, 1969
- HARTLEY, J.R. & PILKINGTON, R., *Software Tools for Supporting Learning in Intelligent On-Line Help Systems*, 39-65, in: P.ERCOLI & R.LEWIS (eds), *Artificial Intelligence Tools in Education*, Amsterdam: North Holland, 1988
- HARTLEY, J.R. & SMITH, M.J., *Question Answering and Explanation Giving in Online Help Systems*, 338-360, in: J.SELF (ed), *Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent Computer-Aided Instruction*, London, 1988
- HOUGHTON, R.C., *Online Help Systems: A Conspectus*, *Commun. of the ACM*, 1984, 27, 126-133
- HUBER, P., JENSEN, K. & SHAPIRO, R.M., *Hierarchies in Coloured Petri Nets*, in: G. ROZENBERG (ed), *Advances in Petri Nets*, Lecture Notes of Computer Science, Heidelberg: Springer, 1990
- IBA, G.A.: *A Heuristic Approach to the Discovery of Macrooperators*, *Machine Learning*, 1989, 3, 285-317
- KASS, R. & FININ, T., *The Role of User Models in Cooperative Interactive Systems*, *International Journal of Intelligent Systems*, 1989, 4, 81-112
- KEARSLEY, G., *Online Help Systems*, Norwood, N.J.: Ablex Publ.Corp., 1988
- LAIRD, J.E., ROSENBLUM, P.S & NEWELL, A., *SOAR: An Architecture for General Intelligence*, *Artificial Intelligence*, 1987, 33, 1-64
- LEWIS, C., *Composition of Productions*. In: KLAHR, D., LANGLEY, P., NECHES, R. (eds), *Production System Models of Learning and Development*. Cambridge: MIT Press, 1987, 329-358
- MÖBUS, C., *Toward the Design of Adaptive Instructions and Helps for Knowledge Communication with the Problem Solving Monitor ABSYNT*, in: MARIK, V., STEPANKOVA, O. & ZDRAHAL, Z. (eds): *Artificial Intelligence in Higher Education*, Lecture Notes in Computer Science No.451 (subseries LNAI), Berlin: Springer 1990, 138-145
- MÖBUS, C., *The Relevance of Computational Models of Knowledge Acquisition for the Design of Helps in the Problem Solving Monitor ABSYNT*, in: LEWIS, R. & SETSUKO, O. (eds), *Advanced Research on Computers in Education*

(ARCE '90), Proceedings, Amsterdam: North-Holland, 1991, 137-144

- MÖBUS, C., SCHRÖDER, O. & THOLE, H.J., Runtime Modelling the Novice-Expert Shift in Programming Skills on a Rule-Schema-Case Continuum, ABSYNT-Report 12/91, paper accepted for presentation in the workshop on "Intelligent Agent Modelling" at the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '91), Darling Harbour, Sydney, Australia
- MÖBUS, C. & THOLE, H.J., Tutors, Instructions and Helps, in: CHRISTALLER, Th. (ed): Künstliche Intelligenz KIFS 1987, Informatik-Fachberichte 202, Heidelberg, Springer 1989, 336-385
- NEVES, D.M., ANDERSON, J.R., Knowledge Compilation: Mechanisms for the Automatization of Cognitive Skills. In: ANDERSON, J.R. (ed), Cognitive Skills and their Acquisition, Hillsdale: Erlbaum, 1981, 57-84
- REISIG, W., Petrinetze - eine Einführung, Heidelberg: Springer, 1982
- RETZ-SCHMIDT, G., Recognizing Intentions, Plan Interactions, and Plan Failures, User Modeling and User-Adaptive Interaction, (in press)
- ROSENBLOOM, P.; NEWELL, A., The Chunking of Goal Hierarchies: A Generalized Model of Practice, in: MICHALSKI, R.S., CARBONELL, J.G., MITCHELL, T.M., Machine Learning, Vol. 2. Los Altos: Morgan Kaufman, 1986, 247-288
- ROSENBLOOM, P.; NEWELL, A., Learning by Chunking: A Production System Model of Practice, in: KLAHR, D.; LANGLEY, P.; NECHES, R. (eds): Production System Models of Learning and Development. Cambridge: MIT Press, 1987, 221-286
- SCHRÖDER, O., A Model of the Acquisition of Rule Knowledge with Visual Help: The Operational Knowledge for a Functional, Visual Programming Language, in: NORRIE, D.H., SIX, H.W. (eds), Computer-Assisted Learning, ICCAL-'90, Lecture Notes in Computer Science, Vol.438, Heidelberg: Springer 1990, 142-157
- SCHRÖDER, O., Erwerb von Regelwissen mit visuellen Hilfen: Das Semantikwissen für eine graphische funktionale Programmiersprache, Dissertation, FB 5 "Philosophie, Psychologie, Sportwissenschaft", Universität Oldenburg, Verlag P. Lang (im Druck)
- VanLEHN, K., Toward a Theory of Impasse-Driven Learning, 20 - 41, in: H.MANDL & A.LESGOLD (ed), Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems, New York: Springer, 1988
- VanLEHN, K., Mind Bugs: The Origins of Procedural Misconceptions, Cambridge: MIT Press, 1990
- VanLEHN, K., Two pseudo-students: Applications of machine learning to formative evaluation, in: R. LEWIS, S. OTSUKI (eds), Advanced Research on Computers in Education, Elsevier, IFIP, 1991a, 17-25
- VanLEHN, K., Rule Acquisition Events in the Discovery of Problem-Solving Strategies, Cognitive Science, 1991b, 15, 1-47
- WAHLSTER, W., BIUNDO, S. & HECKING, M., PHI: Plan-based Help Systems, Project Description, Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz, Saarbrücken, Oktober, 1989
- WINKELS, R., BREUKER, J. & SANDBERG, J., Didactic Discourse in Intelligent Helps Systems, Proceedings of Intelligent Tutoring Systems, ITS-88, Montreal, 279-285
- WINKELS, R., & SANDBERG, J., The EUROHELP Coach: A Progress Report, ESPRIT Project P280 "EUROHELP", 1987
- WOLFF, J.G., Cognitive Development as Optimisation, in: BOLC, L. (ed), Computational Models of Learning, Berlin: Springer, 1987, 161-205
- WOODROFFE, M.R., Plan Recognition and Intelligent Tutoring Systems, in: SELF, J.(ed), Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent Computer-Aided Instruction, London, 1988, 212-225

Anschrift des Autors: Prof. Dr. Claus Möbus, Universität Oldenburg, FB Informatik, Abt. Lehr- / Lernsysteme, Postfach 2503, D-2900 Oldenburg. E-mail: Claus.Moebus@arbi.informatik.uni-oldenburg.de