

Mandl, Heinz; Hron, Aemilian

Wissenserwerb mit Intelligenten Tutoriellen Systemen

Unterrichtswissenschaft 14 (1986) 4, S. 358-371



Quellenangabe/ Reference:

Mandl, Heinz; Hron, Aemilian: Wissenserwerb mit Intelligenten Tutoriellen Systemen - In:
Unterrichtswissenschaft 14 (1986) 4, S. 358-371 - URN: urn:nbn:de:01111-pedocs-296093 - DOI:
10.25656/01:29609

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:01111-pedocs-296093>

<https://doi.org/10.25656/01:29609>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Wissenserwerb mit Intelligenten Tutoriellen Systemen

Aufgrund von Weiterentwicklungen in der Computertechnologie und Künstlichen-Intelligenz-Forschung sowie neuen Ansätzen der Wissenspsychologie deuten sich neuartige Möglichkeiten der Entwicklung *Intelligenter Tutorieller Systeme* an. Kennzeichnend für diese Systeme ist ihre Flexibilität und Adaptivität im tutoriellen Dialog mit dem Lernenden. Sie sollen den aktuellen Lern- und Verstandsstand im Lernablauf diagnostizieren und im Zusammenhang damit geeignete Unterweisungen erteilen können. Zentrale Komponenten Intelligenter Tutorieller Systeme sind die Wissensbasis (Expertenkomponente), das Lernermodell sowie die tutorielle Komponente. Anhand von Beispielen werden Prototypen Intelligenter Tutorieller Systeme dargestellt: Der LISP-Tutor von John Anderson und das sich in der Entwicklung befindliche, an der Mikrowelt-Konzeption orientierte System REFRACT von Peter Reimann. Probleme bei der Entwicklung Intelligenter Tutorieller Systeme werden aufgezeigt. Sie beziehen sich auf die Analyse von Wissensstrukturen, die Diagnose von Wissen sowie die Förderung des Wissenserwerbs. Die Lösung dieser Probleme stellt eine Herausforderung zur interdisziplinären Zusammenarbeit von Psychologie, Künstlicher-Intelligenz-Forschung und Erziehungswissenschaft dar.

Acquisition of knowledge with Intelligent Tutoring Systems

The recent developments in computer technology and Artificial Intelligence as well as new approaches in cognitive psychology have shown up new ways for developing *Intelligent Tutoring Systems*. A characteristic feature of these systems is their flexibility and adaptability in the tutorial dialogue with the learner. Intelligent Tutoring Systems are supposed to diagnose the actual learning and comprehension state of the learner participating in the learning process and to provide according instructions. As basic components of such systems must be considered the knowledge base, the student model and the tutorial component. As an example prototypes of such Intelligent Tutoring Systems will be presented: the LISP tutor developed by John Anderson and the microworld system REFRACT, which is at present being developed by Peter Reimann. Problems related to the development of Intelligent Tutoring Systems are discussed. They arise in connection with the analysis of knowledge structures and their diagnosis as well as the facilitation of knowledge acquisition processes. To solve these problems interdisciplinary efforts are required from researchers in psychology, Artificial Intelligence and education.

Ausgangslage

Bereits in den 60er und 70er Jahren wurden Versuche unternommen, den Computer zur Wissensvermittlung im Schul- und Bildungsbereich einzusetzen. Die ersten computerunterstützten Lehrprogramme waren einfache elektronische Textdarbietungen oder Übungsprogramme mit geringen Programmverzweigungen, die eine Frage vorgaben, die Reaktion des Lernenden als „richtig“ oder „falsch“ bewerteten und dann zur nächsten Frage übergingen (*Lesgold 1986*). Das Lernen mit dem Computer war in der Regel auf wenig flexible Lehrstoffdarbietungen festgelegt, und die Programme verfügten nur über geringe adaptive Diagnose- und Rückmeldemöglichkeiten. Begrenzungen für die Entwicklung dieser Programme waren zum einen die geringen Rechen- und Speicherkapazitäten der verfügbaren Computer, zum anderen das vorherrschende behavioristische Paradigma, das die Forschung auf äußeres, beobachtbares Lernverhalten beschränkte, ohne die interne Reprä-

sensation des Wissens und seiner Veränderung für den Aufbau computerisierter Lehrprogramme zu berücksichtigen. Insgesamt haben diese Lehrprogramme nicht die ursprünglich hohen Erwartungen erfüllt, die bezüglich der Lern- und Einsatzmöglichkeiten des Computers für Ausbildungszwecke gehegt worden waren (Mandl & Hron 1984). Die Ausgangslage für die Entwicklung computerisierter Lehrprogramme hat sich in letzter Zeit stark verändert. Im Bereich der Entwicklung der Computer-Hardware sind in den letzten Jahren rasante Fortschritte in bezug auf Rechenleistung und Speicherkapazitäten gemacht worden. Dieser Trend dürfte sich in der nächsten Zukunft noch verstärkt fortsetzen. Innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre wird die nächste Generation von Computern im PC-Bereich verfügbar sein. Diese Rechner werden nicht teurer als derzeitige voll ausgestattete Mikrocomputer sein, jedoch 5 bis 10 mal leistungsfähiger, über einen 10 bis 20 mal größeren Arbeitsspeicher verfügen und Graphik-Fähigkeiten aufweisen, die zur Zeit nur bei kostspieligen speziellen Systemen zu haben sind (Crecine 1986). In der Künstlichen Intelligenz-Forschung werden auf der Grundlage von Programmiersprachen, wie z.B. LISP oder PROLOG, Programmierungsumgebungen entwickelt, die in effizienter Weise die Programmierprobleme handhabbar machen, welche die Entwicklung komplexer Computerprogramme stellt. Mit LOOPS, SMALLTALK oder OPS5 liegen solche Programmierungsumgebungen bereits vor. Weiterentwicklungen sind auch in diesem Bereich abzusehen (Bobrow & Stefik 1986). Bedeutsam sind auch Anregungen, die von der Entwicklung von Expertensystemen in der Künstlichen Intelligenz-Forschung ausgehen und die die computerisierte Repräsentation von Wissen, auch in Computer-Lehrprogrammen, vorantreiben (Davis 1986). In der Kognitionsforschung richten sich theoretische Arbeiten auf die Analyse mentaler Prozesse sowie der Repräsentation des Erwerbs und der Veränderung von Wissen. Neue Ansätze im Bereich der Theorie semantischer Netzwerke, Produktionssysteme und mentaler Modelle verweisen auf Möglichkeiten, die mentalen Aspekte von Lernprozessen in differenzierter Weise zu untersuchen (z.B. Michalski, Carbonell & Mitchell, 1986).

Diese Entwicklungen eröffnen der Konstruktion computerisierter Lehrprogramme neue Perspektiven. Derzeit zielen die Bemühungen verstärkt darauf ab, neben der Weiterentwicklung von Übungsprogrammen, dem Einsatz des Computers für Simulationszwecke im Unterricht und für das Programmierenlernen, den Computer für den flexiblen und adaptiven tutoriellen Dialog einzusetzen. Mit den als *Intelligente Tutorielle Systeme* bezeichneten neuen Lehrprogrammen wird versucht, die Probleme, die die Ausgestaltung des computerisierten Lehr-/Lerndialogs stellt, auf einer breiteren Basis erneut in Angriff zu nehmen.

Kennzeichnung

Intelligente Tutorielle Systeme sind eine Form computerisierter Lehrprogramme, die darauf abzielen, dem Lernenden einen Wissenserwerb gemäß seinen individuellen Vorkenntnissen und Lernfortschritten in spezifischen Wissensbereichen zu

ermöglichen. Lehrprogramme werden als „intelligent“ bezeichnet, wenn sie in der Lage sind, einen flexiblen und adaptiven Dialog mit dem Lernenden zu führen. Sie gelten als *flexibel*, wenn der Lernende auf bestimmte Lehrinformation oder spezifische mediale Präsentationsformen des Lehrstoffs zurückgreifen kann. Sie gelten als *adaptiv*, wenn die Lehrstoffdarbietung an das Kenntnis- und Fertignivea des jeweiligen Lernenden angepaßt wird, indem der aktuelle Lern- und Verstehensstand im Lernablauf diagnostiziert und im Zusammenhang damit geeignete Unterweisungen erteilt werden (Fischer & Mandl 1985). Die Realisierung dieser Merkmale wird mit der Entwicklung Intelligenter Tutorieller Systeme angestrebt. Ein *Intelligentes Tutorielles System* ist ein komplexes Computerprogramm, das aus verschiedenen Komponenten besteht. Im wesentlichen zu unterscheiden sind die *Wissensbasis* (Expertenkomponente), die das zu vermittelnde Wissen enthält, das *Lernermodell*, in dem Information über den jeweiligen Wissensstand des Lernenden festgehalten ist, sowie die *tutorielle Komponente*, die angibt, auf welche Weise dem Lernenden der Lehrstoff dargeboten werden soll (vgl. Barr & Feigenbaum 1982, Spada & Opwis 1985, Fischer 1985). Die *Wissensbasis* ist die computerisierte Repräsentation des Wissens, das dem Lernenden vermittelt werden soll. Sie kann unterschiedliche Arten von Wissen enthalten, beispielsweise Wissen über mehr oder weniger komplexe Sachverhalte (z.B. „Rom ist die Hauptstadt von Italien“) bis hin zu komplizierten Problemlöseprozeduren wie die Lokalisierung eines Fehlers in einem elektronischen Schaltkreis (zu den verschiedenen Wissensarten siehe Mandl, Friedrich & Hron 1986). Neuere Entwicklungen Intelligenter Tutorieller Systeme richten sich vor allem auf die Vermittlung von Problemlöseprozeduren, die der Lernende nach erfolgreicher Unterweisung ebenso wie ein Experte beherrschen soll. Eine Wissensbasis wird als Expertensystem bezeichnet, wenn sie Problemlösungen in einem bestimmten Inhaltsbereich wie ein menschlicher Experte erarbeiten kann. Mit der Entwicklung Intelligenter Tutorieller Systeme wird vielfach der Anspruch verbunden, die Wissensbasis in solch differenzierter Weise zu modellieren, daß das System selbst in der Lage ist, die Problemstellungen in der gleichen Vorgehensweise zu lösen, wie dies vom Lernenden erwartet wird (O'Shea & Self 1983). Eine solche Wissensbasis ist dann erforderlich, wenn dem Lernenden detaillierte Hinweise und Hilfestellungen zum Lösungsvorgehen gegeben werden sollen. Nur wenn der Computer weiß, wie eine entsprechende Aufgabe zu lösen ist, kann er die Schwierigkeiten des Lernenden erkennen, einen Lösungsweg differenziert erklären und andere detaillierte Hilfestellungen geben.

Das *Lernermodell* stellt eine dynamische Repräsentation des jeweiligen Wissens- und Verstehensstands des Lernenden dar. Dieses Modell wird durch eine Diagnosekomponente aufgebaut, die das Verhalten des Lernenden beobachtet und daraus das jeweils vorhandene Wissen folgert. Es werden verschiedene Formen der Modellierung des Wissensstands des Lernenden unterschieden. Als Überlagerungsmodell („overlay-model“, Carr & Goldstein 1977) wird die Abbildung der Wissensstruktur des Lernenden als vereinfachte Teilmenge eines Expertensystems bezeichnet, wobei davon ausgegangen wird, daß der Lernende dieses Expertenwissen im Zuge der tutoriellen Unterweisung erwirbt. Von einem Abweichungsmodell

(„deviation-model“) wird dagegen gesprochen, wenn die Wissensstruktur des Lernenden unabhängig vom Expertenwissen modelliert und z.B. auf systematische Fehlerprozeduren oder fehlerhafte Schlußfolgerungen zurückgeführt wird (z.B. *Brown & Burton* 1978). In bisher entwickelten Systemen wird der Versuch der Modellierung des Wissens und der Wissensveränderung des Lernenden in unterschiedlicher Weise in Angriff genommen. Zum Beispiel wird im Ansatz von *Anderson* und Mitarbeitern auf der Grundlage einer Theorie mentaler Prozesse beim Erwerb kognitiver Fertigkeiten (*Anderson* 1983) eine differenzierte Modellierung des Wissenserwerbs angestrebt (*Anderson, Farrel & Sauers* 1984, *Anderson, Boyle & Yost* 1985). *White & Frederiksen* (1986) beziehen sich beispielsweise auf das Konstrukt des mentalen Modells und versuchen, auf dieser theoretischen Grundlage Wissen und Verstehensprozesse der Lernenden zu modellieren.

Die *tutorielle Komponente* richtet sich auf die Gestaltung des tutoriellen Dialogs und den Ablauf des Instruktionsgeschehens. Sie steht in enger Verbindung mit dem Lernermodell und den tutoriellen Zielen und bestimmt, welche tutoriellen Aktivitäten in Frage kommen, z.B. Hinweise bei Schwierigkeiten des Lernenden, Ratschläge und Hilfestellungen, Darbietung weiteren Lehrstoffs, Übergang zu neuen Themenbereichen, Vorgabe von Prüfungsaufgaben zur Absicherung des Lernermodells usw. Die mit einem Intelligenten Tutoriellen System verbundenen pädagogischen Intentionen kommen in der tutoriellen Komponente zum Tragen, insbesondere die Frage, ob die Lernumgebung eher ein *angeleitetes* Lernen oder ein stärker *entdeckendes* Lernen ermöglichen soll. Die Interaktion des Systems mit dem Lernenden sollte einem natürlich-sprachlichen Dialog nahekomen.

Beispiele

In den letzten Jahren sind eine Reihe Intelligenter Tutorieller Systeme entwickelt worden, z.B. die Systeme GUIDON (*Clancey* 1983), SOPHIE (*Brown, Burton & De Kleer* 1982), WEST (*Burton & Brown* 1979) oder BUGGY, DEBUGGY und IDEBUGGY (*Brown & Burton* 1982). Daneben wird in neueren Systementwicklungen insbesondere unter der Mikrowelt-Konzeption der Aspekt des entdeckenden Lernens zu realisieren versucht, z.B. in den Systemen ECONOMICS (*Shute, Glaser & Resnick* 1986) oder ELECTRICITY (*Bonar & Logan* 1986). Im folgenden werden zwei Beispiele dargestellt, der LISP-Tutor von *Anderson* sowie der an der Mikrowelt-Konzeption orientierte REFRACT-Tutor.

LISP-Tutor

Der von *Anderson* und Mitarbeitern (*Anderson, Boyle, Farrell & Reiser* (im Druck), *Anderson, Boyle & Reiser* 1985, *Anderson & Reiser* 1985) an der Carnegie-Mellon University in Pittsburgh gebaute LISP-Tutor ist ein Lehrprogramm, mit dessen Hilfe ein Student die Programmiersprache LISP im Einzelunterricht am Computer erlernen kann. LISP ist eine in der Künstlichen-Intelligenz-Forschung

weit verbreitete Programmiersprache. Im Gegensatz zu Programmiersprachen wie Fortran oder Pascal, die zur Berechnung numerischer Probleme verwendet werden, ermöglicht LISP eine symbolische Datenverarbeitung auf der Grundlage von allgemeinen Listenstrukturen. Das Lehrprogramm ist selbst in der Programmiersprache LISP geschrieben. Es läuft auf einem Computer des Typs VAX 725. Das Programm umfaßt zur Zeit 18 Lektionen, die von einer Einführung in die Programmiersprache LISP bis zu fortgeschrittenen Programmieraufgaben reichen und deren Bearbeitung jeweils 1 bis 4 Stunden erfordert. Einen Überblick über das Curriculum vermittelt Abbildung 1.

1. Grundlegende LISP-Funktionen
2. Definition neuer Funktionen
3. Konditionale Ausdrücke und Prädikate
4. Strukturiertes Programmieren
5. Datenstruktur PROG, Berechnung von Ausdrücken
6. Iteration über einen Zähler
7. Rekursion über einen Zähler
8. Rekursion über eine Liste
9. Iteration über eine Liste
10. Weiterführende Rekursion
11. Weiterführende Programmierkonstrukte: MAP's, DO's, LET's
12. Eigenschaftslisten und Felder
13. Suchalgorithmen
14. Fortgeschrittenes Problem: „Waterjug“
15. Listenstrukturen, kopierende und destruktive Funktionen
16. MACRO's und höher entwickelte Funktionstypen
17. Fortgeschrittene Themen: Pattern Matching
18. Fortgeschrittene Themen: Produktionssysteme

Abbildung 1: Das LISP-Curriculum (Anderson & Reiser 1985)

Das Lehrprogramm verhält sich ähnlich wie ein menschlicher Tutor, der einem Studenten Einzelunterricht gibt. Es erteilt dem Lernenden am Bildschirm Unterweisungen in der Programmiersprache und gibt Programmieraufgaben vor, die der Lernende bearbeiten soll. Es verfolgt die Aufgabenbearbeitung des Lernenden, bleibt aber im Hintergrund, solange der Lernende keine Fehler macht und im Lernen voranschreitet. Im anderen Fall meldet es sich und gibt Rat und Hilfestellung, so daß der Lernende weitermachen kann. Es schaltet sich auch dann ein, wenn der Lernende sich bei der Aufgabenbearbeitung längere Zeit ohne Erfolg abmüht. Der Lernende kann auch jederzeit von sich aus Informationen und Hilfen anfordern. Ansonsten verfährt das Lehrprogramm aber nach dem Prinzip, daß der Lernende so viel wie möglich ohne fremde Hilfestellung erreichen soll. Um einen solchen tutoriellen Dialog führen zu können, besitzt das Lehrprogramm ein Expertensystem, in dem festgehalten ist, wie ein geübter Lernender bzw. Experte bei der Bearbeitung der jeweils dargebotenen Programmierprobleme vorgeht. Das Expertenmodell bildet den Vergleichsmaßstab für ein Lernermodell, das vermittelt einer dia-

gnostischen Einheit aufgebaut bzw. aktualisiert wird. In dem Lernermodell wird der jeweilige Wissens- und Verstehensstand repräsentiert. Dazu wird jeder einzelne Arbeitsschritt des Lernenden analysiert und bewertet und außerdem ein Fehlermodell herangezogen, in dem Abweichungen von der Vorgehensweise von Experten festgehalten sind, d.h. Fehler, die Anfänger häufig machen, wie typische Verwechslungen von Programmierfunktionen oder falsche Strategien bei der Bearbeitung. Die Entwicklung dieser Systemkomponenten stützt sich auf langwierige empirische Untersuchungen, die der Lehrprogrammierstellung vorausgingen. Es wurden Experten befragt und bei der Lösung von LISP-Programmierproblemen beobachtet, wobei jede ihrer Vorgehensweisen minutiös analysiert wurde. Gleichfalls untersucht wurden der Wissenserwerb und die Fehler von Lernenden in diesem Bereich. Auf der Grundlage dieser Systemkomponenten wird mit jedem Zeichen, das der Lernende an der Tastatur eingibt, bestimmt, ob er einer richtigen Programmierregel folgt, eine Programmieranweisung richtig schreibt oder in sonstiger Weise von dem Verhalten eines Experten abweicht.

In der tutoriellen Komponente des Systems ist gespeichert, wie das Programm in einzelnen Lernabschnitten reagiert und auf das Lerngeschehen Einfluß nimmt. Diese Komponente realisiert die pädagogischen Prinzipien (s.u.), gemäß denen der Lernende bei Schwierigkeiten unterbrochen und angeleitet wird. Außerdem legt sie fest, wann Stoffwiederholungen vorgegeben werden oder mit weiteren Aufgaben fortgeschritten wird. Das Lehrprogramm ist so flexibel angelegt, daß es unterschiedliche Vorgehensweisen der Lernenden berücksichtigen kann, die bei der Bearbeitung eines Programmierproblems möglich und richtig sind. Es ist in der Lage, je nach Unterrichtslektion zwischen 45 % und 80 % der Fehler eines Lernenden zu diagnostizieren. Die Lektionen mit den schlechteren Fehlerdiagnosen sollen in der nächsten Zeit noch überarbeitet werden. Tritt der Fall ein, daß das Lehrprogramm einen Fehler des Lernenden nicht einordnen kann, so teilt es ihm mit, daß es seine Antwort nicht versteht und gibt einige grundsätzliche erklärende Hinweise zur Aufgabenstellung, die das Weitermachen ermöglichen. Das Lehrprogramm ist bei der Ausbildung von Studenten eingesetzt worden und hat sich bewährt. Untersuchungen haben ergeben, daß Studenten aufgrund der individuellen Betreuungsmöglichkeiten im Einzelunterricht mit dem LISP-Computertutor bessere Lernergebnisse erzielen als bei einer Unterrichtung in der Gruppe bzw. im Klassenverband.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung Intelligenter Tutorieller Systeme haben *Anderson, Boyle, Farrell und Reiser* (im Druck) verschiedene pädagogische Prinzipien formuliert und zu realisieren versucht. Ein wichtiges Prinzip besteht darin, dem Lernenden über die inhaltliche Aufgliederung des Lehrstoffs Klarheit zu verschaffen und die Instruktion an dieser Struktur zu orientieren. Ein weiteres Prinzip besagt, daß Instruktionen im Kontext des Problemlösens gegeben werden sollten. Es wird ein „learning by doing“ betont, in dessen Rahmen gezielte Unterweisungen zu geben sind. Weiterhin soll der Lernende bei Fehlern unmittelbar Feedback erhalten, solange der fehlerhafte Sachverhalt in seinem Gedächtnis aktiv ist. *Anderson* und Mitarbeiter versprechen sich davon, daß der Lernende Umwege ver-

meidet und seiner möglichen Desorientierung entgegengewirkt wird. Ein weiteres Prinzip besagt, die Lehrstoffvorgabe so zu dosieren, daß der Lernende nicht überlastet wird. Nach *Anderson* beruht ein großer Teil von Fehlern auf unmittelbarem Vergessen von Lehrinformation. Außerdem soll die „Korngröße“ der Instruktion entsprechend den Lernfortschritten und Schwierigkeiten des Lernenden verändert werden, was allerdings erhebliche Anforderungen an die Lernermodellierung und die Steuerung des tutoriellen Dialogs stellt.

Diese Prinzipien sind z.T. sehr kritisch aufgenommen worden, da sie das angeleitete Lernen deutlich akzentuieren. Vertreter des entdeckenden Lernens verweisen auf die Notwendigkeit von Lernumgebungen, die ein explorierendes Vorgehen und freiere Formen der Auseinandersetzung des Lernenden mit dem Lehrstoff ermöglichen. Solche Lernumgebungen werden im Rahmen der Konzeption der Mikrowelt zu realisieren versucht (*Bonar & Lesgold* 1986). Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Schwierigkeiten der Lernermodellierung in dem Maße zunehmen, wie der Lernende freie Bewegungs- und Entfaltungsmöglichkeiten hat.

Mikrowelt REFRACT

Das von *Reimann* (1986 a, b) konzipierte System REFRACT, das sich zur Zeit noch in Entwicklung befindet, ist entsprechend der Mikrowelt-Konzeption aufgebaut (vgl. *Lawler* 1982). Eine Mikrowelt ist eine auf einem Computer implementierte interaktive Lernumwelt, die dem Lernenden durch entdeckendes Lernen den Erwerb von Wissen und Fähigkeiten an einem eng umgrenzten Gegenstandsbereich ermöglichen soll. Ausgangspunkt ist im allgemeinen die Konfrontation mit einem Problem, das einen kognitiven Konflikt mit dem bisherigen Wissen induzieren, das Bewußtsein einer Lücke im bisherigen Wissen vermitteln und so eine Motivation zur Konfliktlösung schaffen soll. Anschließend wird dazu angeregt, das Problem zu strukturieren und genauer zu analysieren, relevante Variablen zu bestimmen usw. Schließlich sind Problemlösungen zu entwerfen, d.h. Hypothesen zu bilden, die dann wieder überprüft werden müssen. Im Lernprozeß wiederholt sich diese Schrittfolge im Sinne einer Problemlösungsspirale (*Ballstaedt, Mandl, Schnotz & Tergan* 1981).

REFRACT vermittelt Wissen aus dem Bereich der *geometrischen Optik*. Es umfaßt als Wissensbasis die Brechung des Lichtstrahls an der Grenzfläche zweier Medien und die Abbildungseigenschaften dünner Linsen. Nach dem Brechungsgesetz ist das Ausmaß der Richtungsänderung eines Lichtstrahls an der Grenze zweier Medien von der geometrischen Form der Grenzfläche und von der Materialkonstanten der beiden Medien, dem Brechungsindex, abhängig. Dünne Linsen, die zwei brechende Oberflächen haben, zeigen zudem die Eigenschaft, Lichtstrahlen durch das Zentrum ungebrochen zu lassen und achsenparallele Strahlen in ihrem Brennpunkt zu sammeln. Dadurch wird die optische Abbildung eines Gegenstands eindeutig definiert.

Beim entdeckenden Lernen mit der Mikrowelt REFRACT soll der Lernende neben einem besseren Verständnis des Gegenstandsbereichs „Brechung“ metakogni-

tive Strategien durch Hypothesenbildung entwickeln. Die Interaktion des Lernenden mit der Mikrowelt umfaßt in Zusammenhang mit der Aufstellung und Überprüfung von Hypothesen im Rahmen eines simulierten Experiments folgende Sequenz (Reimann 1986, Spada, Reimann & Häusler 1983): Wahl eines physikalischen Versuchs, Formulierung einer Erwartung bzw. Hypothese über das Ergebnis des Versuchs, Informationen über das Ergebnis des Versuchs, Verarbeitung des Ergebnisses des Versuchs, Ableitung einer Hypothesenkonsequenz. Im einzelnen ergibt sich die folgende Interaktionssequenz mit der Mikrowelt REFRACT:

(1) Dem Lernenden stehen für zwei Arten von Experimenten eine Reihe von Bedingungen zur Auswahl:

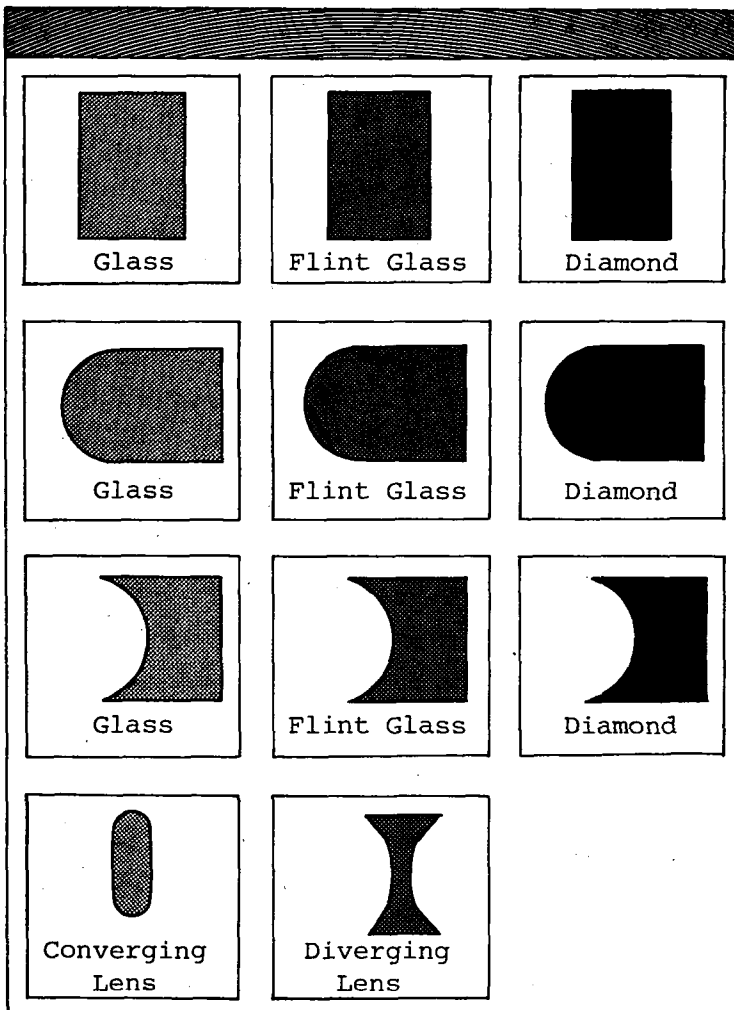


Abbildung 2: Auswahlmöglichkeiten der verschiedenen Medien (Reimann 1986 a)

- Bei Experimenten zum Brechungsgesetz kann der Lernende folgende Bedingungen miteinbeziehen: (a) das brechende Medium: Glas, Flintglas, Diamant (= verschiedenen Brechungsindizes); (b) die Grenzfläche zwischen Luft und Medium: eben – gekrümmt (konvex/konkav); (c) den Abstand zwischen Lichtquelle und Grenzfläche auf der optischen Achse; (d) den Winkel zwischen optischer Achse und einfallendem Lichtstrahl.
 - Bei Experimenten zur „Abbildungseigenschaft dünner Linsen“ kann der Lernende folgende Bedingungen auswählen: (a) die Oberfläche: konvex/konkav; (b) das Objekt, das abgebildet wird: Objekthöhe/Entfernung zwischen Objekt und Linse; (c) die Lichtstrahlen, die vom Objekt ausgehen: Anzahl/Richtung (s. Abbildung 2).
- (2) Der Lernende formuliert eine Hypothese in unterschiedlich präziser Form über die Brechung eines Strahls. Er kann einen bestimmten Bereich auf dem Computerschirm spezifizieren, von dem er annimmt, daß der gebrochene Strahl in diesem Bereich liegt. Dies ist eine allgemeine Vorhersage bzw. Hypothese in qualitativer Form. Er kann den gebrochenen Strahl auf dem Schirm zeichnen. Dies ist ebenfalls eine qualitative Vorhersage, die aber schon präziser ist. Der Lernende kann sich aber auch für eine quantitative Formulierung der Vorhersage in Form einer Spezifizierung des Brechungswinkels entscheiden (s. Abbildung 3).
- (3) Der REFRACT-Tutor gibt dem Lernenden *Informationen* in Form eines graphischen Feedbacks über das Ergebnis, indem die richtigen Strahlen und Pfeile auf dem Bildschirm erscheinen.
- (4) Die *Verarbeitung* der Information erfolgt durch den Lernenden, indem er seine Vorhersage bzw. Hypothese zum beobachteten Ergebnis in Beziehung setzt. Dieser Prozeß wird durch das sog. „Notizbuch“-Fenster unterstützt, das die Vorhersagen und Ergebnisse der einzelnen Versuche tabellarisch festhält und dem Lernenden

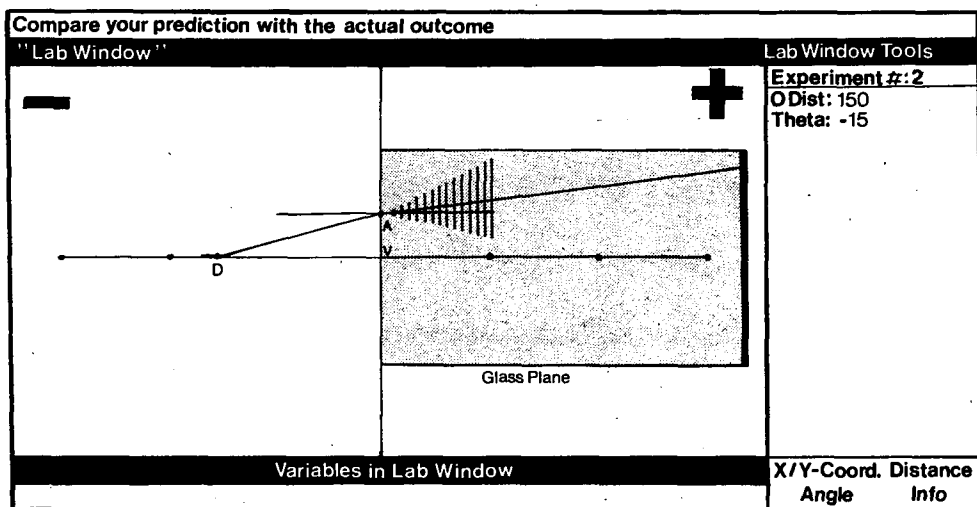


Abbildung 3: Experiment mit einem dicken Glasblock (Reimann 1986 a)

die Analyse und Rekonstruktion seiner bereits durchgeführten Experimente ermöglicht. Zusätzlich lassen sich die verschiedenen Experimente auch nach bestimmten Kriterien (z.B. Medientyp) gruppieren und analysieren.

Die Entwicklung der Mikrowelt erfolgt mit einer XEROX 1108, einem Hochleistungs-PC (LISP-Maschine) mit 1,5 MB Hauptspeicher und 42 MB Festplatte. Er besitzt neben einem Graphik-Display mit hoher Auflösung ein interaktives Maus-Interface.

Die Mikrowelt REFRACT ist auf der Grundlage des Programmiersystems LOOPS konzipiert. LOOPS stellt einen in jüngster Zeit entwickelten neuartigen Ansatz für den Aufbau Intelligenter Tutorieller Systeme dar, der auf dem Prinzip der objekt-(schema)orientierten Programmierung beruht. Dieser Ansatz unterstützt Möglichkeiten der schemaartigen Strukturierung von Wissenskonzepten, d.h. er ermöglicht eine Aufgliederung des Lehrstoffs in Form bestimmter curricularer Abschnitte oder Wissenskonzepte bzw. „Bites“. LOOPS erlaubt eine baumartige Struktur von Objektklassen zu definieren. Jede Klasse hat eine „Schema“-artige Struktur, in deren Leerstellen Variablen eingetragen werden. In der Baumstruktur der Objektklassen werden Informationen hierarchisch angeordnet. Nachfolgende Klassen sind Spezialisierungen ihrer Vorgänger. Diese Art der Strukturierung wird bei REFRACT dazu verwendet, eine Wissensbasis zu konzipieren und die tutoriellen Aktivitäten zu steuern.

Die Mikrowelt REFRACT befindet sich noch in Entwicklung. Sie besitzt neben der Wissensbasis zum Gegenstandsbereich „Brechung“ bereits Ansätze zu einer Wissensdiagnose mit einer Rückmeldung der richtigen Ergebnisse des vom Lernenden konzipierten Versuchs. Eine tutorielle Komponente im Sinne des entdeckenden Lernens ist angelegt. Zur Zeit dient das System noch primär der Analyse von Forschungsfragen – dazu, wie Lernende bei der Interaktion mit der Mikrowelt Wissen über den Gegenstandsbereich erwerben, welche Lernprozesse dabei auftreten und welche metakognitiven Strategien Lernende erwerben. Angestrebt wird eine Prozeßbeschreibung in dem Sinne, daß Veränderungen in der Wissensstruktur schrittweise als Resultat der Interaktion der Versuchspersonen mit der Lernumgebung abbildbar werden. Dabei wird angenommen, daß sich Veränderungen in der Wissensstruktur in der Modifikation verbal geäußerter Hypothesen manifestieren. Durch das Erheben von Daten zu lautem Denken wird das Aufstellen und Testen der Hypothesen durch die Versuchspersonen sehr differenziert erfaßt. Die Ergebnisse solcher Forschungsarbeiten bilden die Grundlage für die fundierte Weiterentwicklung der Mikrowelt REFRACT.

Zur Zeit werden am Learning Research and Development Center (LRDC) in Pittsburgh noch weitere Mikrowelten im Bereich der Elektrizitätslehre und Mikroökonomie entwickelt. Der ELECTRICITY-Tutor beinhaltet grundlegende Prinzipien des Ohmschen und Kirchhoffschen Gesetzes (Bonar & Logan 1986). Er erlaubt dem Lernenden, Fragen an die Lernumwelt im Zusammenhang mit der Exploration der Domäne zu stellen. Dem Lernstand entsprechende Rückmeldungen werden zur Zeit entwickelt. Mit dem Mikroökonomie-Tutor ECONOMICS sollen Lernende wirtschaftliche Veränderungen in einer hypothetischen Stadt na-

mens Keynesvill simulieren (Shute, Glaser & Resnick 1986). Lernende können das Marktgeschehen in verschiedener Weise manipulieren, die dabei auftretenden Wirkungen beobachten und entsprechende Hypothesen ableiten und verifizieren. Insgesamt erscheint die Entwicklung von Mikrowelten ein vielversprechender Ansatz, der stark dem Anspruch Intelligenter Tutorieller Systeme nach Adaptivität und Flexibilität entgegenkommt. Es bleibt jedoch abzuwarten, inwieweit die Mikrowelt-Tutoren die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen werden.

Probleme und Ausblick

Die Entwicklung Intelligenter Tutorieller Systeme steht noch am Anfang. Zwar stellt die Computertechnologie immer leistungsfähigere Hardware-Konfigurationen zur Verfügung, jedoch sind die Kosten für ihren Einsatz im Bildungsbereich bis jetzt noch zu hoch. Auch wenn man aufgrund zunehmender Verbreitung im industriellen Bereich in den nächsten Jahren von reduzierten Hard- und Softwarekosten ausgehen kann, wird die Entwicklung geeigneter „intelligenter“ Lehrprogramme noch erheblichen Forschungsaufwand erfordern. Der Grund ist darin zu sehen, daß die psychologischen und pädagogischen Forschungsansätze zur Analyse des Wissenserwerbs von komplexen Sachverhalten und Fertigkeiten sowie seiner Förderung erst in den Anfängen stehen. Gesicherte Erkenntnisse zum Wissenserwerb, auf deren Grundlage die Konzeption Intelligenter Tutorieller Systeme erfolgen könnte, liegen bisher erst ansatzweise vor. (Mandl & Spada 1984, Hayes-Roth & Thorndyke, 1986.) In der Psychologie, Erziehungswissenschaft und Künstlichen Intelligenz-Forschung werden jedoch seit einigen Jahren in verstärktem Maße Forschungsfragen bearbeitet, die sich auf die Analyse von Wissensstrukturen (Formen der Wissensrepräsentation) (1), Diagnose von Wissen (2) und Förderung des Wissenserwerbs (3) beziehen. Es bestehen aber noch eine Reihe von Problemen.

(1) Forschungsarbeiten zur Analyse der Wissensrepräsentation befassen sich mit Fragen, wie komplexes bedeutungsvolles und vielfältig vernetztes Wissen, z.B. Wissen über Sachverhalte, Handlungswissen, sowie Wissen über Planung und Steuerung von Handlungen repräsentiert ist und wie die verschiedenen Formen der Wissensrepräsentation in Zusammenhang stehen (vgl. Brachman & Levesque 1985). Bisherige Intelligente Tutorielle Systeme berücksichtigten vor allem basale und algorithmische Lehrstoffe, während semantisch reichhaltige, wenig prozeduralisierte Gegenstandsbereiche vernachlässigt wurden (Brüstle & Schott 1986).

(2) Im Rahmen der Wissensdiagnose und Lernermodellierung ist eine zentrale Forschungsfrage die Erfassung des Lernstandes und seiner Veränderung im Wissenserwerbsprozeß. Instrumente zu einer theorieorientierten Diagnose interindividueller Unterschiede und intraindividueller Veränderungen müssen entwickelt werden (vgl. Tergan 1985). Untersucht werden in diesem Zusammenhang zunehmend Fragen, inwiefern Wissensbestände von fortgeschrittenen Lernenden gegenüber Anfängern reichhaltiger, vernetzter und integrierter sind. Ein besonderes Problem stellt die Diagnose unerwarteten und kreativen Verhaltens dar. Eine wei-

tere schwierige Aufgabe ist die Erfassung individueller Bedürfnisse, Einstellungen und Interessen des Lernenden im Hinblick auf lernrelevante Sachverhalte.

(3) Bei der computerunterstützten Wissensvermittlung ist ein ungelöstes Problem die Adaptivität der Systemumgebung im Hinblick auf interindividuelle und intraindividuelle Unterschiede des jeweiligen Lernstandes (vgl. *Ohlsson* 1985). Die Lehrstrategie des Systems muß sich der Verlaufsstruktur des individuellen Lerngeschehens anpassen können. In diesem Zusammenhang stellen sich Fragen dazu, in welcher Form, Häufigkeit und Dichte Rückmeldungen an den Lernenden über den Erfolg des bisherigen Wissenserwerbs bzw. des Wissensabrufs gegeben werden sollen. Eine besondere Aufgabe stellt dabei die Entwicklung von Mikrowelten im Sinne von entdeckenden Lernumwelten dar. In stärkerem Maß als bisher sollen dabei auch die Möglichkeiten des Lernens durch Reflexion bei der Lösung computerisierter Problemaufgaben untersucht werden (*Collins & Brown* 1986). Neben der Gestaltung der Wissensbasis, dem Lernermodell und der tutoriellen Komponente kommt für die Akzeptanz des Lernsystems dem natürlichsprachlichen Zugang besondere Bedeutung zu. Forschungsfragen in diesem Bereich befassen sich mit natürlichsprachlichen Argumentationen in Dialogsystemen (*Wahlster* 1981).

Auf dem Hintergrund der genannten Probleme wird deutlich, daß die Entwicklung Intelligenter Tutorieller Systeme eine große Herausforderung an Psychologie, Künstliche Intelligenz-Forschung und Erziehungswissenschaft darstellt, sowohl für die Theoriebildung unter Einbeziehung der Computermodellierung als auch die instruktionalen Anwendungen (*Brüstle & Schott* 1986). Es ist daher verständlich, daß die Auseinandersetzung mit Intelligenten Tutoriellen Systemen zur Zeit stärker der Klärung von Forschungsfragen dient als der Realisierung von konkreten unterrichtsrelevanten Einsatzmöglichkeiten auf breiter Basis. In der Bundesrepublik werden im Rahmen des Schwerpunktprogramms *Wissenspsychologie* der Deutschen Forschungsgemeinschaft (vgl. *Mandl & Spada* 1984) zur Zeit vier größere Projekte zur Erfassung des Wissenserwerbs mit Intelligenten Tutoriellen Systemen im physikalischen Inhaltsbereich und im Bereich des Programmierwissens durchgeführt. Es wird noch beträchtliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten sein, bis für bestimmte, *eng umgrenzte* Wissensdomänen Intelligente Tutorielle Systeme existieren, die in bezug auf pädagogische Fähigkeiten die Kompetenz eines guten menschlichen Tutors auch nur annähernd erreichen.

Literatur

- Anderson, J.R.*: The architecture of cognition. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1983
Anderson, J. R. & Reiser, B. J.: The LISP tutor. Byte, April 1985, 159–175
Anderson, J. R.; Boyle, C. F. & Yost, G.: The geometry tutor. In Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Los Angeles, CA, IJCAI 1–7, 1985
Anderson, J. R.; Farrell, R. & Sauer, R.: Learning to program in LISP. Cognitive Science, 1984, 8, 87–12
Anderson, J. R.; Boyle, C. F. & Reiser, B. J.: Intelligent tutoring systems. Advanced Computer Tutoring Project, Carnegie-Mellon-University, Pittsburgh, 1985
Anderson, J. R.; Boyle, C. F.; Farrell, R. & Reiser, B. J.: Cognitive principles in the design of computer tutors. Carnegie-Mellon-University, Pittsburgh, Technical Report ONR-84-1, 1984

- Anderson, J. R.; Boyle, C. F.; Farrell, R. & Reiser, B. J.: Cognitive principles in the design of computer tutors. In P. Morris (Ed.): *Modelling Cognition*. New York: Wiley, in press
- Ballstaedt, S.-P.; Mandl, H.; Schnotz, W. & Tergan, S.-O.: *Texte verstehen – Texte gestalten*. München: Urban & Schwarzenberg, 1981
- Barr, B. & Goldstein, I.: *Overlays: A theory of modelling for computer-assisted instruction*. Cambridge, MA: MIT-AI-Memo 406/40, 1977
- Barr, A. & Feigenbaum, E. A. (Eds.): *The handbook of artificial intelligence*. Vol. II. Los Altos, CA: Kaufmann, 1982
- Bonar, J. G. & Logan, D.: *Intelligent tutoring of basic electricity*. University of Pittsburgh: Learning Research and Development Center, April 1986
- Bobrow, D. G. & Stefik, M. J.: Perspectives on artificial intelligence programming. *Science*, 1986, 231, 951–957
- Brachman, R. J. & Levesque, H. J. (Eds.): *Readings in knowledge representation*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1985
- Brown, J. S. & Burton, R. R.: Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. *Cognitive Science*, 1978, 2, 155–192
- Brown, J. S. & Burton, R. R.: An investigation of computer coaching for informal learning activities. In: D. Sleeman & J. S. Brown (Eds.): *Intelligent tutoring systems*. New York: Academic Press, 1982, S. 79–98
- Brown, J. S.; Burton, R. R. & DeKleer, J.: Pedagogical, natural language and knowledge engineering techniques in SOPHIE I, II and III. In: D. Sleeman & J. S. Brown (Eds.): *Intelligent tutoring systems*. New York: Academic Press, 1982, S. 227–282
- Brüstle, G. C. & Schott, F.: *Intelligente tutorielle Systeme: Neue Ansätze der computerunterstützten Steuerung von Lehr-Lern-Prozessen*. Arbeitsgruppe Kognition und Instruktion, Universität Gießen, 1986
- Burton, R. R. & Brown, J. S.: An investigation of computer coaching for informal learning activities. *International Journal of Man-Machine-Studies*, 1979, 11, 5–24
- Carr, B. & Goldstein, I.: *Overlays: A theory of modeling for computer-aided instruction*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, AI Laboratory, 1977
- Clancey, W. J.: GUIDON. *Journal of computer-based instruction*, 1983, 10, 8–15
- Collins, A. & Brown, J. S.: The computer as a tool for learning through reflection. In: H. Mandl & A. Lesgold (Eds.): *Learning issues for intelligent tutoring systems*. New York: Springer, 1986 (i. press)
- Crecine, J. P.: The next generation of personal computers. *Science*, 1986, 231, 935–943
- Davis, R.: Knowledge-based systems. *Science*, 1986, 231, 957–963
- Fischer, P. M.: Wissenserwerb mit interaktiven Feedbacksystemen. In: H. Mandl & P. M. Fischer (Hrsg.) *Lernen im Dialog mit dem Computer*. München: Urban & Schwarzenberg, 1985, S. 68–872
- Fischer, P. M. & Mandl, H.: Computerunterstützte Lehr-/Lernsysteme als Herausforderung an Kognitionspsychologie, Informatik und Pädagogik. In: H. Mandl & P. M. Fischer (Hrsg.): *Lernen im Dialog mit dem Computer*. München: Urban & Schwarzenberg, 1985, S. 3–9
- Hayes-Roth, B. & Thorndyke, P. W.: Paradigma for intelligent systems. *Educational Psychologist*, 1985, 20, 4, 231–241
- Lawler, R. W.: Designing computer microworlds. *Byte*, 1982, 7, 138–160
- Lesgold, A.: Intelligenter computerunterstützter Unterricht. In: H. Mandl & H. Spada (Hrsg.): *Wissenspsychologie*. München: Urban & Schwarzenberg, 1986 (im Druck)
- Mandl, H. & Fischer, P. M. (Hg.): *Lernen im Dialog mit dem Computer*. München: Urban & Schwarzenberg, 1985
- Mandl, H. & Hron, A.: Förderung kognitiver Fähigkeiten und des Wissenserwerbs durch computerunterstütztes Lernen. In: U. Bosler, K. Frey, W. Hosseus, M. Kremer, P. Schermer & H. Wolgast (Hrsg.): *Mikroelektronik und Neue Medien im Bildungswesen (IPN-Arbeitsberichte 56)*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, 1984, S. 105–143
- Mandl, H. & Spada, H.: Antrag auf Einrichtung eines Schwerpunktprogramms „Wissenspsychologie“. Tübingen/Freiburg, 1984
- Mandl, H.; Friedrich, H. F. & Hron, A.: Psychologie des Wissenserwerbs. In: B. Weidenmann; A. Krapp; M. Hofer; G. L. Huber & H. Mandl (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. München: Urban & Schwarzenberg, 1986, S. 143–218
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G. & Mitchell, T. M. (Eds.): *Machine Learning, Volume II*. Los Altos, CA: Kaufmann, 1986
- Ohlsson, S.: *Some principles of intelligent tutoring*. University of Pittsburgh: Learning Research and Development Center, April 1985

- O'Shea, T. & Self, J.: Learning and teaching with computers. Brighton: The Harvester Press Limited, 1983
- Reimann, P.: Modellierung interindividueller Unterschiede im hypothesengeleiteten Wissenserwerb. Universität Freiburg, 1986 a
- Reimann, P.: REFRACT – A microworld program for optical refraction. University of Pittsburgh, Learning Research and Development Center, Februar 1986 b
- Shute, V.; Glaser, R. & Resnick, L.: An intelligent tutoring system for exploring principles of economics. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, June 1986
- Shute, V.; Glaser, R. & Resnick, P.: Discovering and learning to discover: an intelligent microworld for economics. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, April, 1986
- Spada, H. & Opwis, K.: Intelligente tutorielle Systeme aus psychologischer Sicht. In: H. Mandl & P. M. Fischer (Hrsg.): Lernen im Dialog mit dem Computer. München: Urban & Schwarzenberg, 1985, S. 13–23
- Spada, H.; Reimann, P. & Häusler, B.: Hypothesenerarbeitung und Wissensaufbau beim Schüler. In: L. Kötter & H. Mandl (Hrsg.): Kognitive Prozesse und Unterricht. Jahrbuch für Empirische Erziehungswissenschaft 1983. Düsseldorf: Schwann, 1983, S. 139–167
- Tergan, S.-O.: Modelle der Wissensrepräsentation als Grundlage qualitativer Wissensdiagnostik. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag GmbH, 1986
- Wahlster, W.: Natürlichsprachliche Argumentation in Dialogsystemen. KI-Verfahren zur Rekonstruktion und Erklärung approximativer Inferenzprozesse. Informatik-Fachberichte 48. Berlin: Springer, 1981
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R.: Intelligent Tutoring Systems based upon qualitative model evolutions. Proceedings of the Fifth National Conference on Artificial Intelligence, Philadelphia, Pennsylvania, 1986, 313–319

Verfasser:

Prof. Dr. Heinz Mandl, Dipl. Psych., Dipl. Volksw. Aemilian Hron, Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen, Arbeitsbereich Lernforschung, Bei der Fruchtschranke 6, 7400 Tübingen 1