

Urhahne, Detlef; Prenzel, Manfred; Davier, Matthias von; Senkbeil, Martin; Bleschke, Michael
**Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über
die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung**
Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 6 (2000), S. 157-186



Quellenangabe/ Reference:

Urhahne, Detlef; Prenzel, Manfred; Davier, Matthias von; Senkbeil, Martin; Bleschke, Michael:
Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die
pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung - In: Zeitschrift für Didaktik der
Naturwissenschaften : ZfDN 6 (2000), S. 157-186 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315479 - DOI:
10.25656/01:31547

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315479>

<https://doi.org/10.25656/01:31547>

in Kooperation mit / in cooperation with:



IPN

Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

<https://www.leibniz-ipn.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

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

DETLEF URHAHNE, MANFRED PRENZEL,
MATTHIAS VON DAVIER, MARTIN SENKBEIL & MICHAEL BLESCHKE

Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung

Zusammenfassung:

Es wird ein Literaturüberblick über die pädagogisch-psychologischen Theorien und Anwendungen zum computergestützten Lernen und Lehren gegeben. Besonderes Gewicht erhalten Studien mit einem naturwissenschaftsdidaktischen Hintergrund. Das Lehren und Lernen mit dem Computer wird aus drei unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Unter der lernpsychologischen Perspektive werden behavioristische, informationstheoretische und konstruktivistische Ansätze sowie die Effektivität des computergestützten Lernens diskutiert. Unter der medienpsychologischen Perspektive finden Forschungsarbeiten zum Lernen mit Text, Bild und Ton, mit Animationen und Simulationen, mit Hypertext und Hypermedia sowie das Lernen in Netzen Erwähnung. Die didaktisch situierte Perspektive spiegelt Ansätze zur situierten Kognition. Theorie und Forschung zur Cognitive Apprenticeship, zur Verankerten Instruktion, zur Kognitiven Flexibilität und zum problemorientierten Lernen werden vorgestellt. Abschließend erfolgt ein Ausblick auf anstrebenswerte zukünftige Entwicklungen in diesem Forschungsfeld. Schlagwörter: Computergestütztes Lehren und Lernen - Konstruktivismus - Animationen - Simulationen - Hypertext - Situierte Kognition - Literaturüberblick

Abstract:

The literature of theories and applications of computer-based learning and teaching is reviewed. Special stress is placed on studies with a background in the didactics of science. Teaching and learning with the computer is looked at from three different perspectives. From a psychology of learning perspective behavioristic, information processing and constructivistic approaches as well as the effectiveness of computer-based learning are discussed. From a psychology of media point of view publications about learning with text, picture and sound, with animations and simulations, with hypertext and hypermedia, and learning in networks are mentioned. The didactic situated perspective reflects the approaches of situated cognition. Theory and research of cognitive apprenticeship, anchored instruction, cognitive flexibility, and problem-oriented learning are presented. Finally, the prospects for future developments worth striving for in this research area are given.

1. Einleitung

Das Lehren und Lernen mit dem Computer hat sich seit seinen Anfängen in den 50er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts sowohl hinsichtlich der technischen als auch der theoretischen Grundlagen stark gewandelt. Gegenwärtig spricht vieles dafür, daß der technische Entwicklungsprozeß auch in den kommenden Jahrzehnten zügig voranschreiten wird. Es ist zu hoffen, daß sich die Forschung zum computerunterstützten Lehren und Lernen ähnlich dynamisch entwickelt.

So kann der hier angestrebte Überblick über den gegenwärtigen Stand der Theorien zur computergestützten Instruktion und ihrer Anwendungen nur eine Momentaufnahme über ein sich stark in Bewegung befindendes

Forschungsfeld sein. Wir konzentrieren uns auf den Bereich vorwiegend kognitionspsychologisch orientierter Theorien, die das Lernen mit und nicht das Lernen für den Computer (Weidenmann & Krapp, 1989) thematisieren.

Lernen für den Computer steht immer dann im Vordergrund, wenn Qualifikationen vermittelt werden, um dem technischen Wandel gerecht zu werden. Hier geht es um den Erwerb einer 'Computer Literacy' (Molnar, 1978; Arbinger & Bannert, 1993), die es den Lernenden ermöglichen soll, sich auf die Anforderungen einer zunehmend technisierten Umwelt einzustellen. Beim Lernen mit dem Computer tritt dagegen die Vermittlung der fachspezifischen Inhalte in den Vordergrund und damit auch die Frage, in welcher

Hinsicht sich mit einem computergestützten Unterricht andere Wirkungen auf sozialer, affektiv-motivationaler und kognitiver Ebene als mit einem herkömmlichen Unterricht erzielen lassen.

Unser Überblick über die theoretischen Grundlagen der computerunterstützten Instruktion gliedert sich anhand von drei Ebenen, auf die unterschiedliche aktuelle Instruktionsansätze bezogen sind. Die grobe Dreiteilung in die Ebene des Lernenden, der Lernumgebung und der Lernsituation soll deutlich machen, daß theoretische Vorstellungen zum computergestützten Lehren und Lernen unterschiedliche Ansatzpunkte aufweisen können. So können in theoretischen Konzeptionen zum technologiebasierten Unterrichten Attribute des Individuums, Eigenschaften des Lernmediums oder Qualitäten der Lernsituation mit ihren sozialen und kulturellen Aspekten eine stärkere Betonung finden. Eine solche Untergliederung verdeckt in gewisser Weise die Zusammenhänge und Überlappungen der drei Zielbereiche, wie sie beispielsweise zwischen konstruktivistischen, sozio-konstruktivistischen und situierten Lernansätzen oder auch zwischen der lern- und der medienpsychologischen Perspektive bestehen, dient aber der Transparenz der Darstellung. Auf der Ebene der Lernenden werden kognitive und affektiv-motivationale Personenmerkmale in unterschiedlicher Gewichtung thematisiert. Das Denken, Fühlen und Wollen der Lernenden in der Auseinandersetzung mit dem Lernmedium steht hierbei im Forschungsmittelpunkt. Auf der Ebene der Lernumgebung werden die instruktionalen Veränderungen betrachtet, die durch Merkmale des Lernmediums, aber auch durch eine modifizierte Rolle der Lehrkraft bewirkt werden. Schließlich soll die dritte Ebene der Lernsituation deutlich machen, daß auch situative Bedingungen des Lernens Zielebene eines instruktionalen Ansatzes sein können. Hier wird mit dem Begriff der situierten Kognition eine Idee angesprochen, bei der das erworbene Wissen nicht als unabhängig von den Umständen betrachtet wird, unter denen es angeeignet wurde.

Das Lernen mit dem Computer wird im Folgenden aus drei unterschiedlichen Perspektiven betrachtet: einer lernpsychologischen, einer medienpsychologischen und einer didaktisch situierten. Wir beginnen auf der Ebene des Lerners mit der Darstellung von behavioristischen, informationstheoretischen und konstruktivistischen Sichtweisen des computergestützten Lernens sowie der Frage der Effektivität computergestützten Lernens (Abschn. 2), und berichten dann auf der Ebene der Lernumgebung über die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten des Computers und über damit verbundene theoretische Vorstellungen und Anwendungen (Abschn. 3). Abschließend wenden wir uns didaktisch gezielt situierten Lehr- und Lernarrangements zu (Abschn. 4). Mit einem Ausblick auf die mögliche Entwicklung der Perspektiven des Lehrens und Lernens mit den neuen Technologien endet der Überblick (Abschn. 5).

Wo immer es uns möglich erscheint, versuchen wir Bezüge zum computergestützten Lehren und Lernen der Naturwissenschaften herzustellen. Angesichts des angestrebten pädagogisch-psychologisch orientierten Überblicks über das Forschungsfeld kann es sich dabei immer nur um kurze Hinweise oder kleine Beispiele handeln.

2. Die lernpsychologische Perspektive

2.1 Vom Antwortgeber über den Informationsverarbeiter zum Wissenskonstrukteur

Das computergestützte Lernen hat sich in den vergangenen nun fast 50 Jahren unter verschiedenen vorherrschenden lernpsychologischen Forschungsparadigmen entwickelt. Es lassen sich drei theoretische Ansätze - der behavioristische, der informationstheoretische und der konstruktivistische - ausmachen (Mayer, 1992, 1996, 1999), die zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlicher Weise Theorie und Praxis des computergestützten Lernens bestimmt haben.

2.1.1 Die behavioristische Perspektive

In seiner Anfangszeit unter dem behavioristischen Paradigma wurde das „Programmierte Lernen“ simplifizierend als ein mechanisches Erlernen des richtigen Antwortverhaltens auf eine Konstellation einer oder mehrerer Reize betrachtet (Skinner, 1961). Antwortet der Schüler bei einer über den Computerbildschirm dargebotenen Aufgabe richtig, so wird er über eine positive Rückmeldung in seinem Verhalten bestärkt. Gibt er hingegen eine falsche Antwort, so bleibt die positive Rückantwort durch das Lernprogramm aus. Falsch beantwortete Fragen werden vom Lernprogramm so lange wiederholend dargeboten, bis der Lernende das richtige Antwortverhalten zeigt. Obwohl die auf das Einschleifen von Fertigkeiten ausgerichteten ‚Drill-and-Practice‘-Lernprogramme mit den heutigen Vorstellungen über den Lerner nicht mehr vereinbar sind, finden sie in moderner Form für die Aneignung grundlegender Kenntnisse, z.B. dem Einprägen von Vokabeln, auch weiterhin Verwendung.

2.1.2 Die informationstheoretische Perspektive

Mit der kognitiven Wende (Gardner, 1989) in den 60er Jahren betrachtete man die Lernenden nicht mehr als passive Rezipienten äußerer Reize, sondern als aktive Teilnehmer im Lernprozeß (Di Vesta, 1989). Unter der kognitiven Metapher des Lernens ist der Lerner ein bewußter Verarbeiter der von Lernprogrammen bereitgestellten Informationen. Der Lernende nimmt Informationen auf, speichert sie in Form mentaler Repräsentationen, transformiert sie gegebenenfalls, um so auf der Grundlage der gespeicherten Informationen motorisches oder sprachliches Verhalten in Gang zu setzen und zu steuern (Engelkamp & Pechmann, 1993). Mit der Annahme mentaler Repräsentationen steht der Informationsverarbeitungsansatz im Kontrast zur behavioristischen Konzeption, die nicht beobachtbare, interne Repräsentationsformen äußerer Reize nicht berücksichtigt.

Der Informationsverarbeitungsansatz beschreibt das menschliche Denken in Analogie zum Funktionieren eines Computers. Ähnlich wie die Hardware eines Computers bietet auch das menschliche Gedächtnis Möglichkeiten zur Speicherung von Informationen. Ähnlich wie Computerprogramme läßt sich Denken als eine Abfolge elementarer kognitiver Prozesse beschreiben, bei der der Output eines Prozesses zum Input des nachfolgenden Prozesses wird. Schließlich symbolisieren die Datenstrukturen des Computers die Analogie zu den mentalen Repräsentationen im menschlichen Gehirn (Mayer, 1996).

Das Ziel der Vertreter des Informationsverarbeitungsansatzes ist eine möglichst exakte Beschreibung der Wissensstrukturen von Lernenden (De Corte, 1994). Um in instruktional optimaler Weise die bestehenden Wissensstrukturen der Lernenden zu berücksichtigen, wurden intelligente tutorielle Systeme (ITS) entwickelt, die neben einem Diagnoseinstrument zur Beschreibung des aktuellen Wissenstandes des Lernenden über ein Expertenmodell verfügen, das darstellt, wie Wissen in einem bestimmten Bereich aufgebaut sein sollte. Über den Vergleich von Ist- und Sollzustand gibt das ITS dem Lernenden Anweisungen, über die er seine Wissensstruktur dem Expertenmodell annähern kann (Rosenberg, 1987; De Corte, Verschaffel & Lowyck, 1996). Es gibt erfolgreiche Beispiele für die Verwendung von ITS, wie z.B. Andersons Geometrie Tutor (Anderson, Boyle & Reiser, 1985; Anderson, Boyle, Corbett & Lewis, 1990; Anderson, Corbett, Koedinger & Pelletier, 1995), die allerdings auf sehr eng gefaßte und klar strukturierte Inhaltsbereiche beschränkt sind. Bei komplexen Lehrstoffen ist es einfacher und ergiebiger, auf die Vermittlungsfähigkeiten eines menschlichen Tutors zu setzen. Aus anderen Gründen sprechen sich einige Autoren (Nathan & Resnick, 1994; Kintsch, 1991) für weniger intelligente (wörtlich: ‚unintelligent‘) tutorielle Systeme aus. Planungs- und Überwachungsprozesse des Lernens sollen nicht vom System, sondern vom Lernenden selbst gesteuert werden. Diese Auffassung beruht auf dem Gedankengut

konstruktivistischer Theorien, des dritten prägenden Ansatzes zum computergestützten Lernen.

2.1.3 Die konstruktivistische Perspektive

Im Kontrast zum Informationsverarbeitungsansatz bezweifeln Vertreter konstruktivistischer Ansätze die Annahme, daß Lernende wie in der Computermetapher sich ihr Wissen „Bit für Bit“ aneignen und auf ihrer Festplatte „Gedächtnis“ abspeichern. Lernen ist keine objektive Übertragung von Informationen aus der Umwelt in das Gedächtnis der Lernenden, sondern ein konstruktiver Prozeß, in dem der Lernende aktiv auf Grundlage seines Vorwissens und unter Berücksichtigung sozialer, situationaler und kultureller Gegebenheiten sich eine Bedeutung des Sachverhalts erzeugt (Jonassen, 1991). Die Idee der aktiven Wissenskonstruktion und Bedeutungszuweisung durch den Lernenden, die in den späten 80er und 90er Jahren zunehmende Anerkennung (Resnick, 1989; Duffy & Jonassen, 1991; Duit & Treagust, 1998) gefunden hat, kann sich auf eine ganze Reihe bekannter historischer Vordenker berufen. Angefangen bei kognitionstheoretischen Vorstellungen von Dewey (1916), über gedächtnispsychologische Thesen von Bartlett (1932), kognitionspsychologische Überlegungen von Bruner (1966), bis hin zum entwicklungspsychologisch geprägten Denken von Piaget (1954) und Wygotski (1974) besteht Einigkeit darüber, daß Bedeutungszuweisungen auf den individuellen Erfahrungen von Personen gründen.

Feng (1996) differenziert drei unterschiedliche Auffassungen konstruktivistischer Theorien, die er mit radikal, moderat und moderat-rational bezeichnet.

Für die radikalen Konstruktivisten gibt es keine objektiv richtige Sicht der Dinge und damit auch nicht nur eine einzige Wirklichkeit. Jeder Mensch weist aufgrund seiner Vorerfahrungen, seiner Vorstellungen und Fehleinschätzungen den Dingen und Ereignissen eine eigene Bedeutung zu und erzeugt so seine persönliche Sicht von Realität. Auf

Schule bezogen bedeutet die radikal-konstruktivistische Sichtweise des Lernens, daß sich ein Verständnis für die Dinge am besten dann entwickelt, wenn Schülern die Möglichkeit eingeräumt wird, sich in authentischen Lernumgebungen ein eigenes Abbild der Wirklichkeit zu konstruieren. Ein solches Vorhaben versucht beispielsweise der in Abschnitt 4.1 dargestellte ‚Cognitive Apprenticeship‘-Ansatz zu verwirklichen.

Die moderate oder gemäßigte Auffassung des Konstruktivismus stellt übereinstimmende Auffassungen von Personen über Bereiche der Welt nicht in Frage. In dieser Welt stehen noch ausreichend Freiheiten zur Verfügung, die es den Menschen erlauben, sich ihre eigenen persönlichen Theorien über ihre Umwelt zu bilden (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1991a). Die Betrachtung eines Gegenstands oder eines Bereichs aus mehreren Perspektiven, wie es der ‚Cognitive Flexibility‘-Ansatz (vgl. Abschn. 4.3) vorsieht, hilft den Lernenden bei der Aufgabe, sich ihr eigenes, aber integriertes Bild von Wirklichkeit aufzubauen (Carr, Jonassen, Litzinger & Marra, 1998).

Aus einer moderaten, stärker rationalen konstruktivistischen Sichtweise wird schließlich weder die Erfahrbarkeit einer äußeren Wirklichkeit ausgeschlossen, noch behauptet, Wissenserwerb sei vollkommen individuell, so daß keine zwei Menschen zu der identischen Interpretation einer Sache gelangen könnten. In besonderer Weise betont dieser Ansatz die dynamische Struktur des Lernens. Sobald Schüler zu lernen beginnen, verändert sich ihr Wissen fortlaufend. Wissenserwerb ist der aktive Versuch, neue Informationen an bestehende Wissensstrukturen anzukoppeln, sie zu interpretieren, zu verstehen und in bedeutungsvollen Mustern zu organisieren. Nach der moderat-rationalen Auffassung macht es daher wenig Sinn, instruktionale Entscheidungen ohne Berücksichtigung der Lernerseite festlegen zu wollen (Winn, 1991; Gerstenmaier & Mandl, 1995). Schüler sollten über die Möglichkeit verfügen, ihre Lernziele und die zur Erreichung benötigten Lernstrategien und Lernmittel selbsttätig auszuwählen und

zu entwickeln. Die Lehrperson tritt stärker in den Hintergrund. Sie bietet Gelegenheit zum Lernen und gibt, dort wo es nötig ist, Lernhilfen. Das Coachen und Moderieren von Lehr-Lernprozessen wird zu einer wichtigen Aufgabe der Lehrkraft. Ein solches Vorgehen kann sich für das Lernen in weniger klar strukturierten Wissensbereichen wie Literatur oder Geschichte sowie auf den Erwerb eines tieferen Sachverständnisses positiv auswirken.

2.2 Die Effektivität computergestützten Lernens

Welche konkreten Auswirkungen das computergestützte Lernen auf die daran beteiligten Schülerinnen und Schüler hat, ist im Laufe vergangener Dekaden so häufig untersucht worden, daß Experten in diesem Bereich einfache Medienvergleichsuntersuchungen nicht mehr für produktiv halten (Mayer, 1997). Aufgrund der Erkenntnisse aus zahlreichen metaanalytischen Untersuchungen (Kulik, Kulik, & Cohen, 1980; Kulik, Bangert & Williams, 1983; Kulik & Kulik, 1991; Niemiec & Walberg, 1987) werden Gesamteinschätzungen über die Wirksamkeit computergestützten Lernens getroffen (Clark & Salomon, 1986; Clark, 1983, 1994; Hasebrook, 1995a, Hasebrook, 1998; Leutner, 1998). So faßt Kulik (1994) die wesentlichen Ergebnisse von zwölf metaanalytischen Studien der 80er und 90er Jahre, in denen jeweils eine Vielzahl von Befunden computergestützten Lernens mithilfe statistischer Methoden gebündelt wurden, in fünf Punkten zusammen:

1. Lernerfolg. Schüler lernen für gewöhnlich im Unterricht mehr, wenn sie computerunterstützt unterrichtet werden. Die gewichtete durchschnittliche Effektstärke in den zwölf Metaanalysen beträgt für den Lernerfolg $d = 0,35$. D.h., verglichen mit einem durchschnittlichen, traditionell unterrichteten Schüler (50. Perzentil) würde ein computergestützt unterrichteter Schüler mit seinem Lernerfolg auf dem 64. Perzentil liegen.
2. Zeitlicher Aufwand. Schüler erledigen ihre Aufgaben mit dem Computer in kürzerer

Zeit. Die durchschnittliche Einsparung an Unterrichtszeit betrug in 17 mit Schülern durchgeführten Studien 34 %.

3. Einstellung zum Unterricht. Schülern gefällt es im Unterricht besser, wenn sie mit Hilfe des Computers unterrichtet werden.
4. Einstellung zum Computer. Schüler entwickeln im Laufe der Zeit eine positive Einstellung zum Computer, wenn ihnen beim Lernen in der Schule durch den Computereinsatz weitergeholfen wird.
5. Einstellung zum Unterrichtsstoff. Der Einsatz von Computern führte nicht in allen untersuchten Bereichen zu positiven Effekten. So änderte sich bei 34 in die Metaanalyse einbezogenen Studien die Einstellung zum Unterrichtsstoff durch den computergestützten Unterricht praktisch nicht.

Obwohl die meisten der von Kulik angeführten Untersuchungsbefunde in eine positive Richtung weisen, ist das Problem der Konfundierung solcher Untersuchungsergebnisse nicht von der Hand zu weisen (Clark & Salomon, 1986; Clark, 1983). Eine Konfundierung liegt vor, wenn sich die beiden untersuchten Gruppen nicht nur in der Behandlung - also ob sie computergestützt oder traditionell unterrichtet werden - unterscheiden, sondern auch noch hinsichtlich anderer Einflußgrößen. So sinkt die Effektstärke des Lernerfolgs beträchtlich, wenn sich der Vergleich nicht auf den Unterricht zweier verschiedener Lehrkräfte bezieht, sondern der Unterricht mit und ohne den Computer von ein und derselben Lehrperson durchgeführt wird. Ähnliches gilt auch, wenn die Studien im Hinblick auf den, durch das computergestützte Lernen verursachten Neuigkeitseffekt kontrolliert werden. In Studien, die sich über einen längeren Zeitraum von mehr als acht Wochen erstreckten, kommt der Vorteil des computergestützten Lernens weniger deutlich zum Ausdruck als in Studien, in denen nur ein sehr kurzer Versuchszeitraum für die Evaluation genutzt wurde (Krendl & Broihier, 1992).

Daher folgert Clark (1994), daß nicht das Medium, sondern die mit dem Medium reali-

sierte Lehrmethode für den Lernerfolg ausschlaggebend ist. Die Methode des zielerreichenden Lernens („mastery learning“) und das Prinzip der Individualisierung von Unterrichtsinhalten sind zwei Ansätze, mit denen sich ein verbessertes Lernen mithilfe des Computers erreichen läßt (Kulik, Kulik & Bangert-Drowns, 1990; Leutner, 1998).

3. Die medienpsychologische Perspektive

Unter der lernpsychologischen Perspektive wurde gefragt, wie Lernende aus den vom Computer zur Verfügung gestellten Informationen Wissen generieren und inwieweit sich durch die Einbeziehung von Rechnern der schulische Unterricht qualitativ verbessern läßt. Unter der medienpsychologischen Perspektive wollen wir darauf fokussieren, welche unterschiedlichen Lernhilfen der Computer bietet und ob und wie sie die gedanklichen Prozesse von Lernenden in förderlicher Weise anregen können. Es geht dabei nicht um die technologische Frage einer gut gestalteten multimedialen Lernumgebung, sondern um die Frage, ob und unter welchen Bedingungen eine instruktionale, computergestützte Maßnahme Lernende beim Wissenserwerb hilfreich unterstützt (Jonassen, 1988; Mayer, 1997).

3.1 Lernen mit Text, Bild und Ton

Mit dem Computer lassen sich Botschaften an Lernende auf vielfältige Weise medial übermitteln. Als „multicodal“ bezeichnet Weidenmann (1996a, 1997a) ein mediales Angebot, wenn mehrere Kodierungsformen wie Sprache, Bilder oder Zahlen bei der Informationsvermittlung genutzt werden. „Multimodal“ ist ein Informationsangebot, wenn beim Empfänger der medialen Botschaft mehrere Sinnesmodalitäten wie Augen und Ohren angesprochen werden. Während das Lernen mit mehreren Sinnen in der Lehr-/Lernforschung häufig genannt, aber kaum untersucht worden ist (Weidenmann, 1997b), gibt es zur Rolle mehrerer Kodierungen für den Wissenserwerb

eine ganze Reihe von Arbeiten, deren Erkenntnisse nachfolgend summarisch referiert werden.

3.1.1 Die doppelte Kodierungstheorie

Die Theorie der dualen Kodierung des Kanadiers Paivio (1971, 1986; Clark & Paivio, 1991) geht von der Annahme zweier unterschiedlicher, weitgehend unabhängiger Informationsverarbeitungssysteme aus. Im verbalen System werden von der Person aufgenommene sprachliche Reize in einen verbalen Kode transformiert. Die sprachlichen Reize können von unterschiedlichen Sinnesquellen - vom visuellen oder vom auditorischen System - stammen, sind aber immer verbaler Natur. Das nonverbale System ist für die Kodierung aller nicht-sprachlichen Informationen zuständig. Dazu zählen in erster Linie Bilder, aber auch Geräusche, Handlungen oder Körperwahrnehmungen. Zwischen den beiden Informationsverarbeitungssystemen bestehen sogenannte referentielle Verbindungen („referential connections“). Sie sorgen dafür, daß zusammengehörige sprachliche und nicht-sprachliche Codes zusammengeführt werden. So können Bilder mit Worten bedacht werden, und umgekehrt, Worte bildliche Vorstellungen hervorrufen. Durch die Verbindung von verbalen Begriffen und bildlichen Codes wird der betreffende Wissensgegenstand doppelt - verbal und nonverbal - kodiert. Die doppelte Kodierung sorgt für eine bessere Verankerung des Wissens im Gedächtnis und macht es für eine spätere Gelegenheit leichter wieder abrufbar. Auf diese Weise erklärt Paivio, warum etwas konkret Vorstellbares besser erinnert werden kann als etwas Abstraktes („Bildüberlegenheitseffekt“).

Obwohl es begründete abweichende Meinungen zur Theorie der dualen Kodierung gibt (Pylyshyn, 1973; Anderson & Bower, 1973), die eine abstrakte, modalitätsunabhängige Form der Informationsverarbeitung für erforderlich halten (Kluwe, 1992), hat die Theorie Pavios zahlreiche Studien und theoretische Weiterentwicklungen im Bereich des multimedialen Lernens angeregt (Mayer & Sims,

1994; Mayer, 1997; Rieber, 1991; Plass, Chun, Mayer & Leutner, 1998). Dazu zählt auch die Annahme interindividueller Unterschiede in der Persönlichkeit, die als Lernpräferenzen für visuelle oder verbale Informationen zum Ausdruck kommen sollen (Jonassen & Grabowski, 1993). Ein visueller Verarbeitungsstil würde sich in einer Bevorzugung von Bildern, Graphiken, Diagrammen oder Videos niederschlagen, wohingegen ein verbaler Verarbeitungsstil im Lesen oder Hören von Wörtern seinen Ausdruck findet (Kirby, Moore & Schofield, 1988). Mit multimedialen Lernprogrammen könnte jedem Lernenden nach Erfassung seines bevorzugten Informationsverarbeitungsstils das mediale Angebot unterbreitet werden, welches ihn am meisten in seinen Lernbemühungen unterstützt. In der Vergangenheit sind viele, mehr oder minder taugliche Versuche unternommen worden, den Typus des Visualisierers oder Verbalisierers mittels Fragebogen zu erfassen (Reinert, 1976; Richardson, 1977; Paivio & Harshman, 1983). Häufig mangelte es den Meßinstrumenten schon an der gebotenen Zuverlässigkeit der Messung (Plass, Chun, Mayer & Leutner, 1998). Als Alternative zu den konventionellen Fragebögen entwickelten Leutner und Plass (1998) ein computergestütztes Instrument, das visuelle und verbale Lernpräferenzen zuverlässig über Verhaltensdaten ermittelt und auch eine gewisse Vorhersagekraft für das Lernen in multimedialen Lernumgebungen besitzt. Jedoch hält Weidenmann (1993) im Gegensatz dazu weniger das Bild von überdauernden Lernertypen für treffend, als die Vorstellung, daß Lernende je nach Aufgabe und Situation Reize verbal oder visuell verarbeiten (Neisser, 1979).

3.1.2 Die generative Theorie des Multimedia-Lernens

Eine aktuelle Erweiterung der doppelten Kodierungstheorie ist die generative Theorie des Multimedia-Lernens von Mayer (1997; Mayer, Bove, Bryman, Mars & Tapangco, 1996). Von der Theorie Paivios adaptierte Mayer die Idee eines visuellen Systems zur

Erzeugung visuellen Wissens und eines verbalen Systems zur Schaffung verbalen Wissens. Das generative Element seiner Theorie geht auf Überlegungen von Wittrock (1974, 1989) zurück: Damit verständnisförderndes Lernen auftritt, soll der Lernende selbst die wichtigen Informationen auswählen („select“), sie zu kohärenten mentalen Repräsentationen organisieren („organize“) und mit bereits bestehenden Wissensrepräsentationen verknüpfen („integrate“). Im generativen Modell des Multimedia-Lernens laufen die Auswahl und Organisation von Informationen in voneinander getrennten verbalen und visuellen Systemen. Erst auf einer höheren kognitiven Ebene, wenn der Lernende ein verbales und ein visuelles mentales Modell vom Lerngegenstand entwickelt hat, stellt er in einem integrativen Prozeß Verbindungen zwischen den beiden Repräsentationsformen her.

Eine ähnliche Ansicht vertritt auch Schnotz (1996, 1997, 1998; Schnotz, Zink & Pfeiffer, 1996). Im Unterschied zu Mayer nimmt er an, daß (a) beim Textverstehen zunächst der semantische Gehalt eines Textes in propositionalen Repräsentationen - einer Art hypothetischen mentalen Sprache - rekonstruiert und erst dann in ein mentales Modell des Lerngegenstands überführt wird, und (b) im mentalen Modell verbale und graphische Informationen zusammengeführt und aus dem mentalen Modell neue propositionale Repräsentationen abgeleitet werden können (Schnotz, 1993). Mit Schnotz' Modellansatz läßt sich beschreiben, wie Lernende sprachliche und pikturale Informationen gegeneinander abgleichen und bildliche Informationen versprachlichen, um ein kohärentes Verständnis vom Lerngegenstand aufzubauen.

Mayer untersuchte mit seinen Kollegen im Rahmen seines generativen Modells des Multimedia-Lernens in einer Reihe experimenteller Studien die Effektivität verschiedener computerbasierter Darstellungsmöglichkeiten für das naturwissenschaftliche Verständnis von Schülern. Für seine multimedialen Lerneinheiten verwendete er Themen wie die Entstehung von Gewittern (Mayer, Steinhoff, Bower & Mars, 1995), den Bau und die Funk-

tion einer Luftpumpe (Mayer & Anderson, 1991, 1992), das Bremssystem eines Pkws (Mayer & Gallini, 1990), oder die Atmungs-funktion der menschlichen Lunge (Mayer & Sims, 1994).

Als Ergebnis dieser Forschungsreihe streichen Moreno und Mayer (1999) zwei Prinzipien zur Gestaltung lernförderlicher multimedialer Lernumgebungen besonders heraus.

Das Kontiguitätsprinzip besagt, daß sich multimediales Lernen verbessert, wenn zusammengehörige Texte und Bilder sowohl räumlich als auch zeitlich den Lernenden gemeinsam dargeboten werden. Die Förderlichkeit der räumlichen Kontiguität zeigt sich darin, daß Probanden über 50 % mehr kreative Lösungen bei Transferaufgaben entwickeln, wenn ihnen verbale und visuelle Erklärungen gemeinsam, anstatt getrennt angeboten werden (Mayer, 1997). Ein zeitlicher Kontiguitätseffekt tritt ein, wenn gezeigte und gesprochene Informationen gleichzeitig und nicht hintereinander präsentiert werden. Durch die zeitgleiche Präsentation visueller und verbaler Informationen müssen Lernende ihre Aufmerksamkeit nicht auf verschiedene Informationsquellen richten („split-attention effect“), wodurch es ihnen leichter fällt, sich den Sinn der dargebotenen Informationen zu erschließen (Chandler & Sweller, 1992; Mayer & Moreno, 1998) und korrespondierende Verbindungen von verbalen und visuellen Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis aufzubauen (Mayer, Moreno, Boire & Vagge, 1999).

Nach dem Modalitätsprinzip sollten multimediale Erklärungen dem Lernenden nicht als auf dem Bildschirm abzulesende Worte, sondern in gesprochener Form als mitlaufender Kommentar präsentiert werden. Gesprochene Informationen werden im Arbeitsgedächtnis besser verwahrt als visuelle Informationen (Penney, 1989), sind langfristig aber nicht grundsätzlich leichter zu behalten. Die Kombination von auditiver und visueller Information führt hingegen meist zu besseren Erinnerungsleistungen als das Ansprechen nur einer Sinnesmodalität (Paechter, 1997).

Zu ähnlichen Schlußfolgerungen wie Moreno und Mayer gelangt auch Weidenmann

(1997c), wenn er als Nachteil von Film und Video auf die Probleme der nicht zum Bild passenden Kommentare hinweist. Weitere Problempunkte der laufenden Bilder können in einer kognitiven Überlastung durch ein Zuviel an Informationen („cognitive load“; Sweller, 1988; Chandler & Sweller, 1991; Sweller & Chandler, 1994; Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998) und einer mangelnden Anstrengungsbereitschaft von Lernenden (Salomon, 1984) durch den vermeintlichen Unterhaltungswert der multimedialen Darbietung liegen. Als instruktionale Alternative bietet Weidenmann die Tonbildschau, also z.B. ein Vortrag kombiniert mit der Präsentation von Dias oder Fotos, merkt aber wohlweislich zugleich deren Unattraktivität für „medienverwöhnte“ Lernende an.

Ebenso beachtenswert sind in Mayers Untersuchungen die Aptitude-Treatment-Interaktionseffekte, die darauf hindeuten, daß bestimmte Maßnahmen für bestimmte Lernertypen besonders wirksam sind. So profitieren Lernende mit einem geringen Vorwissen stärker von der gleichzeitigen Darbietung von Bild und Ton als Lernende mit einem hohen Vorwissen, welche die mangelnde Kontiguität besser zu kompensieren vermögen (Mayer, Steinhoff, Bower & Mars, 1995). In einer anderen Studie konnten Mayer und Sims (1994) nachweisen, daß der Kontiguitätseffekt vornehmlich bei Lernenden mit einem guten räumlichen Vorstellungsvermögen zum Tragen kommt. Ihnen fällt es leicht, referentielle Verbindungen zwischen Bild und Text aufzubauen. Brünken, Steinbacher und Leutner (2000) konnten in experimentellen Studien die förderliche Wirkung eines hoch ausgeprägten räumlichen Vorstellungsvermögens für das Verstehen von Texten und Illustrationen bestätigen.

3.2 Lernen mit Animationen

Während die Forschungen zum Lernen mit Texten und Bildern nicht an ein spezifisches Repräsentationsmedium gebunden sind, handelt es sich beim Lernen mit interaktiven Animationen und Simulationen typischerwei-

se um Prozesse des Wissenserwerbs, die nur mit den neuen Technologien realisiert und erforscht werden können.

Eine Animation läßt sich definieren als eine schnell ablaufende Folge von Bildern auf dem Computerbildschirm, die dem Beobachter die Vorstellung einer Bewegung vermittelt (Rieber & Kini, 1991). Aus theoretischer Sicht lassen sich verschiedene Gründe anführen, warum das Lernen mit animierten gegenüber statischen Bildern eine Erleichterung des Lernprozesses bewirken sollte. Nach der Supplantationstheorie von Salomon (1979) kann ein äußeres Medium einen fehlenden inneren Prozeß - im Fall der Animation die Fähigkeit zur Imagination dynamischer Abläufe - ersetzen. Die Vorführung des prozeßhaften Geschehens mithilfe der Animation supplantiert die fehlende Fähigkeit des Lerners und ermöglicht ihm, dynamische Konzepte und Veränderungen über die Zeit schneller zu begreifen (Doerr, 1996). Ein zweiter Grund, der einen Vorteil zugunsten der Animation verspricht, ist die frei werdende Kapazität im Kurzzeitgedächtnis. Während das Verbinden und Zusammenführen der Informationen statischer Bilder den Arbeitsspeicher der Lernenden belastet, regt die Animation die automatisierte Fähigkeit des visuellen Systems zur Herstellung einer scheinbaren Bewegung an und befreit dadurch Kapazitäten des Kurzzeitgedächtnisses für andere Lernaufgaben (Rieber & Kini, 1991). Als ein dritter Grund für die Verwendung von Animationen läßt sich anführen, daß die Bewegung und Laufbahn von Objekten eindeutig dargestellt werden kann, wodurch Fehlvorstellungen von Abläufen vermieden werden (Lewalter, 1997a).

Trotz der inneren Schlüssigkeit der Argumente für ein Lernen mit Animationen konnten in empirischen Studien die Vorteile gegenüber statischen Bildern nur teilweise belegt werden (Lewalter, 1997b; Schnotz, Böckheler, Grzondziel, Gärtner & Wächter, 1998; Rieber, 1989, 1990a, 1990b; Rieber, Boyce & Assad, 1990). Ob sich mit Animationen bessere Lerneffekte als mit statischen Illustrationen erzielen lassen, ist vielmehr von einer

Reihe individueller und situationaler Faktoren abhängig, von denen Rieber (1991) als die wichtigsten die Passung von Lernaufgabe und Lernaktivität, die kognitive Belastung und die selektive Aufmerksamkeit der Lernenden anführt.

3.3 Lernen mit Simulationen

Simulationsprogramme sind die technisch aufwendigste Art multimedialen Lernens. Eine Computersimulation ist ein Programm, das einen Prozeß oder ein natürliches oder künstliches System mit deren bestimmenden Parametern nachbildet und dem Lernenden ein gefahrloses Experimentieren und Simulieren von Vorgängen in einer artifiziellen Lernumgebung erlaubt (de Jong & van Joolingen, 1998). Wenn ein Bild mehr sagt als tausend Worte, sagt dann ein Simulationsprogramm mehr als tausend Bilder? Helfen Simulationsprogramme Schülerinnen und Schülern naturwissenschaftliche Konzepte und Abläufe besser zu verstehen?

Aus lern- und motivationspsychologischer Sicht lassen sich gute Argumente für die Verwendung von Simulationsprogrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht anführen. Zum einen können Lernende durch das eigenständige Arbeiten am Computer im Sinne einer konstruktivistischen Lernüberzeugung (vgl. Abschn. 2.1) aktiv und angepaßt an ihr individuelles Lerntempo sich funktionale Zusammenhänge in einer virtuellen Welt erschließen. Zum zweiten kann ein Lernen mit Simulationen in einer offener gestalteten Lernumgebung die intrinsische Motivation der Schülerinnen und Schüler verbessern (Malone, 1981; Malone & Lepper, 1987). Wenn sie sich im Lernprozeß selbständig Lernziele setzen dürfen (Csikszentmihalyi, 1975, 1978), unter verschiedenen Lernwegen auswählen können (deCharms, 1968; Zuckerman, Porac, Lathin, Smith & Deci, 1978), sich in ihren Kompetenzen herausgefordert fühlen (White, 1959; Deci, 1975), ihre Neugier befriedigen können (Berlyne, 1960), ihr Interesse geweckt (Krapp & Prenzel, 1992) und ihre Phantasie anregt wird (Singer,

1973), und sie häufige, klare, konstruktive und ermutigende Rückmeldungen (Azevedo & Bernard, 1995) über ihren Lernfortschritt erhalten, steigt die Wahrscheinlichkeit, daß sich Schülerinnen und Schüler aus freien Stücken lange und intensiv mit einem Simulationsprogramm auseinandersetzen.

Aus kognitionspsychologischer Sicht konstatieren dagegen de Jong und van Joolingen (1998) eine Reihe von Schwierigkeiten, die Lernende beim Umgang mit interaktiven Simulationsprogrammen zeigen. Vielen Lernern gelingt es bereits nicht, eine brauchbare Untersuchungshypothese für einen zu simulierenden Vorgang aufzustellen. Weitere Probleme treten bei der Gestaltung und Durchführung eines zur Hypothese passenden Experiments oder bei der sachgerechten Interpretation der erhaltenen experimentellen Ergebnisse auf. Alles in allem mangelt es Lernenden beim selbständigen Experimentieren mit Simulationsprogrammen häufig an einer systematischen, zielgerichteten, kognitiv und metakognitiv bewußten Vorgehensweise, die es ihnen ermöglicht, neue Informationen mit ihrem vorhandenen Wissen zu verbinden.

Daher benötigen viele Schülerinnen und Schüler Anleitung und Hilfe, wenn sie sich über den Umgang mit Simulationsprogrammen erfolgreich Wissen aneignen sollen. Dies kann direkt durch das Programm erfolgen, indem den Lernenden immer dann Informationen gegeben werden, wenn sie diese nötig haben (Leutner, 1993), oder indem sie Hinweise für das richtige Aufstellen von Hypothesen und Experimenten und die Vorhersage von Ergebnissen erhalten (Stark, Graf, Renkl, Gruber & Mandl, 1995). Für Lernende kann es auch hilfreich sein, wenn Modelle graduell, also Schritt für Schritt eingeführt werden, wie es White und Frederiksen (1989, 1990) mit QUEST - einem Simulationsprogramm zur Vermittlung von Wissen über den elektrischen Stromkreis - zeigten. Fragen oder Aufgaben, die Schülerinnen und Schüler beim Lernen mit der Simulation bearbeiten sollen, erweisen sich häufig ebenfalls als tauglich, den Lernprozeß unterstützend anzuleiten (de Jong, van Joolingen, Scott, de Hoog, Lapied

& Valent, 1994; Swaak, van Joolingen & de Jong, 1998).

White und Frederiksen (1998; White, 1993, 1995) schlagen für ihre, die Newtonschen Gesetze veranschaulichende ThinkerTools-Software einen Untersuchungszyklus („inquiry cycle“) vor, der auf die Verbesserung der metakognitiven Fähigkeiten der Lernenden zielt. Dieser Zyklus, der sich problemlos auf viele naturwissenschaftliche Wissensbereiche übertragen läßt, sieht vor, daß die Lernenden in einem ersten Schritt sich eine Fragestellung erarbeiten („question“). Danach, passend zur Fragestellung, Vorhersagen machen und Hypothesen aufstellen („predict“), bevor sie in einem dritten Schritt zusammen mit einem Lernpartner im Simulationsprogramm auf die Hypothesen bezogene Experimente durchführen („experiment“). Im Anschluß daran sollen sie versuchen, Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten in ihren Daten aufzudecken („model“). Über diese wird in der Klasse diskutiert, so daß am Ende konzeptuelle Modelle vorhanden sind, die auf reale Situationen angewendet werden können („apply“). Solche und andere genannte didaktische Konzeptionen sind geeignet, Lernende beim Umgang mit Simulationsprogrammen unterstützend anzuleiten und damit die volle Leistungsfähigkeit von Computersimulationen zur Veranschaulichung komplexer Zusammenhänge in einem System auszuschöpfen.

3.4 Lernen mit Hypertext und Hypermedia

Mit der Darstellung von Informationen in Form von Hypertext oder Hypermedia wird die lineare Organisation von elektronischen Dokumenten aufgebrochen und in eine netzwerkartige Struktur überführt (Schnotz & Zink, 1997). In einem Hypertext-System sind die Informationen eines Gegenstandsbereichs hauptsächlich als Text, häufig verbunden mit dazu gehörigen Graphiken und Abbildungen in einzelnen Informationsknoten repräsentiert (Tergan, 1993, 1997). Zwischen den Informationsknoten bestehen Verbindungen, um Lernende auf semantische, funktionale oder kon-

textuelle Zusammenhänge von einer Informationsquelle zu anderen Informationseinheiten hinzuweisen (Kuhlen, 1991). Das Hypertext-Konzept erweitert sich zu Hypermedia, wenn in den Informationsknoten auch Töne, Animationen, Simulationen oder Videos enthalten sind (Jonassen & Mandl, 1990; Weidenmann, 1996b).

Die Begründungen für ein Lernen mit Hypertext- und Hypermediasystemen sind vielfältig und von unterschiedlicher Natur und Güte.

Für den Lernenden bergen die netzwerkartigen Informationsstrukturen den Vorteil, sich in einem aktiven wissen- und interessengeleiteten Prozeß selbstgesteuert Lerninhalte aneignen zu können. Der Lerner besitzt die Möglichkeit, sich seinen Lernweg selbst auszuwählen und die Inhalte in der Reihenfolge zu bearbeiten, die er für richtig und sinnvoll erachtet. Auf diese Weise fordert und fördert der Umgang mit Hypertexten die Fähigkeiten zur Selbststeuerung und zur aktiven Wissenskonstruktion der Lernenden (Kommers, Jonassen & Mayes, 1991). Dem freien, uneingeschränkten Lernen mit Hypertexten entgegen steht jedoch das Phänomen des „Verlorenseins im Informationsraum“ („lost in hyperspace“; Conklin, 1987). Der Hypertext-Benutzer zeigt sich dabei räumlich desorientiert, weil es ihm an einer Vorstellung über die Organisationsstruktur der Informationsbasis mangelt. Eine nützliche Orientierungshilfe wie die Einbettung von Informationen in einen sinnvollen Kontext ist aber aufgrund der unterschiedlichen Positionen, von denen Informationseinheiten angesteuert werden können, kaum zu realisieren (Hasebrook, 1995b). Geführte Lehrpfade („guided tours“) können das Problem der Desorientierung nur auf Kosten der Einschränkung des freien, selbstgesteuerten Navigierens im Hypertextsystem beheben. Als Lernalternative wird daher neuerdings die Verwendung stärker vorstrukturierter, elektronischer Bücher diskutiert (Böhle, Riehm & Wingert, 1997; Winter, 1998).

Von der technischen Seite her betrachtet, können - bedingt durch die nicht-lineare Hypertextstruktur - enorm große Informationsmen-

gen ganz nach Bedarf und immer weiter vertiefend durchforscht werden (Nielsen, 1995). Im Extrem führt dieses Vorgehen beim Benutzer des Hypermediums allerdings zur „kognitiven Überlastung“ („cognitive overhead“; Conklin, 1987). Durch die Überforderung von Aufmerksamkeitsspanne und Gedächtniskapazität profitiert der Lernende nicht genügend von der Interaktion mit dem Lehr-/Lernsystem. Deshalb empfiehlt es sich, die Informationsmengen in einem Hypertextsystem für den Lernenden handhabbar zu halten und in einer Einführungsphase das freie Navigieren im System auf Teilbereiche des gesamten Kurses zu begrenzen.

Schon früh (Bush, 1945) entwickelte sich die Idee, daß der Wissenserwerb mit Hypertexten gegenüber linearen Texten erleichtert sei, da die Netzstruktur von Hypertexten der Informationsorganisation im menschlichen Gedächtnis entspreche. Heute wird jedoch die Reichhaltigkeit und Individualität der in den semantischen Strukturen des menschlichen Gedächtnisses gespeicherten Informationen als schlagendes Argument gegen die strukturelle Gleichheit von Hypertext und gespeicherten Informationen im menschlichen Gehirn angeführt (Shneiderman & Kearsley, 1989).

Möglicherweise liegen die Vorteile von Hypertext im Aufbau flexibler Wissensstrukturen (Ayersman, 1996), wenn der Lernende den leichten und schnellen Informationszugriff aus unterschiedlichen Perspektiven nutzt (Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991). In der Tat zeigt eine Überblicksarbeit von Dillon und Gabbard (1998), daß Hypermediasysteme für Aufgaben vorteilhaft sind, die ein mehrfaches, schnelles Zugreifen auf Informationen innerhalb einer komplexen Datenbasis verlangen. Darüber hinaus bietet Hypertext, insbesondere im Vergleich mit der konventionellen Informationsvermittlung über Druckerzeugnisse, nicht die erhofften Vorteile. Dillon und Gabbard (1998) kommen zu dem Fazit, den Wert von Hypermediasystemen für die Pädagogik als begrenzt einzustufen. Man sollte nicht zu große pädagogische Hoffnungen an jedwede Präsentationsmedien knüpfen.

3.5 Lernen in Netzen

Mit der Verknüpfung von Computern zu einem netzwerkbasierten Lernsystem wird die Möglichkeit zur individuellen Konstruktion von Wissen um eine soziokulturelle Komponente ergänzt (Lin, Hmelo, Kinzer & Secules, 1999). Soziale Konstruktivistinnen sind der Auffassung, daß die Konstruktion von Wissen eine gemeinschaftlich geteilte Erfahrung ist, die aus dem dialogischen Zusammenspiel mehrerer Personen resultiert. Aus dieser, sich auf Wygotski berufenden theoretischen Perspektive wird Wissen und ein naturwissenschaftliches Verständnis erworben, indem sich Individuen bei gemeinsamen Aufgaben und Problemstellungen in Gesprächen und Handlungen miteinander engagieren (Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994; Cobb, 1994). Der Aufbau sozialer Wissenskonstruktionen wird durch die Bereitstellung technologisch fortschrittlicher Lernumgebungen forciert. Wenn Schüler ihre Ideen, Ansichten und Meinungen über Datenbanken, elektronische schwarze Bretter, News-Groups, Chats, E-Mails oder Videokonferenzen untereinander austauschen oder Schüler anderer Klassen, Lehrer oder Experten um Rat fragen können, wird die Lücke zwischen dem geschlossenen, was Lernende alleine zu leisten im Stande sind und was ihnen mit der Unterstützung von bereits kenntnisreicheren Lernern möglich ist. Lernende gelangen durch solche, auf Kooperation ausgerichteten Lernformen in die „Zone der proximalen Entwicklung“ (Wygotski, 1974).

Durch die fortschreitende Vernetzung elektronischer Recheneinheiten sind die Möglichkeiten zum netzbasierten kooperativen Lernen in letzter Zeit enorm gewachsen. Auch im Bereich netzwerkfähiger naturwissenschaftlicher Software wird das Angebot durch Tools zur Visualisierung und Simulation naturwissenschaftlicher Phänomene schrittweise beständig verbessert. Für das CoVis(„Learning through Collaborative Visualization“)-Projekt (Pea, 1993; Edelson, 1998; Edelson, Gordin & Pea, 1999) wurden Werkzeuge zur Visualisierung von Klimaveränderungen, der globa-

len Erderwärmung und dem Treibhauseffekt entwickelt. Im deutschsprachigen Raum bietet Mikelskis (1999, 2000) mit dem Optikprogramm SPIEGEL ein netzwerkfähiges Tool an.

Allerdings konstatiert Mandl (1997) gegenwärtig noch ein Defizit an empirischen Studien zum kooperativen Lernen in Computernetzwerken. In Deutschland zielten die wenigen bisherigen Bemühungen vornehmlich auf den Universitätsbereich mit der Einrichtung und begleitenden Forschung zu virtuellen Seminaren (Nistor & Mandl, 1997; Hesse & Giovis, 1997) und einer virtuellen Hochschule (Hofer et al., 2000). Für den schulischen Bereich soll daher anhand zweier amerikanischer Projekte zum kooperativen netzbasierten Lernen aufgezeigt werden, wie ein über die Grenzen des Klassenzimmers hinausgehender Wissenserwerb gestaltet sein kann.

3.5.1 CSILE

CSILE, ‚Computer Supported Intentional Learning Environment‘, ist ein netzbasiertes Hypermedia-System, bei dem Schülerinnen und Schüler Einträge in eine Datenbank vornehmen können (Scardamalia, Bereiter, McLean, Swallow & Woodruff, 1989; Scardamalia & Bereiter, 1992; <http://csile.oise.utoronto.ca/>). Weitergehend können die Lernenden die Einträge anderer abrufen, mit Kommentaren versehen, sie mit anderen Einträgen verbinden oder einen Beitrag für eine Gruppendiskussion der Datenbank hinzufügen (Scardamalia, Bereiter & Lamon, 1994).

Mit CSILE wollen Scardamalia und Bereiter (1996a) das intentionale Lernen in den Schulen fördern. Lernen selbst soll zum Ziel der Schülerinnen und Schüler werden und nicht nur ein beiläufiges Ergebnis darstellen, um damit den Vorstellungen der Lehrkraft genüge zu tun (Bereiter & Scardamalia, 1989). Schulen sollen Wissen schaffende Gemeinschaften („knowledge-building communities“) sein, in denen die Schüler ihre Hauptbeschäftigung darin sehen, Wissen über Gegenstände zu erzeugen und zu verfeinern. Nicht das schnelle Herbeiführen einer Lösung soll für

die Schüler im Vordergrund ihrer Lernbemühungen stehen, sondern der Aufbau eines durchdringenden Verständnisses von dem zu bewältigenden Sachverhalt. Mit der besonderen Betonung des gemeinschaftlichen Aspekts beim Wissenserwerb befinden sich Scardamalia und Bereiter in Übereinstimmung mit anderen sozialkonstruktivistischen instruktionalen Modellen wie dem Modell der Entwicklung von Lerngemeinschaften (Brown & Campione, 1990), der Methode des reziproken Lehrens (Palincsar & Brown, 1984) und dem ‚Cognitive Apprenticeship‘-Ansatz (Collins, Brown & Newman, 1989).

Weil kein festes Grundmuster für die Nutzung der miteinander vernetzten Rechner vorgeschrieben ist, können es Lehrer nach ihren Vorstellungen einsetzen (Bereiter & Scardamalia, 1992). Die veränderte Form des Lernens, die mit der Verwendung von CSILE einhergeht, schafft die Voraussetzung, Lernende aus ihrer passiven Konsumentenhaltung herauszuholen und ihnen ein aktives, verständnisorientiertes Lernen zu ermöglichen.

Der über CSILE vermittelte Dialog wurde inzwischen an Lernenden unterschiedlicher Altersklassen von der Grundschule bis zur Universität und in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen wie Sozialwissenschaften, Kunst, Geschichte, Geographie, Literatur, Naturwissenschaften und Mathematik erprobt (Scardamalia & Bereiter, 1996b). So erhielten Schüler im Rahmen einer naturwissenschaftlich ausgerichteten Forschungsstudie (Oshima, Scardamalia & Bereiter, 1996) - nachdem sie sich zuerst durch kleine Experimente mit Erscheinungen der Elektrizität vertraut gemacht hatten - vom Lehrer den Auftrag, durch den Aufbau einer Datenbank eine öffentliche Darstellung ihres Wissens und Verständnisses von Elektrizität vorzunehmen. Innerhalb eines sechswöchigen Unterrichtsblocks kommunizierten die 29 Fünft- und Sechstklässler über den CSILE-Server. Nach Ablauf des Unterrichtsblocks zeigten acht der 29 Schüler eine substantielle Verbesserung ihres konzeptuellen Verständnisses über Elektrizität.

3.5.2 Unterstützte Wissensintegration

Für eine verbesserte Kohärenz des naturwissenschaftlichen Wissens von Schülerinnen und Schülern setzt Marcia Linn auf die Nutzung netzbasierter, das Wissen vervollständigende Lernumgebungen („Knowledge Integration Environments“) (Linn, 1995, 1998; Bell, Davis & Linn, 1995; Linn, Songer & Eylon, 1996; Linn, Shear, Bell & Slotta, 1999). Damit das Netz mit seinen naturwissenschaftlichen Ressourcen zu einem effektiven und effizienten Werkzeug für das Lernen wird, schlägt sie einen Gestaltungsrahmen zur unterstützten Wissensintegration („Scaffolded Knowledge Integration“) vor, der aus ihrer Forschung zum Einsatz des Computers als Lernpartner („Computer as Learning Partner“; Lewis & Linn, 1994; Linn, 1992; Linn & Songer, 1991; Songer & Linn, 1991) hervorgegangen ist.

Die unterstützte Wissensintegration ist eine Methode, um Schüler dazu anzuregen, ein integriertes Verständnis von einem komplexen naturwissenschaftlichen Bereich zu erwerben. Ein solcher Prozeß muß nicht notwendigerweise damit enden, daß Schüler sich zu Experten in dem gelehrten Bereich entwickeln - vielmehr soll ihnen über diese Methode eine gesicherte Wissensgrundlage für ein weiteres, lebenslanges Lernen vermittelt werden. Der Rahmen für die unterstützte Wissensintegration sieht vier wesentliche Bestandteile vor (Linn, 1995).

1. Neue Lernziele ausfindig machen. Bei der Bestimmung neuer Lernziele regt Linn die Wahl von Modellen an, die stärker an den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen. Für Schüler sind z.B. die Gesetzmäßigkeiten im physikalischen Teilgebiet der Mechanik schwer zu begreifen, weil ihre Alltagserfahrungen immer auch die Einflüsse von Reibungskräften mit einschließen (diSessa, 1988), die beim Erlernen der Prinzipien der Mechanik vernachlässigt werden sollen. Mit der Einführung von dazwischenliegenden Modellen, die die Alltagsvorstellungen von Schülern aufgreifen, kann möglicherweise ein besserer Übergang vom Novizen- zum Expertenmodell hergestellt werden.

2. Lernen sichtbar machen. Die stärkere Sichtbarmachung des Lernens durch den Einsatz dynamischer an Stelle statischer Modelle, die Verwendung multipler Repräsentationsformen und eine ausführlichere Beschreibung der gedanklichen Abläufe beim Problemlösen von Experten ist für Lernende eine weitere wichtige Lernhilfe, bei der auch die Visualisierungsmöglichkeiten des Computers zum Tragen kommen.
3. Zum autonomen Lernen anregen. Das Sichtbarmachen des Lernens ist jedoch keine hinreichende Unterstützungsmaßnahme. Schüler müssen auch lernen, Eigenverantwortung für ihr Lernen zu übernehmen. Damit Schüler die Fähigkeit zum autonomen, selbstgesteuerten Lernen gewinnen, brauchen sie Gelegenheit, selbst Experimente durchzuführen und zu bewerten, alternative Interpretationen der Ergebnisse vorzunehmen, sowie die Möglichkeit, sich weitergehend mit dem Themengebiet zu beschäftigen.
4. Soziale Unterstützung leisten. Schließlich erlaubt es die soziale Unterstützung durch eine Gruppe, daß die Lernenden über das hinausgehen, was sie aus eigener Kraft bewerkstelligen können. Mit der Verwendung netzbasierter technologischer Werkzeuge genießt der Einzelne eine viel größere Chance, eine solche soziale Unterstützung durch andere zu erfahren. Das zeigen auch Ergebnisse von Lee und Songer (1999), die bei einer Evaluation des ‚Kids as Global Scientists‘-Programms (Songer, 1996; 1998) über natürliche Wetterphänomene feststellten, daß 60 % aller über das Internet versandten elektronischen Nachrichten Bezug auf vorher gesandte E-Mails nahmen.

Der von Linn vorgeschlagene Gestaltungsrahmen für die unterstützte Wissensintegration dient als instruktionale Grundlage für eine ganze Reihe naturwissenschaftlich orientierter Projekte, die als WISE-Curriculum (‚Web-Based Integrated Science Environment‘; <http://wise.berkeley.edu/WISE>) durch die Zusammenarbeit von Forschern, Lehrern und

Naturwissenschaftlern entstehen. Beispielsweise erhalten Lernende die Möglichkeit, über die Ursachen von plötzlich auftretenden Mißbildungen bei Fröschen in Nordamerika zu forschen oder über die Angemessenheit und den vermeintlichen Nutzen von Tierversuchen im Weltall nachzudenken (Linn, Shear, Bell & Slotta, 1999). So vielfältig und lebensnah sich derartige Aktivitäten gestalten, so wenig läßt sich jedoch der Literatur über die Effektivität des netzbasierten Lernens entnehmen. Gut kontrollierte Untersuchungen fehlen vollständig (Windschitl, 1998). Ein Umstand, der sich als um so mißlicher erweist, da viele Hoffnungen auf den Bildungschancen durch die moderne Technologie des Internets ruhen.

4. Die didaktisch situierte Perspektive

Unter der didaktisch situierten Perspektive erweitert sich der Fokus der Analyse vom individuellen Verhalten und Denken hin zu größeren Einheiten, die das Verhalten und Denken von Personen untereinander und in Interaktion mit Gegenständen der Lernumgebung einbeziehen (Greeno et al., 1998). Der Kerngedanke situierter Kognition - einer losen Ansammlung verschiedener Theorien (vgl. Law, 2000) - besteht darin, daß Lernen sich nicht unabhängig von Situationen vollzieht, sondern in einen sozialen Kontext eingebettet ist. Die situierte Auffassung vom Wissensaufbau birgt deutliche Unterschiede zu dem Lernbegriff wie er von Behavioristen oder Kognitivisten verwandt wird. Lernen im situierten Sinn wird nicht mit der Verstärkung bestimmter Reaktionen auf bestimmte Reize oder mit dem Aufbau mentaler Repräsentationen und abstrakter Schemata in Verbindung gebracht, sondern mit der Teilhabe an der sozialen Welt. Etwas gelernt zu haben, wird daran festgemacht, daß eine Person fortan in der Lage ist, sich in Situationen erfolgreich mit anderen Personen oder Werkzeugen, wie z.B. dem Computer, auseinanderzusetzen (Lave & Wenger, 1991).

Die Attraktivität des situierten Lernansatzes liegt u.a. in der Erklärung mangelnden Transfers kognitiver Fertigkeiten (Gruber, Law,

Mandl & Renkl, 1996; Prenzel & Mandl, 1993; Resnick, 1996). Jegliches Lernen findet in Situationen statt. Sie hinterlassen bei Personen Wissensspuren, wie sie sich in diesen Situationen verhalten haben. Gelangt eine Person in eine neue Situation, wird Wissen über ihr Verhalten in ähnlichen, vorherigen Situationen aktiviert. Stimmt das aktivierte Wissen mit den Anforderungen der neuen Situation überein, kommt es zum Wissenstransfer. Ist jedoch keine Passung gegeben, verhindern die aktivierten Wissensbestände über vorheriges Verhalten den Transfer erlernter Fähigkeiten auf neue Anwendungssituationen. Die oft mühselig erworbenen Fähigkeiten bleiben ungenutzt. Sie verkümmern zu „trägem Wissen“ (‘inert knowledge’; Whitehead, 1929; Renkl, 1996; Renkl, Mandl & Gruber, 1996; Gruber, Mandl & Renkl, 2000). Dieses Problem macht sich besonders dann bemerkbar, wenn die Distanz zwischen der Lern- und der Anwendungssituation groß ist. Resnick (1987) sieht hierin einen wichtigen Grund, warum in der Schule vermittelte allgemeine, breit anwendbare Fähigkeiten und theoretische Prinzipien in Situationen außerhalb der Schule, in denen situationsspezifische Kompetenzen gefragt sind, nicht zum Einsatz kommen.

Der Ansatz situierter Kognition ist nicht unumstritten und hat sich zu einem Gegenstand kontroverser Auseinandersetzungen entwickelt (Anderson, Reder & Simon, 1996, 1997; Anderson, Greeno, Reder & Simon, 2000; Greeno, 1997; Kirshner & Whitson, 1998; Weinert, 1996; Klauer, 1999, 2000; Renkl, 2000; Huber, 2000). Bei aller Kritik, deren Bewertung hier ausgespart bleiben soll, hat er einige zentrale Ansätze zum computergestützten Lernen und Lehren mitgeprägt, auf die in den folgenden Abschnitten näher eingegangen wird.

4.1 Cognitive Apprenticeship

Collins, Brown und Newman (1989) greifen mit ihrem Ansatz der ‚Cognitive Apprenticeship‘ das Problem auf, daß bei vielen Schülern in der Schule erworbenes Konzept- und Fak-

tenwissen unzusammenhängend oder träge bleibt. Ihrer Ansicht nach besteht ein zu großer Bruch zwischen dem Lernen von inhaltlichen Konzepten und ihrer Anwendung in authentischen, lebensweltlichen Situationen (Brown, Collins & Duguid, 1989). Zu häufig wird im Schulunterricht in allzu abstrakter Weise Wissen vermittelt, ohne daß den Schülern dabei bewußt wird, wie sie dieses Wissen einmal gebrauchen können. Wichtig sei nur, daß es gelernt werde - der Verwendungszweck des Wissens bliebe hingegen oft unklar.

Der Ansatz der Cognitive Apprenticeship beschreibt einen Gestaltungsrahmen für das Design von idealen Lernumgebungen, der Synthese und Weiterentwicklung von anderen erfolgreichen didaktischen Methoden der Kognitionsforschung ist (Palincsar & Brown, 1984; Scardamalia & Bereiter, 1985; Scardamalia, Bereiter & Steinbach, 1984; Schoenfeld, 1985). In seinen Kernpunkten befürwortet er das situierte Lernen in authentischen Lernumgebungen sowie sechs Lehrmethoden zur Förderung des Wissenserwerbs (Vormachen (‘modelling’), unter Anleitung trainieren (‘coaching’), Unterstützen von Lernbemühungen (‘scaffolding’), schrittweises Zurücknehmen der Hilfestellung (‘fading’), Versprachlichung der Problemlösestrategien (‘articulation’) und rückblickende Bewertung (‘reflection’)).

Die teilweise sehr aufwendigen Lehrmethoden lassen sich am besten mit Hilfe der Verwendung leistungsfähiger Computer realisieren. Durch sie wird gewährleistet, daß jedem Einzelnen die nötige Aufmerksamkeit und Unterstützung zu teil wird.

Verschiedentlich ist der Versuch unternommen worden, in computergestützten Lernumgebungen einzelne Elemente der Cognitive Apprenticeship auf ihre Lernwirksamkeit zu überprüfen (Farmer, Buckmaster & Legrand, 1992; Lajoie & Lesgold, 1989; Niegemann, 1995; Volet, 1991; Järvelä, 1995; Gräsel, Mandl, Fischer & Gärtner, 1994). Umfassende empirische Untersuchungen, in die alle Lehrmethoden der Cognitive Apprenticeship mit einbezogen wurden, stammen von Casey

(1996) und der Forschungsgruppe um Seel (Seel, Al-Diban, Held & Hess, 1998; Al-Diban & Seel, 1999). Dabei erwiesen sich Lehrkomponenten wie das Vormachen und das Trainieren unter Anleitung als effektive Methoden zur Unterstützung der Lernenden. Dagegen konnte in einer Untersuchung von Henninger, Mandl, Pommer und Linz (1999) die Wirksamkeit des situierten Lernens in einer realitätsnahen, authentischen Lernumgebung nicht bestätigt werden.

Einschränkend ist über den Ansatz der Cognitive Apprenticeship zu sagen, daß er auf der Basis von Unterrichtsfächern entwickelt wurde, die verhältnismäßig wenig Konzept- und Faktenwissen benötigen. Lesen, Schreiben und Rechnen lernen sich am besten in der Anwendung der Wissens Elemente. Daß Gleiches für naturwissenschaftliche Fächer wie Chemie nicht gelten mag, wird denn auch von den Autoren selbst vermerkt (Brown et al., 1989).

4.2 Verankerte Instruktion

Der Ansatz der verankerten Instruktion („Anchored Instruction“) der ‚Cognition and Technology Group at Vanderbilt‘ (CTGV) ist der Versuch, durch die Einbettung der Lehre in eine interessante und realistische computergestützte Lernumgebung, Schülerinnen und Schüler für ein aktives Lernen und Problemlösen zu begeistern (Sherwood, Petrosino, Lin & Technology Group at Vanderbilt, 1998). In der Anchored Instruction vereinen sich Züge situierter und konstruktivistischer Lerntheorien (CTGV, 1990, 1993). Einerseits sind die Aufgaben in einem realistischen, bedeutungsvollen Lernkontext „verankert“, andererseits erhalten die Lernenden Gelegenheit zum aktiven Problemlösen.

Bei der Anwendung des Ansatzes im Unterricht werden mittels CD-ROM über den Computer kurze, lebensnahe und spannende Geschichten gezeigt, welche die Lernenden an literarische, mathematische oder naturwissenschaftliche Problemstellungen heranführen. Anschließend sollen sie in Kleingruppenarbeit die zu den Geschichten gehörige komplexe Problemlösung gemeinschaftlich erarbeiten.

Die Arbeiten der Vanderbilt-Gruppe sind hauptsächlich durch die Mathematikabenteuer des „Jasper Woodbury“ (zsf. CTGV, 1997) bekannt geworden. Diesen Abenteuer Geschichten liegen sieben Gestaltungsprinzipien (CTGV, 1991b) zugrunde, die für ein motiviertes und effektives Lernen in einer komplexen situierten Lernumgebung bürden sollen (Stark, Gruber & Mandl, 1998). Dazu gehört, daß realistische Probleme mit einem offenen Ende in erzählender Form über Video dargeboten werden. Für die komplexen Probleme sind alle zur Lösung benötigten Angaben im Video enthalten. Zur Förderung der Wissensintegration und des Wissenstransfers werden immer Paare ähnlicher Probleme gezeigt und Verbindungen zu anderen Unterrichtsfächern hergestellt.

Im Hinblick auf die besonderen Anforderungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts sind die grundlegenden Designprinzipien des Ansatzes gewissen Veränderungen unterworfen worden. Beim Lernen mit der ‚Scientists in Action‘-Reihe (Goldman et al., 1994, 1996) werden die Videos nicht am Stück gezeigt, sondern häufiger unterbrochen, um den Schülern des öfteren die Gelegenheit zu geben, über die auftretenden Probleme nachzudenken. Zusätzlich zu den Videos sind Hilfsmaterialien bereitgestellt, um z.B. ein im Video gezeigtes Experiment nachzustellen und nachzuvollziehen.

In einem als Prototyp für die Reihe entwickelten Video läuft aus einem umgekippten Tanklastzug eine nicht näher bekannte, giftige Chemikalie aus, die sich zur Gefahr für einen nahegelegenen Fluß entwickelt. Es werden einige Eigenschaften der chemischen Flüssigkeit bekannt gegeben, dann bricht das Video ab und die Schüler sollen herausfinden, um was für eine Flüssigkeit es sich handelt und welche Reaktion sie wohl in Verbindung mit Wasser zeigt.

Eine verhältnismäßig offene Vorgehensweise wird für die Planung einer Reise zum Mars (Hickey et al., 1994) bevorzugt. Nachdem Schüler ein als Anker dienendes Video der NASA gesehen haben, sollen sie selbsttätig Probleme wie die Versorgung der Raumfähre

und ihrer Besetzung mit Treibstoff und Sauerstoff identifizieren und breiten Problemlöse-kategorien zuordnen. Im Anschluß daran können sich einzelne Kleingruppen für je eine Kategorie von Problemen entscheiden, die sie mithilfe von computergestützten Arbeitsmaterialien und -blättern lösen.

Eine neuere Entwicklung der Vanderbilt-Gruppe sind die aus dem Ansatz der verankerten Instruktion hervorgegangenen SMART-Lernumgebungen („Scientific and Mathematical Arenas for Refining Thinking“; Barron et al., 1998; Goldman et al., 1999; Vye et al., 1998). In ihnen werden die Schüler vermehrt zu metakognitiven Aktivitäten wie Selbstkontrolle, Selbstberichtigung und Selbstbewertung angehalten. Kontaktmöglichkeiten mit anderen Schülern und Schulklassen über das Internet ergänzen das Angebot.

Die Vanderbilt-Gruppe zeigt mit ihrer vielfältigen Palette von Arbeiten, wie wirklichkeitsnah und motivierend ein computergestützter naturwissenschaftlicher Unterricht für Lehrer und Schüler gleichermaßen sein kann (CTGV, 1997). Während für die Schüler positive Veränderungen in Einstellungsmaßen wie Selbstvertrauen, wahrgenommene Nützlichkeit oder Interesse am Unterrichtsgegenstand nachweisbar waren, ergaben sich jedoch nur in begrenzten kognitiven Bereichen echte Leistungsverbesserungen (CTGV, 1992).

4.3 Kognitive Flexibilität

Einen interessanten Vorschlag, den Wissenstransfer in wenig strukturierten Wissensbereichen zu verbessern, unterbreitet der Ansatz der kognitiven Flexibilität („Theory of Cognitive Flexibility“; Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson, 1988; Spiro, Feltovich, Coulson & Anderson, 1989; Spiro & Jengh, 1990). In wenig strukturierten Wissensbereichen sind die einzelnen Fälle der Wissensanwendung komplex, beruhen auf der Interaktion mehrerer Konzepte und nur selten gleicht ein Fall dem anderen (Feltovich, Spiro, Coulson & Feltovich, 1996). Solche Problembereiche werden in der Schule nur gelegentlich angesprochen, treten aber im wirklichen

Leben - wie z.B. in der medizinischen Praxis - um so häufiger auf. Damit in gering strukturierten Wissensbereichen eine Übertragung von früherem Gelernten auf neue Problemstellungen trotzdem funktioniert, sollte nach der Theorie der kognitiven Flexibilität der Wissensanwender (a) das Wissen flexibel im Gedächtnis repräsentiert haben, und (b) je nach Problemkonstellation situationssensitive Schemata von Wissensfragmenten neu zusammenstellen und applizieren können (Spiro, Vispoel, Schmitz, Samarapungavan & Boerger, 1987).

Spiro, Feltovich, Jacobson und Coulson (1991) geben konkrete Empfehlungen, wie sich kognitive Flexibilität unter Zuhilfenahme der modernen Technologien erreichen läßt. Mehrdimensionale, nicht-lineare Hypertextsysteme bieten ihrer Ansicht nach weit mehr als andere, traditionelle Lernumgebungen wie Bücher, Vorlesungen oder computerunterstütztes Pauken die Möglichkeit, auf unzureichend strukturierte Aspekte von Wissensbereichen aufmerksam zu machen. In solchen Hypertextsystemen kann der Lernende ein wichtiges Konzept durch fortlaufend neue, variierende Fallbeispiele kennenlernen. Er durchkreuzt das Sachgebiet auf immer neuen Wegen („criss-crossing the landscape“) und baut so multiple Repräsentationen („multiple representations“) von den grundlegenden Konzepten der Wissensdomäne auf. Über das Hypertextsystem wird ein Wissen erworben, welches sowohl abstrahierte wie fallspezifische Wissenskomponenten enthält, und den Wissenstransfer in gering strukturierten Wissensbereichen erleichtert.

Zum Ansatz der kognitiven Flexibilität wurde auf Grundlage des Films „Citizen Kane“ ein erstes Hypertextsystem entwickelt (Spiro & Jengh, 1990). Die unterschiedlichen zentralen Themen des Films werden über willkürliche Zugriffsmöglichkeiten („random access instruction“) auf kurze, markante Filmausschnitte vermittelt. Bei einem anderen Hypertextsystem zum „Einfluß der Technologie des zwanzigsten Jahrhunderts auf Kultur und Gesellschaft“ erbrachte eine empirische Untersuchung (Jacobson & Spiro, 1995) klei-

ne Effekte für einen besseren Wissenstransfer einer das Sachgebiet durchkreuzenden gegenüber einer das Sachgebiet paukenden Hypertextgruppe. Bei einer Studie im Bereich der Ökonomie zur Prüfung der instruktionalen Maßnahme des Lernens in multiplen Kontexten (Stark, Graf, Renkl, Gruber & Mandl, 1995) zeigte sich im Vergleich zum Lernen in einem uniformen Kontext keine Verbesserung des Wissenstransfers und ein geringerer Kompetenzzuwachs der Teilnehmerinnen und Teilnehmer im erworbenen Sachwissen.

Es fehlen noch weitere Studien, in denen die Ideen zur kognitiven Flexibilisierung der Lernenden empirisch überprüft werden. Die Gründe für dieses Forschungsdefizit liegen sicherlich in dem außerordentlich hohen materiellen und personellen Aufwand, den das Erstellen eines geeigneten Lernmediums zum situierten Lernen bedingt (Mandl, Gruber & Renkl, 1997a). Für Hypertextsysteme, die auf der Grundlage der kognitiven Flexibilitätstheorie programmiert werden, sind diese Aufwendungen beträchtlich.

4.4 Problemorientiertes Lernen

Das computergestützte problem- oder fallorientierte Lernen (Gräsel, 1997) ist eine instruktionale Maßnahme zur Vermeidung trägen Wissens und zur Verbesserung des Wissenstransfers, bei der Merkmale der zuvor diskutierten situierten Ansätze der Cognitive Apprenticeship, der verankerten Instruktion und der kognitiven Flexibilität wieder aufgegriffen werden. Für ein problemorientiertes Lernen sollten möglichst authentische Aufgaben gewählt werden, die für die Lernenden aktuell oder brisant wirken und sie neugierig oder persönlich betroffen machen (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1999). Solche Aufgaben finden sich beispielsweise in der Mediziner- ausbildung, wenn Lernende anhand authentischer Fälle die Chance erhalten, ihre persönlichen diagnostischen Kompetenzen zu testen und zu erweitern (Gräsel & Mandl, 1993; Eitel, Kuprion, Prenzel, Bräth, Schweiberer & Mandl, 1992).

Für die Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen sind einige Leitlinien vorgeschlagen worden (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1999), in denen sich konstruktivistische und situierte Auffassungen des Lernens und Lehrens widerspiegeln. Eine problemorientierte Lernumgebung ist so zu gestalten, daß

1. situiert und anhand authentischer Beispiele gelernt wird, um ein hohen Anwendungsbezug des Lernens sicherzustellen;
2. in multiplen Kontexten gelernt wird, um die Übertragbarkeit des Gelernten zu erhöhen;
3. unter multiplen Perspektiven gelernt wird, um die Flexibilität der Wissensanwendung zu verbessern;
4. in einem sozialen Kontext gelernt wird, um die Vorteile kooperativer Lernformen zu nutzen;
5. mit instruktionaler Unterstützung gelernt wird, um Ineffizienzen und Überforderungen der Lernenden durch die komplexen, authentischen Lernumgebungen zu vermeiden.

Gerade die Unterstützung der Lernenden durch geeignete instruktionale Hilfen erweist sich häufig als Schlüsselfunktion für den Wissenserwerb (Clark & Salomon, 1986). Während die Nutzung bereitgestellter Interaktionsangebote in einer problemorientierten Lernumgebung nicht signifikant mit dem, im Nachtest erhobenen Wissen der Probanden korrelierte (Gräsel, Mandl, Fischer & Gärtner, 1994), war die Präsentation einer Musterlösung durch eine Ärztin nach Bearbeitung eines eigenen medizinischen Falles für die Lösung einer Transferaufgabe weitaus effektiver als keine oder eine vor der Fallbearbeitung präsentierte Musterlösung (Gräsel & Mandl, 1993; Gräsel, Prenzel & Mandl, 1993). Ein gelungenes instruktionales Design einer computergestützten Lernumgebung dürfte denn auch mehr Ergänzung als Substitut einer umsichtigen und kompetenten Anleitung der Lernenden durch eine Lehrkraft sein.

5. Ausblick

Abschließend wollen wir uns der Frage zuwenden, in welche Richtung sich das Lehren und Lernen mit dem Computer im jetzt angebrochenen 21. Jahrhundert bewegen wird. Wie kann die Wissensvermittlung über moderne Informationstechnologien so gestärkt werden, daß sie nicht bloß eine Alternative unter vielen, sondern eine sinnvolle und wünschenswerte instruktionale Maßnahme gegenüber dem traditionellen Unterricht darstellt?

Die Überlegungen dazu setzen auf drei Ebenen an: der pädagogisch-psychologischen, der technischen und der interdisziplinären.

Aus pädagogisch-psychologischer Sicht ist es erforderlich, daß für wohlüberlegte theoretische Konzeptionen wie zum situierten oder zum kooperativen Lernen mit den neuen Technologien weitere empirische Belege gesammelt werden. Dadurch wird am computergestützten Unterricht interessierten Lehrkräften eine gesicherte Wissensbasis zur Verfügung gestellt, auf der sie ihre Unterrichtskonzeptionen aufbauen können. So muß die Frage beantwortet werden, ob die Anwendung und der Transfer von Wissen für die Lernenden dadurch erleichtert wird, daß sie ihr Wissen in einem anwendungsbezogenen Kontext erwerben. Lassen sich weiterhin die positiven Resultate zu kooperativen Lernformen in weniger strukturierten Fächern wie Sprachen (s. z.B. Rosenshine & Meister, 1994) auf den Wissenserwerb in hoch strukturierten Fächern wie Chemie und Physik übertragen, oder erweist sich bei diesen eine andere Lernform als zweckmäßiger? Allgemein gesagt sollten von Mandl, Gruber und Renkl (1997b) angesprochene Aptitude-Treatment-Matter-Interaktionen in der pädagogisch-psychologisch orientierten Forschung zum computergestützten Lehren und Lernen vermehrte Beachtung finden, die den Lernenden, die Unterrichtsform und den Inhaltsbereich als Kernstücke des Lernerfolgs berücksichtigen. Langfristig werden auf diese Weise didaktische Konzeptionen erarbeitet werden können, die mit Hilfe der neuen Medien eine für alle

Beteiligten verbesserte Form des Unterrichts ermöglichen.

Auf der technischen Ebene wird durch die fortschreitende Entwicklung der Lerntechnologien eine noch gezieltere Anpassung an die Bedürfnisse von Lernenden erreicht werden können. Heute müssen sich Lernende erst mit einer Vielzahl von Knöpfen und Funktionen des Computers vertraut gemacht haben, bevor überhaupt ein erstes inhaltliches Wissenssegment angesprochen werden kann. Vor und während des Lernprozesses ist dadurch ein Teil der Aufmerksamkeit an die Technologie und nicht an den Lerngegenstand gebunden. Auf diese Weise wird das Arbeitsgedächtnis mit Steuerungs- und Kontrollaufgaben belastet, was das Erlernen neuer Inhalte erschwert. Zukünftige technische Innovationen, mit denen z.B. eine sprachliche Steuerung von Lernsoftware möglich wird, können die Effizienz des computergestützten Lehrens und Lernens entscheidend verbessern.

Große Probleme bereitet auch noch das netzbasierte Lernen. Das oft chaotisch anmutende Internet mit seinen zahlreichen überflüssigen, jugendgefährdenden oder kommerziell genutzten Seiten bietet nicht die optimale Infrastruktur für einen Einsatz im Schulunterricht (Roschelle & Pea, 1999). Auch hier bedarf es noch vieler, vorwiegend technischer Verfeinerungen, bevor das weltweite Netz Schülern ein sinnstiftendes „Tor in die Welt des Wissens“ öffnet.

Während der Wunsch nach technischen Weiterentwicklungen auf eine noch unbestimmte Zukunft verweist, ließe sich bereits heute mit den gegebenen Mitteln vieles besser machen, wenn ein Austausch von Beteiligten unterschiedlicher Fachdisziplinen stärker vorangetrieben werden würde. Welche Lehrkraft weiß von den Erkenntnissen, die die pädagogisch-psychologische Forschung zum computergestützten Lernen gewonnen hat? Welcher Forscher auf dem Gebiet des computergestützten Lernens ist mit daran beteiligt, wenn kommerzielle Lernprogramme entwickelt werden, die später zu Tausenden in die Schulen und Klassenzimmer gelangen? Welcher Programmentwickler kennt die spezifischen Probleme,

mit denen sich eine Lehrkraft beim computer-gestützten Unterrichten konfrontiert sieht (Prenzel, v. Davier, Bleschke, Senkbeil, Urhahne, 2000)?

Das ‚Centre for Innovative Learning Technologies‘ (CILT; <http://www.cilt.org>) in den Vereinigten Staaten von Amerika versucht, durch interdisziplinäre Kooperationen zu einer notwendigen Stärkung des Lernens mit den neuen Technologien beizutragen. In diesem, aus Mitteln der ‚National Science Foundation‘ gegründeten, zentralen Forschungszentrum können sich die Beteiligten unterschiedlicher fachlicher Herkunft miteinander austauschen und von führenden Experten einzelner Fachdisziplinen beraten lassen (Pea et al., 1999). Ein solches Vorgehen ist ein vielversprechender Ansatz, um durch ein stärkeres Ineinandergreifen von Forschung, Industrie, Schulen und Verwaltung die Prozesse und Ergebnisse des Lehrens und Lernens mit den neuen Medien zu optimieren. Eine bessere Abstimmung und Koordination der Anstrengungen aller kann die erhoffte Revolution des Lehrens und Lernens durch die neuen Technologien nicht garantieren, aber die Wahrscheinlichkeit dafür dürfte deutlich steigen.

Literatur

- Al-Diban, S. & Seel, N. M. (1999). Evaluation als Forschungsaufgabe von Instruktionsdesign. *Unterrichtswissenschaft*, 27 (1), 29 - 60.
- Anderson, J. R. & Bower, G. (1973). *Human associative memory*. Washington, D. C.: Winston.
- Anderson, J. R., Boyle, C. F., Corbett, A. T. & Lewis, M. W. (1990). Cognitive Modeling and intelligent tutoring. *Artificial Intelligence*, 42, 7 - 49.
- Anderson, J. R., Boyle, C. F. & Reiser, B. J. (1985). Intelligent tutoring systems. *Science*, 228, 456 - 462.
- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *The Journal of Learning Sciences*, 4, 167 - 207.
- Anderson, J. R., Greeno, J. G., Reder, L. M. & Simon, H. A. (2000). Perspectives on learning, thinking, and activity. *Educational Researcher*, 29 (4), 11 - 13.
- Anderson, J. R., Reder, L. M. & Simon, H. A. (1996). Situated learning and education. *Educational Researcher*, 25 (4), 5 - 11.
- Anderson, J. R., Reder, L. M. & Simon, H. A. (1997). Situative versus cognitive perspectives: Form versus substance. *Educational Researcher*, 26 (1), 18 - 21.
- Arbinger, R. & Bannert, M. (1993). Computerwissen von Schülern der Sekundarstufe I. *Empirische Pädagogik*, 7, 103 - 124.
- Ayersman, D. J. (1996). Reviewing the research on hypermedia-based learning. *Journal of Research on Computing in Education*, 28 (4), 500 - 525.
- Azevedo, R. & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 13, 111 - 127.
- Barron, B. J. S., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., Bransford, J. D. (1998). Doing with understanding: Lessons from research on problem- and project-based learning. *Journal of the Learning Sciences*, 7, 271 - 311.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Bell, P., Davis, E. A. & Linn, M. C. (1995). The knowledge integration environment: Theory and design. J. L. Schnase & E. L. Cunnius (Eds.), *CSCLE '95: The First International Conference on Computer Support for Collaborative Learning* (pp. 14 - 21). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bereiter, C. & Scardamalia, M. (1989). Intentional learning as a goal of instruction. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, Learning and Instruction. Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 361 - 392). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Bereiter, C. & Scardamalia, M. (1992). Two models of classroom learning using a communal database. In S. Dijkstra (Ed.), *Instructional models in computer-based learning environments* (pp. 229 - 241). Berlin: Springer-Verlag.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw-Hill.
- Böhle, K., Riehm, U. & Wingert, B. (1997). *Vom allmählichen Verfertigen elektronischer Bücher. Ein Erfahrungsbericht*. Frankfurt a. M.: Campus Verlag.
- Brown, A. L. & Campione, J. C. (1990). Communities of learning and thinking, or a context by any other name. *Contributions to human development*, 21, 108 - 126.

- Brown, J., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18 (1), 32 - 42.
- Brünken, R., Steinbacher, S. & Leutner, D. (2000). Räumliches Vorstellungsvermögen und Lernen mit Multimedia. In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung: Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung* (S. 37 - 46). Münster: Waxmann.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. New York: Norton.
- Bush, V. (1945). As we may think. *Atlantic Monthly*, 176 (1), 101 - 108.
- Carr, A. A., Jonassen, D. H., Litzinger, M. E. & Marra, R. M. (1998). Good ideas to foment educational revolution: The role of systemic change in advancing situated learning, constructivism, and feminist pedagogy. *Educational Technology*, 38, 5 - 15.
- Casey, C. (1996). Incorporating cognitive apprenticeship in multi-media. *Educational Technology Research and Development*, 44 (1), 71 - 84.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293 - 332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233 - 246.
- Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3, 149 - 210.
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53 (4), 445 - 460.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42 (2), 21 - 29.
- Clark, R. E. & Salomon, G. (1986). Media in teaching. In M. Wittrock (Ed.), *Handbook of Research on Teaching*, 3rd Ed. (pp. 464 - 478). New York: Macmillan.
- Cobb, P. (1994). Where is the mind? Constructivist and sociocultural perspectives on mathematical development. *Educational Researcher*, 23 (7), 13 - 20.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1990). Anchored instruction and its relationship to situated cognition. *Educational Researcher*, 19 (6), 2 - 10.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1991a). Some thoughts about constructivism and instructional design. *Educational Technology*, 31 (9), 16 - 18.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1991b). Technology and the design of generative learning environments. *Educational Technology*, 31 (5), 34 - 40.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1992). The Jasper series as an example of anchored instruction: Theory, program description, and assessment data. *Educational Psychologist*, 27, 291 - 315.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1993). Anchored instruction and situated cognition revisited. *Educational Technology*, 33 (3), 52 - 70.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1997). *The Jasper project: Lessons in curriculum, instruction, assessment, and professional development*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction. Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453 - 494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Conklin, J. (1987). Hypertext - An introduction and a survey. *IEEE Computer*, 20 (9), 17 - 41.
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi, M. (1978). Intrinsic rewards and emergent motivation. In M. R. Lepper & D. Greene (Eds.), *The hidden costs of reward*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- deCharms, R. (1968). *Personal causation*. New York: Academic Press.
- Deci, E. L. (1975). *Intrinsic motivation*. New York: Plenum.
- De Corte, E. (1994). Toward the integration of computers in powerful learning environments. In S. Vosniadou, E. De Corte & H. Mandl (Eds.), *Technology-based learning environments. Psychological and educational foundations* (pp. 19 - 25). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- De Corte, E., Verschaffel, L. & Lowyck, J. (1996). Computers, media, and learning. In E. De Corte & F. E. Weinert (Eds.), *International Encyclopedia of developmental and instructional psychology* (pp. 695 - 700). Oxford: Pergamon Press.

- De Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179 - 201.
- De Jong, T. & van Joolingen, W., Scott, D., de Hoog, R., Lapiéd, L. & Valent, R. (1994). SMISLE: System for Multimedia Integrated Simulation Learning Environments. In T. de Jong & L. Sarti (Eds.), *Design and production of multimedia and simulation based learning material* (pp. 133 - 167). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education: An introduction to the philosophy of education*. New York: Macmillan.
- Dillon, A. & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control, and style. *Review of Educational Research*, 68, 322 - 349.
- diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49 - 70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Di Vesta, F. J. (1989). Applications of cognitive psychology to education. In M. C. Wittrock & F. Farley (Eds.), *The future of educational psychology* (pp. 37 - 73). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Doerr, H. M. (1996). STELLA ten years later: A review of the literature. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 1, 201 - 224.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23 (7), 5 - 12.
- Duffy, T. M. & Jonassen, D. H. (1991). Constructivism: New implications for instructional technology? *Educational Technology*, 31 (9), 7 - 12.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (1998). Learning in science - From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 3 - 25). Dordrecht: Kluwer.
- Edelson, D. C. (1998). Realising authentic science learning through the adaptation of science practice. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 317 - 331). Dordrecht: Kluwer.
- Edelson, D. C., Gordin, D. N. & Pea, R. D. (1998). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *The Journal of the Learning Sciences*, 8, 391 - 450.
- Eitel, F., Kuprion, J., Prenzel, M., Bräth, A., Schweiberer, L. & Mandl, H. (1992). Interaktives, rechnergestütztes Lernprogramm „Bauchschmerz“: Entwicklung - Implementation - Evaluation. In U. Glowalla & E. Schoop (Hrsg.), *Hypertext und Multimedia. Neue Wege in der computerunterstützten Aus- und Weiterbildung* (S. 216 - 229). Berlin: Springer.
- Engelkamp, J. & Pechmann, T. (1993). Kritische Anmerkungen zum Begriff der mentalen Repräsentation. In J. Engelkamp & T. Pechmann (Hrsg.), *Mentale Repräsentationen* (S. 7 - 16). Bern: Huber.
- Farmer, J. A., Buckmaster, A. & Legrand, A. (1992). Cognitive Apprenticeship: Implications for continuing professional education. *New Directions for Adult and Continuing Education*, 55, 44 - 49.
- Feltovich, P. J., Spiro, R. J., Coulson, R. L. & Feltovich, J. (1996). Collaboration within and among minds: Mastering complexity, individually and in groups. In T. Koschmann (Ed.), *CSCL: Theory and practice of an emerging paradigm* (pp. 25 - 44). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Feng, Y. (1996). Some thoughts about applying constructivist theories to guide instruction. *Computers in the schools*, 12, 71 - 84.
- Gardner, H. (1989). *Dem Denken auf der Spur. Der Weg der Kognitionswissenschaft*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867 - 888.
- Goldman, S. R., Mayfield-Stewart, C., Bateman, H. V., Pellegrino, J. W. & the Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1999). Environments that support meaningful learning. In L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Renninger & J. Baumert (Eds.), *Interest and Learning* (pp. 184 - 196). Kiel: IPN.
- Goldman, S. R., Petrosino, A. J., Sherwood, R. D., Garrison, S., Hickey, D., Bransford, J. D. & Pellegrino, J. W. (1994). Multimedia environments for enhancing science instruction. In S. Vosniadou, E. De Corte & H. Mandl (Eds.), *Technology-based learning environments. Psychological and educational foundations* (pp. 89 - 96). Berlin: Springer.

- Goldman, S. R., Petrosino, A. J., Sherwood, R. D., Garrison, S., Hickey, D., Bransford, J. D. & Pellegrino, J. W. (1996). Anchoring science instruction in multimedia learning environments. In S. Vosniadou, E. De Corte, R. Glaser & H. Mandl (Eds.), *International perspectives on the design of technology-supported learning environments* (pp. 257 - 284). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Gräsel, C. (1997). Problemorientiertes Lernen. Strategieanwendung und Gestaltungsmöglichkeiten. Göttingen: Hogrefe.
- Gräsel, C. & Mandl, H. (1993). Förderung des Erwerbs diagnostischer Strategien in fallbasierten Lernumgebungen. *Unterrichtswissenschaft*, 21, 355 - 370.
- Gräsel, C., Mandl, H., Fischer, M. & Gärtner, R. (1994). Vergleichliche Designermüh? Interaktionsangebote in problemorientierten Computerlernprogrammen. *Unterrichtswissenschaft*, 22, 312 - 333.
- Gräsel, C., Prenzel, M. & Mandl, H. (1993). Konstruktionsprozesse beim Bearbeiten eines fallbasierten Computerlernprogramms. In C. Tarnai (Hrsg.), *Beiträge zur empirischen pädagogischen Forschung* (S. 55 - 67). Münster: Waxmann.
- Greeno, J. G. (1997). On claims that answer the wrong questions. *Educational Researcher*, 26 (1), 5 - 17.
- Greeno, J. G. & the Middle School Mathematics Through Applications Project Group (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American Psychologist*, 53 (1), 5 - 26.
- Gruber, H., Law, L.-C., Mandl, H. & Renkl, A. (1996). Situated learning and transfer. In P. Reimann & H. Spada (Eds.), *Learning in humans and machines. Towards an interdisciplinary learning science* (pp. 168 - 188). Oxford: Pergamon.
- Gruber, H., Mandl, H. & Renkl, A. (2000). Was lernen wir in der Schule und Hochschule: Träges Wissen? In H. Mandl & J. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln* (S. 139 - 156). Göttingen: Hogrefe.
- Hasebrook, J. (1995a). Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 9 (2), 95 - 103.
- Hasebrook, J. (1995b). Multimedia-Psychologie. Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation. Heidelberg: Spektrum.
- Hasebrook, J. (1998). Multi-Media. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 361 - 365). Weinheim: Beltz-PVU.
- Henninger, M., Mandl, H., Pommer, M. & Linz, M. (1999). Die Veränderung sprachrezeptiven Handelns: Einfluß des instruktionalen Gestaltungsprinzips Authentizität. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31 (1), 1 - 10.
- Hesse, F. W. & Giovis, C. (1997). Struktur und Verlauf aktiver und passiver Partizipation beim netzbasierten Lernen in virtuellen Seminaren. *Unterrichtswissenschaft*, 25 (1), 34 - 55.
- Hickey, D. T., Petrosino, A., Pellegrino, J. W., Goldman, S. R., Bransford, J. D., Sherwood, R. D. & the Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1994). The mars mission challenge: A generative, problem-solving school science environment. In S. Vosniadou, E. De Corte & H. Mandl (Eds.), *Technology-based learning environments. Psychological and educational foundations* (pp. 97 - 103). Berlin: Springer.
- Hofer, M., Eckert, A., Reimann, P., Döring, N., Horz, H., Schifffhorst, G. & Weber, K. (2000). Pädagogisch-psychologische Begleitung der „Virtuellen Universität Oberrhein“ (VIOROR). In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung: Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung* (S. 123 - 132). Münster: Waxmann.
- Huber, G. L. (2000). Was wird aus dem situativen Wissen, wenn die Situation sich ändert? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14, 8 - 9.
- Jacobson, M. J. & Spiro, R. J. (1995). Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: An empirical investigation. *Journal of Educational Computing Research*, 12, 301 - 333.
- Järvelä, S. (1995). The cognitive apprenticeship model in a technology rich learning environment: Interpreting the learning interaction. *Learning and Instruction*, 5 (3), 237 - 259.
- Jonassen, D. H. (1988). Preface. In D. H. Jonassen (Ed.), *Instructional designs of microcomputer courseware* (pp. xi - xxi). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jonassen, D. H. (1991). Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? *Educational Technology Research and Development*, 39, 5 - 14.

- Jonassen, D. H. & Grabowski, B. L. (1993). *Handbook of individual differences, learning, and instruction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Jonassen, D. H. & Mandl, H. (Eds.) (1990). *Designing hypermedia for learning*. Berlin: Springer.
- Kintsch, W. (1991). A theory of discourse comprehension: Implications for a tutor for word algebra problems. In M. Carretero, M. Pope, R. J. Simons & J. I. Pozo (Eds.), *Learning and instruction: European research in an international context*. Volume 3 (pp. 235 - 253). Oxford: Pergamon Press.
- Kirby, J. R., Moore, P. J. & Schofield, N. J. (1988). Verbal and visual learning styles. *Contemporary Educational Psychology*, 13, 169 - 184.
- Kirshner, D. & Whitson, J. A. (1998). Obstacles to understanding cognition as situated. *Educational Researcher*, 27 (8), 22 - 28.
- Klauer, K. J. (1999). Situated Learning: Paradigmenwechsel oder alter Wein in neuen Schläuchen? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 13, 117 - 121.
- Klauer, K. J. (2000). Doch die Verhältnisse, sie sind nicht so. Ein Nachwort. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14, 10 - 11.
- Kluwe, R. H. (1992). Gedächtnis und Wissen. In H. Spada (Hrsg.), *Lehrbuch allgemeine Psychologie*, 2. Aufl. (S. 115 - 187). Bern: Huber.
- Kommers, P. A. M., Jonassen, D. H. & Mayes, J. T. (Eds.) (1991). *Cognitive tools for learning (NATO ASI Series, Series F: Computer and Systems Sciences, Vol. 81)*. Berlin: Springer-Verlag.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.) (1992). *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Münster: Aschendorff.
- Krendl, K. A. & Brohier, M. (1992). Student responses to computers: A longitudinal study. *Journal of Educational Computing Research*, 8 (2), 215 - 227.
- Kuhlen, R. (1991). *Hypertext. Ein nicht-lineares Medium zwischen Text und Wissensbank*. Berlin: Springer-Verlag.
- Kulik, C. C. & Kulik, J. A. (1991). Effectiveness of computer-based instruction: An updated analysis. *Computers in Human Behavior*, 7, 75 - 94.
- Kulik, C. C. & Kulik, J. A. & Bangert-Drowns, R. L. (1990). Effectiveness of mastery learning programs: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 60, 265 - 299.
- Kulik, J. A. (1994). Meta-analytic studies of findings on computer-based instruction. In E. L. Baker & H. F. O'Neil (Eds.), *Technology assessment in education and training* (pp. 9 - 33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kulik, J. A., Bangert, R. L. & Williams, G. W. (1983). Effects of computer-based teaching on secondary school students. *Journal of Educational Psychology*, 75, 19 - 26.
- Kulik, J. A., Kulik, C. C. & Cohen, P. A. (1980). Effectiveness of computer-based college teaching: A meta-analysis of findings. *Review of Educational Research*, 50, 525 - 544.
- Lajoie, S. P. & Lesgold, A. (1989). Apprenticeship training in the workplace: Computer-coached practice environment as a new form of apprenticeship. *Machine-Mediated Learning*, 3, 7 - 28.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated learning. Legitimate peripheral participation*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Law, L.-C. (2000). Die Überwindung der Kluft zwischen Wissen und Handeln aus situativer Sicht. In H. Mandl & J. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln* (S. 253 - 287). Göttingen: Hogrefe.
- Lee, S. & Songer, N. B. (1999). How does electronic discourse support students' scientific inquiry in an internet-enhanced collaborative learning environment? Presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Montreal, Canada, April, 1999.
- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, 3, 113 - 132.
- Leutner, D. (1998). Programmierter und computerunterstützter Unterricht. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 404 - 409). Weinheim: Beltz-PVU.
- Leutner, D. & Plass, J. L. (1998). Measuring learning styles with questionnaires versus direct observation of preferential choice behavior in authentic learning situations: The visualizer/verbalizer behavior observation scale (VV-BOS). *Computers in Human Behavior*, 14, 543 - 557.
- Lewalter, D. (1997a). *Lernen mit Bildern und Animationen*. Münster: Waxmann.
- Lewalter, D. (1997b). Kognitive Informationsverarbeitung beim Lernen mit computerpräsentierten statischen und dynamischen Illustrationen. *Unterrichtswissenschaft*, 25, 207 - 222.

- Lewis, E. L. & Linn, M. C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 657 - 677.
- Lin, X., Hmelo, C., Kinzer, C. K. & Secules, T. J. (1999). Designing technology to support reflection. *Educational Technology Research & Development*, 47 (3), 43 - 62.
- Linn, M. C. (1992). The computer as learning partner: Can computer tools teach science? In K. Sheingold, L. G. Roberts & S. M. Malcolm (Eds.), *This Year in School Science 1991: Technology for Teaching and Learning* (pp. 31 - 69). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Linn, M. C. (1995). Designing computer learning environments for engineering and computer science: The scaffolded knowledge integration framework. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 103 - 126.
- Linn, M. C. (1998). The impact of technology on science instruction: Historical trends and current opportunities. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 265 - 294). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Linn, M. C., Shear, L., Bell, P., Slotta, J. D. (1999). Organizing principles for science education partnerships: Case studies of students' learning about 'rats in space' and 'deformed frogs'. *Educational Technology Research & Development*, 47 (2), 61 - 84.
- Linn, M. C. & Songer, N. B. (1991). Teaching thermodynamics to middle school students: What are appropriate cognitive demands? *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 885 - 918.
- Linn, M. C., Songer, N. B. & Eylon, B. (1996). Shifts and convergences in science learning and instruction: Alternative views. In R. Calfee & D. Berliner (Eds.), *Handbook of Educational Psychology* (pp. 438 - 490). Riverside, NJ: Macmillan.
- Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 4, 333 - 369.
- Malone, T. W. & Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. In R. E. Snow & M. J. Farr (Eds.), *Aptitude, Learning, and Instruction*, Vol. 3: Cognitive and affective process analyses (pp. 223 - 253). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mandl, H. (1997). Einführung. *Unterrichtswissenschaft*, 25 (1), 2 - 3.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1997a). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 166 - 178). Weinheim: Beltz-PVU.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1997b). Lernen und Lehren mit dem Computer. In F. E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung (Enzyklopädie der Psychologie, D, I, Bd. 4)* (S. 437 - 467). Göttingen: Hogrefe.
- Mayer, R. E. (1992). Cognition and instruction: Their historic meeting within educational psychology. *Journal of Educational Psychology*, 84, 405 - 412.
- Mayer, R. E. (1996). Learners as information processors: Legacies and limitations of educational psychology's second metaphor. *Educational Psychologist*, 31, 151 - 161.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32 (1), 1 - 19.
- Mayer, R. E. (1999). The promise of educational psychology. *Learning in the content areas*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83, 484 - 490.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84, 444 - 452.
- Mayer, R. E., Bove, W., Bryman, A., Mars, R. & Tapangco, L. (1996). When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons. *Journal of Educational Psychology*, 88, 64 - 73.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715 - 726.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90, 312 - 330.
- Mayer, R. E., Moreno, R., Boire, M. & Vagge, S. (1999). Maximizing constructivist learning from multimedia communications by minimizing cognitive load. *Journal of Educational Psychology*, 91, 638 - 643.

- Mayer, R. E. & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86, 389 - 401.
- Mayer, R. E., Steinhoff, K., Bower, G. & Mars, R. (1995). A generative theory of textbook design: Using annotated illustrations to foster meaningful learning of science text. *Educational Technology Research and Development*, 43 (1), 31 - 44.
- Mikelskis, H. F. (1999). Physik lernen mit interaktiver Hypermedia: Eine empirische Pilotstudie. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 5 (1), 63 - 74.
- Mikelskis, H. F. (2000). Untersuchung über multimediales Lernen von Physik - Eine Pilotstudie mit Germanistik- und Physikstudenten. In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung: Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung* (S. 103 - 112). Münster: Waxmann.
- Molnar, A. R. (1978). The next crisis in American education: Computer literacy. *AEDS Journal*, 12, 11 - 20.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91, 358 - 368.
- Nathan, M. J. & Resnick, L. B. (1994). Less can be more: Unintelligent tutoring based on psychological theories and experimentation. In S. Vosniadou, E. De Corte & H. Mandl (Eds.), *Technology-based learning environments. Psychological and educational foundations*. (pp. 183 - 192). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Neisser, U. (1979). *Kognition und Wirklichkeit*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Niegemann, H. M. (1995). Zum Einfluß von „modelling“ in einer computergestützten Lernumgebung: Quasi-experimentelle Untersuchung zur Instruktionsdesign-Theorie. *Unterrichtswissenschaft*, 23 (1), 75 - 87.
- Niemiec, R. & Walberg, H. J. (1987). Comparative effects of computer-assisted instruction: A synthesis of reviews. *Journal of Educational Computing Research*, 3, 19 - 37.
- Nielsen, J. (1995). *Multimedia and hypertext: The Internet and beyond*. Cambridge, MA: Academic Press.
- Nistor, N. & Mandl, H. (1997). Lernen in Computernetzwerken: Erfahrungen mit einem virtuellen Seminar. *Unterrichtswissenschaft*, 25 (1), 19 - 33.
- Oshima, J., Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1996). Collaborative learning processes associated with high and low conceptual progress. *Instructional Science*, 24, 125 - 155.
- Paechter, M. (1997). Auditive und visuelle Texte in Lernsoftware. *Unterrichtswissenschaft*, 25, 223 - 240.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart, and Winston. (Reprinted 1979, Hillsdale, NJ: Erlbaum.)
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual-Coding Approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. & Harshman, R. A. (1983). Factor analysis of a questionnaire on imagery and verbal habits and skills. *Canadian Journal of Psychology*, 37, 461 - 483.
- Palincsar, A. S. & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1, 117 - 175.
- Pea, R. D. (1993). Distributed multimedia learning environments: The collaborative visualization project. *Communications of the ACM*, 36 (5), 60 - 63.
- Pea, R. D., Tinker, R., Linn, M., Means, B., Bransford, J., Roschelle, J., Hsi, S., Brophy, S. & Songer, N. (1999). Toward a learning technologies knowledge network. *Educational Technology Research & Development*, 47 (2), 19 - 38.
- Penney, C. G. (1989). Modality effects and the structure of short-term verbal memory. *Memory & Cognition*, 17, 398 - 422.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E. & Leutner, D. (1998). Supporting visual and verbal learning preferences in a second language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology*, 90, 25 - 36.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Ballantine Books.
- Prenzel, M., Davier, M. von, Bleschke, M. G., Senkbeil, M., Urhahne, D. (2000). Didaktisch optimierter Einsatz neuer Medien: Entwicklung von computergestützten Unterrichtskonzepten für die naturwissenschaftlichen Fächer. In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung: Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung* (S. 113 - 121). Münster: Waxmann.

- Prenzel, M. & Mandl, H. (1993). Transfer of learning from a constructivist perspective. In T. M. Duffy, J. Lowyck, D. H. Jonassen & T. M. Welsh (Eds.), *Designing environments for constructive learning* (pp. 314 - 329). Berlin: Springer.
- Pylyshyn, Z. (1973). What the mind's eye tell the mind's brain: a critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1 - 24.
- Reinert, H. (1976). One picture is worth a thousand words? Not necessarily! *The Modern Language Journal*, 60, 160 - 168.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (1999). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten (Forschungsbericht Nr. 60, Überarbeitete Fassung). München: Maximilian-Ludwigs-Universität München, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47, 78 - 92.
- Renkl, A., Mandl, H. & Gruber, H. (1996). Inert knowledge: Analyses and remedies. *Educational Psychologist*, 31 (2), 115 - 121.
- Renkl, A. (2000). Weder Paradigmenwechsel noch alter Wein! Eine Antwort auf Klauers „Situating Learning: Paradigmenwechsel oder alter Wein in neuen Schläuchen?“ *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14, 5 - 7.
- Resnick, L. B. (1987). Learning in school and out. *Educational Researcher*, 16 (9), 13 - 20.
- Resnick, L. B. (1989). Introduction. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 1 - 24). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Resnick, L. B. (1996). Situated learning. In E. De Corte & F. E. Weinert (Eds.), *International Encyclopedia of Developmental and Instructional Psychology* (pp. 341 - 347). New York: Elsevier Science.
- Richardson, A. (1977). Verbalizer-Visualizer: A cognitive style dimension. *Journal of Mental Imagery*, 1, 109 - 126.
- Rieber, L. (1989). The effects of computer animated elaboration strategies and practice on factual and application learning in an elementary science lesson. *Journal of Educational Computing Research*, 5, 431 - 434.
- Rieber, L. (1990a). Animation in computer-based instruction. *Educational Technology Research & Development*, 38, 77 - 86.
- Rieber, L. (1990b). Using computer animated graphics in science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82, 135 - 140.
- Rieber, L. (1991). Animation, incidental learning, and continuing motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83, 318 - 328.
- Rieber, L., Boyce, M. & Assad, C. (1990). The effects of computer animation on adult learning and retrieval tasks. *Journal of Computer-Based Instruction*, 17, 46 - 52.
- Rieber, L. & Kini, A. S. (1991). Theoretical foundations of instructional applications of computer-generated animated visuals. *Journal of Computer-Based Instruction*, 18, 83 - 88.
- Roschelle, J. & Pea, R. (1999). Trajectories from today's www to a powerful educational infrastructure. *Educational Researcher*, 28 (5), 22 - 43.
- Rosenberg, R. (1987). A critical analysis of research on intelligent tutoring systems. *Educational Technology*, 27, 7 - 13.
- Rosenshine, B. & Meister, C. (1994). Reciprocal teaching: A review of the research. *Review of Educational Psychology*, 64, 479 - 530.
- Salomon, G. (1979). *Interaction of media, cognition, and learning*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Salomon, G. (1984). Television is „easy“ and print is „tough“: The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology*, 76, 647 - 658.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1985). Fostering the development of self-regulation in children's knowledge processing. In S. F. Chipman, J. W. Segal & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills: Research and open questions* (pp. 563 - 577). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1992). An architecture for collaborative knowledge-building. In E. De Corte, M. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Eds.), *Computer-based learning environments and problem solving (NATO-ASI Series F: Computer and Systems Science)* (pp. 41 - 66). Berlin: Springer-Verlag.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1996a). Computer support for knowledge-building communities. In T. Koschmann (Ed.), *CSCL: Theory and practice of an emerging paradigm* (pp. 249 - 268). Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1996b). Adaptation and understanding: A case for new cultures of schooling. In S. Vosniadou, E. De Corte, R. Glaser & H. Mandl (Eds.), *International perspectives on the design of technology-supported learning environments* (pp. 149 - 163). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Scardamalia, M., Bereiter, C. & Lamon, M. (1994). CSILE: Trying to bring students into world 3. In K. McGilley (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 201 - 228). Cambridge, MA: MIT Press.
- Scardamalia, M., Bereiter, C., McLean, R. S., Swallow, J. & Woodruff, E. (1989). Computer-supported intentional learning environments. *Journal of Educational Computing Research*, 5 (1), 51 - 68.
- Scardamalia, M., Bereiter, C. & Steinbach, R. (1984). Teachability of reflective processes in written composition. *Cognitive Science*, 8, 173 - 190.
- Schnotz, W. (1993). Some remarks on the commentary: On the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. *Learning and Instruction*, 3, 247 - 249.
- Schnotz, W. (1996). Psychologische Ansätze des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung. In R. Duit & C. v. Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 15 - 36). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Schnotz, W. (1997). Wissenserwerb mit Diagrammen und Texten. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 85 - 105). Weinheim: Beltz-PVU.
- Schnotz, W. (1998). Imagination beim Sprach- und Bildverstehen. *Neue Sammlung*, 38, 141 - 154.
- Schnotz, W., Böckheler, J., Grzondziel, H., Gärtner, I. & Wächter, M. (1998). Individuelles und kooperatives Lernen mit interaktiven animierten Bildern. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12 (2/3), 135 - 148.
- Schnotz, W. & Zink, T. (1997). Informationssuche und Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Hypertext. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 11, 95 - 108.
- Schnotz, W., Zink, T. & Pfeiffer, M. (1996). Visualisierungen im Lehr-Lern-Prozeß. *Zeitschrift für Pädagogik*, 42, 193 - 213.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. New York: Academic Press.
- Seel, N. M., Al-Diban, S., Held, S. & Hess, C. (1998). *Didaktisches Design multimedialer Lernumgebungen. Theoretische Positionen, Gestaltungsprinzipien, empirische Befunde*. In G. Dörr & K. L. Jüngst (Hrsg.), *Lernen mit Medien. Ergebnisse und Perspektiven zu medial vermittelten Lehr- und Lernprozessen* (S. 87 - 120). Weinheim: Juventa.
- Sherwood, R. D., Petrosino, A. J., Lin, X. & Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1998). Problem-based macro contexts in science instruction: Design issues and applications. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 349 - 362). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Shneiderman, B. & Kearsley, G. (1989). *Hypertext hands-on. An introduction to a new way of organizing and accessing information*. New York, NY: Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- Singer, J. L. (Ed.) (1973). *The child's world of make-believe*. New York: Academic Press.
- Skinner, B. (1961). Why we need teaching machines. *Harvard Educational Review*, 31, 377 - 398.
- Songer, N. B. (1996). Exploring learning opportunities in coordinated network-enhanced classrooms: A case of kids as global scientists. *The Journal of Learning Sciences*, 5, 297 - 327.
- Songer, N. B. (1998). Can technology bring students closer to science? In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 333 - 347). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Songer, N. B. & Linn, M. C. (1991). How do students' views of science influence knowledge integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 761 - 784.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. & Anderson, D. K. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Proceedings of the 10th annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 375 - 383). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, R. L. & Anderson, D. K. (1989). Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconception in advanced knowledge acquisition. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 498 - 531). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology*, 31 (5), 24 - 33.
- Spiro, R. J. & Jengh, J. C. (1990). Random access instruction: Theory and technology for the non-linear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix & R. J. Spiro (Eds.), *Cognition, education, and multimedia* (pp. 163 - 205). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Spiro, R. J., Vispoel, W. L., Schmitz, J., Samarapungavan, A. & Boerger, A. (1987). Knowledge acquisition for application: Cognitive flexibility and transfer in complex content domains. In B. C. Britton & S. Glynn (Eds.), *Executive control processes* (pp. 177 - 200). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Stark, R., Graf, M., Renkl, A., Gruber, H. & Mandl, H. (1995). Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Kontexte. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 27, 289 - 312.
- Stark, R., Gruber, H. & Mandl, H. (1998). Motivationale und kognitive Passungsprobleme beim komplexen situierten Lernen. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44, 202 - 215.
- Swaak, J., van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1998). Supporting simulation-based learning: The effects of model progression and assignments on definitional and intuitive knowledge. *Learning and Instruction*, 8, 235 - 252.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257 - 285.
- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12, 185 - 233.
- Sweller, J., van Merriënboër, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychological Review*, 10, 251 - 296.
- Tergan, S.-O. (1993). Zum Aufbau von Wissensstrukturen mit Texten und Hypertexten. *Nachrichten für Dokumentation*, 44, 15 - 22.
- Tergan, S.-O. (1997). Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 122 - 137). Weinheim: Beltz-PVU.
- Vye, N. J., Schwartz, D. L., Bransford, J. D., Barron, B. J., Zech, L. & the Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1998). SMART environments that support monitoring, reflection, and revision. In D. J. Hacker & J. Dunlosky (Eds.), *Metacognition in educational theory and practice* (pp. 305 - 346). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Volet, S. E. (1991). Modelling and coaching of relevant, metacognitive strategies for enhancing university students' learning. *Learning and Instruction*, 1 (4), 319 - 336.
- Weidenmann, B. (1993). Psychologie des Lernens mit Medien. In B. Weidenmann & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*, 3. Aufl. (S. 493 - 554). Weinheim: Beltz-PVU.
- Weidenmann, B. (1996a). Ist der Begriff „Multimedia“ für die Medienpsychologie ungeeignet? *Medienpsychologie*, 7, 256 - 261.
- Weidenmann, B. (1996b). Instruktionsmedien. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion (Enzyklopädie der Psychologie, D, I, Bd. 2)* (S. 319 - 368). Göttingen: Hogrefe.
- Weidenmann, B. (1997a). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozeß. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 64 - 84). Weinheim: Beltz-PVU.
- Weidenmann, B. (1997b): „Multimedia“: Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? *Unterrichtswissenschaft*, 25 (3), 197 - 206.
- Weidenmann, B. (1997c). Medien in der Erwachsenenbildung. In F. E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung (Enzyklopädie der Psychologie, D, I, Bd. 4)* (S. 405 - 436). Göttingen: Hogrefe.
- Weidenmann, B. & Krapp, A. (1989). Lernen mit dem Computer, Lernen für den Computer. *Zeitschrift für Pädagogik*, 35 (5), 621 - 636.
- Weinert, F. E. (1996). Für und Wider die „neuen Lerntheorien“ als Grundlagen pädagogisch-psychologischer Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 10 (1), 1 - 12.
- White, B. Y. (1993). ThinkerTools: Causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and Instruction*, 10, 1 - 100.
- White, B. Y. (1995). The ThinkerTools project: Computer microworlds as conceptual tools for facilitating scientific inquiry. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 201 - 227). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Publishers.

- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1989). Causal models as intelligent learning environments for science and engineering education. *Applied Artificial Intelligence*, 3, 83 - 106.
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1990). Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments. *Artificial Intelligence*, 42, 99 - 157.
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16, 3 - 118.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66, 297 - 333.
- Whitehead, A. N. (1929). *The aims of education*. New York, NY: Macmillan.
- Windschitl, M. (1998). The www and classroom research: What path should we take? *Educational Researcher*, 28 (1), 28 - 33.
- Winn, W. D. (1991). The assumptions of constructivism and instructional design. *Educational Technology*, 31 (9), 38 - 40.
- Winter, A. (1998). Arbeiten an und mit Hypertexten. *Unterrichtswissenschaft*, 26 (1), 32 - 50.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative activity. *Educational Psychologist*, 11, 87 - 95.
- Wittrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24, 345 - 376.
- Wygotski, L. S. (1974). *Denken und Sprechen*. Stuttgart: Fischer.
- Zuckerman, M., Porac, J., Lathin, D., Smith, R. & Deci, E. L. (1978). On the importance of self-determination for intrinsically motivated behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 4, 443 - 446.

Detlef Urhahne, Dr. Manfred Prenzel, Dr. Matthias von Davier, Martin Senkbeil und Michael Bleschke sind Mitarbeiter am Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel

Prof. Dr. Manfred Prenzel
IPN
Abt. Erziehungswissenschaften
Olshausenstr. 62
D-24098 Kiel