

Urhahne, Detlef; Harms, Ute

## Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen

*Unterrichtswissenschaft 34 (2006) 4, S. 358-377*



Quellenangabe/ Reference:  
Urhahne, Detlef; Harms, Ute: Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen - In:  
Unterrichtswissenschaft 34 (2006) 4, S. 358-377 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-55234 - DOI:  
10.25656/01:5523

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-55234>

<https://doi.org/10.25656/01:5523>

in Kooperation mit / in cooperation with:

# BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

### Nutzungsbedingungen

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

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use

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

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

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

### Kontakt / Contact:

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

Digitalisiert

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

---

# Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung

34. Jahrgang / 2006 / Heft 4

---

<i>Christa Gebel</i> Kompetenzfördernde Potenziale unterhaltender Computerspiele .....	290
<i>Karin Zimmer, Antje Stick, Désirée Burba, Manfred Prenzel</i> PISA 2003 – Kompetenzmuster von Jungen und Mädchen in den deutschen Ländern .....	310
<i>Sigrid Blömeke, Jana Risse, Christine Müller, Dana Eichler, Wolfgang Schulz</i> Analyse der Qualität von Aufgaben aus didaktischer und fachlicher Sicht .....	330
<i>Detlef Urhahne, Ute Harms</i> Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen ...	358
Rezension .....	378
Hinweise für Autoren .....	380
Gutachter 2006 .....	383
Themenplanung .....	384

# Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen

## Instructional Support for Learning with Computer Simulations

---

*In einem Literaturüberblick wird die Effektivität von Maßnahmen der instruktionalen Unterstützung für das Lernen mit Computersimulationen dargestellt. Computersimulationen veranschaulichen anderweitig schwer vermittelbare Sachverhalte in einer hochgradig realistischen Lernumgebung. Lernende können sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen erwerben. Interaktivität und Kontrollmöglichkeiten über die Computersimulation motivieren Benutzer zum selbstgesteuerten Lernen. Die Vorteile von Computersimulationen werden jedoch von Problemen geschmälert, die Lernende auf kognitiver und metakognitiver Ebene zeigen. Entdeckendes Lernen mit Computersimulationen führt i.d.R. nicht zu den gewünschten Lernerfolgen. Vielmehr benötigen Lernende für den erfolgreichen Wissenserwerb mit Computersimulationen instruktionale Unterstützung. Zur interpretativen Unterstützung erweisen sich Arbeitsaufträge und ausgearbeitete Lösungsbeispiele als geeignet. Als experimentelle Unterstützung sind permanent verfügbare Hintergrundinformationen, Führung und abzugebende Begründungen hilfreich. Zur reflektierenden Unterstützung sind differenzierte Rückmeldungen des Lernsystems und die Betrachtung der eigenen Vorgehensweise dienlich. Die Ergebnisse des Literaturüberblicks werden auf der Grundlage der kognitiven Belastungstheorie diskutiert.*

*In a review of the literature, the effectiveness of instructional support for learning with computer simulations is presented. Computer simulations depict topics that are oftentimes difficult to teach in a highly realistic learning environment, thus enabling learners to acquire declarative as well as procedural knowledge. Computer simulations provide interactivity and control options that motivate users to self-regulated learning. However, the advantages of computer simulations are diminished due to problems that learners show on the cognitive and metacognitive level. Discovery learning with computer simulations does not typically result in the desired learning outcomes. Rather, for successful knowledge acquisition with computer simulations instructional support is needed. For interpretative support, as-*

*signments and worked-out examples prove to be appropriate. Permanently available background information, guidance, and justifications are helpful for experimental support. Sophisticated feedback of the learning system as well as reflecting on one's own procedure are effective for reflective support. The results of the literature review are discussed on the basis of cognitive load theory.*

## 1. Einführung

Unter den verschiedenen Typen von Computerlernprogrammen wie Drill-and-Practice Programmen, tutoriellen Programmen, datenbankgestützten Programmen, hypermedialen Programmen und kognitiven Werkzeugen gelten Computersimulationen als die technisch anspruchsvollste Variante (Mandl, Gruber & Renkl 1997; Blömeke 2003). Eine Computersimulation lässt sich definieren als „ein Programm, das einen Prozeß oder ein natürliches oder künstliches System mit deren bestimmenden Parametern nachbildet und dem Lernenden ein gefahrloses Experimentieren und Simulieren in einer artifiziellen Lernumgebung erlaubt“ (Urhahne, Prenzel, v. Davier, Senkbeil & Bleschke 2000, S. 165). In vielen Fällen werden Computersimulationen zum entdeckenden Lernen von Prinzipien und Konzepten eingesetzt. Doch führt ein ausschließlich auf das selbstständige Erarbeiten von Prinzipien und Konzepten ausgerichtetes Lernen mit Computersimulationen i.d.R. nicht zu den gewünschten Lernerfolgen (Leutner 1993; Stark, Graf, Renkl, Gruber & Mandl 1995; Swaak & de Jong 2001a; Mayer 2004). Ohne instruktionale Unterstützung wird vergleichsweise wenig Wissen erworben (de Jong & Njoo 1992; de Jong & van Joolingen 1998). Wie kann das Lernen mit Computersimulationen durch geeignete instruktionale Maßnahmen unterstützt werden? Dieser Frage wollen wir im Folgenden nachgehen.

Mit dem Fokus auf die instruktionale Methode zur Verbesserung des Wissenserwerbs mit Computersimulationen wird eine bekannte Aussage Clarks zur Medienforschung aufgenommen (Clark 1983, 1994). Clark (1983) behauptet auf der Basis von Metaanalysen zur computergestützten Instruktion, dass es nicht das Medium an sich, sondern die mit dem Medium verwirklichte Instruktionmethode sei, die zu einer Verbesserung der Lerneffektivität führt. Medien und Medienattribute haben nach Meinung von Clark (1994) wichtige Einflüsse auf die Kosten und die Schnelligkeit des Lernens, aber nur die Verwendung adäquater instruktionaler Methoden beeinflusst maßgeblich den Lernerfolg. Diese Position, in der die instruktionale Unterstützung der Bedeutung von Medienattributen übergeordnet wird, gilt als nicht unumstritten (Kozma 1994a; Salomon 1979). Kritiker schreiben vielmehr Medien *und* Methoden Einflüsse auf das Lernen zu, weil bestimmte Medienattribute bestimmte instruktionale Methoden erst ermöglichen (Kozma 1994b; Reiser 1994). Unabhängig von deren Ausgang liefert die Medien-Methoden-Debatte freilich den wichtigen Hinweis, der instruktio-

nalen Unterstützung des medienbasierten Lernens mehr Aufmerksamkeit zu schenken.

Im Weiteren werden die Gründe, die Probleme und die instruktionale Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen dargestellt. Die Analysen bauen auf dem Literaturüberblick von de Jong und van Joolingen (1998) zum entdeckenden, naturwissenschaftlichen Lernen mit Computersimulationen auf. Jedoch werden insbesondere Forschungsarbeiten berücksichtigt, die nach dem Überblicksartikel der niederländischen Autoren entstanden sind. Der Blick ist zudem stärker auf die Wirksamkeit instruktionaler Maßnahmen gerichtet. Aus den Ergebnissen werden Konsequenzen abgeleitet, in welchen Phasen und in welcher Form Lernende beim Wissenserwerb mit Computersimulationen instruktionale Unterstützung benötigen.

## *2. Gründe für das Lernen mit Computersimulationen*

Breuer und Kummer (1990) nennen zwei Hauptargumente für die Verwendung von Computersimulationen. Das erste Argument bezieht sich auf die inhaltlichen Eigenschaften. Computersimulationen ermöglichen den Zugang zu Experimenten, die anderweitig zu teuer, zu gefährlich, zu komplex, submikroskopisch klein oder in anderer Weise schlecht darzustellen sind. Beispielsweise ist für das Verständnis gentechnischer Verfahren ein Einblick in moderne molekularbiologische Techniken notwendig, die aber aus sicherheitsrechtlichen Gründen im Unterricht nicht durchgeführt werden dürfen. Ebenso können komplexe, erst über lange Zeiträume hinweg erkennbare Veränderungen wie in der Ökologie nur über ein Medium wie den Computer auf geeignete Weise vermittelt werden. Das zweite Argument von Breuer und Kummer (1990) betont die didaktischen Eigenschaften. Computersimulationen erlauben es Lernenden, vorher gelernte Regeln und Konzepte in einer „realistischen“ Lernumgebung anzuwenden. Damit wird die Anwendbarkeit des erworbenen Wissens verbessert und der Wissenstransfer gefördert. Gräsel, Bruhn, Mandl und Fischer (1997) argumentieren in die gleiche Richtung, wenn sie auf das Problem des „trägen“ Wissens hinweisen. Dieses Phänomen tritt auf, wenn es Lernenden nicht gelingt, erworbenes Wissen zur Lösung praktischer Probleme anzuwenden. Statt dessen fordern Gräsel et al. (1997), das Lernen in authentischen Kontexten anzusiedeln. Wenn erworbenes Wissen der Bewältigung realer Probleme dienen soll, dann muss der Lernkontext möglichst wirklichkeitsnah sein. Computersimulationen, die einen Prozess oder ein System mit den bestimmenden Parametern nachbilden, bieten diesen authentischen Rahmen für den Wissenserwerb und tragen mit ihren inhärenten Eigenschaften zu einer besseren Anwendbarkeit des Gelernten bei. Breuer und Kummer (1990) weisen noch auf eine dritte, weniger stark berücksichtigte Eigenschaft von Computersimulationen hin. Lernende verbessern über die Lösung komplexer, dynamischer Problemstellungen mithilfe von Computersimulationen nicht nur ihr inhaltliches, sondern auch ihr prozedurales Wissen (Tennyson & Breuer

2002). Nach Möglichkeit sollten sich Lernende beim Wissenserwerb mit Computersimulationen selbstständig Lernziele setzen, Hypothesen überprüfen, Prozesse beobachten, Theorien formulieren und Entscheidungen treffen (White & Frederiksen 1998; White 1998). In dieser Hinsicht entsprechen Computersimulationen in hohem Maße den Forderungen konstruktivistischer Lerntheorien nach einem aktiven und konstruktiven Wissenserwerb (Gräsel et al. 1997). Neben deklarativem Wissen wird durch das Lernen mit Computersimulationen damit auch prozedurales Wissen erworben, das im Sinne einer formalen Bildung für andere Lernaufgaben genutzt werden kann.

Des Weiteren werden Computersimulationen mit Eigenschaften in Verbindung gebracht, die vornehmlich der Erhöhung der Lernmotivation dienen. Als wichtigste Funktionen sind Interaktivität und Möglichkeiten zur Kontrolle der Lernumgebung zu nennen (Strzebkowski & Kleeberg 2002; Winn 2002).

Als besonderes Kennzeichen, welches sie von bildlichen und animierten Repräsentationsformen abgrenzt, verfügen Computersimulationen über das Merkmal der Interaktivität (Strzebkowski & Kleeberg 2002; Swaak & de Jong 1996). Zwar gelten auch andere Computerlernprogramme als interaktiv, doch bieten Computersimulationen ein besonders hohes Maß an wechselseitiger Aktion und Reaktion. Lernende greifen aktiv in das simulierte Geschehen ein, verändern Parameter nach eigenen Vorstellungen und erhalten Rückmeldungen über die Ergebnisse ihres Handelns. Wie wichtig der Erhalt von Rückmeldungen für das Lernen mit Multimediaanwendungen ist, zeigt eine metaanalytische Untersuchung von Azevedo und Bernard (1995). Die Forscher untersuchten in einer Zusammenschau verschiedener Studien, wie sich der Erhalt von Rückmeldungen beim computergestützten Lernen auf die Lernleistung auswirkt. Bei unmittelbarer Leistungsmessung nach Beendigung der Lerneinheiten konnte mit  $d = .80$  ein großer Lerneffekt festgestellt werden (Azevedo & Bernard 1995). Bei verzögerter Leistungsmessung ist immerhin noch ein kleiner bis mittlerer Lerneffekt von  $d = .35$  nachzuweisen. Rückmeldungen über die Ergebnisse des eigenen Handelns beim computergestützten Lernen zu bekommen, trägt damit direkt oder indirekt über die Erhöhung der Lernmotivation zu einer Verbesserung der Lernleistung bei.

Der größte motivationale Vorteil beim Lernen mit Computersimulationen besteht nach Ansicht von Winn (2002) in der Ausübung von Kontrolle über das Lernsystem. Lernende sind von sich aus dazu motiviert, ihre Lernumwelt zu beherrschen (Lepper 1988). Die komplexen Strukturen von Computersimulationen fordern Lernende zur Beherrschung des Lernsystems heraus (Lepper & Malone 1987). Dahingehende Untersuchungen belegen, dass Möglichkeiten zur Kontrolle über zu bearbeitende Inhalte einer computer-

gestützten Lernumgebung sich positiv auf den Wissenserwerb auswirken (Kinzie, Sullivan & Berdel 1988, 1992).

Zusammengenommen liegen die Vorteile von Computersimulationen in der Veranschaulichung anderweitig schwer vermittelbarer Sachverhalte in einer hochgradig „realistischen“ Lernumgebung. Vermittelt wird nicht nur deklaratives, sondern auch prozedurales Wissen in Form strategischer Lern- und Handlungsweisen. Interaktivität und Kontrollmöglichkeiten über das Lernsystem sind bei Computersimulationen wesentliche, lernförderliche Anreize, die andere Arten von Computerlernprogrammen nicht in gleicher Weise bieten.

### *3. Probleme des Lernens mit Computersimulationen*

Die Vorteile von Computersimulationen werden allerdings von Problemen geschmälert, die Lernende auf kognitiver und metakognitiver Ebene beim Umgang mit Computersimulationen zeigen. In einem Überblicksartikel haben de Jong und van Joolingen (1998) Probleme des entdeckenden Lernens mit Computersimulationen zusammengestellt. Sie unterscheiden vier Problembereiche: das Aufstellen von Hypothesen, die Gestaltung von Experimenten, die Interpretation von Daten und die Selbststeuerung des Lernens.

Das Aufstellen von Hypothesen gilt als ein schwieriger Prozess. Häufig wissen Lernende nicht einmal, wie eine überprüfbare Hypothese auszuschauen hat. Besonders schwer fällt es Lernenden, ihre Hypothesen in die richtige Beziehung zu den gesammelten Daten zu setzen. Von der Hypothese abweichende Daten werden ignoriert, zurückgewiesen oder uminterpretiert. Dafür wird intensiv nach hypothesenkonformen Daten gesucht (Bestätigungs-Bias). Auch bestehen Schwierigkeiten, auf alternative Hypothesen umzuschwenken. Selbst der gegenteilige Effekt ist möglich: Lernende verwerfen ihre Hypothese, obwohl genügend hypothesenentkräftende Daten noch gar nicht vorliegen. Die Beziehungen zwischen den Variablen in der Hypothese und den Variablen in der Simulation werden nicht genügend erkannt (van Joolingen & de Jong 1997).

Die Gestaltung von Experimenten ist ein weiterer Problembereich des Lernens mit Computersimulationen. Beispielsweise entwerfen Lernende Experimente, die zu keiner Erkenntnis führen können: Sie variieren zu viele Variablen auf einmal und sind dann nicht in der Lage, geeignete Schlussfolgerungen daraus zu ziehen. Ein anderer Fall sind unzureichende Experimente: Lernende berücksichtigen in der Planung nicht das gesamte Variablenspektrum, sondern operieren mit einer ungenügenden Variablenzahl und neigen auch noch dazu, diesen Fehler zu wiederholen. Ebenso mag es vorkommen, dass Experimente gestaltet werden, die nicht dazu geeignet sind, die Untersuchungshypothese zu testen (van Joolingen & de Jong 1991). Im Vordergrund der Überlegungen stehen das gewünschte Ergebnis oder der Spaß an der Aufgabendurchführung, nicht aber das Modellverständnis.

Die Interpretation von Daten stellt für Lernende – selbst nach gelungenen Experimenten – eine weitere gedankliche Hürde dar. Am häufigsten werden die gewonnenen Daten in Richtung auf die gerade verfolgte Hypothese interpretiert oder die zugrunde liegende Theorie wird einfach an die Datenlage angepasst. Dadurch kommt es zu kognitiven Verzerrungen, die sich in Fehlinterpretationen der Daten niederschlagen. Eine andere Schwierigkeit tritt auf, wenn das Ergebnis einer Simulation in Form eines Graphen dargestellt wird. Das Ablesen von Informationen aus einem Graphen ist ein Prozess, der von Lernenden erst gelernt werden muss (Mokros & Tinker 1987).

Die Selbststeuerung des Lernens mit Computersimulationen berührt vor allem metakognitive Aspekte. Erfolgreiche Lernende machen sich ihre Vorgehensweisen bewusst, planen und überwachen ihre Lernprozesse systematisch. Wenig erfolgreiche Lernende zeigen dagegen unsystematische Verhaltensweisen. Sie halten sich an falsche Zielvorstellungen, verwenden zufällige Strategien und konzentrieren sich zu sehr auf lokale anstelle von globalen Entscheidungen. Ihre unsystematische Vorgehensweise verhindert es, das beträchtliche Lernpotenzial von Computersimulationen auszuschöpfen.

Zusammengenommen belegen die Probleme des Lernens mit Computersimulationen die Notwendigkeit der instruktionalen Unterstützung. Instruktionale Maßnahmen können zu einem sehr viel zielgerichteteren Wissenserwerb der Lernenden beitragen.

#### *4. Instruktionale Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen*

Die instruktionalen Maßnahmen beim Lernen mit Computersimulationen sollen einen Konflikt lösen (Njoo & de Jong 1993). Auf der einen Seite muss es Lernenden möglich sein, sich Wissen mithilfe der Computersimulation selbstständig zu erarbeiten. Auf der anderen Seite muss die computergestützte Lernumgebung so beschaffen sein, dass Lernende durch deren Komplexität nicht in Verwirrung geraten und ein zielgerichteter Wissenserwerb verhindert wird. Einige Forscher und Programmentwickler haben die Probleme von Lernenden beim Wissenserwerb mit Computersimulationen erkannt und entsprechende Lernhilfen bereitgestellt. Wir wollen versuchen, auf Grundlage der vorhandenen Informationen abzuleiten, welche instruktionalen Maßnahmen als besonders erfolgsversprechend gelten. Dieses Vorgehen soll aufdecken, wie das Lernen mit Computersimulationen durch Maßnahmen der instruktionalen Unterstützung optimiert werden kann.

Der folgende Überblick erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, gleichwohl sollen alle verfügbaren Informationen Beachtung finden. Aus diesem Grunde wurden Datenbanken pädagogisch-psychologischer Literatur nach der Kombination „computer simulation\* and learn\*“ durchforstet. Die Suche wurde auf die Jahre ab 1998 beschränkt. Relevante Forschungsarbeiten vor dieser Zeit wurden dem Review-Artikel von de Jong und van Joolingen

(1998) entnommen. Die Suche erbrachte in der Datenbank PsychINFO 331, in PSYNDEXplus 71 und in ERIC 229 Literaturangaben. Alle Artikel, die auf die Effektivität einer instruktionalen Maßnahme schließen lassen, wurden genauer betrachtet. Zusätzlich wurde den Querverweisen in den Artikeln auf weitere Forschungsarbeiten nachgegangen. Insgesamt wurden auf diese Weise dreißig Forschungsartikel ausgewählt, wobei die älteste Arbeit aus dem Jahre 1987 stammt. Alle Artikel haben miteinander gemein, dass die Effektivität mindestens einer instruktionalen Maßnahme beim Lernen mit einer Computersimulation analysiert wurde. Die Computersimulationen selbst reichen in ihrer Komplexität von vergleichsweise einfachen Systemen wie „BiologyLab“ (Vollmeyer & Rheinberg 1998), in denen der Zusammenhang zwischen drei unabhängigen und drei abhängigen Variablen ergründet werden muss, bis hin zu anspruchsvollen Planspielen wie „Jeansfabrik“ (Stark et al. 1995), bei dem betriebswirtschaftliche Leistungsprozesse simuliert werden.

Als Kriterien für die Bewertung der Effektivität wurden zugrunde gelegt, dass eine Experimentalgruppe mit einer bestimmten instruktionalen Maßnahme gegenüber einer Experimentalgruppe mit einer anderen instruktionalen Maßnahme oder gegenüber einer Kontrollgruppe ohne instruktionalen Maßnahme einen besseren Lernerfolg mithilfe der Computersimulationen erzielte. Damit wurden auch solche Maßnahmen als effektiv angesehen, die anderen instruktionalen Maßnahmen überlegen waren. Ausgeschlossen wurden all jene Forschungsarbeiten, in denen instruktionalen Maßnahmen ohne eine Vergleichsgruppe getestet wurden.

Zur Darstellung der verschiedenen instruktionalen Maßnahmen verwenden wir ein Schema, wie es von Zhang, Chen, Sun und Reid (2004) vorgeschlagen wird. Sie unterscheiden bei Maßnahmen zur Förderung des entdeckenden, naturwissenschaftlichen Lernens mit Computersimulationen drei Bereiche:

- a) interpretative Unterstützung – sie hilft den Lernenden *vor der Interaktion* mit der Computersimulation notwendiges Wissen zu aktivieren und abzurufen, geeignete Hypothesen zu entwickeln und ein zusammenhängendes Verständnis zu gewinnen;
- b) experimentelle Unterstützung – sie hilft den Lernenden *während der Interaktion* mit der Computersimulation, die naturwissenschaftlichen Experimente in systematischer und logischer Weise zu gestalten, Vorhersagen und Beobachtungen der Ergebnisse anzustellen und begründete Schlussfolgerungen zu ziehen;
- c) reflektierende Unterstützung – sie steigert *nach der Interaktion* mit der Computersimulation das Bewusstsein für die eigenen Lernprozesse und regt zur Abstraktion und Integration der angestellten Beobachtungen an.

In diese drei Bereiche lassen sich alle vier Kategorien von Lernschwierigkeiten einordnen, die de Jong und van Joolingen (1998) benennen, so dass

die gesamten Breite an Lernproblemen im dreigeteilten Maßnahmenschema berücksichtigt werden kann. Die Aufteilung von Zhang et al. (2004) ähnelt in gewisser Weise dem „Scaffolding Design Framework“ von Quintana et al. (2004), der zur Unterstützung des experimentell-forschenden Lernens mit computergestützten Werkzeugen entwickelt wurde. Quintana et al. (2004) setzen für unterstützende Maßnahmen an drei grundlegenden Prozessen an: der Wissenskonstruktion, dem Handlungsprozess und der Artikulation und rückwirkenden Betrachtung. Wegen der gezielten Ausrichtung auf das Thema Computersimulationen orientiert sich die folgende Ergebnisdarstellung am Schema instruktionaler Maßnahmen von Zhang et al. (2004).

#### **4.1 Interpretative Unterstützung.**

Maßnahmen der interpretativen Unterstützung dienen im Wesentlichen dazu, den Lernenden einen besseren Einstieg in das Simulationsprogramm zu geben und damit die Wissenskonstruktion zu erleichtern. Als interpretative Unterstützung zählen Vorabinformationen, Arbeitsaufträge und Fragen, ausgearbeitete Lösungsbeispiele und Hilfen zur Hypothesengenerierung.

Ist es sinnvoller, Lernenden vorab oder während der Interaktion mit der Computersimulation nützliche Informationen zur Verfügung zu stellen? Diese Frage wurde in computergestützten Studien von Leutner (1993) untersucht. Vorabinformationen zu bereichsspezifischen Fakten, Konzepten, Regeln und Prinzipien konnten keinen verbesserten Wissenserwerb bewirken, wohl aber permanent verfügbare Hintergrundinformationen, die Lernende während des Interaktionsgeschehens einsehen konnten. Auch Elshout und Veenman (1992) fanden in einer Untersuchung keine Belege für die Lernwirksamkeit von Vorabinformationen. Eine strukturierte Lernumgebung, in der Lernende vorab Erklärungen zu grundlegenden thermodynamischen Prozessen erhielten, führte zu keinen besseren Lernerfolgen als eine unstrukturierte Lernumgebung ohne entsprechende Hinweise.

Als geeigneter zur instruktionalen Unterstützung von Lernenden haben sich Arbeitsaufträge erwiesen. In verschiedenen Studien (Swaak, van Joolingen & de Jong 1998; Swaak & de Jong 2001b; de Jong, Martin, Zamarro, Esquembre, Swaak & van Joolingen 1999) konnte nachgewiesen werden, dass Arbeitsaufträge in Form kleiner Übungen einen positiven Effekt auf den Erwerb intuitiven Wissens – der schnellen Einschätzung einer antizipierten Situation – haben. Zudem scheint es für die Wirksamkeit von Arbeitsaufträgen ohne Belang zu sein, ob diese in freier oder verpflichtender Form (de Jong, van Joolingen, Swaak, Veermans, Limbach, King & Gureghian 1998) vorgegeben bzw. vom Lernenden selbst oder vom Lernsystem (Swaak & de Jong 2001a) kontrolliert werden. Ebenso können gezielte Fragen ein Mittel zur Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen sein. In einer Studie zum problemorientierten Lernen in der Mediziner Ausbildung konnten Hmelo und Day (1999) durch kontextualisierte Fragen zwar einen Anstieg qualitativ hochwertiger Antworten von einer Simulationsanwendung

zur nächsten feststellen. Gegenüber einer Kontrollgruppe ohne Computernutzung fielen die Beobachtungen, Schlussfolgerungen und Erklärungen der kontextualisierten Fragengruppe jedoch nicht besser aus. Eine Kombination von Fragen zur Aktivierung des Vorwissens und permanent verfügbaren Hintergrundinformationen bewirkte in einer Studie von Reid, Zhang und Chen (2003) gegenüber einer Kontrollgruppe ein höheres intuitives Verständnis, eine flexiblere Wissensanwendung und eine bessere Integration des Wissens. In einer Folgestudie (Zhang et al. 2004) konnte der Effekt einer flexibleren Wissensanwendung durch vorherige Multiple-Choice-Fragen und ständig abrufbare Hintergrundinformationen bestätigt werden.

Die Wirksamkeit ausgearbeiteter Lösungsbeispiele auf den Wissenserwerb ist durch die Forschungsarbeiten von Renkl (2002; Renkl & Atkinson 2002) gut dokumentiert. Eine Studie von Nerdel und Prechtel (2004) kann den Nutzen von Lösungsbeispielen gegenüber Problemlöseaufgaben auch für das Lernen mit Computersimulationen belegen. Durch Lösungsbeispiele konnte vor allem der Erwerb von Faktenwissen, nicht aber das Verständnis für die zellbiologischen Inhalte der Computersimulation gefördert werden.

Um Lernenden einen hypothesengeleiteten Umgang mit Computersimulationen zu ermöglichen, werden unterschiedliche Möglichkeiten diskutiert. Quinn und Alessi (1994) ließen Lernende eine oder mehrere Hypothesen zu einem computersimulierten Experiment generieren. Das Bilden mehrerer Hypothesen erwies sich insbesondere auf unteren Komplexitätsstufen der Computersimulation als lernwirksam. Njoo und de Jong (1993) testeten frei ausfüllbare Formulare gegenüber Formularen mit vorgegebenen Hypothesen. Studierende mit vorgegebenen Hypothesen zeigten ein höheres Maß an Aktivität in der computergestützten Lernumgebung, aber keinen signifikant höheren Wissenserwerb. Ein eigenes Werkzeug, um Hypothesen aufzustellen, wurde von van Joolingen und de Jong (1993; van Joolingen 1999) entwickelt. Im „hypothesis scratchpad“ können Variablen und Relationen zu Hypothesen zusammengefügt werden. Durch das Werkzeug wird der Prozess der Hypothesengenerierung stärker bewusst gemacht, den Lernerfolg verbessert es jedoch nicht (van Joolingen & de Jong 1993).

Zusammengenommen gibt es im Bereich der interpretativen Unterstützung keine eindeutigen Belege für die Wirksamkeit einzelner instruktionaler Maßnahmen. Die besten Ergebnisse zeigen sich jedoch bei instruktionaler Unterstützung durch Arbeitsaufträge und ausgearbeitete Lösungsbeispiele.

## **4.2 Experimentelle Unterstützung**

Maßnahmen der experimentellen Unterstützung sind in erster Linie Lernhilfen zur Förderung der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen. In diesen Bereich fallen Vorhersagen des Simulationsausgangs, Strategieempfehlungen zur systematischen Durchführung eines Experiments, Hinweise und Hintergrundinformationen, die Führung durch das Computerprogramm sowie Erklärungen und Begründungen des Simulationsergebnisses. Auch die

schrittweise Einführung eines Modells stellt eine experimentelle Unterstützung dar, weil damit die Komplexität von Computersimulationen für die Lernenden überschaubar gehalten wird.

Die Wirksamkeit von Vorhersagen des Simulationsausgangs wurde von Lewis, Stern und Linn (1993) untersucht. Sie ließen Achtklässler Vorhersagen über den Ausgang thermodynamischer Experimente treffen. Zusätzlich wurden die Schülerinnen und Schüler zur Reflexion ihrer Vorgehensweise angehalten. Trotz einer kürzeren Lernzeit bewältigten die Achtklässler physikalische Wissensfragen ebenso gut wie, teilweise auch besser als eine Vergleichsgruppe des Vorjahres.

Strategieempfehlungen können gerade für unerfahrene Lerner eine wertvolle, instruktionale Maßnahme sein. Der Hinweis, immer nur eine Variable gleichzeitig zu verändern, bewirkte in Studien von Rivers und Vockell (1987) sowie von Vollmeyer, Burns und Rheinberg (1996) einen positiven Effekt auf den Wissenserwerb. Eine Studie von Vollmeyer und Rheinberg (1998) konnte diesen Effekt jedoch nicht replizieren.

Leutner (1993) untersuchte die Wirksamkeit adaptiver Hinweise, die Lernende während der Interaktion auf zusätzliche Informationen zu den Systemvariablen aufmerksam machten. Die Hinweise verbesserten zwar das verbale Wissen, führten aber zu schlechteren Spielleistungen mit der Computersimulation. Zu eindeutig besseren Lernergebnissen konnten in Leutners Untersuchungen dagegen permanent verfügbare Hintergrundinformationen beitragen, die als Papierausdruck neben dem Bildschirm gelegt waren. Diese Hintergrundinformationen verbesserten langfristig das verbale Wissen. Die Lernwirksamkeit eines unterstützenden Informationsangebots dokumentiert auch eine Studie von Mayer, Mautone und Prothero (2002). Ein Informationsblatt über verschiedene geologische Formationen erwies sich als geeignete Unterstützung, um Problemlöseaufgaben mithilfe einer Geologiesoftware zu bewältigen. Dagegen blieben gezielte strategische Hinweise zum Umgang mit der Geologiesimulation weitgehend wirkungslos.

Die Frage, ob sich Lernende eher geführt oder ungeführt mit einer Computersimulation beschäftigen sollten, ist bereits gut untersucht. Eine Metaanalyse von Lee (1999) mit 19 Studien ergab eine höhere Effektstärke für das geführte ( $d = .34$ ) als für das ungeführte Lernen ( $d = .09$ ). Zum Vergleich: Die allgemeine Effektivität computergestützten Lernens, bei der alle Arten computergestützter Instruktion Berücksichtigung finden, wird in einer Metaanalyse von Kulik und Kulik (1991) mit  $d = .30$  angegeben. Aus seiner Metaanalyse zieht Lee (1999) daher die Schlussfolgerung, dass eine spezifische Führung durch die Computersimulation eine bessere Lernleistung ermöglicht. In den Bereich Führung ordnen sich auch die in der Metaanalyse unberücksichtigten Studien von Stark ein. Stark (Stark et al. 1995; Stark, Gruber, Renkl & Mandl 1998; Stark, Mandl, Gruber & Renkl 1999) fand höhere Lernerfolge mit einer Wirtschaftssimulation bei geführtem als bei

ungeführtem Problemlösen. Die Wirkung eines multiplen Lernkontextes war in seinen Studien dagegen uneinheitlich.

Allerdings lässt das Ergebnis einer höheren Lernwirksamkeit von geführten Computersimulationen noch viele Fragen offen. Es erklärt nicht, an welchen Stellen Lernende Führung benötigen. Alle Prozesse des experimentellen Lernens zu unterstützen, hat sich indes nicht als die beste Lösung erwiesen. In Studien von Reid et al. (2003) und Zhang et al. (2004) wurden Vorhersage- und Vergleichsmöglichkeiten, Strategieempfehlungen sowie Anforderungen, Zielvariablen auszuwählen und Schlussfolgerungen zu ziehen, in das Computerprogramm integriert. Im Vergleich zu keiner oder zur interpretativen Unterstützung waren diese Maßnahmen jedoch weniger effektiv. Möglicherweise führt ein Zuviel an Hilfestellungen zu einer kognitiven Überlastung der Lernenden.

Eine kognitive Entlastung wird durch die schrittweise Einführung eines Simulationsmodells ermöglicht. In einer Studie von Quinn und Alessi (1994) operierte eine Gruppe zunächst mit einem eingeschränkten Satz von Variablen, bevor sie wie die Vergleichsgruppe den vollständigen Variablensatz der Computersimulation benutzte. Positive Lerneffekte konnten für die schrittweise Einführung der Computersimulation jedoch nicht nachgewiesen werden. Swaak et al. (1998) fanden, dass die schrittweise Einführung eines Modells vor allem das intuitive Wissen der Lernenden verbessert. Dieser Effekt konnte in einer Arbeit von de Jong et al. (1999) nur teilweise bestätigt werden. Für sich genommen war die schrittweise Einführung des Simulationsmodells nicht lernwirksam. Lediglich in Verbindung mit Arbeitsaufträgen konnte ein höheres intuitives Wissen festgestellt werden.

Aus Studien von Lin und Lehman (1999) sowie Moreno und Mayer (2005) ergeben sich Hinweise, dass abzugebende Erklärungen und Begründungen das Lernen mit Computersimulationen effektiver gestalten. In ihren Computerprogrammen waren Fragen eingebaut, die nach Beendigung der Simulation eine Erklärung des Simulationsergebnisses verlangten. In der Untersuchung von Lin und Lehman (1999) war die Begründungsstrategie gegenüber einer regelgeleiteten und einer emotionsfokussierten Strategie bei nahen Transferaufgaben eine genauso gute, bei weiten Transferaufgaben sogar die bessere instruktionale Maßnahme. In der Studie von Moreno und Mayer (2005) sorgte die Erklärungsstrategie in zwei von drei quasi-experimentellen Studien für bessere Behaltens- und Transferleistungen als keine Unterstützung.

Zusammengenommen haben sich im Bereich der experimentellen Unterstützung drei instruktionale Maßnahmen als lernförderlich erwiesen. Das sind permanent verfügbare Hintergrundinformationen, die unabhängig von der Computersimulation dargeboten werden, eine Führung durch das Computerprogramm sowie Begründungen, die Lernende zur Erklärung des Simulationsergebnisses abzugeben haben.

### 4.3 Reflektierende Unterstützung

Maßnahmen der reflektierenden Unterstützung sollen nach dem Gebrauch von Computersimulationen die Informationsverarbeitung fördern. Dieses kann über Rückmeldungen des Lernsystems oder über Hinweise und Aufgaben bewerkstelligt werden, die Lernende zur Reflexion der eigenen Vorgehensweise anhalten.

Die Lernwirksamkeit von Rückmeldungen des Lernsystems wurde in einer Studie von Veermans, de Jong und van Joolingen (2000) im Bereich der Physik untersucht. Dabei erhielten die Versuchspersonen entweder vorgegebene Aufgaben zur Bearbeitung und Rückmeldungen, ob ihre Hypothesen richtig oder falsch waren. Oder die Versuchspersonen konnten selbst Experimente auswählen und bekamen adaptive Rückmeldungen, die neben der Korrektheit der Hypothesen gezielt auf Fehlerquellen aufmerksam machten. Adaptive Rückmeldungen sorgten zwar für ein gezielteres naturwissenschaftliches Arbeiten, konnten aber im Vergleich zu vorgegebenen Rückmeldungen keine höheren Lernerfolge bewirken. Moreno (2004) testete, ob korrigierende oder erklärende Rückmeldungen im Multimediaprogramm eine bessere Lernwirkung erzeugen. Aufgabe der Versuchspersonen war es, Pflanzen zu gestalten, die an unterschiedliche klimatische Bedingungen angepasst sind. Korrigierend wurde richtiges oder falsches Handeln zurückgemeldet, erklärend wurde eine Begründung der richtigen und falschen Vorgehensweise gegeben. Unter der erklärenden Bedingung wurde Morenos Computerprogramm nicht nur als hilfreicher eingestuft, es ergaben sich auch bessere Transferleistungen. Eine Folgestudie von Moreno und Mayer (2005) konnte die bessere Wirksamkeit der erklärenden Rückmeldung bestätigen. Studierende zeigten unter dieser Bedingung nicht nur höhere Transferleistungen, sondern lieferten auch häufiger die passenden Erklärungen zur Pflanzengestaltung. Schließlich erforschten Rieber, Tzeng und Tribble (2004), ob grafische Rückmeldungen des Lernsystems besser geeignet sind als textliche Rückmeldungen. Unter der grafischen Versuchsbedingung erreichten die Versuchspersonen ein höheres implizites und explizites Verständnis von Newtons Bewegungsgesetzen als unter der textlichen Versuchsbedingung.

Eine andere Möglichkeit, die Informationsverarbeitung nach der Interaktion mit der Computersimulation zu fördern, liegt in der Verwendung von Reflexionshilfen. Lewis et al. (1993) hielten durch solche reflexiven Hinweise Schülerinnen und Schüler zum Nachdenken über die Computersimulation an. Zum Beispiel sollten sie Sätze wie: „Unsere Vorhersagen stimmen mit der Simulation nicht überein, weil wir nicht beachtet haben ...“ erklärend ergänzen. Durch eine Kombination aus Vorhersagen treffen und dem Einsatz von Reflexionshilfen konnten wesentliche Verbesserungen im konzeptuellen Wissen der Schülerinnen und Schüler erreicht werden. Davis und Linn (2000) gaben Achtklässlern Selbstbeobachtungshinweise zur Planung und Reflexion ihrer physikalischen Computereperimente und verglichen

deren Lernwirksamkeit mit der Wirksamkeit von Durchführungshinweisen für das experimentelle Vorgehen. Unter der Selbstbeobachtungsbedingung erwarben die Schülerinnen und Schüler ein höheres integriertes naturwissenschaftliches Verständnis als bei der Verwendung von Durchführungshinweisen. Im ThinkerTools-Curriculum von White und Frederiksen (1998, 2000) wurden Schülerinnen und Schüler dazu aufgefordert, ihre eigenen und die Untersuchungen von Mitschülern reflexiv zu bewerten. Anhand einer Liste von Kriterien wurde beispielsweise bewertet, ob bei den Untersuchungen systematisch vorgegangen wurde und ob sorgfältige Schlussfolgerungen getroffen wurden. White und Frederiksen (1998) konnten nachweisen, dass sich das Verfahren der reflexiven Bewertung positiv auf das Untersuchungsverhalten und das konzeptuelle Wissen von Schülerinnen und Schülern auswirkt. Eine Kombination von gleich drei Maßnahmen zur Reflexion wurde in der Untersuchung von Zhang et al. (2004) eingesetzt. Zum ersten zeigte ein Ausschnitt des Computerbildschirms eine Zusammenfassung der Bedingungen und Variablen des Experiments. Zum zweiten füllten die Lernenden nach jedem Versuch einen Vordruck aus, der wie in den Untersuchungen von Lewis et al. (1993) hauptsächlich auf Unterschiede zwischen Vorhersage und tatsächlichem Simulationsausgang aufmerksam machte. Zum dritten beantworteten die Lernenden zum Abschluss einer Lernsitzung zusammenfassende und verallgemeinernde Fragen zur Gestaltung naturwissenschaftlicher Experimente. Diese Maßnahmenkombination führte gegenüber keiner reflexiven Unterstützung zu signifikanten Verbesserungen des integrierten Wissens und der Fähigkeit zur Variablenkontrolle, ließ aber andere Wissensdimensionen wie Faktenwissen, intuitives Wissen und Flexibilität der Wissensanwendung unberührt.

Zusammengenommen zeigen sich im Bereich der reflektierenden Unterstützung durch Anwendung instruktionaler Maßnahmen die deutlichsten Lernverbesserungen. Denn sowohl differenzierte Rückmeldungen des Lernsystems als auch reflexive Hinweise und Aufgaben tragen zu einem verbesserten Wissenserwerb mit Computersimulationen bei.

## 5. Diskussion

Alles in allem zeigen die verschiedenen Studien zum Lernen mit Computersimulationen, dass es einige instruktionale Maßnahmen zur Unterstützung der Lernenden gibt, die sich als lernwirksam erwiesen haben und gegenüber anderen instruktionalen Maßnahmen zu bevorzugen sind. Dazu gehören Arbeitsaufträge, ausgearbeitete Lösungsbeispiele, permanent verfügbare Hintergrundinformationen, eine Führung durch die Computersimulation, abzugebende Erklärungen und Begründungen, differenzierte Rückmeldungen des Lernsystems sowie Hinweise und Aufgaben, die zur gedanklichen Reflexion anregen.

Was zeichnet diese instruktionalen Hilfen aus? Wie lässt sich ihr lernförderliches Potenzial erklären? Computersimulationen ist im Sinne der kognitiven Belastungstheorie von Sweller (1988; Paas, Renkl & Sweller 2003) eine hohe intrinsische kognitive Belastung zu Eigen. Lernende müssen beim Simulationslernen stets mehrere Informationen gleichzeitig beachten und aufeinander beziehen, um zu den richtigen Schlussfolgerungen zu gelangen. Die komplizierten, wechselseitigen Abhängigkeiten des Lernmaterials und die selbstverantwortliche Handhabung der computergestützten Lernumgebung bewirken eine starke Belastung des Arbeitsgedächtnisses. Darum muss der Einsatz instruktionaler Hilfen so gewählt sein, dass die Informationsverarbeitungskapazität der Lernenden nicht überschritten und ein zielgerichteter Wissenserwerb verhindert wird. Jeder der als effektiv erachteten instruktionalen Maßnahmen gelingt dieses auf unterschiedliche Weise. Gemeinsam ist ihnen, dass sie Lernende *während* der Interaktion mit der komplexen multimedialen Lernumgebung nicht zusätzlich kognitiv belasten.

Im Bereich der instruktionalen Unterstützung bieten Arbeitsaufträge eine wichtige Orientierung für Wissenserwerb und begrenzen in sinnvoller Weise den Raum möglicher Hypothesen und Experimente. Ausgearbeitete Lösungsbeispiele vermitteln vor dem Gebrauch der Computersimulation notwendiges prozedurales Wissen, welches in der Interaktion den Wissenserwerb mit der Computersoftware erleichtert.

Im Bereich der experimentellen Unterstützung sorgen permanent verfügbare Hintergrundinformationen für eine kognitive Entlastung der Lernenden. Wichtige Informationen zu den Systemvariablen der Computersimulation müssen nicht im Gedächtnis repräsentiert, sondern können auf andere Weise erlangt werden. Interessanter Weise wurde diese Maßnahme in den Studien von Leutner (1993) und Mayer et al. (2002) offline angeboten. Dadurch wird eine Teilung der Aufmerksamkeit am Computerbildschirm vermieden. Eine Führung durch die Computersimulation hilft die richtige Vorgehensweise einzuhalten. Das prozedurale Gedächtnis wird entlastet, die Interaktionen verlaufen zielorientierter, Versuch-Irrtum-Verhalten wird unterbunden und die Problemlösung häufiger erreicht. Durch abzugebende Erklärungen und Begründungen wird zum Nachdenken über das Simulationsergebnis angeregt. Gerade bei Computersimulationen, die durch interaktive Elemente zum spielerischen, zuweilen gedankenlosen Umgang einladen, liegt hierin ein wichtiges Steuerungsinstrument für den Wissenserwerb. Weil die Begründungen erst nach der Interaktion mit der Computersimulation erfolgen, wirkt die instruktionale Maßnahme nicht als kognitive Belastung im Interaktionsgeschehen.

Im Bereich der reflektierenden Unterstützung sorgen differenzierte Rückmeldungen des Lernsystems für bessere Lernerfolge. Gegenüber einfachen Richtig-oder-falsch-Aussagen beinhalten differenzierte Rückmeldungen zusätzliche Informationen, wodurch z.B. eine Erklärung des Simulationser-

gebnisses mitgeliefert wird (Moreno 2004). Reflektive Maßnahmen regen zum Nachdenken über den eigenen Lernprozess an und machen nach dem Gebrauch der Computersimulation auf Verständnislücken aufmerksam. Beide Maßnahmen zur reflektierenden Unterstützung wirken im Nachhinein. Während der Interaktion mit der Computersimulation unterliegt das Arbeitsgedächtnis der Lernenden daher keiner zusätzlichen kognitiven Beanspruchung.

Insgesamt halten wir das Timing der instruktionalen Maßnahmen für sehr wichtig (s.a. van Merriënboer, Kirschner & Kester 2003; Kester, Kirschner & van Merriënboer 2004). Wegen der hohen intrinsischen kognitiven Belastung sollten die instruktionalen Maßnahmen während des Lernens mit Computersimulationen auf ein Minimum reduziert sein. Vor und nach dem Gebrauch der Computersimulationen können umfangreichere Instruktionshilfen von Nutzen sein.

Die kognitive Belastungstheorie bietet eine plausible Erklärung für die unterschiedliche Wirksamkeit von instruktionalen Maßnahmen beim Lernen mit Computersimulationen. Sie darf jedoch nicht als die einzig richtige Deutungsmöglichkeit aufgefasst werden. Die Konzeption und Implementation instruktionaler Maßnahmen sollte sich daher nicht nur an der kognitiven Belastung der Lernenden, sondern auch an den Besonderheiten des Lernstoffs, den Merkmalen der Lernenden und der gewünschten Wirkung auf verschiedene Wissensarten ausrichten.

Die Ergebnisse des Literaturüberblicks besitzen vermutlich auch praktische Relevanz. Die meisten effektiven instruktionalen Maßnahmen lassen sich einfach verwirklichen. Lehrkräfte können auf diese Weise ihren Schülerinnen und Schülern gezielte Hilfestellungen geben, wenn sie zur Veranschaulichung komplexer Prozesse oder Systeme Computersimulationen im Unterricht einsetzen. Konkrete Arbeitsaufträge und Informationsblätter über die Systemvariablen lassen sich ebenso leicht realisieren wie Aufforderungen, das Simulationsergebnis zu begründen oder die eigene Vorgehensweise zu überdenken. Ein Untersuchungszyklus bestehend aus (a) Fragen formulieren, (b) Vorhersagen treffen, (c) Experimente mit Computersimulationen durchführen, (d) Gesetzmäßigkeiten ausarbeiten, (e) in der Klasse diskutieren und auf reale Situationen übertragen, kann für das Lernen mit Computersimulationen eine wertvolle Führungsmaßnahme sein (White & Frederiksen, 1998). Lediglich das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen ist etwas aufwendiger und wird, wie empirische Analysen zeigen, im Unterricht noch wenig genutzt (Renkl, Schworm & Hilbert 2004). Dennoch sollten sich Lehrkräfte dazu ermutigt fühlen, mithilfe von Computersimulationen und leicht umsetzbaren instruktionalen Maßnahmen einen lernförderlichen Unterricht zu gestalten.

Insgesamt gesehen sind wir uns bewusst, dass die hier abgegebenen Empfehlungen zur instruktionalen Unterstützung des Lernens mit Computersi-

mulationen mit einem gewissen Quantum an Unsicherheit behaftet sind. Inwieweit die erfolgreichen Instruktionsmaßnahmen für das Lernen mit Computersimulationen auf andere Bereiche des computergestützten Lernens wie E-Learning oder computergestütztes kollaboratives Lernen übertragbar sind, ist ebenfalls noch zu untersuchen. Allein die Wirksamkeiten der Maßnahmen Führung und Rückmeldung können aufgrund der metaanalytischen Untersuchungen (Lee 1999; Azevedo & Bernard 1995) als empirisch gesichert gelten. Für die anderen Maßnahmen gilt: Die Wirksamkeit wurde in nur wenigen Untersuchungen nachgewiesen. Teilweise wurden nicht einzelne instruktionale Maßnahmen, sondern Maßnahmenkombinationen getestet. In manchen Fällen fehlt ein aussagekräftiges Experimental-Kontrollgruppen-Design. Die Effekte der instruktionalen Maßnahmen zeigen sich bei einigen, aber nicht bei allen Wissensdimensionen. An diesen Stellen ist ergänzende Forschung unbedingt erforderlich, damit das Lernen mit Computersimulationen weiter verbessert werden kann. Die potenziellen Gewinne für die Lernenden vermögen es, diesen Aufwand zu rechtfertigen.

### Literatur

- Azevedo, R. & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 13(2), 111-127.
- Blömeke, S. (2003). Lehren und Lernen mit neuen Medien – Forschungsstand und Forschungsperspektiven. *Unterrichtswissenschaft*, 31(1), 57-82.
- Breuer, K. & Kummer, R. (1990). Cognitive effects from process learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, 6(1), 69-81.
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53(4), 445-459.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21-29.
- Davis, E. & Linn, M. C. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 819-837.
- de Jong, T., Martin, E., Zamarro, J.-M., Esquembre, F., Swaak, J. & van Joolingen, W. R. (1999). The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 597-615.
- de Jong, T. & Njoo, M. (1992). Learning and instruction with computer simulations: Learning processes involved. In E. de Corte, M. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Eds.), *Computer-based learning environments and problem solving* (pp. 411-427). Berlin: Springer-Verlag.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Swaak, J., Veermans, K., Limbach, R., King, S. & Gureghian, D. (1998). Self-directed learning in simulation-based discovery environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14(3), 235-246.

- Elshout, J. J. & Veenman, M. V. J. (1992). Relation between intellectual ability and working method as predictors of learning. *Journal of Educational Research*, 85, 134-143.
- Gräsel, G., Bruhn, J., Mandl, H. & Fischer, F. (1997). Lernen mit Computernetzen aus konstruktivistischer Perspektive. *Unterrichtswissenschaft*, 25, 4-18.
- Hmelo, C. & Day, R. (1999). Contextualized questioning to scaffold learning from simulations. *Computers & Education*, 32, 151-164.
- Kester, L., Kirschner, P. A. & van Merriënboer, J. J. G. (2004). Timing of information processing in learning statistics. *Instructional Science*, 32, 233-252.
- Kinzie, M. B., Sullivan, H. J. & Berdel, R. L. (1988). Learner control and achievement in science computer-based instruction. *Journal of Educational Psychology*, 80(3), 299-303.
- Kinzie, M. B., Sullivan, H. J. & Berdel, R. L. (1992). Motivational and achievement effects of learner control over content review within CAI. *Journal of Educational Computing Research*, 8(1), 110-114.
- Kozma, R. B. (1994a). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 7-19.
- Kozma, R. B. (1994b). A reply: Media and methods. *Educational Technology Research and Development*, 42(3), 11-14.
- Kulik, C.-L. C. & Kulik, J. A. (1991). Effectiveness of computer-based instruction: an updated analysis. *Computers in Human Behavior*, 7, 75-94.
- Lee, J. (1999). Effectiveness of computer-based instructional simulation: a meta analysis. *International Journal of Instructional Media*, 26(1), 71-85.
- Lepper, M. R. (1988). Motivational considerations in the study of instruction. *Cognition and Instruction*, 5(4), 289-309.
- Lepper, M. R. & Malone, T. W. (1987). Intrinsic motivation and instructional effectiveness in computer-based education. In R. E. Snow & M. J. Farr (Eds.), *Aptitude, learning and instruction: Conative and affective process analyses* (pp. 255-286). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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.
- Lewis, E. L., Stern, J. L. & Linn, M. C. (1993). The effect of computer simulations on introductory thermodynamics understanding. *Educational Technology*, 33(1), 45-58.
- Lin, X. & Lehman, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 837-858.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1997). Lehren und Lernen mit dem Computer. In F. E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung. Enzyklopädie der Psychologie*, D/1/4 (S. 437-467). Göttingen: Hogrefe.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods for instruction. *American Psychologist*, 59, 14-19.

- Mayer, R. E., Mautone, P. & Prothero, W. (2002). Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 171-185.
- Mokros, J. R. & Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputer based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369-383.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99-113.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2005). Role of guidance, reflection, and interactivity in an agent-based multimedia game. *Journal of Educational Psychology*, 97(1), 117-128.
- Nerdel, C. & Prechtel, H. (2004). Learning complex systems with simulations in science education. In P. Gerjets, P. A. Kirschner, J. Elen & R. Joiner (Eds.), *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning. Proceedings of the first joint meeting of the EARLI SIGs Instructional Design and Learning and Instruction with Computers* (pp. 160-171). Tuebingen: Knowledge Media Research Center.
- Njoo, M. & de Jong, T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 821-844.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Quinn, J. & Alessi, S. (1994). The effects of simulation complexity and hypothesis-generation strategy on learning. *Journal of Research on Computing in Education*, 27, 75-91.
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J. S., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D., & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337-386.
- Reid, D. J., Zhang, J. & Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, 9-20.
- Reiser, R. (1994). Clark's invitation to the dance: An instructional designer's response. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 45-48.
- Renkl, A. (2002). Worked-out examples: instructional explanations support learning by self-explanations. *Learning and Instruction*, 12, 529-556.
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2002). Learning from examples: Fostering self-explanations in computer-based learning environments. *Interactive Learning Environments*, 10(2), 105-119.
- Renkl, A., Schworm, S. & Hilbert, T. S. (2004). Lernen aus Lösungsbeispielen: Eine effektive, aber kaum genutzte Möglichkeit, Unterricht zu gestalten. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrberufprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 77-92). Münster: Waxmann.
- Rieber, L. P., Tzeng, S.-C. & Tribble, K. (2004). Discovery learning, representation, and explanation within a computer-based simulation: finding the right mix. *Learning and Instruction*, 14, 307-323.

- Rivers, R. H. & Vockell, E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(5), 403-415.
- Salomon, G. (1979). *Interaction of media, cognition and learning*. San Francisco: Jossey Bass.
- Stark, R., Graf, M., Renkl, A., Gruber, H. & Mandl, H. (1995). Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 27(4), 289-312.
- Stark, R., Gruber, H., Renkl, A. & Mandl, H. (1998). Instructional effects in complex learning: Do objective and subjective learning outcomes converge? *Learning and Instruction*, 8(2), 117-129.
- Stark, R., Mandl, H., Gruber, H., & Renkl, A. (1999). Instructional means to overcome transfer problems in the domain of economics: empirical studies. *International Journal of Educational Research*, 31, 591-609.
- Strzebkowski, R. & Kleeberg, N. (2002). Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (S. 229-245). Weinheim: BeltzPVU.
- Swaak, J. & de Jong, T. (1996). Measuring intuitive knowledge in science: the development of the what-if test. *Studies in Educational Evaluation*, 22(4), 341-362.
- Swaak, J. & de Jong, T. (2001a). Learner vs. system control in using online support for simulation-based discovery learning. *Learning Environments Research*, 4, 217-241.
- Swaak, J. & de Jong, T. (2001b). Discovery simulations and the assessment of intuitive knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17, 282-294.
- 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(3), 235-252.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Tennyson, R. D. & Breuer, K. (2002). Improving problem solving and creativity through use of complex-dynamic simulations. *Computers in Human Behavior*, 18, 650-668.
- Urhahne, D., Prenzel, M., v. Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186.
- van Joolingen, W. R. (1999). Cognitive tools for discovery learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10, 385-397.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1993). Exploring a domain through a computer simulation: traversing variable and relation space with the help of hypothesis scratchpad. In D. M. Towne, T. de Jong & H. Spada (Eds.), *Simulation-based experimental learning* (pp. 191-206). Berlin: Springer.

- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1997). An extended dual search space model of learning with simulations. *Instructional Science*, 25(5), 307-346.
- van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A. & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 5-13.
- Veermanders, K., de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (2000). Promoting self-directed learning in simulation-based discovery learning environments through intelligent support. *Interactive Learning Environments*, 8(3), 229-255.
- Vollmeyer, R., Burns, B. D. & Holoyak, K. J. (1996). The impact of goal specificity on strategy use and the acquisition of problem structure. *Cognitive Science*, 20(1), 75-100.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12(1), 11-23.
- White, B. Y. (1998). Computer microworlds and scientific inquiry: An alternative approach to science education. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 295-315). Dordrecht: Kluwer.
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118.
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (2000). Metacognitive facilitation: An approach to making scientific inquiry accessible to all. In J. Minstrell & E. van Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 331-370). Washington, DC: American Association for the advancement of science.
- Winn, W. (2002). Current trends in educational technology research: The study of learning environments. *Educational Psychology Review*, 14(3), 331-351.
- Zhang, J., Chen, Q., Sun, Y. & Reid, D. J. (2004). Triple scheme of learning support for scientific discovery learning based on computer simulation: experimental research. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 269-282.

Anschrift der Autoren:

Dr. Detlef Urhahne, Ludwig-Maximilians-Universität, Didaktik der Biologie, Winzererstraße 45/II, 80797 München

Prof. Dr. Ute Harms, Universität Bremen, FB 02 (Biologie/Chemie), Postfach 33 04 40, 28334 Bremen