

Multimediales Lernen: Wie wichtig ist die Gegenständlichkeit?

Zusammenfassung

Die im Forschungsprojekt BREVIE entwickelte virtuell-gegenständliche Lernumgebung ermöglicht neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion und vereint verschiedenste Lernszenarien. Die Evaluationsstudie beinhaltet einen quasi-experimentellen Vergleich dreier verschiedener Lernmedien, reale Komponenten, Computersoftware FluidSim und CLEAR (Constructive Learning Environment), eine Verbindung von realer und virtueller Lernumgebung, bezüglich Fachwissen, praktischer Kompetenz und der Bildung mentaler Modelle. In vier Colleges (D, P, NL und GB) wurden N=74 Schüler unterrichtet. Die Lernenden mußten einen Vortest über kognitive Fähigkeiten, theoretisches Vorwissen in Pneumatik und Motivation absolvieren, gefolgt von einem 16stündigen standardisierten Pneumatikunterricht. Der Nachtest erfaßte theoretisches Fachwissen und praktische Kompetenz (reale Fehlersuche, Schaltplanfehlersuche, Konstruktionsaufgabe). Die Gruppen unterschieden sich nicht im theoretischen Fachwissenszuwachs. 45% der Varianz im Theorietest 2 liessen sich durch die kognitive Fähigkeiten physikalisch-technisches Problemverständnis und logisches Denken erklären, die Art der Lernumgebung ergab keine zusätzliche Varianzaufklärung. Demgegenüber zeigten sich in der praktischen Kompetenz deutliche Unterschiede insbesondere zu Gunsten des Lernens mit realen Komponenten und zu Ungunsten des ausschließlichen Lernens mit der Computersimulation. Ebenso konnten Unterschiede in den Merkmalen der mentalen Modelle identifiziert werden. Die FluidSim Gruppe bildeten fast ausschließlich „Schritt für Schritt“ Modelle und die anderen Gruppen zusätzlich „Teilmodelle“ und „vollständige“ Modelle.

Erscheint in

Grund, S. & Grote, G. (in Druck). Multimediales Lernen: Wie wichtig ist die Gegenständlichkeit? Kongressband. Mensch & Computer 2001 (5.3.-8.3.01) Bad Honnef, Bonn.

Einleitung

Mit zunehmender Nutzung von Informationstechnologien für die Unterstützung von Lernprozessen stellt sich - wie im Produktionskontext durch die Automatisierung bereits in den letzten beiden Jahrzehnten untersucht (vgl. Böhle & Milkau 1988) - die Frage nach der Bedeutung *gegenständlicher Erfahrungen* für die Entwicklung handlungsleitenden Wissens. Unter Bezug auf Entwicklungstheorien (z.B. Piaget, 1991; Aebli, 1980) wie auch auf allgemeine Tätigkeitstheorien (z.B. Leontjew, 1977) werden neue Lernmedien kritisiert, da der Bezug zu realen Gegenständen und damit die Möglichkeit des Lernens durch "Be-Greifen" immer mehr verloren zu gehen droht. Die Bedeutung des aktiven "Be-Greifens" für Erkennungsprozesse wurde schon von Gibson (1962) beschrieben. Auch Engelkamp (1997) zeigt üblicherweise, daß Tun ("Be-Greifen") in Form von realen Handlungen bei Recall-Experimenten durchgängig zu besseren Behaltensleistungen führt. Gleichzeitig gibt es aber durch die rasante Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien auch neue Möglichkeiten des Lernens durch eine immense Erweiterung des Erfahrbaren, wenn reale und virtuelle Welten miteinander verknüpft werden (Bruns, 1997). Diese Möglichkeiten technisch umzusetzen und in realen Lernsituationen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen, war Ziel des EU-Projekts BREVIE (Bridging Reality and Virtuality with a Graspable User Interface). Im Konsortium arbeiteten 9 Projektpartner: zwei Universitätsinstitute, drei Industriepartner und vier Berufsschulen bzw. Colleges, die über zwei Jahre eine neue Lernumgebung entwickelten und testeten.

Lernumgebung CLEAR

CLEAR (Constructive Learning Environment, siehe Abb. 1) ermöglicht eine vollkommen neue Art der Mensch-Maschine-Interaktion, dabei werden reale Pneumatikkomponenten auf einer Arbeitsplatte via zwei Videokameras mit dem Computer verbunden.

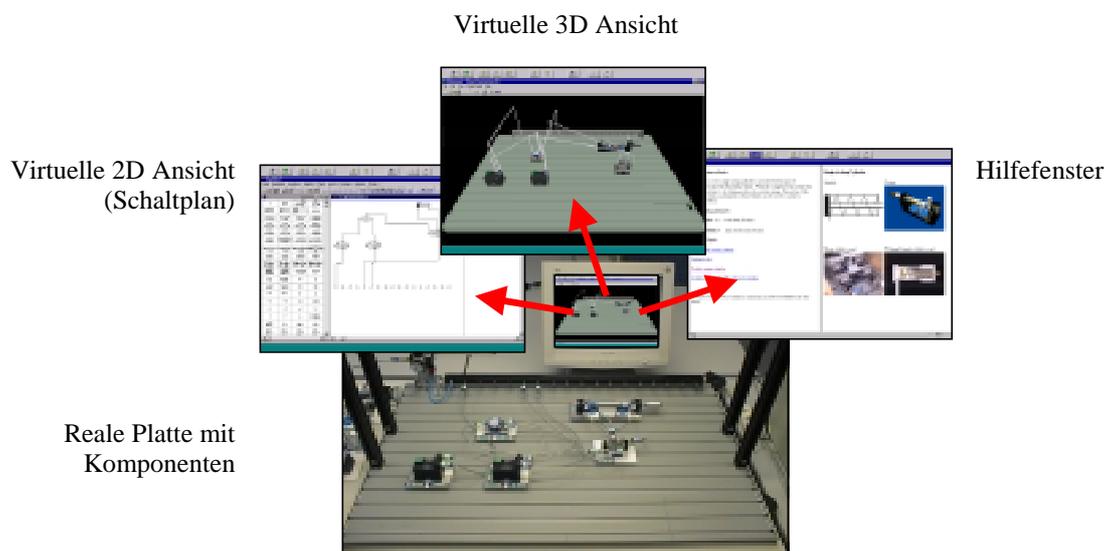


Abbildung 1: CLEAR (Constructive Learning Environment) mit unterschiedlichen Ansichtsformaten

Im Computer wird eine 3D Abbildung der realen Schaltung im virtuellen dreidimensionalen Raum generiert (siehe virtuelle 3D Ansicht). Die virtuelle 3D Schaltung ist wiederum mit einer Lern- und Simulationssoftware (FluidSim von Festo Didaktik KG, 1997) gekoppelt (siehe virtuelle 2D Ansicht). Lernende können Hilfeinformationen über die Komponenten abfragen, bestehend aus Text, Bild, Symbol und verschiedenen Videos (siehe Hilfefenster). Ebenso steht die reale Schaltung als Lernmaterial unmittelbar zur Verfügung (siehe reale Platte mit Komponenten). Durch die Nutzung verschiedener Sinne – insbesondere die Kombination des Gegenständlichen mit dem Virtuellen und den sich daraus ergebenden Visualisierungen – wird der Lernprozeß unterstützt. So führt z.B. die Multicodierung zu einer Entlastung des Arbeitsgedächtnisses (Baddley, 1992). Informationen können multimodal und multicodal aufgenommen, verarbeitet und gespeichert werden.

Die beta-Version wurde in vier Ländern eingesetzt, um festzustellen, wie sich die verschiedenen Informationsformate und die Gegenständlichkeit auf theoretisches Fachwissen, praktische Kompetenz und mentale Modelle auswirken.

Methoden

Der Evaluation liegt ein theoretisches Ursache-Wirkungs-Modell (siehe Abb. 2) zu Grunde.

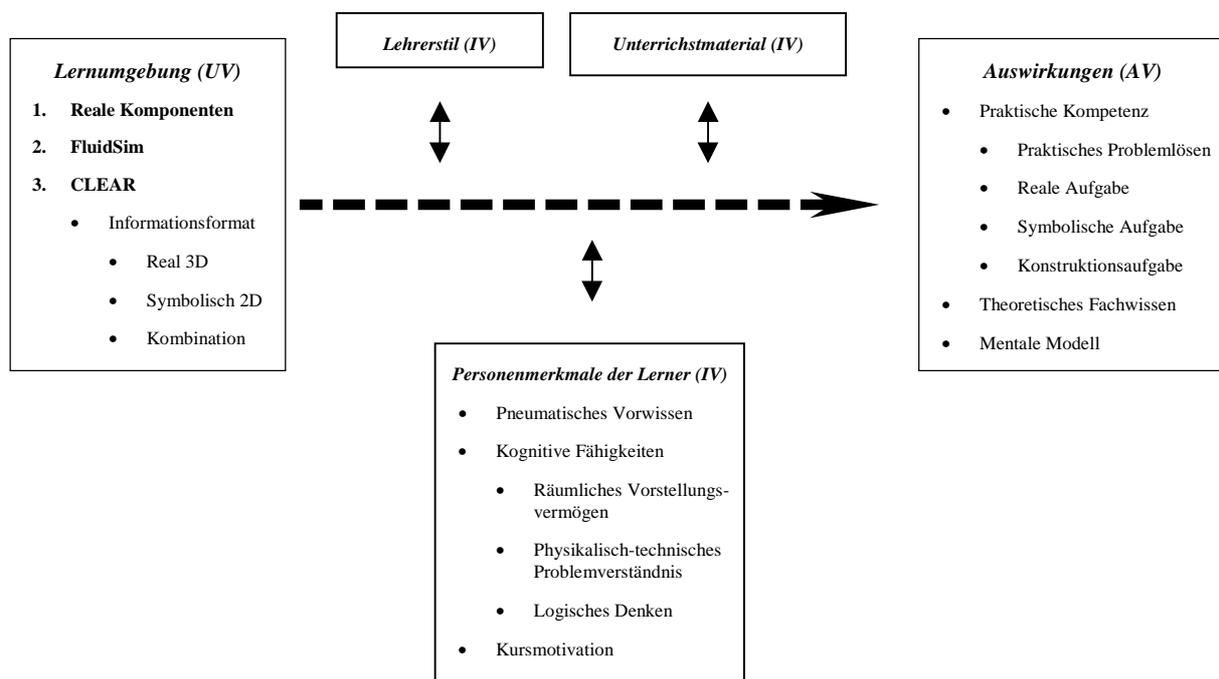


Abbildung 2: Evaluationsmodell

Dabei sind die Lernumgebungen als unabhängige Variable (UV), die auf theoretisches Fachwissen, praktische Kompetenz und mentale Modelle als abhängige Variablen (AV) wirkt, und der Lehrer, das Unterrichtsmaterial und die Studierenden als intervenierende Variablen (IV) konzipiert. Die intervenierenden Variablen wurden durch Parallelisierung (Personen) und Standardisierung (Lehrstil, Unterrichtsmaterial) kontrolliert. Das Modell wurde mit einem quasi-experimentellen Versuchsdesign überprüft. Die drei verwendeten Lernumgebungen

(UV) unterscheiden sich hinsichtlich des Ausmasses an Gegenständlichkeit (keine/viel) und der Informationsformate (3D gegenständlich-real, 2D virtuell-symbolisch, Kombination).

Stichprobe

N=74 (72 Männer und zwei Frauen) BerufsschülerInnen und CollegestudentInnen, an vier Berufsschulen (D, GB, NL und P), nahmen als Freiwillige an dem speziell für die Evaluation entwickelten 16stündigen standardisierten Grundkurs in Pneumatik teil. Die Lernenden befanden sich überwiegend im ersten Ausbildungsjahr. Das Unterrichtsmaterial enthielt sowohl inhaltliche Detailvorgaben als auch klare Verhaltensanweisungen für die Lehrer. Alle Lernenden wurden mit dem Themengebiet vertraut gemacht. Sie lernten Komponentenwissen, Schaltungen und die Erstellung eines Schaltplans mit Symbolen. Die praktischen Übungsaufgaben wurden ausschließlich mit der jeweiligen Lernumgebung erstellt. In die Auswertungen flossen ausschließlich die Ergebnisse von drei Schulen ein, da die Kriterien der Unterrichtsstandardisierung an einer Schule nicht erfüllt wurden, d.h. N=54 (52 Männer und 2 Frauen). Das Durchschnittsalter betrug 18 Jahre (SD=3).

Durchführung

Die Untersuchung gliederte sich in vier Teilschritte (siehe Abb. 3) und verlief an jeder Schule über einen Zeitraum von zwei bis drei Wochen. Der Unterricht erfolgte an jeder Schule in drei Gruppen (reale Komponentengruppe, Computersimulationsgruppe (FluidSim) und CLEAR-Gruppe). Zur Erfassung von Testeffekten füllte eine Kontrollgruppe nur den Wissenstest am Anfang und am Ende der Untersuchung ohne Unterricht aus.

Vortest 1	Vortest 2	Prozeßphase	Nachtest
<ul style="list-style-type: none"> • Kognitive Tests <ul style="list-style-type: none"> • Räumliches Vorstellungsvermögen • Physikalisch-technisches Problemverständnis • Logisches Denken 	<ul style="list-style-type: none"> • Theoretischer Vorwissenstest in Pneumatik • Kursmotivation 	<ul style="list-style-type: none"> • Videoaufzeichnung des Unterrichtes zur Kontrolle der Standardisierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wissenstest in Pneumatik • Konstruktionsaufgabe • 2D symbolische Fehler-suchaufgabe mit Interview • 3D reale Fehler-suchaufgabe mit Videoaufzeichnung, Zeichnung und Interview

Abbildung 3. Untersuchungsdesign

Die Gruppeneinteilung erfolgte vier Wochen vor Kursbeginn auf der Grundlage psychologischer Tests (Vortest 1) zur Erfassung kognitiver Fähigkeiten: räumliche Fähigkeiten (Gittler, 1989), logisches Denken (Horn, 1992) und physikalisch-technisches Problemlösen (Conrad, Baumann & Mohr, 1984). Die Gruppen wurden innerhalb der Länder hinsichtlich des physikalisch-technischen Problemlösens parallelisiert, da dieser Test hohe Korrelationen mit den anderen Verfahren aufweist und von der Schweizer Berufsberatung als besonders bedeutsam für diese Berufsgruppe eingestuft wurde.

In Vortest 2 wurde ein Tag vor Beginn des Unterrichts das theoretische Vorwissen über Pneumatik und die Kursmotivation erhoben. Der Unterricht wurde an jeder Berufsschule von je einem Lehrer durchgeführt (um Lehreffekt weitgehend zu kontrollieren) und auf Video aufgezeichnet. Die Gruppen bestanden jeweils aus sechs Personen, die in Zweiergruppen an je einem Lernmedium arbeiteten.

Der Nachtest beinhaltete den identischen theoretischen Wissenstest von Vortest 1 sowie drei praktische Aufgaben. Die erste Aufgabe bestand aus einer realen pneumatischen Schaltung, in der fünf Fehler gefunden werden mussten. Danach wurden die Lernenden gebeten, eine freie Zeichnung der Schaltung anzufertigen, so wie sie sich diese im Kopf vorgestellt hatten. Im nachfolgenden halbstündigen Interview, welches eine Mischform aus „critical incident“ (Flanagan, 1954) und „behavioral event interview“ (Spencer, 1993) darstellt, diente die Videoaufzeichnung der Aufgabebearbeitung als Unterstützung für die Lernenden, um sich an Gedanken, Ideen und Konzepte zu erinnern, die ihnen während der Problemlösung durch den Kopf gegangen waren. Drei Videosequenzen wurden in Anlehnung an das „event sampling Verfahren“ (Faßnacht, 1995) ausgewählt (Aufgabenbeginn, Identifikation des ersten Fehlers und das Ende der Aufgabe). Als weiteres mußten die Schüler eine praktische Fehlersuche in einem Schaltplan vornehmen, ebenfalls mit anschließendem Interview, und eine Konstruktionsaufgabe lösen.

Ergebnisse

Kursmotivation

Die Motivation wurde als Kontrollvariable mit einem Fragebogen erfaßt. Die SchülerInnen gaben an, inwieweit bestimmte Aussagen für sie zutreffend (6=“gar nicht” bis 1=“vollkommen”) sind. Danach hielten viele Pneumatik für ein interessantes Thema ($\underline{M}=2.14$, $SD=.84$). Die SchülerInnen arbeiteten sowohl gerne mit dem Computer ($\underline{M}=1.65$, $SD=.84$) als auch mit realen Schaltungen ($\underline{M}=1.96$, $SD=1.01$). Sie konnten ihr Wissen nicht in den Betrieben anwenden, weil sie nicht an pneumatischen Anlagen arbeiteten ($\underline{M}=4.34$, $SD=1.06$). Zwischen den einzelnen Lerngruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (ANOVA) $F(3, 52)=.44$, $p>.05$.

Theoretische Fachwissensentwicklung

Durch die Multicodalität und Multimodalität der neuen Lernumgebung wurde ein höherer theoretischen Fachwissenszuwachs in der CLEAR Gruppe angenommen. Um diese Annahme in der Untersuchung zu zeigen, wurde der Wissenszuwachs in Pneumatik berechnet, der sich aus der Differenz zwischen Theorietest 2 und Theorietest 1 ergibt. Die CLEAR Studenten hatten im Durchschnitt 47 Punkte ($SD=23$), die FluidSim Studenten 51 Punkte ($SD=16$), die reale Gruppe 48 Punkte ($SD=13$) und die Kontrollgruppe 8 Punkte ($SD=11$) theoretischen Fachwissenszuwachs, wobei sich die Versuchsgruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden (ANOVA) $F(2, 42)=.2$, $p>.05$, d.h. unsere Annahme konnten wir nicht bestätigen.

Um der Frage von Zusammenhängen zwischen Lernumgebung und Wissenszuwachs gemäß unserem Modell nachzugehen, wurde eine schrittweise Regression mit den unabhängigen Variablen: Theoretisches Vorwissen, Lernmedien und kognitive Fähigkeiten und der abhängigen Variable Theorietest 2 gerechnet. 45% der Varianz in Theorietest 2 wird durch physikalisch-technisches Problemverständnis und logisches Denken (siehe Tab. 1) erklärt. Sowohl die anderen kognitiven Fähigkeiten als auch theoretisches Vorwissen und Lernumgebung liefern keinen zusätzlichen Erklärungswert.

	R	R ²	Beta
	0.67	0.45	
Physikalisch-technisches Problemverständnis			0.67**
Logisches Denken			0.27*
Räumliches Vorstellungsvermögen			0.15
Theoretisches Vorwissen			0.08
Lernumgebung			-0.16

Tabelle 1: Einfluß der Lernumgebung auf Fachwissen, **p<.01, *p<.1

Praktische Kompetenz

Die verschiedenen praktischen Aufgaben lösten die Lernenden innerhalb und zwischen den Gruppen zu unterschiedlichen Anteilen.

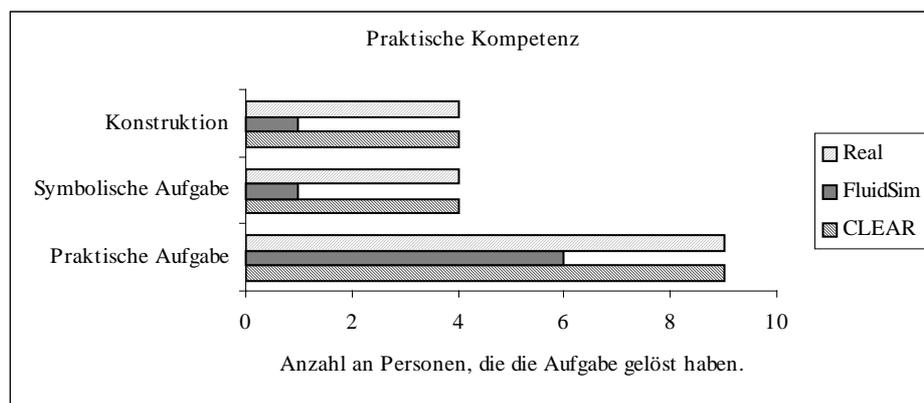


Abbildung 4: Praktische Kompetenz; CLEAR: N=16, FluidSim: N=16, Reale Gruppe: N=14

Die reale Gruppe und die CLEAR Gruppe schneiden grundsätzlich in allen Aufgaben am besten ab. Unter der Perspektive des verwendeten Lernformates (real 3D, symbolisch 2D und gemischt) zeigte sich, daß Personen, die nur mit realen Komponenten gearbeitet hatten, wesentlich bessere Leistungen im gleichen Aufgabenformat (reale praktische Fehlersuche, n=9) erreichten als in einem formatsfremden (symbolische Fehlersuche, n=4). Demgegenüber zeigte sich ein überraschendes Ergebnis für die Gruppe welche mit der Simulations- und Konstruktionssoftware FluidSim gearbeitet hat. Sie schnitten in sämtlichen Aufgaben

schlechter ab und dies insbesondere in formatsverwandten Aufgaben (symbolische Fehlersuche, $n=1$ und Konstruktionsaufgabe, $n=1$). Die detaillierte Analyse der Konstruktionsaufgabe zeigt, daß FluidSim Studenten vor allem mit der Feedbackschleife (Zylinder 1 einfahren) Schwierigkeiten hatten (siehe Tab. 2).

	Funktion ist ...	Zylinder 1 ausfahren	Geschwindig- keitskontrolle	Zylinder 2 einfahren	Zylinder 1 einfahren	Zylinder 2 ausfahren	n
Reale Gruppe	erfüllt	9	7	7	6	7	14
	nicht erfüllt	5	7	7	8	7	
FluidSim	erfüllt	9	9	8	5	5	16
	nicht erfüllt	7	7	8	11	11	
CLEAR	erfüllt	10	9	8	10	6	16
	nicht erfüllt	6	7	8	6	10	

Tabelle 2: Konstruktionsauswertung nach einzelnen Funktionsschritten

Betrachten wir nicht die Ebene der Gesamtlösung (gelöst oder nicht gelöst), sondern die der Anzahl gefundener Fehler bzw. realisierter Teilfunktionen in der Konstruktion, so finden wir, wie bei der praktischen Kompetenz, einen wesentlichen Varianzanteil, der ebenfalls durch Persönlichkeitsmerkmale erklärt wird. In diese Regressionen flossen die gleichen unabhängigen Variablen ein, wie in der theoretischen Fachwissensregression. Danach werden in der Konstruktionsaufgabe 52%, in der praktischen Fehlersuche 20% und in der symbolischen Aufgabe 34% durch physikalisch-technisches Problemverständnis aufgeklärt.

Hinsichtlich der Lösungseffizienz in Form von Lösungszeit ist die reale Gruppe in der praktischen Aufgabe im Durchschnitt 10 Minuten schneller ($\underline{M}=36$ Minuten für FluidSim und CLEAR). Die symbolische Aufgabe ($\underline{M}=16$ Minuten) und die Konstruktionsaufgabe ($\underline{M}=33$ Minuten) wurde in allen Gruppen vergleichbar schnell gelöst.

Die Analysen der Interviews mit einem Kategoriensystem (Windlinger, 2000) zur Erfassung unterschiedlicher Merkmale mentaler Modelle beruhen größtenteils auf Überlegungen von Dutke (1993) und Moray (1998). Einige wesentliche Kategorien werden hier exemplarisch herausgegriffen: Repräsentationsformat, Erklärungsstruktur, Simulationsfähigkeit, Vollständigkeit und Schwierigkeiten. Es wurden in den einzelnen Interviews ($N=32$ mit 64 Interviews, 338 Seiten kategorisierter Text) Hinweise gefunden, daß sich die einzelnen Gruppen tendenziell in der Verwendung des mentalen Repräsentationsformates in Abhängigkeit vom Aufgabenformat unterscheiden. Die reale Gruppe und die CLEAR Gruppe verwenden in der realen Fehlersuche insbesondere eine reale Repräsentation und für die symbolische Fehlersuche sowohl symbolische als auch reale Repräsentationen ohne deutliche Präferenz. Die FluidSim Gruppe repräsentiert demgegenüber die reale Aufgabe tendenziell symbolisch und die symbolische Aufgabe sowohl real als auch symbolisch. Hinsichtlich der Differenziertheit der Erklärungsstruktur zeigten sich Unterschiede in operationalen Erklärungen (wenn/dann Beziehungen) für die symbolische Aufgabe, wobei im Durchschnitt die reale Gruppe und die CLEAR Gruppe 3 Elemente und die FluidSim Gruppe nur 2 Elemente verknüpften. In der realen Aufgabe zeigten sich keine Unterschiede. Es wurden im Durchschnitt 2 Elemente verknüpft.

Im Bereich der mentalen Simulation zeigte sich, daß die FluidSim und die CLEAR Gruppe insbesondere die symbolische Aufgabe mehr simulierten als die reale Gruppe. In der realen Aufgabe zeichnete sich ein anderes Bild ab, dort simulierte insbesondere die CLEAR Gruppe, gefolgt von FluidSim und realer Gruppe.

Bezüglich der beschriebenen Schwierigkeiten läßt sich feststellen, daß FluidSim-Schüler insgesamt die meisten Schwierigkeiten hinsichtlich Format der Aufgabe und Komponenten in der realen Aufgabe schilderten. Die reale Gruppe hatte am wenigsten Probleme mit der realen Aufgabe gefolgt von der CLEAR Gruppe. In der symbolischen Aufgabe beschrieben alle Gruppen vergleichbar viele Schwierigkeiten mit dem Format der Aufgabe und den Komponenten.

In Bezug auf die Vollständigkeit der mentalen Modelle ist zu sagen, daß bei insgesamt 47 von 64 Interviews der Gruppen "Schritt für Schritt" Modelle beschrieben werden.

Vollständigkeit der mentalen Modelle in der symbolischen und praktischen Aufgabe			
	Reale Gruppe	FluidSim	CLEAR
	n	n	n
<i>Schritt für Schritt</i>	14	18	15
<i>Subsysteme</i>	5	1	5
<i>Vollständige Modelle</i>	3	1	2

Tabelle 3: Beurteilung der mentalen Modelle, basierend auf den Interviews (N=64)

In der realen Gruppe und der CLEAR Gruppe zeigten sich noch andere Formen von mentalen Modellen bestehend aus "Subsystemen" oder "vollständigen" mentalen Modellen. Letzteres kam jedoch nur bei einer Person der FluidSim-Gruppe vor.

Diskussion

Die SchülerInnen hatten eine hohe Motivation, mit der neuen Lernumgebung zu arbeiten, die eine Verbindung zwischen realen und virtuellen Elementen ermöglicht. Dieses wurde während der Untersuchung im außergewöhnlichen Engagement der Schüler deutlich, die in keiner Phase der Untersuchung das Projekt verliessen, trotz teilweise hoher Belastung in ihren sonstigen Aufgaben.

Die Untersuchungsergebnisse ergeben, daß die neue Lernumgebung keinen zusätzlichen Wissenszuwachs für Anfänger im Vergleich zu traditionellen Lernumgebungen ermöglicht. Höherer Lerngewinn wird zwar bei neuen Lernumgebungen häufig versprochen, aber de facto sehr selten gefunden (Weidenmann, 1993; Weinert, 1997). Derzeit kann konstatiert werden, daß die neue Lernumgebung bezüglich Wissensmenge genauso förderlich ist wie herkömmliche Lernumgebungen. Bei diesem Ergebnis gilt es aber zu berücksichtigen, daß die CLEAR Schüler „nebenbei“ sowohl die Handhabung von realen Teilen als auch die Nutzung des Computers erlernten, ohne von ihrer wesentlichen Aufgabe abgelenkt worden zu sein, was für die betriebliche Praxis nicht zu unterschätzen ist.

Die Bedeutung der Persönlichkeitsmerkmale (physikalisch-technisches Problemlösen und logisches Denken) für die Leistung in sämtlichen Aufgaben gibt erste Bestätigungen für die Relevanz dieser von uns als intervenierende Variablen konzipierten Merkmale. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit Befunden von Egan (1985), Kintsch (1994) und Landauer (1997), die die Bedeutung von kognitiven Persönlichkeitseigenschaften für die Entwicklung von Wissen betonen. Ebenso konnte von Grund & Grote (1999) deren Bedeutung in einer Vorstudie zum Lernsystem CLEAR bestätigt werden. Sie lassen sich als gute Startbedingungen für ein effizientes Lernen begreifen. Neben der Bedeutung von individuellen Voraussetzungen konnte für die praktische Kompetenz gezeigt werden, daß die Lernumgebung einen Einfluß aufweist, wie es sich in den unterschiedlichen Qualitäten der Lösungen der verschiedenen praktischen Aufgaben zeigte. Insbesondere die Ergebnisse für die Simulationssoftware deuten daraufhin, das eine geringe Verarbeitungstiefe (Craik & Lockhardt, 1972) der Informationen vorlag, die durch den geringen Schwierigkeitsgrad des Systems verursacht sein kann. So konnte Salomon (1984) zeigen, daß der eingeschätzte geringe Schwierigkeitsgrad eines Lernmediums zu geringerem Elaborationsverhalten führt. Im Bereich der Merkmale mentaler Modelle wurden qualitative Unterschiede gefunden, die sich plausibel auf die Lernumgebung zurückführen lassen. Grundsätzlich konnte gezeigt werden, daß die mentalen Modelle analog repräsentiert sind, wie dieses auch Steiner (1988) diskutiert. Die mentalen Modelle der CLEAR Gruppe sind denen der realen Gruppe in vielen Merkmalen sehr ähnlich, was darauf hindeutet, daß die Entwicklung stärker durch die realen Komponenten (Gegenständlichkeit) geformt wurde als durch die Verwendung der Simulation. Die erhöhte Anzahl an Simulationen in der symbolischen Aufgabe der CLEAR Gruppe gegenüber der realen Gruppe kann durch die höhere Vertrautheit mit den Symbolen zustande gekommen sein. Die Bedeutung der Simulationsfähigkeit wurde von de Kleer und Brown (1983) betont. Inwieweit sie aber für die Lösungsqualitäten bedeutsam waren, ist noch nicht abschließend geklärt. In laufenden Analysen wird dieser Frage nachgegangen und die Ergebnisse werden anschliessend an Fachtagungen und in Zeitschriften publiziert. Der Gegenständlichkeit kommt bezüglich des Aspekts der operationalen Erklärungen und des Modelltyps noch eine weitere Bedeutung zu: Zum einen werden mehr operationale Verbindungen erstellt und zum anderen finden wir in der CLEAR Gruppe und der realen Gruppe "Subsysteme" und vollständige Modelle.

Abschliessend lässt sich kurz zusammenfassen, dass CLEAR den Schülern ermöglicht, nebenbei neue Technologien kennenzulernen, ohne im Lernprozeß behindert zu werden. Für bessere Lernleistungen ist nicht die Lernumgebung, sondern die kognitive Fähigkeit physikalisch-technisches Problemverständnis besonders relevant. Es lassen sich qualitative Unterschiede in der Wissensrepräsentation und Komplexität mentaler Modelle zwischen den Gruppen finden.

Literaturliste

- Aebli, H. (1980). Denken, das Ordnen des Tuns. Stuttgart: Klett Cotta Verlag.
Baddley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
Böhle, F. & Milkau, B. (1988). Von Handrad zum Bildschirm - eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
Bruns, F. W. (1997). Sinnlichkeit und Technikgestaltung. In: C. Schachtner (Hrsg.), Technik und Subjektivität (S. 191-208). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
Craik, F. & Lockhardt, R. S. (1972). Levels of Processing. A Framework for Memory Rese-

- arch. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 11, 671-684.
- de Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In: D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 155-190). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Dutke, S. (1993). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Berlin: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Egan, D. E. & Gomez, L. M. (1985). Assaying, Isolation and Accommodation Individual Differences in Learning a Complex Skill. In: R. Dillon (Eds.), *Individual Differences in Cognition* (Vol. 2). New York: Academic Press.
- Engelkamp, J. (1997). *Das Erinnern eigener Handlungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Faßnacht, G. (1995). *Systematische Verhaltensbeobachtung*. München: UTB für Wissenschaft.
- Flanagan, J. C. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51, 327-358.
- Festo Didaktik KG (1997). *Lernsoftware FluidSim*. Esslingen: Festo Didaktik KG.
- Gibson, J. J. (1963). Observations on Active Touch. *Psychological Bulletin*, 69, 477-491.
- Gittler, G. (1989). *3DW: Dreidimensionaler Würfeltest, Kurzversion*. Göttingen: Beltz Test.
- Grund, S. & Grote, G. (1999). Auswirkungen von virtuell-gegenständlichem Lernumfeld auf Wissen und Problemlösen. *Arbeit*, 3, 312-317.
- Horn, W. (1990). *P-S-P: Prüfsystem für Schul- und Bildungsberatung*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Kintsch, W. (1994). Text Comprehension, Memory, and Learning. *American Psychologist*, 49, 294-303.
- Landauer, T. K. (1997). Behavioral Research Methods in Human-Computer Interaction. In: M. Helander, T. K. Landauer, & P. Prabhu (Eds.), *Handbook of Human-Computer Interaction* (2 ed.) (pp. 203-227). New York: Elsevier Science B. V.
- Leontjew, Alexei N. (1977). *Tätigkeit, Bewusstsein, Persönlichkeit*. Stuttgart: Klett.
- Moray, N. (1998). Mental Models in Theory and Practice. In: D. K. Gopher, A. (Eds.), *Attention and Performance XVII: Cognitive Regulation of Performance: Interaction of Theory and Application* (pp. 223-258). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Piaget, J. (1991). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. (3 ed.). Stuttgart: Klett Cotta Verlag.
- Salomon, G. (1984). Television is "easy" and print is "tough": The differential investment of mental effort in learning as a function of perception and attribution. *Journal of Educational Psychology*, 76, 647-658.
- Spencer, L. M. (1993). *Competence at work*. New York: Wiley.
- Steiner, G. (1988). Analoge Repräsentationen. In: H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie*, S. 99-119. München: Psychologie Verlags Union.
- Weidenmann, B. (1993). Psychologie des Lernens mit Medien. In: A. Krapp, B. Weidenmann, M. Hofer, G. L. Huber & H. Mandl (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 493-554). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Weinert, F. E. (1997). Lerntheorien und Instruktionsmodelle. In: F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Pädagogische Psychologie* (Vol. 2) (S. 1-48). Göttingen: Hogrefe.
- Windlinger, L. (2000). *Evaluation einer multimedialen Lernumgebung für die technische Berufsausbildung hinsichtlich mentaler Modelle*. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit. Universität Bern.