

Probleme beim Aufbau mentaler Modelle in einer multimedialen Lernumgebung: Eine Pilotstudie

Boy Kramer

Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN),
Olshausenstraße 62, 24098 Kiel, bkramer@ipn.uni-kiel.de

1 Einleitung

Die Ergebnisse zahlreicher Studien zeigen, dass herkömmlicher Biologieunterricht in vielen Fällen bei der Vermittlung anschlussfähigen Wissens, insbesondere des Verständnisses biologischer Zusammenhänge, zu kurz greift (BAUMERT et al. 2000). Gerade biologische Themen sind von einem komplexen Wirkungsgefüge von Strukturen und Prozessen geprägt. Diese Komplexität biologischer Lerngegenstände verschärft die Anforderungen an die Verständnisleistung noch.

In den letzten Jahren wird im Zusammenhang mit der Vermittlung solcher komplexer Zusammenhänge immer wieder der Einsatz multimedialer Lernumgebungen diskutiert. Die Verheißung, dass mit den Möglichkeiten multimedialer Gestaltung die Komplexität biologischer Strukturen und Prozesse besonders gut zu vermitteln wäre, trifft vielerorts auf die Ansicht, dass der Einsatz des Computers zur Vermittlung biologischer Inhalte nicht geeigneter sei als ein gutes Textbuch. Gerade dies macht die Untersuchung der Wirkung des Computereinsatzes im Biologieunterricht zu einem kontroversen und interessanten Forschungsgebiet. Und obwohl die erstere Ansicht durch eine Anzahl von Studien aus der Lehr-Lernforschung untermauert wird (CHANDLER & SWELLER, 1996; LEWALTER, 1997; MAYER & ANDERSON, 1992), können diese nicht darüber hinwegtäuschen, dass auch die Skeptiker unter bestimmten Umständen Recht behalten, und dies insbesondere dort, wo der Komplexitätsgrad der zu vermittelnden Inhalte hoch ist.

In dieser Studie wird der Frage nachgegangen, ob mit einer nach neuen instruktionstheoretischen Erkenntnissen erstellten multimedialen Lernumgebung, die einen komplexen biologischen Inhalt vermittelt, die bereits in der Literatur beschriebenen Probleme reproduziert werden können.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Vorteile und Probleme beim Lernen mit multimedialen Lernumgebungen

Der Einsatz multimedialer Lernumgebungen im Biologieunterricht ist vor allem deshalb von Interesse, weil komplexe Strukturen, Prozesse und Zusammenhänge durch die Kombination verschiedener Darstellungsformen, also einer Kombination von Texten, stehenden Bildern, Animationen und Sprechertexten, dargestellt werden können. Dabei führt jedoch nicht die einfache Addition mehrerer Darstellungsformen zu besserem Lernen, wie es „naive Annahmen“ über das Lernen mit Multimedia nahe legen könnten (vgl. WEIDENMANN, 2003), sondern der Vorteil kann erst durch den wohldosierten Einsatz einer für das jeweilige Anwendungsfeld ausgewählten Kombination erwachsen, die zudem im Sinne neuerer Erkenntnisse der Kognitionspsychologie erfolgen sollten (z.B. KALYUGA et al., 1999; MORENO & MAYER, 2002). Zudem spielen das Vorwissen und die Lernpräferenz („Verbalisierer“ vs. „Visualisierer“) bei der Ausbildung interner Repräsentationen eine entscheidende Rolle (MAYER, 2001; PLASS et al., 1998; SUMFLETH & TELGENBÜSCHER, 2000).

Unter diesen Voraussetzungen hat sich eine Darstellungsweise, bei der gelesener und insbesondere gehörter Text dem Lernenden zusammen mit einer Grafik präsentiert werden, die in inhaltlichem Zusammenhang zum Text steht, als überlegen gegenüber Texten ohne Grafik herausgestellt (LEVIN et al., 1987; LEWALTER, 1997). Dies gilt entsprechend auch für eine Kombination von bewegten Bildern, also Animationen, und gehörtem Text (MAYER & ANDERSON, 1991).

Leider bleibt aber, trotz dieser Vorzüge, die Wirkung von Lernumgebungen besonders dann hinter den Erwartungen zurück, wenn die Lerninhalte komplex sind. Für die Vermittlung sinnesphysiologischer Themen aus dem Lehrplan der Oberstufe etwa, die strukturell und dynamisch hoch komplex sind und sich insofern für die Nutzung der Möglichkeiten multimedialer Lernumgebungen zunächst anbieten, werden solche Probleme besonders virulent. So konnten COX und BRNA (1999) beobachten, dass Lernende häufig nach dem Ökonomieprinzip vorgehen, und nur eine von zwei angebotenen Darstellungsformen (Text

oder Bild) bearbeiteten. SALOMON (1984) fand, dass Bilder von Lernenden oft als „easy media“ eingeschätzt und deshalb nicht als ernstzunehmendes Lernmaterial eingestuft werden. Dies kann dann wiederum zu einer oberflächlichen Verarbeitung des Lernmaterials und zu Verstehensillusionen führen (WEIDENMANN, 1989). Die gleichzeitige Präsentation mehrerer externer Repräsentationen kann, statt zu leichterem Lernen, auch zu einer zusätzlichen kognitiven Belastung führen, die letztlich entsprechend der „Cognitive Load Theory“ (CHANDLER & SWELLER, 1991) das Lernen behindert. AINSWORTH (1999) hat außerdem bei Lernern mit wenig Vorwissen Schwierigkeiten bei der Integration unterschiedlich kodierter Informationen festgestellt. Die Folge dieser Probleme ist in allen angesprochenen Studien vor allem ein geringer Lernzuwachs im Verständnis, oder, anders formuliert, eines zur Problemlösung nur unzureichend ausgebildeten mentalen Modells¹ des jeweiligen Lerninhalts.

Es bleibt also zu klären, wie das Lernen mit mehreren Repräsentationsformen so unterstützt werden kann, dass die Vorteile genutzt und den Problemen entgegengewirkt werden kann, so dass der Lernende letztlich ein verständnisförderndes mentales Modell bilden kann.

In einer nachfolgenden Hauptstudie soll der Einfluss unterschiedlicher Text- und Bildverarbeitungsstrategien bei der Nutzung einer multimedialen Lernumgebung auf die Ausbildung mentaler Repräsentationen eines biologischen Konzeptes untersucht werden.

2.2 Erhebung mentaler Modelle

Ein methodisch gelagertes Problem ergibt sich, wenn bei der Erforschung der Wirksamkeit einer bestimmten Intervention von der Ausbildung mentaler Modelle gesprochen wird: Wie soll ein mentales Modell, wenn es nicht mehr nur als theoretisches Modell dienen soll, zu einem messbares Konstrukt werden? Zunächst ist festzuhalten, dass die Messung des Verständnisses eines Lerngegenstandes sich nicht wesentlich von der Erhebung mentaler Modelle unterscheiden sollte. Fragen, die verschiedene Aspekte des mentalen Modells beleuchten, können auch hier in der Lage sein, Rückschlüsse auf das mentale Modell eines Lerners zuzulassen.

Nach R. E. MAYER (2001) lassen sich zur Erfassung mentaler Repräsentationen (in seinem Verständnis eine Vorstufe eines mentalen Modells) Items kon-

¹ „Mentales Modell“ soll hier verstanden werden als von Menschen durch Interaktion mit der Umwelt, mit anderen Menschen und mit technischen Hilfsmitteln geformte, interne Vorstellung von sich und den Gegenständen der Interaktion (nach GENTNER & STEVENS, 1983). Für eine ausführliche Einführung in die Begrifflichkeit „Mentaler Modelle“ siehe GENTNER & STEVENS (1983) oder JOHNSON-LAIRD (1983).

struieren, die in vier verschiedene Typen von Transferfragen unterteilt werden können: Umgestaltungs- (*redesign*), Fehlerbehebungs- (*troubleshooting*), Vorhersage- (*prediction*) und Konzeptfragen (*conceptual questions*). Mit den ersten drei Fragetypen wird das mentale Modell auf unterschiedlichen Ebenen auf „Stabilität“ (oder Elaboriertheit) überprüft: Bei Umgestaltungsfragen müssen die Lerner ihr mentales Modell nach bestimmten Prämissen daraufhin überprüfen, welche Mechanismen für ein effektives Funktionieren nötig sind und wie diese optimiert werden könnten. Bei Fehlerbehebungsfragen wird der Lerner mit der Auswirkung eines Fehlers im System des mentalen Modells konfrontiert und er wird aufgefordert, Lösungsvorschläge zu machen. Vorhersagefragen erfordert bei den Lernern die Fähigkeit Vorhersagen zu treffen, wie in dem System mit einer ihnen bisher unbekanntem Situation umgegangen wird.

Der vierte Fragetyp der Konzeptfragen zielt auf eine Verallgemeinerung der konkreten Funktionsweise des mentalen Modells hin zu dem Verständnis eines dahinterliegenden Konzeptes ab.

3 Die Software

Für die geplante Hauptstudie wurde eine Lernsoftware entwickelt, die das Konzept biologischer Signalketten am Beispiel der Riechsinneszelle mithilfe von Bildern, Texten, gesprochenem Text und Animationen darstellt.

Die Struktur des menschlichen Riechsystems (olfaktorisches Epithel, Riechsinneszelle und Zilienmembran) und die Prozesse an der Membran der Zilien der Riechsinneszellen, die in Form einer Transduktionskaskade ablaufen, stellen einen äußerst komplexen Themenbereich dar, so dass er sich zur Untersuchung der beschriebenen Schwierigkeiten multimedialer Lernumgebungen besonders eignet. Signaltransduktion ist zudem ein zentrales physiologisches Konzept, welches in verschiedenen Themenbereichen des Biologieunterrichts auftaucht.

Bei der Programmierung der Software wurden wichtige Designkriterien aus der kognitionspsychologischen Forschung berücksichtigt. So erfolgt die Verwendung von Text und Bild eng verschränkt, dem sogenannten *integrated format* (CHANDLER & SWELLER, 1991), so dass eine starke zeitliche und räumliche Verschränkung (Kontiguität) der Informationen erreicht wird (MAYER, 2001).

Es wurde darauf geachtet, Texte zu Bildern nicht durch einen Sprechertext zu doppeln (KALYGULA et al. 2002), da eine solche redundante Doppelung von Text und Sprechertext bei gleichzeitiger Präsentation von Bildern zu kognitiver Überlastung führen kann (MAYER & ANDERSON, 1991). Animationen werden von Sprechertexten unterstützt und nicht von geschriebenem Text, da Texte und Animationen den gleichen Eingangskanal nutzen und so ständiges Wechseln der Aufmerksamkeit erfordern (*split-attention effect*, vgl CHANDLER, 1992). Die komplexen Prozesse werden zudem in kleine Animationseinheiten heruntergebrochen (POLLOCK et al. 2002), denn komplexe Informationen besitzen einen hohen Anteil „intrinsic“ kognitiver Belastung. Durch Aufsplitten in kleine Häppchen wird die Information nicht weniger Komplex, aber ein Verstehensschritt kann abgeschlossen werden, bevor ein neuer beginnt (SWELLER, 1994).

4 Fragestellung

In dieser Studie soll geklärt werden, ob die in vorhergehenden Studien beim Lernen mit Text-Bildkombinationen beobachteten Probleme mit der Ausbildung elaborierten, verständnisfördernden mentalen Modellen auch mit der ent-

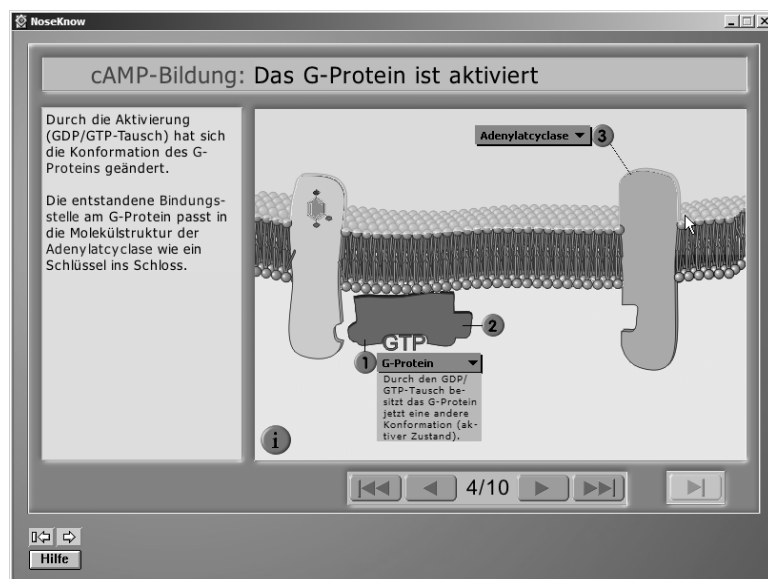


Abb. 1: Screenshot der Studiensoftware. Eine enge Verknüpfung von Text und Bild wird z.B. durch zusätzliche Textinfos im Bild erreicht.

wickelten Software festzustellen sind. Diese Reproduzierbarkeit soll geprüft werden, damit in einer geplanten Hauptstudie (siehe Kapitel 7: Ausblick) von diesen Problemen ausgehend eine Intervention entwickelt werden kann.

Gemäß der oben skizzierten Theoriebasis lautet die zu klärende Hypothese somit:

Die Lerner können mit der Lernsoftware vornehmlich Faktenwissen erlernen. Verständnis wird nur in geringem Maße erworben.

Ein weiteres Ziel dieser Pilotstudie war zudem die Erprobung und Verfeinerung der Methode zur Erhebung mentaler Repräsentationen nach MAYER.

5 Design und Methode

An der Studie nahmen fünfzehn Lehramtsstudenten der Biologie aus unterschiedlichen Fachsemesterzahlen (3. bis 7. Semester) teil. Die Untersuchung fand nachmittags im Rahmen eines Praktikums mit Anwesenheitspflicht zum Thema „Computer im Biologieunterricht“ statt. Die Teilnahme an der Untersuchung geschah freiwillig. Die Studenten arbeiteten im Multimedialabor des IPN einzeln an jeweils einem Rechner. Die Computer waren für die Sprechertexte mit Kopfhörern ausgestattet.

In einem Vortest (ca. 10 min) wurde das domänenspezifische Vorwissen (Faktenwissen und Reorganisation) erhoben. Vier Fragen zielten auf allgemeines biologisches Wissen von an das Thema angrenzenden Wissensgebieten ab (Biomembranen, Enzyme, Ladungsverhältnisse in Nervenzellen, „second messenger“), die für das Verständnis der dargestellten Vorgänge hilfreich sind. Weitere fünf Fragen überprüften spezifisches Wissen über Strukturen und Vorgänge an der Riechzellmembran. Das Antwortformat der neun Fragen war offen, da die Antworten zugleich dazu dienen sollen, Distraktoren für Single-Choice-Fragen für die Hauptstudie zu konstruieren.

In weiteren zehn Items wurde die Lernerpräferenz (Visualisierer/Verbalisierer) erhoben, für die Erhebung des Computervorwissens wurden acht Items eingesetzt. Diese 18 Items besaßen ein vierstufiges Rating (trifft nicht zu / trifft etwas zu / trifft ziemlich zu / trifft völlig zu).

Nach der Lektüre einer kurzen schriftlichen Einleitung in das Thema (ca. 10 min) wurde für etwa 25 Minuten mit der Lernsoftware gearbeitet, zu der den Lernenden ein DIN A4 Blatt mit technischen Bedienungshinweisen vorlag. Unmittelbar nach der Lernphase wurde in einem etwa 35 Minuten dauernden Nach-

test die selbst empfundene kognitive Belastung (5stufiges Ranking) und das Lernergebnis erhoben.

Zur Erhebung des Lernergebnis wurden neben den Wissensfragen aus dem Vortest zur Ermittlung des Lernzuwachses auch Verständnisfragen eingesetzt. Diese dienen der Erhebung der Elaboriertheit der mentalen Repräsentationen. Dazu wurden Items konstruiert, die Verständnis anhand verschiedener Typen von Transferfragen entsprechend den Fragekategorien von MAYER (2001) messen. Der vierte MAYERSCHE Fragentyp der Konzeptfragen wurde hier weggelassen, da in jeder der anderen Fragen zugleich ein dahinterliegendes Konzept abgefragt wurde: Das Umgestaltungs-Item (A12) zielt auf die Signalverstärkung ab, hinter dem Fehlerbehebungs-Item (A11) steht das Konzept der Vernetzung von Systemebenen (vom makroskopischen über den mikroskopischen zum molekularen Bereich) und das Vorhersage-Item (A13) erfragt konzeptuelles Wissen über die Transduktionskaskade.

Die Bewertung aller Items mit offenem Antwortformat wurde durch eine einzige Person, die nicht mit dem Testleiter und dem Autor identisch ist, durchgeführt. So sollte einerseits eine Vergleichbarkeit der Auswertung (*inter-rater reliability*) sichergestellt und einer absichtlichen oder unabsichtlichen Verfälschung in der Auswertung entgegengewirkt werden. Die Auswertung erfolgte nach dem Vorschlag MAYERS: Die Anzahl akzeptabler Antworten ergibt den Punktwert, der bei der Aufgabe erreicht wurde. Die erreichbare Punktzahl für jede Aufgabe wurde vorher durch eine Expertenbefragung festgelegt. Da unterschiedlich viele Punkte pro Frage erreichbar waren (A11: 6; A12: 8; A13: 4) ist eine Vergleichbarkeit im Schwierigkeitsgrad der Fragen nicht gegeben.

6 Ergebnisse

6.1 Faktenwissen

Die Ergebnisse der Faktenwissens und Reorganisationsfragen aus Vor- und Nachtest sind in Tab. 1 und Abb. 2 dargestellt.

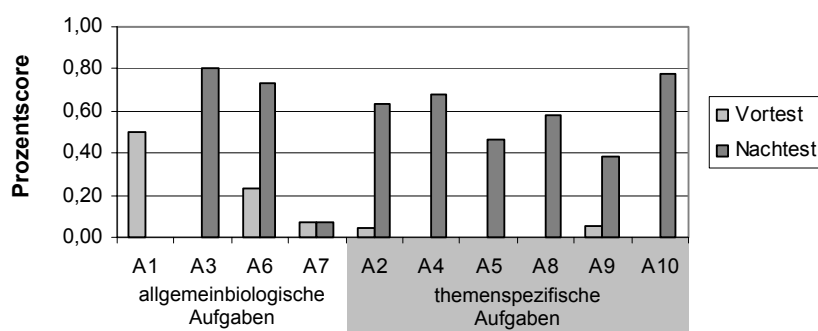
Dabei fällt auf, dass das Vorwissen der Probanden äußerst gering ist. Dies war bei den spezifischen Fragen zu erwarten, da das Thema der Signaltransduktion an der Riechzellmembran weder Teil der Lehrpläne der Oberstufe, noch Teil der zoophysiologischen Praktika des Biologiestudiums der Universität Kiel

Tab. 1: Faktenwissen. Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Vor- und Nachtest-Ergebnisse. A1 kam nur im Vortest, A10 nur im Nachtest vor.

Aufgabe	Vortest		Nachtest	
	M	SD	M	SD
A1	0,50	0,35		
A2	0,04	0,06	0,63	0,34
A3	0,00	0,00	0,80	0,40
A4	0,00	0,00	0,68	0,26
A5	0,00	0,00	0,47	0,50
A6	0,23	0,29	0,73	0,44
A7	0,07	0,11	0,07	0,09
A8	0,00	0,00	0,58	0,41
A9	0,05	0,06	0,38	0,23
A10			0,78	0,20

ist. Im Bereich der allgemeinbiologischen Fragen allerdings überraschen die niedrigen Scores, selbst wenn berücksichtigt werden muss, dass bei dem offenen Antwortformat keine Ratewahrscheinlichkeit eingerechnet werden muss und für die Beantwortung zudem ein größeres aktives Wissen vorhanden sein muss.

Außer Item 1, das nur im Vortest vorkam und nach dem Aufbau von Biomembranen fragt, konnte nur Item 6 (Ladungsverhältnisse an der Nervenzellmembran) von einigen Probanden zumindest teilweise beantwortet werden.



Tab. 2: MAYER-Fragen.

Aufgabe	M	SD
A11	0,21	0,09
A12	0,18	0,16
A13	0,05	0,14

Abb. 2: Faktenwissen. Ergebnisse (Prozenscore) aus Vor- und Nachtest. A1 kam nur im Vortest, A10 nur im Nachtest vor.

Am Nachtestergebnis ist deutlich zu sehen, dass sich die Probanden mit der Lernumgebung Faktenwissen aneignen konnten. Item 7 stellt einen Ausreißer dar, der auf eine inkongruente Formulierung zwischen Fragebogen und Programm zurückzuführen ist, denn der Begriff „second messenger“ wurde zwar im Fragebogen wegen der weiten Verbreitung benutzt, im Programm aber wegen seiner Ungenauigkeit eliminiert. Folglich konnten die Lerner die Frage nicht auf das in der Lernumgebung erlernte Wissen beziehen.

6.2 Mentale Modelle / Verständnis

Die Auswertung der MAYERSCHEN Fragen ergab dagegen sehr geringe Werte. Der äußerst geringe mittlere Prozenscore von 0,05 bei A13 kommt durch Zeitmangel bei einem Großteil Probanden zustande. Da dieser Zeitmangel nicht systematisch erfasst wurde, lässt er sich auch nicht rechnerisch aus dem Ergebnis eliminieren.

Es ist außerdem hervorzuheben, dass durch die vorherige Festlegung der möglichen und akzeptablen Antworten als maximale Punktzahl (entspricht 100%) eine sehr strenge Bewertungsgrundlage vorliegt.

Die Ergebnisse von A11 und A12 zeigen aber trotzdem, dass deutliche Probleme bei Aufbau elaborierter mentaler Modelle bestehen. Kein Lerner kam bei

einer der Aufgaben auf einen Score von über 0,5. Die durchschnittliche Menge akzeptabler Antworten liegt bei A11 bei 1,2 und bei A12 bei 1,5. Aus Sicht des theoretischen Hintergrundes kann deshalb nur von sehr rudimentären mentalen Modellen gesprochen werden. Auf die in die Fragen integrierten Konzepte gingen ebenfalls nur die wenigsten Lerner ein.

Nun könnte dies auch daran liegen, dass die in der Software an die Lerner gestellten Ansprüche zu hoch waren. Einen Hinweis darauf, dass dies nicht der Fall ist, gibt ein Blick auf die Selbsteinschätzung der kognitiven Belastung, auch wenn sich eine statistische Auswertung dieses Zusammenhangs aufgrund der niedrigen Stichprobenzahl verbietet. Zwei Drittel der Lerner zeigen einen Wert von zwei und weniger auf der fünfstufigen Ratingskala ($M = 1,85$; $SD = 0,16$). Diese niedrige Selbsteinschätzung der kognitiven Belastung ist ein Hinweis darauf, dass die Unterschätzungsthese auch für diese Software zutrifft.

Die aufgestellte Hypothese kann also, bei aller Vorsicht einer Überinterpretation der Ergebnisse, bestätigt werden: Auch bei der nach gängigen Designkriterien gestalteten Software konnte zwar Faktenwissen erworben werden, aber die Lerner waren mit den ausgebildeten mentalen Modellen nicht in der Lage, die gestellten Probleme zu lösen. Es wurde, anders formuliert, kaum Verständnis erworben.

7 Diskussion

Das Ziel dieser Pilotstudie war es herauszufinden, ob mit einer nach neuen kognitionspsychologischen Designkriterien gestalteten multimedialen Lernumgebung, die ein so komplexes Thema wie die Signaltransduktion an der Riechzellmembran behandelt, die in der Literatur beschriebenen Probleme des niedrigen Verständniserwerbs reproduziert werden können. Dies kann trotz der geringen Stichprobenzahl dieser Untersuchung bejaht werden. Die Schwierigkeiten im Verständniserwerb sind dabei möglicherweise auf eine Unterschätzung der Wirksamkeit des multimedialen Angebots zurückzuführen. Dies kann allerdings noch nicht ausreichend statistisch untermauert werden.

Für eine nachfolgende Studie kann also davon ausgegangen werden, dass die Lerner grundsätzlich die Probleme des Lernens mit multimedialen Lernumgebungen trotz des „guten“ Designs der Software weiterbestehen.

Die Frage, ob sich die Transfer-Fragen nach MAYER für eine Bewertung der mentalen Modelle eignen, kann nur unvollständig beantwortet werden. Zunächst ist der Zeitmangel bei der letzten Frage als Problem hervorzuheben. Die Fragen sollten deshalb möglichst einzeln und mit genügend Bearbeitungszeit an

die Probanden ausgegeben werden, damit nicht Zeit zum limitierenden Faktor wird. Zudem ist die von MAYER vorgeschlagene einfache Zählung akzeptabler Antworten pro Frage als erzielter Score schwierig. Für die Hauptstudie soll stattdessen eine Kategorisierung in Schlüsselkonzepte jeder Aufgabe vorgenommen werden, in die die Antworten dann eingeordnet werden. So kann die Aussagekraft der Scores bei den Aufgaben vergrößert werden, da diese dann widerspiegeln, ob nur mehrere Antworten in einer Kategorie, oder Antworten in mehreren Kategorien gegeben wurden, und der Lernende folglich auch ein elaborierteres mentales Modell ausgebildet hat.

In der geplanten Hauptstudie sollen nun sollen Verarbeitungshilfen entwickelt werden, die den Lerner dazu anregen, sich effektiv mit Bild- und Textinformation auseinanderzusetzen um so den Schwierigkeiten beim Lernen mit multimedialen Lernumgebungen entgegenzuwirken.

Literatur

- BAUMERT, J., W. BOS & R. LEHMANN (Hrsg.). (2000). TIMSS/III: Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Leske und Budrich: Opladen.
- CHANDLER, P., & J. SWELLER. (1992): The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology* **62**, 233-246.
- CHANDLER, P. & J. SWELLER (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology* **10** (2), 151-170.
- DREWNIAK, U. (1992): Lernen mit Bildern in Texten: Untersuchung zur Optimierung des Lernerfolgs bei Benutzung computerpräsentierter Texte und Bilder. Waxmann, Münster.
- GENTNER, D. & A. STEVENS (1983): *Mental Models*. Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- JOHNSON-LAIRD, P. (1983). *Mental Models*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- LEWALTER, D. (1997). Lernen mit Bildern und Animationen: Studie zum Einfluss von Lernermerkmalen auf die Effektivität von Illustrationen. Waxmann: Münster.
- MAYER, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- MAYER, R. E., & R. B. ANDERSON. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology* **83** (4), 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** (4), 444-452.
- PAIVIO, A. (1986). *Mental Representations: A Dual-Coding Approach*. Oxford University Press, New York.
- PLASS, J. L., D. M. CHUN, R. E. MAYER, & D. LEUTNER. (1998). Supporting visual and verbal learning preferences in a second-language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology* **90** (1), 25-36.
- SWELLER, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction* **4**, 295-312.
- WEIDENMANN, B. (2003). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. J. ISSING & P. KLIMSA (Eds.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*. : Psychologie Verlags Union, Weinheim, 45-62.