

## **Lernen von Physik am Computer, Textverständlichkeit und Aktivierung der Lernenden**

*Thorid Rabe*

### **Einleitung**

Wie gesamtgesellschaftlich die Bedeutung von computerbasiertem Lernen zunimmt, so spielt Multimedia auch beim Lernen von Physik zunehmend eine wichtige Rolle. Forschung zum Einsatz und zur Gestaltung des computerbasierten Lernens und der verwendeten Programme hat zum Teil sehr heterogene Ergebnisse erbracht. Allerdings unterliegen diese Forschungsergebnisse in ihrer Aussagekraft Begrenzungen und verdeutlichen so, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, damit die Gestaltung und die Implementation von Computerprogrammen in entsprechende Lehr-Lernkontexte effektiv gestaltet werden.<sup>1</sup>

Die folgenden zwei Aspekte des computerbasierten Lernens werden in einer geplanten Untersuchung aufgegriffen. Eine erste Herausforderung besteht darin Text und Sprache als Bestandteile der Lernprogramme so zu gestalten, dass sie den Lernprozess unterstützen. Der andere Schwerpunkt liegt auf der Aktivierung der Lernenden durch die Instruktion, sich Inhalte eines Lernprogramms selbst zu erklären.

Motiviert ist diese Untersuchung zum einen durch die hohen Erwartungen, die sich nach wie vor auf das Lernen mit Multimedia richten und den Enttäuschungen, die inzwischen in Schulpraxis und Forschung auftreten. Ein zweiter Grund liegt darin, dass aus physikdidaktischer Perspektive zwar immer wieder die Schwierigkeiten im Umgang mit gesprochener und geschriebener Sprache thematisiert werden, empirische Forschung zu dieser Frage aber kaum stattgefunden hat.

Geplant ist eine Laboruntersuchung mit einem Lernprogramm, das sich mit der Beugung von Licht am Spalt beschäftigt und für diese Untersuchung entwickelt wurde. In einem 2\*2-Design mit Vor-, Nach- und Langzeittest soll der Wissenserwerb beim Lernen mit diesem Programm erhoben werden.

### **Theoretische Annahmen zum Lernen von Physik**

Aus konstruktivistischer Perspektive ist der Lernende selbst der Konstrukteur seines Wissens, indem er Informationen aktiv verarbeitet und das erworbene Wissen in Form von mentalen Modellen organisiert (Schnotz 1994). Die Verarbeitung der Informationen findet im Arbeitsgedächtnis statt, das durch eine begrenzte Verarbeitungskapazität gekennzeichnet ist, so dass in einem festen Zeitraum Informationen nur in bestimmtem Umfang verarbeitet werden können. Aus diesem Grund sollte der sogenannte cognitive load diese durch die Verarbei-

---

<sup>1</sup> Im Folgenden werden die Begriffe Lernprogramm, Computerprogramm, Multimedia synonym im Sinne von „multimedial“, „zu Lernzwecken gestaltet“ und „computerbasiert“ verwendet.

tungskapazität gesetzte Grenze nicht überschreiten, da es sonst zum cognitive overload kommt und nicht alle Informationen zum Wissenserwerb verwendet werden können. Während der intrinsische cognitive load (auch, germane load) auf der Schwierigkeit der Inhalte selbst beruht und insofern kaum vermindert werden kann, wird der extrinsische cognitive load durch die Art und Weise bestimmt, wie diese Inhalte präsentiert und gestaltet werden. Durch die Änderung des Designs eines Computerprogramms kann insofern cognitive load reduziert werden, ohne dass Inhalte davon betroffen wären.

Wie geht die Verarbeitung vonstatten? Nach dem Modell des menschlichen Verarbeitungssystems, verwendet in der kognitionspsychologischen Multimediaforschung, gelangen visuelle und auditive Informationen über zwei getrennte Kanäle in das Arbeitsgedächtnis (Mayer 2001). Der Lernende lenkt seine Aufmerksamkeit auf die relevanten Worte und Bilder, verknüpft die ausgewählten Wörter und Bilder und organisiert sie schließlich in einem verbalen oder piktorialen Modell, zu dem auch das Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis herangezogen wird. Zentrale Annahmen dieses Modells sind in lerntheoretischen Annahmen physikdidaktischer Forschung wieder zu finden. Gerade das Vorwissen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Je höher das Vorwissen in der Inhaltsdomäne ist, desto höher sind auch die zu erwartenden Lernzuwächse, während andererseits resistente Alltags- oder Fehlvorstellungen den Erwerb fachlich richtiger Vorstellungen behindern können (Ambrose et al. 1999).

### **Lernen mit Multimedia**

Computer werden in der Schule in einem breiten Anwendungsspektrum eingesetzt. Neben dem Angebot von Übungsprogrammen zur Wiederholung und Festigung und Lernprogrammen zum Erwerb neuen Wissens, kommt der Computer zum Beispiel auch als Messgerät bei Experimenten oder als Werkzeug zum Präsentieren, Schreiben oder Rechnen zur Anwendung (Blömeke 2003). Ebenso breit gefächert ist das Spektrum der Erwartungen, die sich auf Computer und Multimedia richten. Die Hoffnungen auf höhere Lernerfolge, geringeren Zeitaufwand, positivere Einstellungen zu Unterricht, Unterrichtsgegenstand und zum Medium selbst, spiegeln diese Bandbreite wider, konnten aber nur teilweise erfüllt werden, was durch komplizierte Aptitude-Treatment-Interaktionen begründet ist (Urhahne et al. 2000). Ob sich das Lernen mit dem Computer im Vergleich zu einem Unterricht ohne ihn positiv auf den Wissenserwerb und emotional-affektive Komponenten auswirkt, hängt von Lernermerkmalen wie der intrinsischen Motivation, seinem Vorwissen bezüglich des Inhalts und des eingesetzten Mediums und seinen Lernstrategien ab. Insofern muss sich Forschung zum Lernen mit Multimedia mit dem Problem der Konfundierung von Variablen auseinandersetzen, da der Computer normalerweise als nur ein Element in einer komplexen Lehr-Lernsituation auftritt. Für weitere Forschungsarbeiten in diesem Feld wäre es deshalb wünschenswert, dass sich Studien mit strengem Design und genauer Kontrolle der Variablen einerseits und ökologisch valide Explorationsstudien andererseits gegenseitig ergänzen und miteinander verzahnen

werden. Bezüglich des computerbasierten Lernens besteht insbesondere Bedarf an Untersuchungen, die mit zeitlich umfangreicheren Programmen, die länger als wenige Minuten dauern, und gleichzeitig curricular verankert sind, durchgeführt werden. Dabei müssen Spezifika der Inhaltsdomäne - hier der Physik - und die Computererfahrung der Lernenden in ihrem Einfluss berücksichtigt werden (Tergan 1997).

Multimedia kann allgemein als die gleichzeitige Darstellung von Inhalten mithilfe von Sprache und Bildern definiert werden (Mayer 2001). Welche Besonderheiten, welche Vorteile aber möglicherweise auch Fallstricke bringt dann die Präsentation von multimedialen Lernprogrammen mit dem Computer mit sich? Die Interaktivität ermöglicht Lernenden individuell über ihren Lernweg und die Lerngeschwindigkeit zu entscheiden, birgt aber gleichzeitig die Gefahr, dass die notwendige „guidance“ fehlt, die insbesondere für Novizen in einer Inhaltsdomäne hilfreich sein kann. Technisch bietet der Computer die Chance mit relativ geringem Aufwand Inhalte visuell und auditiv anzubieten, wie es der Dual-Channel-Theorie entspricht. Bilder können animiert oder zu Simulationen erweitert werden (u.a. Lowe 2003). Die Forschung zu Multimedia hat Designkriterien hervorgebracht, die Grundregeln darüber beinhalten, wie auditive und visuelle, sprachliche und bildliche Präsentationen räumlich und zeitlich gestaltet werden sollten, um Lernprozesse zu unterstützen (Mayer 2001).

Eine Voruntersuchung, in die sieben deutschsprachige Programme zum Inhaltsbereich geometrische Optik einbezogen wurden, hat gezeigt, dass diese Designkriterien in dem meisten Fällen nicht beachtet werden (Staraschek & Rabe 2004). Die Analyse der einzelnen Programmseiten erbrachte, dass nur 29% von ihnen audiovisuell dem Modalitätsprinzip entsprechen und in einem Programm das Redundanzprinzip durchgehend verletzt wird. Räumliche Nähe von Bild und Text ist auf 60% der Seiten, zeitliche Nähe auf 61% der Seiten der audiovisuellen Programme und 48% der Seiten in den rein visuellen Programmen festzustellen. Außerdem zeigte die Studie, dass die Formulierung des Kohärenzprinzips im Sinne des Verzichts auf überflüssige Worte und Bilder sehr vage ist. Die Bedeutung von Inhaltskomponenten und ihre Anordnung hängen letztlich von den aktuellen Lernzielen ab und sind Gegenstand andauernder Debatten in den Fachdidaktiken, wovon die Curriculumentwicklung zeugt. Über die Relevanz von inhaltlichen Komponenten kann also nicht aus multimedialer, sondern nur aus fachdidaktischer Perspektive ein Urteil gefällt werden, das zum Beispiel mit Hilfe eines Modells der Didaktischen Rekonstruktion zu begründen ist (Kattman et al. 1998).

Betrachtet man die Forschungslandschaft, so fällt eine weitere Lücke ins Auge. Studien zur Gestaltung von Text und Sprache, die das Lernen mit den Computerprogrammen fördert und nicht behindert, liegen bisher nicht vor, mit Ausnahme von ersten Hinweisen darauf, dass eine personalisierte Sprache den Lernprozess unterstützt (Moreno & Mayer 2000). Forschungsanstrengungen zu diesem Aspekt scheinen insbesondere für den Bereich des naturwissenschaftli-

chen Lernens notwendig, da hier - wie im Folgenden gezeigt wird - Sprache und Text aus didaktischer Sicht eine entscheidende Rolle spielen (Yore 2003).

### **Sprache und Text beim Physiklernen**

Beim Lernen von Physik nimmt die Sprache eine Doppelrolle ein. Während sie einerseits als Mittel der Kommunikation während des Lernprozesses benötigt wird, steht sie im Sinne der Kenntnis der Fachsprache auch als Ergebnis am Ende des Lernprozesses. Hinzufügen lässt sich, dass Sprache außerdem ein wesentliches Hindernis beim Lernen von Physik darstellen kann (Wellington & Osborne 2001), wofür der Grund zum Teil in den Spezifika der Fachsprache liegt. Ein in hohem Maße standardisierter und normierter Sprachgebrauch, Spezifika in Syntax und Semantik, ein nominalisierter und unpersönlicher Stil sind Merkmale der physikalischen Fachsprache (Halliday 1993). Hier fällt insbesondere der starke Gebrauch von Fachbegriffen auf, die zum Teil neu als domänenspezifisch gelernt werden müssen, zum Teil aber auch aus der Alltagssprache bekannt sind und nun in anderen, oft sehr engen Bedeutungen verwendet werden. Gerade diese Verknüpfung neuer wissenschaftlicher Inhalte mit einem vertrauten Begriff spiegelt die Schwierigkeiten wider, die im Zusammenhang mit dem conceptual change immer wieder auftreten, die vorunterrichtlichen Vorstellungen erweisen sich als resistent gegenüber den didaktisch erwünschten fachlichen Vorstellungen.

Daraus resultieren Probleme mit gesprochener und schriftlicher Sprache im Physikunterricht. Schülerinnen und Schüler sprechen nur wenig im Physikunterricht und verwenden Begriffe fachlich unangemessen (Lemke 1990). Die Sprache des Lehrers bleibt den Schülerinnen und Schülern in vielen Fällen unverständlich, wie auch die Schulbücher, denen aus Schülerperspektive ohnehin nur eine geringe Bedeutung zukommt (u.a. Starauschek 2003).

In der Theorie zum Textverstehen nimmt der Leser eine ähnlich aktive Position wie in konstruktivistischen Lerntheorien ein. Aus den Textinformationen konstruiert er ein kohärentes mentales Modell, das damit allerdings nicht notwendigerweise dem repräsentierten Gegenstand adäquat sein muss (Schnotz 1994). Die Bildung von Inferenzen zwischen Informationsportionen und dem Vorwissen wird beeinflusst von einer Interaktion der Merkmale der Textoberfläche, des Textinhalts und des Lernalters selbst.

Eine weitere Vorstudie zu den Texten in Computerlernprogrammen zeigt, dass die Möglichkeiten, die Lesbarkeit und Verständlichkeit von Texten zu erhöhen, bei weitem noch nicht ausgeschöpft sind, während Schulbücher inzwischen ein annehmbares Niveau aufweisen (Rabe et al. 2004). Die Verwendung einer Flut von Fachbegriffen bei geringer Redundanz, wenig persönliche Anrede der Lerner durch Konstruktionen in 1. oder 2. Person oder Possessivpronomen sind z.B. Anzeichen dafür, dass die Gestaltung der Texte in den Computerprogrammen hinter den Stand der Schulbücher weit zurückfällt.

Zwei weitere Merkmale der Textoberfläche stehen im Mittelpunkt der geplanten Untersuchung. Ein Merkmal, das die Verknüpfung von Textelementen auf ver-

schiedenen Ebenen berücksichtigt, ist die Textkohärenz, die sich lokal in der Verbindung von einzelnen Sätzen oder global in der Verbindung von größeren Textpassagen durch semantische oder syntaktische Mittel ausdrückt (Rickheit & Schade 2000). Der Fokus liegt in dieser Studie auf der lokalen Textkohärenz, die durch die Rekurrenz von Substantiven in aufeinander folgenden Sätzen indiziert wird. Aus den Annahmen der Kognitionspsychologie lässt sich folgern, dass eine hohe lokale Textkohärenz den cognitive load bei Novizen reduziert und sich somit positiv auf den Lernprozess auswirken kann, so dass es uns als weiteres Verständlichkeitskriterium dient.

Als weiteres Kriterium für Textverständlichkeit wird die Zahl der sprachlichen Referenzen auf zugehörige Bilder herangezogen. Wiederum bezieht sich die kognitionspsychologische Argumentation auf die Reduktion des cognitive load für Novizen und eine zusätzliche Aufmerksamkeitslenkung auf die Bilder an Stellen, an denen sie dem Verstehen dienen können. Dass die enge Verzahnung von sprachlichen und bildlichen Elementen sinnvoll ist, spiegelt sich bereits in den Designkriterien zu räumlicher und zeitlicher Nähe wider (Mayer 2001). Allerdings sind zusätzliche sprachliche Verweise innerhalb des Textes in ihrem Einfluss auf den Wissenserwerb noch nicht untersucht.

### **Selbsterklärungen**

Wie schon mehrfach angesprochen ist aus konstruktivistischer Perspektive ebenso wie beim Lernen mit Multimedia und bei der Textverarbeitung die Aktivität des Lerners die wichtigste Voraussetzung für den Wissenserwerb. Der Lernende bildet also Inferenzen zwischen den gegebenen Informationen und generiert neues Wissen, indem er das Vorwissen hinzuzieht. Dieser Prozess ist beeinflusst von Merkmalen des Textes, der Lerninhalte und des Lerners (Schnotz 1994).

Deshalb muss eine Optimierung der Textoberfläche von einer Aktivierung des Lerners zu einer tiefen Verarbeitung begleitet werden, da gerade beim computerbasierten Lernen das Risiko besteht, dass Lernende erwarten, dass ihnen das Wissen so präsentiert wird, dass sie selbst keine Anstrengung investieren müssen. Eine solche Aktivierung ist möglich durch eine Instruktion zur Selbsterklärung, i.e., die Aufforderung an den Lernenden, Erklärungen für sich selbst zu generieren. Dies umfasst Tätigkeiten der Selbstkontrolle und Diagnose des eigenen Verstehens und führt zur Auswahl, Organisation und Integration neuer Inhalte mit dem Vorwissen. Aus diesem Grund können Selbsterklärungen als intentionale Strategie bezeichnet werden, die Aufmerksamkeit und Anstrengung erfordert (de Leeuw & Chi 2003). Anders als die Aufforderung zum lauten Denken, bei dem alles gesagt werden soll, was einem durch den Kopf geht, lenkt die Instruktion zur Selbsterklärung die Aufmerksamkeit auf die Aspekte des Textes, die für das Verstehen relevant sind, Welche Information ist neu? Wie ist dieser Inhalt mit dem Vorangehenden verknüpft? Welche Fragen entstehen?

Forschungsergebnisse zeigen einen Selbsterklärungseffekt bei Lernern, die viele spontane Selbsterklärungen produzieren und daraufhin in Problemlösungsaufgaben besser abschneiden (Chi et al. 1994). Auch induzierte Selbsterklärungen

führen zu einem tieferen Textverstehen und minimieren dabei den Einfluss inadäquater Texte. Die Untersuchungen beziehen sich bislang auf Texte, die als Papierversion vorliegen. In Bezug auf das computerbasierte Lernen, das sich durch die Textdarbietung am Bildschirm und die hohe Anzahl von bildlichen Darstellungen auszeichnet, erscheint die Instruktion zur Selbsterklärung eine viel versprechende Strategie, um die Integration von sprachlicher und bildlicher Information und damit den Lernprozess zu unterstützen.

### **Forschungsfragen**

Die beschriebenen Ansätze und Befunde aus den Bereichen des Physiklernens, des Multimedialernens und des Lernens mit Texten führen zu den nachfolgenden Forschungsfragen,

*1. Welche Bedeutung hat die Kohärenz beim computerbasierten Lernen von Physik?*

Für diese theoretische Frage ist der Begriff der Kohärenz aus den Perspektiven von Kognitionspsychologie, Physikdidaktik, Multimediaforschung und Linguistik zu klären.

*2. Wie beeinflusst die Optimierung der Textoberfläche hinsichtlich lokaler Textkohärenz und Text-Bild-Referenzen einerseits und die Instruktion zur Selbsterklärung andererseits sowie deren Kombination den Wissenserwerb in der Physik hinsichtlich Behalten und Transfer?*

Im Folgenden wird kurz die geplante empirische Untersuchung beschrieben, mit der dieser Frage nachgegangen werden soll.

### **Design und Methode der Untersuchung**

Für die Studie wird ein 2\*2-Design mit den zwei unabhängigen Variablen lokale Textkohärenz plus Text-Bild-Referenzen und Instruktion zur Selbsterklärung in jeweils zwei Ausprägungen gewählt. In einer Laborsituation werden 120 Probanden mit einem Lernprogramm arbeiten, das sich inhaltlich mit der Beugung von Licht am Spalt und Aspekten des Lernens über Modelle anhand von Strahlen- und Wellenmodell des Lichtes auseinandersetzt. Das Programm, das speziell für diese Untersuchung entwickelt wurde, umfasst visuellen Text und statische Bilder, ist weitgehend linear aufgebaut und benötigt etwa 60 Minuten Bearbeitungszeit. Somit wird auf multimedialer Ebene die Konfundierung von Variablen vermieden und andererseits ein Programm verwendet, das curricular valide für schulischen Unterricht brauchbar ist. Für die Untersuchung werden zwei Textvarianten erstellt, (a) Version 1, niedrige lokale Textkohärenz und wenige Text-Bild-Referenzen (b) Version 2, hohe lokale Textkohärenz und zahlreiche Text-Bild-Referenzen. Beide Versionen werden auf der Basis eines Textes erstellt, der den Kriterien für Lesbarkeit und Verständlichkeit genügt.

Diese beiden Textversionen werden im Design kombiniert 1. mit keiner speziellen Anweisung an die Lernenden, außer mit dem Programm zu lernen und 2. mit der Instruktion zur Selbsterklärung, so dass vier Probandengruppen entstehen.

Tabelle 1: Untersuchungsdesign

	Textversion1	Textversion 2
Keine Instruktion zur Selbsterklärung	Niedrige lokale Textkohärenz Keine Text-Bild-Referenzen	Hohe lokale Textkohärenz Zahlreiche Text-Bild-Referenzen
Instruktion zur Selbsterklärung	Niedrige lokale Textkohärenz Keine Text-Bild-Referenzen	Hohe lokale Textkohärenz Zahlreiche Text-Bild-Referenzen

Die abhängige Variable in der Untersuchung ist der Wissenserwerb in der Optik hinsichtlich des Behaltens von Informationen, die im Lernprogramm explizit gegeben werden und hinsichtlich des Transfers, also der Anwendung des Wissens in neuen oder veränderten Kontexten wie zum Beispiel der Interferenz am Doppelspalt oder am Gitter. Als Kontrollvariablen werden das Vorwissen in Physik und speziell Optik, das Interesse an Physik, die Bearbeitungszeit, räumliche und verbale Fähigkeiten und Computererfahrung erfragt bzw. getestet.

Bei insgesamt 120 teilnehmenden Probanden wird im Design eine Zellenbesetzung von  $n=30$  erreicht. Die Schülerinnen und Schüler besuchen die Stufe 12 an Brandenburger Schulen, wobei sie entweder Grund- oder Leistungskurse in Physik belegen, so dass man davon ausgehen kann, dass Vorwissen zum Wellenmodell des Lichtes und zur Beugung aus dem Unterricht der Stufe 11 vorhanden ist. Insofern sind diese Probanden zwar keine vollständigen Novizen und bringen das Vorwissen mit, das für das Lernen mit dem Programm benötigt wird, andererseits sind aber Lernzuwächse hinsichtlich der Programminhalte zu erwarten.

In einem Vortest, der etwa 3 Wochen vor dem Treatment stattfindet, bearbeiten die Probanden einen Test zum Vorwissen, Teile des Kognitiven Fähigkeitstest (KFT) und sie beantworten Fragebögen zum Interesse und zur Computererfahrung. Unmittelbar nach den Treatmentsitzungen werden die Schülerinnen und Schüler in einem Nachtest wiederum mit einem Wissenstest zur Optik konfrontiert und sollen in einem Fragebogen eine Einschätzung des Programms geben. Der Wissenstest wird dann noch einmal 3-4 Wochen später als follow-up-Test eingesetzt. Die statistische Auswertung der erhobenen Daten hinsichtlich Korrelationen zwischen den Variablen wird es dann erlauben, Aussagen zu den Forschungsfragen zu tätigen.

## Literatur

- Ambrose, B.S., Shaffer, P. S., Steinberg, R.N., and McDermott, L.C. (1999): An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *Am. J. Phys.* 67, 2, S. 146-155.
- Blömeke, S. (2003): Lehren und Lernen mit neuen Medien - Forschungsstand und Forschungsperspektiven. *Unterrichtswissenschaften*, 31, 1, S. 57-82.

- Chi, M.T.H., deLeeuw, N., Chiu, M.-H., and Lavancher, C. (1994): Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science* 18, S. 439-477.
- De Leeuw, N., and Chi, M.T.H. (2003). Self-Explanation, Enriching a Situation Model or Repairing a Domain Model? In G. Sinatra & P. Pintrisch [Eds.], *Intentional Conceptual Change*, pp 55-78. Erlbaum.
- Halliday, M.A.K. (1993): On the language of Physical Science. In M.A.K. Halliday, *Writing science, Literacy and Discursive Power* pp 54-68. London, Washington: The Falmer.
- Kattmann, U., Duit, R., & Gropengießer, H. (1998): The model of Educational Reconstruction. Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In H. Bayrhuber & F. Brinkman (Eds.), *What – Why – How? Research in Didaktik of Biology*, pp 253-262. Kiel: IPN.
- Lemke, J. (1990). *Talking Science, Language, Learning and Values*. Norwood (NJ): Ablex Publishing.
- Lowe, R. (2003): Animation and Learning, selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction* 13, pp 157-176.
- Mayer, R.E. (2001): *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.
- Moreno, R. & Mayer, R.E. (2000): Engaging Students in Active Learning, The Case for Personalized Messages. *Journal of Educational Psychology* 92, pp 724-733.
- Rabe, T., Starauschek, E., and Mikelskis, H.F. (2004): Textkohärenz und Selbsterklärung beim Lernen mit Texten im Physikunterricht. Ergebnisse einer Vorstudie zur lokalen Textkohärenz. DPG-Tagung Didaktik der Physik in Düsseldorf. CD zur Tagung des Fachverbandes Didaktik der Physik Düsseldorf 2004.
- Rickheit, G. & Schade, U. (2000): Kohärenz und Kohäsion. In K. Brinker et al. [eds.], *Text- und Gesprächslinguistik. Ein internationales Handbuch zeitgenössischer Forschung*, S. 275-283. Berlin, New York: de Gruyter.
- Schnotz, W. (1994): *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchung zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: PVU.
- Starauschek, E. & Rabe, T. (2004): Multimedialernen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bemerkungen zu kognitionspsychologischen Lerneffekten multimedialer Wissensrepräsentation beim Physikkernen. In A. Pitton (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Vorträge der GDGP-Tagung in Berlin 2003*, S. 114-116. Münster: Lit.
- Starauschek, E. (2003): Ergebnisse einer Schülerbefragung über Physikschulbücher. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 9, S. 147-159.
- Tergan, S.-O. (1997): Conceptual and methodological shortcomings in hypertext/hypermedia design and research. *Journal of Educational Computing Research* 16, S. 209-235.
- Urhahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M., and Bleschke, M. (2000): Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 6, S. 157-186.
- Wellington, J.J. & Osborne, J. (2001): *Language and literacy in science education*. Buckingham: Open University Press.
- Yore, L.D. (2003): Examining the literacy component of science literacy, 25 years of language arts and science research. *International Journal of Science Education* 25, 6, pp 689-725.