

THORID RABE UND HELMUT F. MIKELSKIS

Kohärenzbildungshilfen und Selbsterklärungen: Fördern sie das Physiklernen?

Coherence markers and self-explanation: Do they support learning physics?

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit dem Physiklernen mit multimedialen Lernmaterial wurde zwei möglichen Einflussfaktoren auf den Wissenserwerb von Schülerinnen und Schülern nachgegangen. So wurde die Wirkung einer Textgestaltung überprüft, die mit den sogenannten Kohärenzbildungshilfen („lokale Textkohärenz“ und „Text-Bild-Referenzen“) verstehensförderliche Merkmale aufweist. Mit der Aufforderung zu Selbsterklärungen wurde dem Einfluss einer kognitiven Aktivierung der Lernenden nachgegangen. Im Rahmen einer empirischen Untersuchung lernten Schülerinnen und Schüler der Stufe 12 mit einem für die Untersuchungsziele entwickelten Computerlernprogramm zur Beugung von Licht am Spalt. Das Wissen der Lernenden wurde in Vor-, Nach- und Langzeittest erhoben. Die Auswertung (u.a. mit varianzanalytischen Methoden) zeigt neben großen Wissenszuwächsen der gesamten Stichprobe, dass sich eine Textgestaltung mit zahlreichen Kohärenzbildungshilfen nicht in den Wissenszuwächsen der Lernenden niederschlägt. Hingegen wirkt sich die Aufforderung zu Selbsterklärungen langfristig positiv auf das Wissen der Schülerinnen und Schüler aus. Detailanalysen zu den Selbsterklärungen legen nahe, dass sich die Intensität des Selbsterklärens vor allem kurzfristig auf das Verstehen auswirkt.

Schlüsselwörter:

Selbsterklärungen, Textkohärenz, Textverstehen, Lerneraktivierung, Multimedia, Physikunterricht.

Abstract

Two potentially relevant influencing factors for the knowledge acquisition of students were investigated in the context of learning physics with multimedia material. One focus lay on the impact of a text surface design implying so called coherence markers (“local text coherence” and “text-picture-references”), that should foster students’ understanding. Another interest was to prompt students to self-explain in order to achieve a cognitive activation of students. In the empirical investigation students in grade 12 learned with a computer program that was developed for the purposes of the investigation and that deals with diffraction of light by single slit. The knowledge of the students was assessed in pre-, post- and follow up-test. The evaluation of data (amongst others by means of analysis of variance) shows high gains in the knowledge of all sample. A text surface design with many coherence markers does not reflect in better knowledge acquisition. In contrast prompting the students to self-explain leads to better knowledge of the students on the long term. Detail analysis of self-explanation indicates that the intensity of self-explanation influences the understanding of the students on the short term.

Key Words:

self-explanation, textcoherence, text comprehension, learner activation, multimedia, physics education.

1 Einleitung

Sprache übernimmt beim Physiklernen eine zentrale, zugleich aber ambivalente, konflikt-haltige Funktion. Diese Diagnose wird in der Physikdidaktik spätestens seit Wagenschein (1971; 1988) gestellt. So wird ihr einerseits

mit der Metapher des „Werkzeugs“ die Aufgabe zugesprochen, im Prozess des Lernens als Mittel zur Verständigung über physikalische Inhalte zu dienen, wobei als charakteristische Ebenen die Alltagssprache, die Mischform der Unterrichtssprache und die

Fachsprache unterschieden werden können. Andererseits stellt Sprache – und hier vor allem die Fachsprache – *ein Ziel* des Lernprozesses dar im Sinne eines Bestandteils physikalischen Wissens:

„Language is an integral part of science and science literacy – language is a means to doing science and to constructing science understandings; language is also an end in that it is used to communicate about inquiries, procedures, and science understandings to other people so that they can make informed decisions and take informed actions.“ (Yore et al., 2003, 691).

Für Lernende ist diese Ambivalenz mit Problemen behaftet. Dies manifestiert sich sowohl im mündlichen Sprachgebrauch wie auch im Umgang mit (Lehr-)Texten, denn es treten Verstehensschwierigkeiten auf (Lemke, 1990; Merzyn, 1994). Mit Ausnahme von Einschätzungen zur Verständlichkeit von Schulbüchern ist das Verstehen und Lernen mit physikalischen Texten noch wenig erforscht. So findet man zwar (plausible) methodische Anregungen zum Umgang mit Physiktexten (Leisen, 2006) und Hinweise auf eine adäquate Textgestaltung, empirisch validiert sind diese allerdings selten.

Hinzu kommt, dass mündliche Kommunikation, die über eine redundante Frage-Antwort-Abfolge zwischen Lehrperson und einzelnen Schülerinnen und Schülern hinausgeht (das sogenannte IRF-Framework: Invitation, Response, Feedback nach Wellington & Osborne, 2001, 24ff.), im naturwissenschaftlichen Unterricht eine untergeordnete Rolle spielt und dann meist qualitativ nur ein niedriges Niveau erreicht (Lemke, 1990; Wellington & Osborne, 2001). So zeigt sich auch für den deutschen Physikunterricht, dass er durch ein fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch geprägt ist, in dem die Sprechanteile von Schülerinnen und Schülern gering sind (Labudde et al., 2006; Seidel et al., 2002).

Im Kontext konstruktivistischer Auffassungen und im Licht kognitionspsychologischer Modellierungen von Verstehen und Lernen (vgl. Abschnitt 2) wäre es wünschenswert, den Anteil schülerzentrierten Unterrichts zu erhö-

hen, in dem Schülerinnen und Schüler sich Wissen selbstständig aneignen bzw. konstruieren können. Voraussetzung für einen erfolgreichen Wissenserwerb in solchen Unterrichtsarrangements ist jedoch unter anderem, dass geeignetes Lernmaterial vorhanden ist und Instruktionsformen gewählt werden, die die gewünschten kognitiven Lernprozesse unterstützen. Vor allem die kognitive Aktivierung von Schülerinnen und Schülern ist von herausragender Bedeutung dafür, dass Lernen stattfindet.

Im Zusammenhang mit schülerzentrierten Unterrichtsformen bietet sich der Einsatz von computergestütztem multimedialen Lernmaterial an, das allerdings nicht per se den Physikunterricht verbessern kann (Urhanne et al., 2000). Bei entsprechender Gestaltung und begleitet von adäquaten Anleitungen erweist es sich aber als technisch leicht zu realisierendes Lernangebot für den individuellen Wissenserwerb unter Berücksichtigung von Lernermerkmalen (Blömeke, 2003). Allerdings hat auch in der – in weiten Bereichen nicht domänenspezifischen (Urhanne & Schanze, 2003) – Multimediaforschung die Frage der Textgestaltung bisher erstaunlich geringe Aufmerksamkeit erfahren, obwohl verbale Informationen im Sinne der Definition von Mayer (2001) ein konstitutives Element von Multimedia darstellen.

Angesichts dieser Beobachtungen lässt sich die Frage formulieren, wie beim Physiklernen mit multimedialem Lernmaterial Sprache und Text lernförderlich gestaltet werden und wie Lernende – vorzugsweise über mündliche sprachliche Tätigkeiten – kognitiv aktiviert werden können, so dass der Wissenserwerb unterstützt wird? Mit den Kohärenzbildungshilfen auf Gestaltungsebene und der Aufforderung zu Selbsterklärungen auf Lernerebene werden im Folgenden zwei mögliche Antworten zunächst theoretisch begründet und dann auf ihre empirische Haltbarkeit untersucht.

2 Theoretischer Hintergrund: Modellierung von Wissenserwerb

Zunächst ist zu klären, wie der Wissenserwerb aus konstruktivistischer Sicht und im Besonderen aus Perspektive der Physikdidaktik (Duit, 2003; Häußler et al., 1998; Vosniadou, 1999), der Kognitionspsychologie und hier speziell der Textverstehensforschung (Kintsch, 1989; Schnotz, 1994) und der Multimediaforschung (Mayer, 2001; Schnotz, 2001) modelliert wird, um Hinweise zu erhalten, wie er unterstützt werden kann. Die jeweiligen Grundannahmen erweisen sich in der Zusammenschau insofern als kompatibel, als den Ansätzen gemeinsam ist, dass sie von Lernenden ausgehen, die ihr Wissen durch kognitive Verarbeitung der angebotenen Inhalte konstruieren. Notwendige Voraussetzung dafür, dass Wissen angeeignet wird, ist die kognitive Aktivität bzw. Anstrengung der Lernenden, die darauf gerichtet sein muss, kohärente mentale Repräsentationen – in Form von propositionalen Repräsentationen, mentalen Modellen und kognitiven Schemata (Schnotz, 1994) – aufzubauen oder zu verändern. Einig ist man sich auch darin, die Funktion des Vorwissens als Einflussgröße für den Wissenserwerb zu betonen, das in die Konstruktion, Inspektion und Umstrukturierung mentaler Repräsentationen eingeht oder sie unter Umständen auch behindert (McNamara et al., 1996).

Von Wissenserwerb kann man allgemein dann sprechen, wenn Lernende (angemessene) mentale Modelle neu konstruieren oder mit Hilfe von kognitiven Schemata, die ganzheitliche mentale Konstrukte mit generativen Eigenschaften darstellen, rekonstruieren bzw. umstrukturieren können. Für die folgenden Darstellungen wird der Wissenserwerb auf zwei Ebenen differenziert, wobei es sich um ein pragmatisch gesetztes Begriffsinventar handelt. Zum einen soll unterschieden werden zwischen kurzfristigem *Verstehen* und langfristigem *Lernen*, die sich hinsichtlich der zeitlichen Stabilität des Wissenserwerbs unterscheiden (Schnotz, 1994). Zum anderen wird die Tiefe der Verarbeitung hinsichtlich *Behaltensleistungen* als Memorieren

und *Transferleistungen* als Anwendung des Wissens in veränderten Kontexten (Kintsch, 1998) betrachtet.

2.1 Perspektive Textverstehen

In aktuellen Ansätzen zum Textverstehen wird der effektive Umgang der Lernenden mit dem Text als zentral angesehen, womit die Bedeutung des Lesers mit seinen individuellen Merkmalen wie dem Vorwissen, Verstehenszielen und Lesestrategien gegenüber älteren Ansätzen aufgewertet wird. Allerdings stellt eine adäquate Textgestaltung auch weiterhin die erforderliche Grundlage dafür dar, dass ein Text verstanden werden kann (Schnotz, 1994). Unter einem Text ist dabei nicht jede beliebige Aneinanderreihung von Sätzen zu verstehen, sondern als Text sollen solche sprachlichen Äußerungen verstanden werden, die sich durch ein Minimum an Kohärenz auszeichnen, also dadurch, dass man sie inhaltlich sinnvoll in einen Zusammenhang bringen kann. Die Prozesse, die zur Verarbeitung von geschriebenen gegenüber gesprochenen Texten notwendig sind, unterscheiden sich im Kern nicht und laufen zu großen Teilen automatisiert ab. Dies ist dann von Bedeutung, wenn verbale Informationen den Lernenden ausschließlich auditiv angeboten werden, wie es in der Multimediaforschung zum Teil gefordert wird (Mayer, 2001).

Neben den extern vorliegenden Texten zeichnen sich ebenfalls die in Wechselwirkung mit den Texten aufgebauten mentalen Repräsentationen durch Kohärenz aus, denn auch in ihnen sind Wissens Elemente sinnvoll miteinander verknüpft. Diese Kohärenz kann jedoch nicht mit Angemessenheit oder Richtigkeit in Bezug auf den dargestellten Inhalt gleichgesetzt werden. Das entscheidende Kriterium ist nur die Schlüssigkeit in sich aus Sicht des Lernenden. Bestimmte Textcharakteristika können allerdings den Aufbau einer angemessenen kohärenten mentalen Repräsentation stützen. Solche „Kohärenzbildungshilfen“ gilt es für das Physiklernen mit Texten bzw. Multimedia auszumachen und zu prüfen (vgl. Abschnitt 3.1).

2.2 Perspektive Multimedialernen

Der Begriff Multimedia ist weder innerhalb noch über die verschiedenen Forschungsperspektiven – kognitionspsychologische, mediendidaktische, instruktionspsychologische und fachdidaktische – hinweg einheitlich definiert. Dem vorliegenden Projekt liegt die weit gefasste Auffassung von Mayer (2001) zugrunde, dass jede Art der Kombination von verbaler und bildlicher Information als Multimedia gilt. Der Computer stellt dann die technische Umgebung dar, in der diese Bestandteile relativ einfach visuell und auditiv, dynamisch (z.B. als Animationen), interaktiv (z.B. als Simulationen) und vernetzt aufbereitet werden können. Auf die mit derart komplexen Gestaltungsmöglichkeiten verknüpfte Konfundierungsproblematik (vgl. Tergan, 1997) sowie die Ausbalancierung von interner und externer Validität – also auf den Umgang mit möglichen Störvariablen – wird im Abschnitt 5 im Zusammenhang mit dem Lernmaterial eingegangen (vgl. auch Rabe, 2007).

Kognitionspsychologische Ansätze, die sich mit dem Lernen mit Multimedia auseinandersetzen, weisen darauf hin, dass die begrenzte Verarbeitungskapazität des Arbeitsgedächtnisses Konsequenzen für den Wissenserwerb und damit für die Gestaltung von Multimedia hat. Nur eine begrenzte Menge an Informationen sollte zeitgleich als sogenannter *cognitive load* das Arbeitsgedächtnis belasten (Brünken et al., 2003). Wird diese Belastung durch äußere Gestaltungsmerkmale der Lernumgebung verursacht, spricht man vom *extraneous cognitive load*, der möglichst minimiert werden sollte. Eine Reduktion ist unter anderem durch eine verbesserte Textgestaltung, die explizite Hinweise zur Kohärenzbildung gibt, denkbar. Für Multimedia wurden außerdem eine Reihe von Gestaltungsregeln aufgestellt, die vor allem auf zeitliche und räumliche Nähe von zusammengehörigen Informationen zielen (Mayer & Moreno, 2003). Die Aufmerksamkeit der Lernenden soll dadurch gezielt auf Zusammenhänge zwischen verschiedenen Informationselementen – wie beispielsweise einer Textstelle und einem

zugehörigen Bild – gelenkt werden, damit keine aufwändigen Suchprozesse der Lernenden notwendig sind, die deren kognitive Reserven unnötig in Anspruch nehmen. Hinzu kommt, dass die Aufmerksamkeit von Lernenden in multimedialen Umgebungen eher auf die bildliche Information gegenüber der sprachlich präsentierten Information fokussiert ist und durch die Bilder dominiert wird (Brünken & Leutner, 2001).

Im Gegensatz dazu wird der *germane cognitive load* auf die kognitive Anstrengung der Lernenden zurückgeführt, die durchaus angeregt werden sollte, um den Wissenserwerb zu fördern. Eine Erhöhung des *germane cognitive loads* ist nicht so sehr durch eine Textgestaltung, die Kohärenzbildungshinweise enthält, zu erwarten, als vielmehr durch eine Aktivierung der Lernenden, die darauf zielt, dass Lernende sich kognitiv anstrengen, Inhalte zu verknüpfen und zu integrieren (vgl. Abschnitt 3.2).

2.3 Perspektive Physikdidaktik

Aus physikdidaktischer Sicht kann der Wissenserwerb als Um- oder Neustrukturierung bereits vorhandener Vorstellungen zu den physikalischen Inhalten beschrieben werden (Duit, 1999; Vosniadou, 1999). Mit der Veränderung der Konzepte (im Sinne eines *Conceptual Change*) geht auch ein Wechsel des kulturellen Kontextes und damit der Sprache einher: „Da die Sprache ein wesentliches Kennzeichen einer Kultur [...] ist, wird diesem Gesichtspunkt häufig besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Dann bedeutet Lernen der Naturwissenschaften ‚talking science‘ (Lemke, 1990) zu lernen, also von der Praxis der Alltags-Sprachgemeinschaft zur Praxis der wissenschaftlichen Sprachgemeinschaft zu wechseln. Lernen der Naturwissenschaften heißt dann, eine neue Sprache zu erwerben.“ (Häußler et al., 1995, 196). Ein solcher Wechsel der Sprachebenen von der Alltagssprache in die Fachsprache – und nach Muckenfuß (1995) auch wieder zurück – bereitet den Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten. Diese sind zum Teil begründet in Merkmalen

der Fachsprache selbst (vgl. Abschnitt 3.1), zu einem anderen Teil sind sie aber auch mit der geringen Aufmerksamkeit für Aspekte des Sprachgebrauchs und mit den wenigen Sprechgelegenheiten im Physikunterricht verknüpft. Dies, obwohl die Fähigkeit zu adressatengerechter und sachbezogener Kommunikation explizit in den Bildungsstandards aufgeführt wird: „Zur Kommunikation sind eine angemessene Sprech- und Schreibfähigkeit in der Alltags- und der Fachsprache [...] erforderlich.“ (Kultusministerkonferenz, 2005, 10). Der Schluss liegt nahe, dass eigene Sprechaktivitäten den Schülerinnen und Schülern helfen, mit der physikalischen Sprechweise vertraut zu werden und sie einzuüben.

3 Textgestaltung und Lerneraktivierung

3.1 Kohärenzbildungshilfen

Die physikalische Fachsprache zeichnet sich – wie alle Fachsprachen – durch ihren Anwendungsbereich, ihre Funktionalität und durch linguistische Merkmale aus, die in ihrem Zusammenspiel ein spezifisches Profil ergeben. Besonders die Fachbegriffe in Form von Substantiven und Nominalisierungen fungieren in der physikalischen Fachsprache als deren zentrale Bedeutungsträger (Buhlmann & Fearn, 2000) und stellen für Lernende eine Herausforderung dar: Nicht nur,

dass viele Fachbegriffe und ihre Bedeutung vollständig neu gelernt werden müssen, hinzu kommen noch solche Begriffe, deren physikalische Bedeutung sich vom Alltagsgebrauch unterscheidet, weil sie theoretisch aufgeladen sind (Muckenfuß, 1995). Welche Möglichkeiten gibt es nun auf sprachlicher Ebene, den Lernenden einen verstehenden Umgang mit fachsprachlichen Physiktexten zu erleichtern?

In der Lesbarkeits- und Verständlichkeitsforschung werden eine Reihe von sprachlichen Merkmalen und Textcharakteristika benannt, die dazu dienen sollen, einen (Lehr-)Text verständlicher aufzubereiten. Dazu gehören beispielsweise Vermeidung von Substantivierungen und passivischen Formulierungen, Reduktion des Fachvokabulars auf das Nötigste, kurze Sätze oder auch die persönliche Anrede der Leser.

Angesichts der kognitionspsychologischen Prämisse, dass Kohärenz letztlich im Kopf des Lerners entsteht, i.e. hergestellt wird (Schade et al., 1991), können diesen Kriterien unter Umständen Kohärenzbildungshilfen an die Seite gestellt werden. Diese dienen dann dazu, den Prozess der mentalen Kohärenzbildung dadurch zu unterstützen, dass inhaltliche Beziehungen auf sprachlicher Ebene abgebildet und damit explizit gemacht werden, wie anhand von Abb.1 erläutert wird.

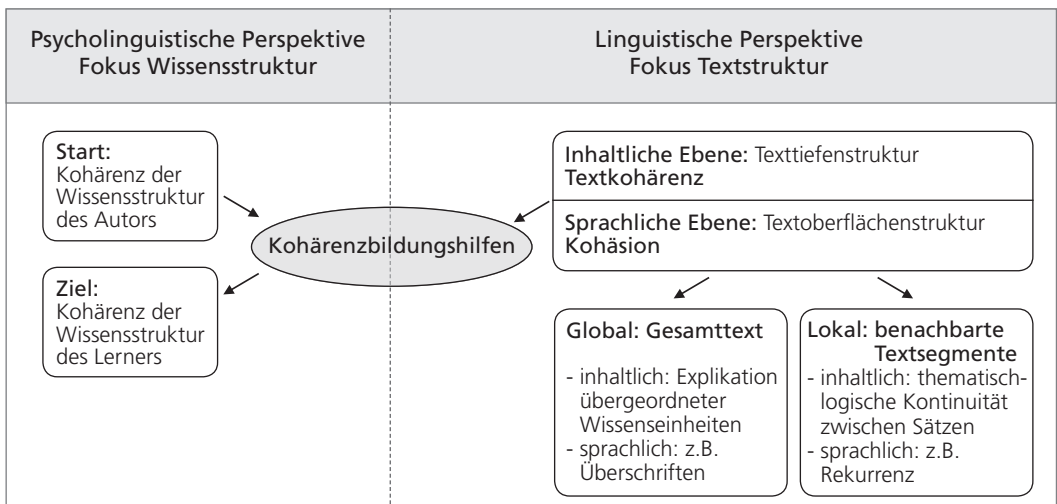


Abb. 1: Kohärenzbildung aus psycholinguistischer und linguistischer Perspektive

Aus psycholinguistischer Sicht stellt die kohärente Wissensstruktur des Autors, die dieser versucht, in Form eines Textes darzustellen, den Ausgangspunkt dar. Der Leser/Lerner wiederum baut in einer Wechselwirkung zwischen seinem Vorwissen, dem Text und weiteren Faktoren selbst eine kohärente Wissensstruktur auf, die zwar niemals mit der des Autors identisch sein wird, aber – zumindest wenn es sich um Lehrtexte handelt – nach Möglichkeit ähnlich sein sollte.

Die Textstruktur, die in diesem Prozess die Vermittlungsinstanz darstellt, kann aus linguistischer Perspektive in Oberflächen- und Tiefenstruktur unterschieden werden. Die Tiefenstruktur bezieht sich auf die inhaltliche Ebene eines Textes, die sich durch einen bestimmten Grad an *Textkohärenz* auszeichnet. Diese Textkohärenz meint den Grad der inhaltlich-thematischen Verknüpfung von Textbausteinen, von einzelnen Sätzen auf lokaler Ebene und von größeren Abschnitten auf globaler Ebene (Rickheit & Schade, 2000).

Auf *globaler Ebene* dienen beispielsweise Überschriften, vorangestellte Zielangaben, voran- oder nachgestellte Zusammenfassungen als Signale zur Kohärenzbildung, die allerdings von den Lernenden fakultativ angenommen werden können.

Wie finden die Verknüpfungen auf der *lokalen Ebene* statt? Zusammenhänge der Texttiefenstruktur, also die Textkohärenz, werden in Form von *Kohäsion* in der Oberflächenstruktur sichtbar. Kohäsion bezeichnet die Verknüpfung von Textbausteinen durch lexikalische und grammatische Mittel. Eine im Vergleich zur Verwendung von pronominalen Referenzen, Synonymen oder lexikalischen Generalisierungen sehr eindeutige Form der Verknüpfung auf lokaler Ebene stellt hier die Rekurrenz als wörtliche Wiederholung von Substantiven in aufeinander folgenden Sätzen dar (Schnotz, 1994). Diese soll wegen ihrer eindeutigen Bezugnahme und wegen der Bedeutung der Substantive in der physikalischen Fachsprache als Indikator auf der Textoberfläche für lokale Textkohärenz

dienen (vgl. Rabe et al., 2004; Staraschek, 2006). Die Rekurrenz als Indikator für die Ausprägung der lokalen Textkohärenz¹ kann nach Schnotz als obligatorische Kohärenzbildungshilfe eingestuft werden, die von dem Leser des Textes nicht „umgangen“ werden kann (Schnotz, 1994). Zu erwarten wäre, dass sich eine hohe lokale Textkohärenz, die durch eine starke Rekurrenz von Substantiven angezeigt wird, positiv auf den Wissenserwerb im Bereich von Physik auswirkt, indem der extraneous cognitive load verringert wird.

Gerade im Bereich des Multimedialernens, also des Lernens mit verbalen und piktoralen Darstellungen, erscheint es wichtig, dass die Aufmerksamkeit der Lerner auf Zusammenhänge zwischen Text und Bild gelenkt wird, so dass die Wahrscheinlichkeit wächst, dass diese Informationselemente auch gemeinsam mental verarbeitet werden. Eine fakultative Kohärenzbildungshilfe, die eine mentale Verknüpfung anstoßen soll, jedoch nicht erzwingen kann, stellen die sogenannten *Text-Bild-Referenzen* dar. Unter diesen Begriff sollen sprachliche Bezugnahmen oder Verweise auf zugehörige Bilder gefasst werden, die an solchen Stellen des Textes implementiert werden, an denen eine integrative Verarbeitung aus didaktischer Sicht sinnvoll erscheint. Evidenzen dafür, dass sich (visuelle) Kohärenzbildungshilfen als Verknüpfungssignale positiv auf den Wissenserwerb auswirken, sind in der Multimediaforschung schon zu finden (Brünken et al., 2005).

Empirische Untersuchungen zum Einfluss der lokalen Textkohärenz und von Text-Bild-Referenzen als mögliche Kohärenzbildungshilfen auf den Wissenserwerb liegen für den Bereich des Physiklernens mit Multimedia allerdings bisher nicht vor.

3.2 Lerneraktivierung durch Aufforderung zu Selbsterklärungen

Alle hier herangezogenen Ansätze zum Wissenserwerb betonen die Bedeutung der aktiven Verarbeitung durch die Lernenden selbst

¹ Zur Diskussion um die Begriffe lokale Textkohärenz vs. lokale Textkohäsion vgl. Staraschek (2006)

und dies gilt in besonderem Maße auch für den Umgang mit Texten oder Multimedia: „In summary, an easy to read, coherent text is generally easier to recall. On the other hand, active processing, such as that necessary for difficult text, facilitates learning.” (McNamara et al., 1996, 3). Wie können die Lernenden in diesem Sinne kognitiv aktiviert werden?

Einer Vielzahl von Ansätzen wird oder kann zukünftig in der Forschung nachgegangen werden wie zum Beispiel einer Aufmerksamkeitssteuerung durch Animationen (Slancik et al., 2005) oder Interaktionen mit dem Lernmaterial, die durch Simulationen oder durch integrierte Lernaufgaben gesteuert werden.

Der für diese Studie ausgewählte vielversprechende Ansatz, Lernende zu einer tieferen Verarbeitung von Lehrtexten und von multimedialem Lernmaterial zur Physik anzuleiten, besteht darin, sie zum Selbsterklären aufzufordern (Yore et al., 2003). Als Selbsterklärung kann man zunächst allgemein in Anlehnung an de Leeuw und Chi (2003) die Anstrengungen und Versuche von Lernenden bezeichnen, sich den Inhalt eines Textes oder des Lernmaterials selbst verständlich zu machen. Die Selbsterklärungen richten sich dabei nicht an eine außenstehende Person, sondern zielen darauf, sich selbst den Inhalt zu erklären. Es handelt sich damit um eine auf das Verstehen ausgerichtete, intentionale Tätigkeit, die zu der gewünschten kognitiven Anstrengung führen sollte. Selbsterklärungen können spontan von Lernenden hervorgebracht werden (Chi et al., 1989), aber auch durch eine außenstehende Person oder durch Anweisungen über den Computer angeregt werden (Ainsworth & Loizou, 2003).

Zur weiteren Differenzierung ist zunächst zwischen 1. *Selbsterklärungen* als einem Ergebnis kognitiver Anstrengung der Lernenden, 2. der *Aufforderung zu Selbsterklärungen* als Instruktionsform und 3. dem *Lauten Denken* zu unterscheiden, das die Methode darstellt, mit der Selbsterklärungen beobachtet werden können. Nicht alle verbalen Äußerungen von Lernenden, die aufgefordert werden, sich einen Inhalt verständlich zu machen,

sind als Selbsterklärungen im engeren Sinne zu klassifizieren. Vielmehr sollen darunter nur solche Äußerungen fallen, die inhaltlich über die im Text gegebene Information hinausgehen und auf Inferenzbildung beruhen (Chi et al., 1994). In die Inferenzbildung gehen sowohl Inhalte aus dem Lernmaterial als auch das domänenspezifische und allgemeine Vorwissen ein, so dass es sich um eine konstruktive Tätigkeit handelt. Nach Cote et al. (1998) können zu den Selbsterklärungen kausales Argumentieren, Erkennen von Implikationen, Analogiebildungen, Vergleiche, das Heranziehen von Beispielen und die Assoziation von Vorerfahrungen gezählt werden. Ausgeschlossen werden damit beispielsweise Beobachtungen und Kontrollaktivitäten zum eigenen Verstehen (Monitoring), Evaluationen des Lernmaterials und Paraphrasierungen (Cote & Goldman, 1999). Um als Selbsterklärungen im engeren Sinne zu gelten, müssen die entsprechenden Aussagen dabei nicht fachlich richtig oder dem Inhalt des Lernmaterials angemessen sein. Bisherige Forschungsergebnisse zeigen, dass Lernende, die zahlreichere Selbsterklärungen hervorbringen, höhere Behaltensleistungen und besseres Problemlösen aufweisen. Dieser sogenannte Selbsterklärungseffekt tritt sowohl bei spontanen Selbsterklärern als auch nach einer expliziten Aufforderung auf (Chi et al., 1994).

Die Aussagen dazu, ob sich inhaltlich falsche Selbsterklärungen störend auf den Wissenserwerb auswirken, sind uneinheitlich. Während einerseits von der Möglichkeit der „Selbsterparatur“ bei fehlerhaften Vorstellungen ausgegangen wird (Chi et al., 1994; McNamara, 2004), weisen andere Arbeiten auf Beispiele von Lernenden hin, die ihre Erklärungsversuche den falschen Vorstellungen eher assimiliert und dadurch verstärkt haben (Cote et al., 1998). In jedem Fall ist das Selbsterklären quantitativ und qualitativ durch das domänenspezifische Vorwissen moderiert (Lind et al., 2005; Reimann & Neubert, 2000). Mit der Zahl der Selbsterklärungen erhöht sich auch die Häufigkeit an Inferenzbildungen, wodurch wiederum der Lernerfolg befördert

wird. Lind et al. (2005) konnten darüber hinaus zeigen, dass die Qualität der Selbsterklärungen davon abhängt, ob sich die Lernenden in einer ihnen vertrauten Domäne bewegen. Ihre hier bereits ausgeprägten domänenspezifischen Verstehensstrategien können die Lernenden nicht unmittelbar auf eine weniger bekannte Domäne übertragen. Lernende mit unterschiedlichen kognitiven Fähigkeiten sollen jedoch durch das Selbsterklären gleichermaßen profitieren (Chi et al., 1994).

Dass ein Selbsterklärungseffekt beim Umgang mit naturwissenschaftlichen Texten auftritt, haben die genannten Forschungsarbeiten gezeigt. Weshalb sollte ihrem Einfluss im Bereich des Physiklernens weiter nachgegangen werden? Zum einen stehen weitere Untersuchungen mit Lernenden aus, die als „durchschnittliche“ Schülerinnen und Schüler gelten können, um den Effekt weiter auf seine Validität zu prüfen. Insbesondere im Umgang von Physiknovizen mit anspruchsvollen physikalischen Inhalten müssen Selbsterklärungen ihre positive Wirkung auf den Wissenserwerb beweisen. Auch liegen im Vergleich zu rein textbasiertem Material für multimediales Lernmaterial bisher nur wenige Ergebnisse vor, obwohl – wie oben ausgeführt – hier eine ausreichende Aktivierung von Lernenden entscheidend ist. Besonders wichtig aber erscheint es mit Blick auf schulisches Physiklernen, den Wissenserwerb auch langfristig im Sinne von nachhaltigem Lernen (das als Veränderung der kognitiven Schemata zu interpretieren wäre) zu beobachten, denn die Erkenntnisse bisheriger Untersuchungen sind bisher auf kurzfristige Wissensänderungen im Sinne von Verstehen beschränkt.

4 Forschungsfragen

Angesichts dieses theoretischen Fundaments und der rezipierten Forschungsergebnisse

kann die in der Einleitung aufgeworfene Fragestellung spezifiziert werden:

1. Wie wirkt sich die Textoberflächengestaltung, die hinsichtlich der lokalen Textkohärenz und der Häufigkeit von Text-Bild-Referenzen variiert wird, beim Wissenserwerb mit einem Computerlernprogramm (zur Optik) bei Schülerinnen und Schülern der Stufe 12 auf das Verstehen und Lernen der physikalischen Inhalte aus?
2. Wie beeinflusst die Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Wissenserwerb mit einem Computerlernprogramm (zur Optik) bei Schülerinnen und Schülern der Stufe 12 das Verstehen und Lernen im Vergleich zum Wissenserwerb ohne diese Instruktion?

5 Anlage und Durchführung der empirischen Untersuchung

Den Fragestellungen wurde in einer empirischen Untersuchung, die in einem 2x2-Design geplant und als Studie mit laborartigem Charakter angelegt wurde, nachgegangen: Schülerinnen und Schüler lernen im Rahmen einer Intervention mit einem computerbasierten Lernmaterial zur Optik und werden an drei Testzeitpunkten zu ihrem Wissen im Inhaltsgebiet getestet. Als Lernmaterial dient ein computerbasiertes Lernmaterial zur Beugung und Interferenz von Licht am Einfachspalt, das eigens für diese Untersuchung entwickelt wurde². Als unabhängige Variablen des Designs werden den Forschungsfragen entsprechend die Art der Textgestaltung mit und ohne Kohärenzbildungshilfen – im Folgenden mit „Textversion“ bezeichnet – und die Aufforderung zu Selbsterklärungen – als „Instruktionsform“ bezeichnet – operationalisiert (vgl. Abb.2).

Die zwei Textversionen des Lernmaterials, die inhaltlich und auch hinsichtlich ausgewählter Textverständlichkeitsmerkmale identisch sind, unterscheiden sich dann wie folgt:

² Das Lernmaterial wurde im Vorfeld in Interviews mit Studierenden der Biologie und Ernährungswissenschaften aus dem Grundstudium hinsichtlich der „usability“ (Handhabbarkeit) und der allgemeinen Verständlichkeit evaluiert, wobei die Studierenden ein ähnliches physikalisches Vorwissen aufweisen wie die Teilnehmer der Hauptuntersuchung.

		Textversion	
		inkohärent	kohärent
Instruktionsform	ohne Selbsterklärung	niedrige lokale Textkohärenz und wenige Text-Bild-Referenzen keine Aufforderung zu Selbsterklärungen (n=21)	hohe lokale Textkohärenz und zahlreiche Text-Bild-Referenzen Keine Aufforderung zu Selbsterklärungen (n=18)
	mit Selbsterklärung	niedrige lokale Textkohärenz und wenige Text-Bild-Referenzen mit Aufforderung zu Selbsterklärungen (n=20)	hohe lokale Textkohärenz und zahlreiche Text-Bild-Referenzen mit Aufforderung zu Selbsterklärungen (n=21)

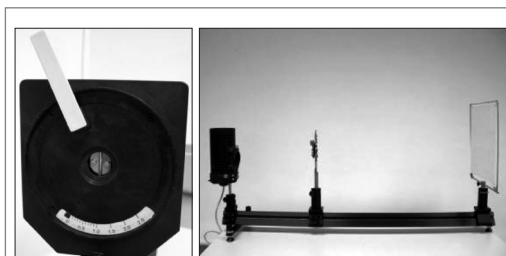
Abb. 2 2x2-Design mit den unabhängigen Variablen „Textversion“ und „Instruktionsform“

- Textversion „*inkohärent*“: niedrige lokale Textkohärenz und wenige Text-Bild-Referenzen;
- Textversion „*kohärent*“: hohe lokale Textkohärenz und zahlreiche Text-Bild-Referenzen.

Da die theoretisch fundierten Textmerkmale lokale Textkohärenz und Text-Bild-Verweise jeweils nur kleine Effekte für den Wissenserwerb erwarten lassen, wurden sie in der

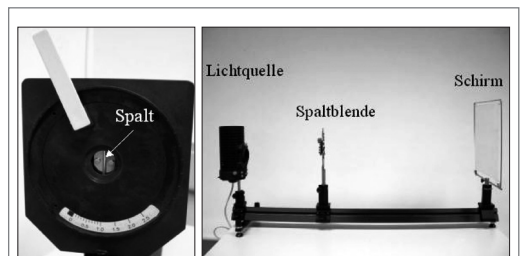
Variable Textversion gemeinsam variiert, um ihren gemeinsamen Einfluss zu erheben. Zudem wurden zeitgleich in anderen Projekten weitere empirische Erhebungen zur lokalen Textkohärenz durchgeführt (vgl. Starauschek, 2006). Zur Veranschaulichung sind in Abb.3 die beiden Textversionen des Lernmaterials gegenübergestellt, die sich in den Kohärenzbildungshilfen unterscheiden.

Inkohärente Textversion



Wenn man jetzt die Finger durch eine Blende mit einem veränderbaren Spalt ersetzt, dann kann man die Erscheinungen des Lichtes noch besser beobachten. Sie wird so eingestellt, dass nur eine sehr schmale Öffnung bleibt. Auf die eine Seite der Blende wird nun eine Lichtquelle gestellt. Auf die andere Seite stellt man einen Schirm. Was können wir auf ihm beobachten?

Kohärente Textversion



Wenn man jetzt die Finger durch eine Blende mit einem veränderbaren Spalt ersetzt, dann kann man die Erscheinungen des Lichtes noch besser beobachten. Die Blende wird so eingestellt, dass nur ein sehr schmaler Spalt offen bleibt. Auf die eine Seite der Blende wird nun eine Lichtquelle gestellt. Auf die andere Seite der Blende stellt man einen Schirm, so dass ein Aufbau wie im Bild oben entsteht. Was können wir nun auf dem Schirm beobachten?

Abb. 3: Inkohärente (links) und kohärente (rechts) Textversion des Lernmaterials

Die Instruktionsformen unterscheiden sich in der Art des Umgangs mit dem computerbasierten Lernmaterial, zu dem die teilnehmenden Schülerinnen und Schülern durch die Untersuchungsleiter aufgefordert wurden:

- *Ohne Selbsterklärungen:* Lernende werden durch Versuchsleiter zum Lernen aufgefordert;
- *Mit Selbsterklärungen:* Lernende werden durch Versuchsleiter zu Selbsterklärungen beim Lernen aufgefordert, die sie laut äußern sollen³.

Die Entscheidung zugunsten einer Laborstudie ist zum einen darin begründet, dass die Selbsterklärungen der Schülerinnen und Schüler für die weitere Auswertung aufgezeichnet werden sollten. Zum anderen erscheint aber auch die Kontrolle von möglichen Störvariablen (allerdings auf Kosten der ökologischen Validität) sinnvoll. Deshalb fanden alle Interventions-sitzungen außerhalb des Physikunterrichts statt, wobei insbesondere das Treatment mit der Aufforderung zu Selbsterklärungen in Einzelsitzungen realisiert wurde.

Weiterhin hat das Ziel, möglichst viele Konfundierungsprobleme auszuschalten und eine hohe interne Validität zu sichern, zu der Entscheidung geführt, nicht alle technischen Möglichkeiten des Computers bei der Darstellung von Multimedia auszuschöpfen. So liegen beispielsweise für Animationen und Simulationen noch keine einheitlichen Forschungsergebnisse vor, wie sie sich unter

welchen Bedingungen und vor allem bei welchen Lernervariablen auf den Wissenserwerb auswirken. Störeffekte bei der Untersuchung der Einflüsse der Textversion und Instruktionsform wären insofern nicht auszuschließen. Die Grenzen der Übertragbarkeit, also der externen Validität, der in dieser Untersuchung gewonnenen Ergebnisse werden in Abschnitt 7 kurz diskutiert.

Den Schülerinnen und Schülern wird während der Intervention ein für diese Untersuchung entwickeltes multimediales Lernmaterial am Computer angeboten. Der nach physikdidaktischen Kriterien aufbereitete Inhalt befasst sich mit der Beugung von Licht an einem Einfachspalt und dem in diesem Zusammenhang erklärungsmächtigen Wellenmodell des Lichtes. Die mittlere Bearbei-

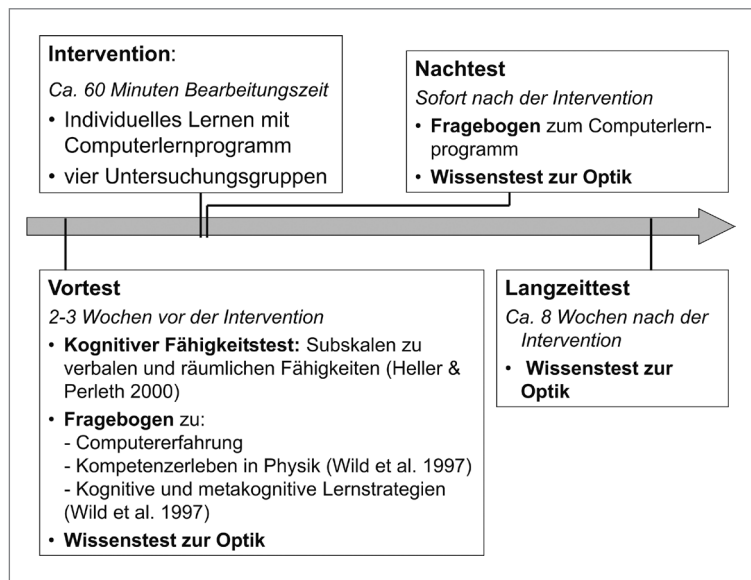


Abb. 4: Ablauf der empirischen Untersuchung

tungsdauer für Schülerinnen und Schüler beträgt ca. 60 Minuten, wobei die individuellen zeitlichen Abweichungen sehr groß sind, wie sich in der Untersuchung herausgestellt hat. Der zeitliche Ablauf der Untersuchung und die jeweils eingesetzten Testinstrumente sind in Abb.4 dargestellt.

³ Das Setting für die Selbsterklärungssitzungen wurde in einer Vorstudie mit Schülerinnen und Schülern der Klasse 8 erprobt. Trotz des Altersunterschieds der Jugendlichen erweisen sich die Erfahrungen als übertragbar.

Das wichtigste Messinstrument, der Wissenstest zum Inhaltsgebiet Optik, wurde zu allen drei Messzeitpunkten in Vortest, Nachtest und Langzeittest in identischer Form eingesetzt (Bearbeitungsdauer: ca. 40 Minuten). Der Wissenstest, der auf die Lernziele des Lernmaterials bezogen konstruiert wurde, besteht aus insgesamt 26 Items mit verschiedenen Antwortformaten (sprachliche Antworten, Rechenaufgaben, zeichnerisches Antwortformat und Multiple Choice Fragen), die außerdem den Anforderungsbereichen Behalten und Transfer zugeordnet werden können⁴. Da drei Items in der Auswertung der Hauptuntersuchung einen zu hohen Schwierigkeitsgrad aufwiesen, wurden sie aus der weiteren Analyse ausgeschlossen, so dass der Schwierigkeitsgrad p (berechnet nach Bortz & Döring, 2002) der verbleibenden Items zwischen 0.20 und 0.80 liegt. Der Test hat eine mittlere Schwierigkeit von $p=0.51$ und kann damit in dieser Zielgruppe ein breites Spektrum an Wissen erfassen.

Zur Erhebung von Kontrollvariablen wurden weiterhin die Subtests N2 und V3 des KFT (Heller & Perleth, 2000) zu verbalen und räumlichen Fähigkeiten eingesetzt. Ein Fragebogen erfasst Selbsteinschätzungen der Schülerinnen und Schüler zu ihrer Computernerfahrung, zu ihrem Kompetenzerleben in Physik (adaptiert nach Wild et al., 1997) und zu ihren kognitiven und metakognitiven Lernstrategien (Wild et al., 1997). Außerdem wurde unmittelbar nach der Intervention in einem Fragebogen eine Einschätzung des Lernmaterials erbeten.

An der Untersuchung haben Schülerinnen und Schüler der Stufe 12, die Grund- und Leistungskurse an 5 Brandenburger gymnasialen Oberstufen (darunter Schulen mit städtischem und ländlichem und gemischtem Einzugsbereich) freiwillig und unentgeltlich

teilgenommen (Alter zwischen 17 und 19 Jahren). Ihre Werte für ihre kognitiven Fähigkeiten liegen unter denen der Referenzwerte, die allerdings ausschließlich auf eine sehr kleine Stichprobe (N=35) aus Bayern (das in der PISA-Studie für Lesekompetenz und Mathematische Kompetenz die deutschen Spitzenwerte erreicht hat) zurückgehen. Die Stichprobe kann als repräsentativ für brandenburgische Schülerinnen und Schüler angesehen werden, mit einiger Vorsicht lassen sich die an ihr gewonnenen Ergebnisse auch auf die Schülerinnen und Schüler anderer Bundesländer übertragen. Für 80 Schülerinnen und Schüler, die sich annähernd gleichmäßig auf die Untersuchungsgruppen verteilen (vgl. Abb.3), liegen vollständige Daten für alle Messzeitpunkte vor. Eine Schichtung der Stichprobe nach Geschlecht war aus organisatorischen Gründen nicht möglich.

6 Ergebnisse

Zur Auswertung der Daten werden Verfahren der Inhaltsanalyse, deskriptive, nichtparametrische und varianzanalytische Verfahren zum Mittelwertvergleich sowie die Latent Class Analyse herangezogen. Die jeweiligen Anforderungen an die Daten wurden geprüft (zu varianzanalytischen Verfahren vgl. Bortz, 2005; zur Latent Class Analyse vgl. Rost, 1996)⁵.

Die vier Untersuchungsgruppen unterscheiden sich in den erhobenen kognitiven Fähigkeiten im verbalen Bereich und hinsichtlich des räumlichen Vorstellungsvermögens nicht, ebenso wie keine Unterschiede in der Selbsteinschätzung zum Kompetenzerleben und zu den Lernstrategien auftreten (Mittelwertvergleiche mittels ANOVA). Der Fragebogen zur Computernutzung zeigt, dass die Teilnehmer durchgängig mit dem Medium vertraut sind: 83.8 % halten sich im Umgang

⁴ Eine erste Version des Wissenstests wurde von 49 Schülerinnen und Schülern der Stufe 12 eines schleswig-holsteiner Gymnasiums bearbeitet und dann hinsichtlich Umfang, Schwierigkeit und Verständlichkeit überarbeitet.

⁵ Als Signifikanzschwelle wird ein $\alpha=5\%$ gewählt. Im Folgenden werden die Signifikanzniveaus wie folgt gekennzeichnet: $p\leq.05^*$; $p\leq.01^{**}$; $p\leq.001^{***}$. Mit im Mittel 20 Teilnehmern pro Untersuchungsgruppe im vorliegenden Design können bei dem gewählten Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ Effekte mit einer mittleren bis großen Effektstärke statistisch abgesichert werden (zur Planung der Stichprobenumfänge vgl. Bortz & Döring, 2002).

mit dem Computer für „einigermaßen fit“ bis „topfit“. Das Lernmaterial wird im Mittel als sehr angemessen hinsichtlich der Menge an Informationen (differenziert nach Texten und Bildern) eingeschätzt. Besonders positiv bewerten die Schülerinnen und Schüler die sprachliche Gestaltung. Auf die Frage, ob sie sich inhaltlich unter- oder überfordert gefühlt haben, antworten die Teilnehmer im Mittel neutral. Durch einen split-half anhand der Nachtestergebnisse des Wissenstests kann aber beobachtet werden, dass diese Einschätzung mit den Leistungen der Schülerinnen und Schüler im Nachtest zusammenhängt (split-half am Summenscore des Nachtests, U-Test nach Mann-Whitney: $p=.002^{**}$). Daraus kann man schließen, dass der eigene Lernerfolg die jeweilige Wahrnehmung des Lernmaterials färbt.

Es treten bei den Kontrollvariablen einzelne Unterschiede zwischen den weiblichen und männlichen Untersuchungsteilnehmern auf. So ist die Tendenz zu erkennen, dass die Mädchen im Mittel ein niedrigeres Kompetenzerleben in Physik angeben (T-Test: $p=.056$) und auch ihre Computererfahrung niedriger einschätzen (U-Test nach Mann-Whitney: $p=.003^{**}$). Hinzu kommt, dass Mädchen es signifikant positiver einschätzen, wenn sie im Lernmaterial persönlich („du“, „wir“) angesprochen werden (U-Test nach Mann-Whitney: $p=.001^{***}$). Damit ist ein Hinweis darauf

gewonnen, dass es für die Einstellung von Mädchen zum Lernmaterial günstiger ist, sie rhetorisch in den Inhalt einzubeziehen.

6.1 Wissenserwerb der gesamten Stichprobe

Um den Wissenstest auswerten zu können, mussten zunächst die Antworten zu Items mit offenem Antwortformat in einer qualitativen Inhaltsanalyse in Anlehnung an Mayring (2003) gesammelt, kategorisiert und auf Inter-coder-Reliabilität geprüft werden. Im Anschluss wurden für die Items Punktzahlen festgelegt, so dass der Summenscore für den gesamten Test (maximal 45 Punkte) und Scores für die Skalen zum Behalten und Transfer berechnet und analysiert werden konnten. Die Cronbach's Alpha Werte für die Skalen liegen dabei im gerade noch annehmbaren Bereich (Behalten: 11 Items, Cronbach's α : .65; Transfer: 10 Items, Cronbach's α : .64). Für alle drei Testzeitpunkte ist der Summenscore normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Vortest $p=.541$, Nachtest, $p=.961$, Langzeittest $p=.429$). Die Summenscores für die gesamte Stichprobe sind in Abb.5 dargestellt.

Die Summenscores der einzelnen Untersuchungsgruppen unterscheiden sich im Vortest nicht (ANOVA: $p=.299$), so dass von gleichem Vorwissen ausgegangen werden kann.

Im T-Test-Vergleich zeigt sich, dass sich die Summenscores für Vortest vs. Nachtest und

Vortest vs. Langzeittest jeweils signifikant unterscheiden ($p<.001^{***}$), wobei die Effektstärke in einem sehr hohen Bereich liegt ($d=1.85$ SD bzw. $d=1.01$ SD). Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Lernmaterial den Schülerinnen und Schülern in hohem Maße ein Verstehen im Sinne kurzfristigen Wissenserwerbs und auch Lernen als nachhaltige Veränderung des Wissens ermöglicht hat.

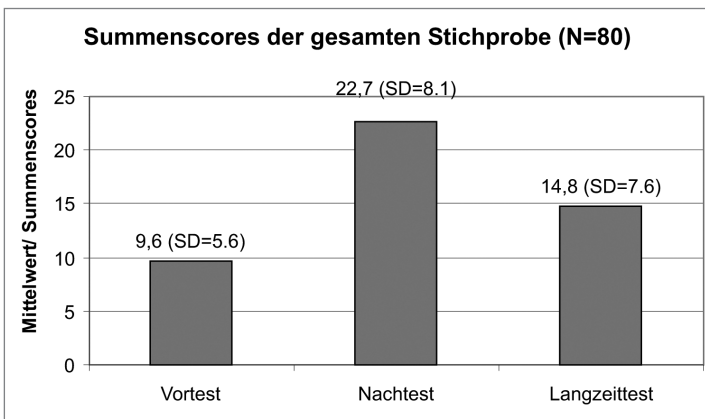


Abb. 5: Summenscore der gesamten Stichprobe in Vor-, Nach- und Langzeittest

6.2 Einflüsse von Textversion und Instruktion auf den Wissenserwerb

Um die Auswirkungen der Variablen Textversion und Instruktionsform auf den Wissenserwerb zu prüfen, werden die Daten im Allgemeinen Linearen Modell (ALM) mit Messwiederholungen geprüft. Die Voraussetzungen – Normalverteilung der abhängigen Variablen in der Grundgesamtheit, Normalverteilung der Fehlerkomponenten und Homogenität der Fehlervarianzen – sind erfüllt⁶. Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme wird der F-Wert ggf. mit einem Korrekturfaktor (nach Huynh-Feldt) berechnet, um progressive Entscheidungen zu vermeiden. Als Maß der Effektstärke wird im Folgenden das Partielle Eta-Quadrat (η^2) angegeben, das Auskunft über den Anteil der aufgeklärten Varianz durch die betreffende Variable gibt⁷.

Der Test der Zwischensubjekteffekte zeigt keinen signifikanten Haupteffekt für die Textversion, $F(1,76)=.6$, $p=.445$. Hingegen weisen die Ergebnisse für die Instruktionsform $F(1,76)=7.3$, $p=.009^{**}$ auf einen signifikanten Einfluss dieser Variable hin, Ob die Lernenden mit oder ohne Selbsterklärungen gelernt haben, beeinflusst demnach den Summenscore im Wissenstest. Die Effektstärke liegt im mittleren bis hohen Bereich ($\eta^2=.087$; das entspricht 8.7% Varianzaufklärung durch die Instruktionsform). Gleich-

zeitig tritt eine signifikante Wechselwirkung der Instruktionsform mit dem Faktor Zeit auf ($p=.014^*$), woraus man schließen kann, dass sich die Instruktionsform zu den Testzeitpunkten unterschiedlich auswirkt. Der direkte Vergleich der Untersuchungsgruppen für die Testzeitpunkte ergibt, dass sich die

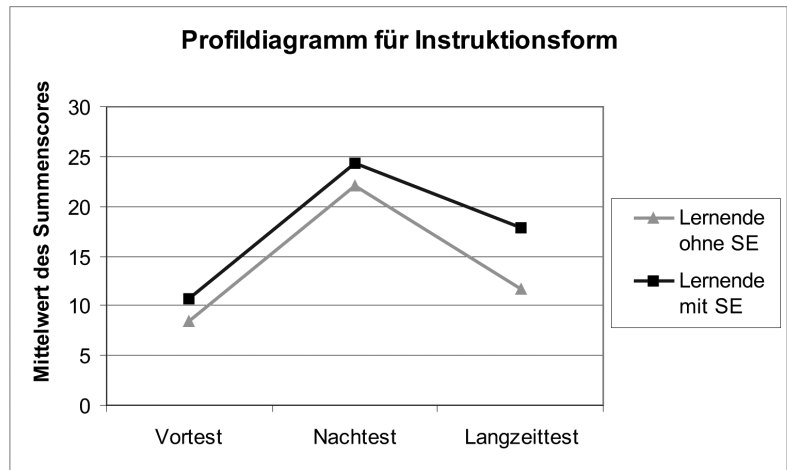


Abb. 6: Summenscores differenziert nach Instruktionsform: Lernende ohne Aufforderung zu Selbsterklärungen (ohne SE) und Lernende mit Aufforderung zu Selbsterklärungen (mit SE)

Gruppen lediglich im Langzeittest signifikant unterscheiden (ANOVA: Vortest: $F(3,76)=1.2$, $p=.299$; Nachtest: $F(3,76)=1.1$, $p=.357$; Langzeittest: $F(3,76)=5.3$, $p=.002^{**}$). Dass dieser Unterschied auf die Instruktionsform zurückzuführen ist, ergibt ein weiterer T-Test für den Langzeittest, der einen signifikanten Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen, die ohne bzw. mit Selbsterklärungen gearbeitet haben, anzeigt ($p<.001^{***}$). Wie im entsprechenden Profildiagramm (Abb.6) zu erkennen ist, fällt dieser Unterschied zugunsten der Aufforderung zu Selbsterklärungen aus, die demnach das Lernen als nachhaltigen Wissenserwerb unterstützt.

⁶ Geprüft mit Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. Levene-Test. Der Mauchly-Test wurde zur Überprüfung der Sphärizität herangezogen.

⁷ Bei einer Varianzaufklärung von 1% spricht man von einem schwachen, ab 6% von einem mittleren und ab 14% von einem starken Effekt, was im Effektgrößenmaß ϵ den Werten 0.10, 0.25 und 0.40 entspricht (Bortz, 2005, 259).

Ein ähnliches Bild für die Einflüsse der unabhängigen Variablen ergibt sich, wenn man Behaltens- und Transferscores auswertet. Allerdings findet man erste Hinweise, dass es einen Einfluss der Textversion auf die Transferleistungen geben könnte, da ein direkter Nachtstvergleich der Gruppen mit verschiedenen Textversionen in einem T-Test signifikant wird ($p=.035^*$). Überraschend ist allerdings, dass sich entgegen den Erwartungen die inkohärente Textversion als förderlicher erweist (Mittelwerte im Nachtst: inkohärent: 9.2 Punkte, kohärent: 7.2 Punkte).

Mit einer Kovarianzanalyse (wieder im ALM mit Messwiederholungen) wurde dem modifizierenden Einfluss von Kontrollvariablen nachgegangen. Die Kontrollvariablen räumliches Vorstellungsvermögen (Subskala N2 des KFT von Heller & Perleth, 2000) und Kompetenzerleben (nach Wild et al., 1997) korrelieren signifikant mit dem Summenscore des Wissenstests zu mindestens zwei Testzeitpunkten und werden deshalb in die Analyse einbezogen, in der für beide signifikante Haupteffekte auftreten. Unterteilt man die Lernenden an den jeweiligen Mittelwerten in zwei (nahezu gleich große) Gruppen und führt dann T-Test-Vergleiche für die Testzeitpunkte durch, wird deutlich, dass sich das räumliche Vorstellungsvermögen auf die Nachtsterggebnisse auswirkt ($p=.045^*$), während das Kompetenzerleben in Physik die Vor- und Langzeittestergebnisse ($p=.002^{**}$ bzw. $p=.001^{***}$) beeinflusst. Schülerinnen und Schüler mit überdurchschnittlichen Ausprägungen der Variablen erreichen demnach an diesen Testzeitpunkten im Mittel einen signifikant höheren Summenscore⁸.

Für die Instruktionsform steigt bei Berücksichtigung der Kovariaten der Anteil der aufklärten Varianz bei Betrachtung des Summenscores auf 14.4%, also in den Bereich großer Effekte. Für Behalten und Transfer treten keine Veränderungen auf.

Die bereits erwähnte Tendenz für einen Unterschied der Textversionen im Nachtst verstärkt sich in der Kovarianzanalyse zu einem Haupteffekt. Schülerinnen und Schüler, die mit der inkohärenten Version des Lernmaterials gearbeitet haben, sind demnach besser in der Lage im Nachtst Transferleistungen zu erbringen.

6.3 Explorative Auswertung zu Selbsterklärungen

Da sich in den bisherigen Auswertungen die Instruktionsform als Einflussfaktor für den Wissenserwerb herausgestellt hat, wurden die Aufnahmen der Selbsterklärungssitzungen explorativ ausgewertet. Die Schüleräußerungen wurden den Kategorien Selbsterklärungen (SE), Monitoring (MO), Evaluation des Lernmaterials (EV) und Paraphrasierungen (PA) zugeordnet (Kodierungseinheit: maximal ein Satz). Es zeigt sich, dass die Lernenden im Mittel zu jeder Seite des Lernmaterials 2.5 Selbsterklärungsäußerungen hervorbringen, womit die Selbsterklärungen auch die am häufigsten beobachtete Kategorie sind. Mit deutlichem Abstand folgen Selbstbeobachtungen (Mittelwert 0.8 Äußerungen/ Seite), Paraphrasierungen (0.7 Äußerungen/ Seite) und Evaluationen des Lernmaterials (0.2 Äußerungen/ Seite). Daraus kann man schließen, dass die Aufforderung zu Selbsterklärungen im Mittel bei den Schülerinnen und Schülern zu den gewünschten Sprechaktivitäten geführt hat.

Eine Latent Class Analyse (LCA durchgeführt mit WINMIRA von Davier, 2001) zeigt, dass die Lernenden, die die Aufforderung zu Selbsterklärungen erhalten haben, mit größter Wahrscheinlichkeit drei Profilen von Sprechäußerungen zugewiesen werden können, die in Abb.7 dargestellt sind⁹.

Sie können als schwache Selbsterklärer (48% der Stichprobe), die in allen Kategorien vergleichsweise niedrige Werte aufweisen, als

⁸ Da Mädchen ein vergleichsweise niedrigeres Kompetenzerleben angeben (vgl. Abschnitt 6), macht sich dieser Zusammenhang bei ihnen wahrscheinlich besonders bemerkbar. Dies kann aber aufgrund der kleinen Zahl von weiblichen Untersuchungsteilnehmern nicht mit den vorliegenden Daten geprüft werden, sondern würde eine gezielt geplante Untersuchung erfordern.

intensive Selbsterklärer (16% der Stichprobe), die in allen Kategorien eher hohe Werte erreichen und als Beobachter (36% der Stichprobe) bezeichnet werden, die vor allem evaluieren und den eigenen Lernprozess beobachten.

Es liegt nahe zu prüfen, ob sich die Intensität des Selbsterklärens auf den Wissenserwerb auswirkt.

Dabei verdeutlichen die Gruppen aus der LCA einerseits, dass nachvollziehbare Unterschiede in der Selbsterklärungsintensität auftreten, die mit der Häufigkeit anderer Sprechäußerungen zusammenhängen. Diese Gruppen sind aber andererseits wegen ihrer ungleichen Größe nicht zur weiteren Auswertung geeignet. Deshalb wird ein split-half am Median der Zahl der Selbsterklärungen vorgenommen. Ein Vergleich

der Mittelwerte im Wissenstest der so entstehenden Gruppen von Lernenden, die „keine“, „wenige“ und „viele Selbsterklärungen“ hervorgebracht haben, zeigt Folgendes (vgl. auch Abb.8):

Im Nachttest unterscheidet sich die Gruppe „viele Selbsterklärungen“ signifikant von den Lernenden „ohne Selbsterklärungen“ (Post-Hoc-Test nach Scheffé $p=.043^*$) und nahezu signifikant von den Lernenden mit „wenigen Selbsterklärungen“ (Post-Hoc-Test nach Scheffé $p=.053$). Im Langzeittest heben sich die beiden Gruppen mit wenigen und vielen

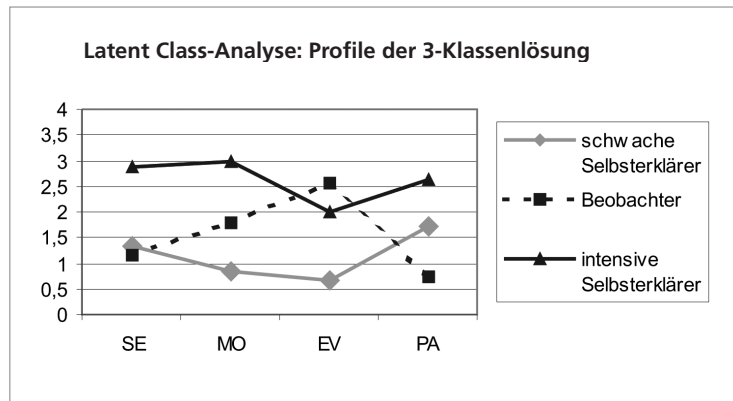


Abb. 7: 3-Klassenlösung der LCA

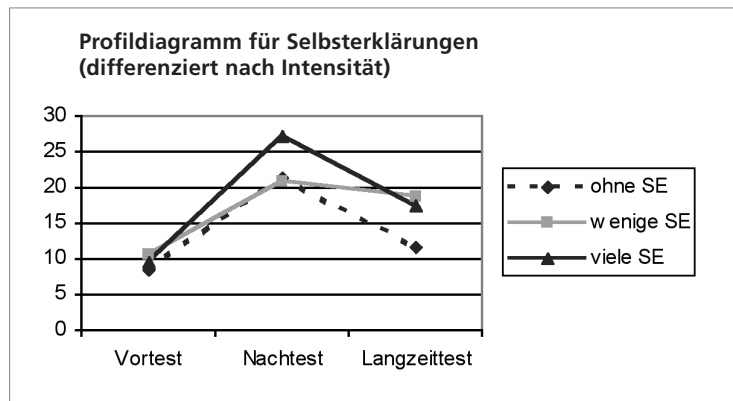


Abb. 8: Summenscore differenziert nach Selbsterklärungsintensität

Selbsterklärungen signifikant von den Lernenden ohne Selbsterklärungen ab ($p=.003^{**}$ bzw. $p=.018^*$).

Diese Ergebnisse legen nahe, dass sich das reine Vorhandensein von Selbsterklärungen nach einer entsprechenden Aufforderung auf das Lernen im langfristigen Sinn auswirkt. Hingegen könnte sich die Intensität des Selbsterklärens vor allem kurzfristig im Verstehen bemerkbar machen, wobei dieser These aufgrund ihres bisher rein explorativen Charakters in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden sollte.

⁹Die Prüfgrößen werden für die Drei-Klassenlösung der LCA erstmals beide nicht signifikant: $p_{\text{CressieRead}}=.050$, $p_{\text{Pearson}\chi^2}=.100$. Für die LCA wurden die Kategorien zu einer vierstufigen Ordinalskala umkodiert, die Angaben in Abb.7 entsprechen damit nicht den Mittelwerten der Äußerungen/Seite; Anzahl der ausgewerteten Selbsterklärungssitzungen $n=38$.

7 Zusammenfassung und Diskussion

Die Ergebnisse des Wissenstests zeigen, dass Verstehen und Lernen (im Sinne der hier verwendeten Definition) beim Umgang mit dem computerbasierten Lernmaterial stattgefunden haben. Dies belegt, dass der Inhalt des Lernmaterials „Beugung von Licht am Spalt“ didaktisch und multimedial lernwirksam aufbereitet wurde. Dafür sprechen auch die großen Effektstärken für den Wissenszuwachs, die trotz der Kürze der Intervention auch mehrere Wochen später noch festzustellen sind.

7.1 Kohärenzbildungshilfen

Die Untersuchungsergebnisse zu der Textgestaltung weisen darauf hin, dass sich die theoretisch als förderlich eingeschätzten Kohärenzbildungshilfen lokale Textkohärenz und Text-Bild-Verweise nicht allgemein auf den Wissenserwerb auswirken. An den Stellen, an denen doch Einflüsse auf das Verstehen zu vermuten sind, weisen die Effekte sogar in die entgegengesetzte Richtung, nämlich darauf, dass die inkohärente Textversion günstiger ist. Wie können diese Ergebnisse interpretiert werden und zu welchen neuen Hypothesen führen sie?

Den folgenden Überlegungen liegt die Annahme der Textverstehensforschung zugrunde, dass es Aufgabe des Autors ist, die „Balance zwischen der notwendigen Anleitung des Lesers durch den Text einerseits und der kognitiven Selbständigkeit des Lesers andererseits zu finden.“ (Schnotz, 1994, 258). Im Zusammenhang mit Multimedia treten die möglicherweise erweiterten Anforderungen des Lernmaterials durch die Bilder und die dynamische bzw. vernetzte Anordnung hinzu. Es handelt sich demnach um die Suche eines Passungsverhältnisses zwischen Lernmerkmalen, Lernumgebung und in diesem Fall den Kohärenzbildungshilfen.

Für ältere Schülerinnen und Schüler, die im Vergleich zu jüngeren mit entsprechenden Lehrtexten vertrauter sind (Yore et al., 2003), könnte eine optimierte Textgestaltung zu einer Art „Verstehensillusion“ führen, die eine geringere kognitive Anstrengung und damit

eine Verminderung des Verstehens nach sich zieht (McNamara et al., 1996). Zu einem solchen Effekt könnte beigetragen haben, dass beide Textversionen in der Untersuchung in hohem Maße anderen Verständlichkeitskriterien genügen (vgl. Rabe, 2007).

Hypothese: Die Auswirkung der Textmerkmale ist altersabhängig bzw. abhängig vom Erfahrungsschatz der Lernenden im Umgang mit Physiktexten.

Für ein erfolgreiches Lernen mit Texten sind u.a. Fähigkeiten im Bereich der Worterkennung, des lexikalischen und semantischen Wissens bedeutsam (Kintsch, 1998). Daraus lässt sich die Frage ableiten, ob sich eine kohärente Textgestaltung bei Lernenden mit geringer Lesekompetenz oder bei Schülerinnen und Schülern nichtdeutscher Herkunftssprache positiv auswirkt, weil für sie die Überbrückung von Kohärenzlücken besonders schwierig ist. Zu beiden Gruppen liegen unseres Erachtens keine Forschungsergebnisse bzgl. der folgenden Hypothese vor:

Hypothese: Hohe lokale Textkohärenz und Text-Bild-Verweise wirken sich bei Lernenden mit geringer Lesekompetenz positiv auf den Wissenserwerb aus.

Eine vernetzte Anordnung – im Vergleich zu dem linearen Aufbau in der vorliegenden Untersuchung – von Lerninhalten stellt erhöhte Anforderungen an die Lernenden allgemein (Tergan, 1997) und im Hinblick auf die Kohärenzbildung, weil zusammengehörige Informationen unter Umständen nicht benachbart dargeboten werden.

Hypothese: Die Kohärenzbildungshilfen lokale Textkohärenz und Text-Bild-Referenzen wirken sich abhängig vom Grad der Vernetzung der Inhalte auf den Wissenserwerb aus.

Insgesamt kann man schließen, dass der Sprach- und Textgestaltung bei Physiktexten durchaus weitere Aufmerksamkeit gebührt, da diese an die jeweiligen Lernenden und ihre Voraussetzungen angepasst sein sollte.

7.2 Selbsterklärungen

Die Instruktion in Form einer Aufforderung zu Selbsterklärungen hingegen erfüllt die Erwartung durch eine Aktivierung der Ler-

nenden den Wissenserwerb zu fördern. Für schulischen Physikunterricht ist bedeutsam, dass sich die Aufforderung vor allem im Lernen, also im nachhaltigen Wissenserwerb äußert, der für Schülerinnen und Schüler erstrebenswert ist.

Aus den explorativen Detailanalysen kann hypothetisch angenommen werden, dass sich Lernende darin unterscheiden, in welcher Weise sie die Aufforderung zu Selbsterklärungen befolgen. Die vorliegende Untersuchung stimmt insofern mit anderen Studien überein, die Unterschiede in der Qualität von Selbsterklärungen berichten, aber ebenfalls nicht abgesicherte Einflüsse von Selbsterklärungsstilen auf den Wissenserwerb formulieren können (Cote & Goldman, 1999). Dieser offenen Frage sollte aber in weiteren Studien gezielt nachgegangen werden.

Die Intensität des Selbsterklärens wirkt sich – so deuten die Daten an – auf den kurzfristigen Wissenserwerb aus, eine Beobachtung, die mit den ersten Beobachtungen zu Selbsterklärungen und dem Einfluss ihrer Quantität auf den Wissenserwerb übereinstimmt (Chi et al., 1989).

Da sich der Einfluss der Instruktionsform in den Daten durchgängig zeigt, kann angenommen werden, dass es nicht primär die externen Kohärenzbildungshilfen, sondern vielmehr die zielorientierte kognitive Aktivität der Lernenden ist, die das Lernen unterstützt (Tergan, 1997). Die Aufforderung zu Selbsterklärungen induziert demnach bei einem großen Teil der Lernenden eine solche kognitive Aktivität und unterstützt damit den Wissenserwerb.

Dass die Aufforderung zu Selbsterklärungen somit als eine geeignete Instruktionsform beim Lernen mit Multimedia betrachtet werden kann, sollte dennoch in komplexeren Lernumgebungen empirisch bestätigt (bzw. ggf. falsifiziert) werden, da möglicherweise der Bildanteil des Lernmaterials die Selbsterklärungsintensität modifiziert (Ainsworth & Loizou, 2003).

7.3 Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse wurden anhand von Lernsettings mit sehr schlicht gestaltetem multimedialen Lernmaterial gewonnen und widerlegen im Fall der Textgestaltung bzw. bestätigen für die Aufforderung zu Selbsterklärungen die Hypothesen zu den Einflüssen auf den Wissenserwerb. Zu fragen ist aber, ob sich die gleichen vorhandenen bzw. nicht vorhandenen Einflüsse zeigen, wenn Animationen oder Simulationen, vernetzte Strukturen oder mehrsequentielle Lerneinheiten eingesetzt werden. Notwendig zur Erhöhung der externen Validität ist außerdem – von der vorliegenden laborartigen Studie ausgehend – weitere Untersuchungen in schulnahen Settings durchzuführen, in denen die Zahl von potenziellen Einflussfaktoren sukzessive wächst.

Auch wenn die Aufforderung zu Selbsterklärungen in der Form, wie sie in dieser Studie realisiert wurde, für den schulischen Physikunterricht nicht direkt umsetzbar erscheint (wobei die Empfehlung zum Selbsterklären durchaus an Schülerinnen und Schüler gegeben werden sollte), kann doch angesichts der Ergebnisse empfohlen werden, Schülerinnen und Schülern in größerem Umfang als bisher Gelegenheit zu geben, über physikalische Inhalte zu sprechen. Entscheidend ist dabei, dass das Sprechen auf ein Verstehen gerichtet ist und nicht nur darauf, abgeschlossene Erkenntnisprozesse zu präsentieren.

Das individuelle Selbsterklären kann zu einer Aufgabenstellung verändert werden, in der die Lernenden sich gegenseitig physikalische Probleme erklären. Ob sich ein solches wechselseitiges Erklären ebenso positiv auswirkt, wäre (empirisch) zu prüfen. Die Variation von Sprechansätzen wie auch das Einbeziehen von Schreibaktivitäten wären in diesem Zusammenhang denkbar.

Literatur

- Ainsworth, S. & Loizou, A. T. H. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27, 669-681.
- Blömeke, S. (2003). Lehren und Lernen mit neuen Medien. Forschungsstand und Forschungsperspektiven. *Unterrichtswissenschaft*, 31(1), 57-82.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Brünken, R. & Leutner, D. (2001). Aufmerksamkeitsverteilung oder Aufmerksamkeitsfokussierung? Empirische Ergebnisse zur Split-Attention-Hypothese beim Lernen mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 357-366.
- Brünken, R., Plass, J. L. & Leutner, D. (2003). How instruction guides attention in multimedia learning. In H. Niegemann, R. Brünken & D. Leutner (Eds.), *Instructional design for multimedia learning* (pp. 113-125). Münster: Waxmann.
- Brünken, R., Seufert, T. & Zander, S. (2005). Förderung der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19(1/2), 61-75.
- Buhlmann, R. & Fearn, A. (2000). Fachsprachliche Grundlagen. In R. Buhlmann & A. Fearn (Eds.), *Handbuch des Fachsprachenunterrichts: unter besonderer Berücksichtigung naturwissenschaftlich-technischer Fachsprachen* (pp.11-80). Tübingen: Narr.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M. T. H., deLeeuw, N., Chiu, M.-H. & Lavan-cher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Cote, N. & Goldman, S. R. (1999). Building Representations of Informational Text: Evidence from Think-Aloud Protocols. In H. v. Oostendorp & S. R. Goldman (Eds.), *The construction of Mental Representations During Reading* (pp.169-193). London: Lawrence Erlbaum.
- Cote, N., Goldman, S. R. & Saul, E. U. (1998). Students making sense of informational text: Relations between processing and representation. *Discourse Processes*, 25(1), 1-53.
- deLeeuw, N. & Chi, M. T. H. (2003). Self-explanation: Enriching a situation model or repairing a domain model? In G. Sinatra & P. Pintrich (Eds.), *Intentional Conceptual Change* (pp.55-78). Erlbaum.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp.263-282). Amsterdam u.a.: Elsevier.
- Duit, R. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). KFT 4-12+R. *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen. Revision*. Göttingen: Beltz.
- Kintsch, W. (1989). Learning from text. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning and instruction. Essays in honor of Robert Glaser* (pp.25-46). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kintsch, W. (1998). Comprehension. A paradigm for cognition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kultusministerkonferenz. (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004*. München: Neuwied.
- Labudde, P., Gerber, B. & Knierim, B. (2006). *Schlussbericht zum Projekt „Lehr-Lern-Kultur im Physikunterricht: eine Videostudie“*. PH Bern: Institut Sekundarstufe II.
- Leisen, J. (2006). Physiktexte lesen und verstehen. *Unterricht Physik*, 17(95).
- Lemke, J. L. (1990). *Talking Science: Language, Learning, and Values*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Lind, G., Friege, G. & Sandmann, A. (2005). Selbsterklären und Vorwissen. *Empirische Pädagogik*, 19(1), 1-27.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: University Press.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.
- Mayring, P. (2003). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- McNamara, D. S. (2004). SERT: Self-explanation Reading Training. *Discourse Processes*, 38(1), 1-30.

- McNamara, D. S., Kintsch, E., Butler Songer, N. & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction*, 14(1), 1-43.
- Merzyn, G. (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht. Beiträge auf der Grundlage einer Befragung westdeutscher Physiklehrer*. Kiel: IPN.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext - Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Rabe, T. (2007). *Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia*. Berlin: Logos.
- Rabe, T., Staraschek, E. & Mikelskis, H. F. (2004). Textkohärenz und Selbsterklärung beim Lernen mit Texten im Physikunterricht. Ergebnisse einer Vorstudie zur lokalen Textkohärenz. In *CD-Rom zur DPG-Tagung Didaktik der Physik in Düsseldorf*.
- Reimann, P. & Neubert, C. (2000). The role of self-explanation in learning to use a spreadsheet through examples. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, 316-325.
- Rickheit, G. & Schade, U. (2000). Kohärenz und Kohäsion. In K. Brinker, G. Antos & u.a. (Eds.), *Text und Gesprächslinguistik. Ein internationales Handbuch zeitgenössischer Forschung* (Vol 2). Berlin, New York: de Gruyter.
- Rost, J. (1996). *Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion*. Bern: Hans Huber.
- Schade, U., Langer, H., Rutz, H. & Sichelschmid, L. (1991). Kohärenz als Prozeß. In G. Rickheit (Ed.), *Kohärenzprozesse. Modellierung von Sprachverarbeitung in Texten und Diskursen* (pp.7-58). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz/PVU.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292-318.
- Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Lehrke, M., Müller, C. & Rimmel, R. (2002). Jetzt bitte alle nach vorne schauen! Lehr-Lernskripts im Physikunterricht und damit verbundene Bedingungen für individuelle Lernprozesse. *Unterrichtswissenschaft*, 30(1), 52-77.
- Slancik, K., Staraschek, E., Mikelskis, H.F. (2005). Bedingungen für die Gestaltung von Animationen beim Physiklernen. In: A. Pitton (Ed.), *Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Vorträge der GD-CP-Tagung in Heidelberg 2004* (pp.390-392). Münster: Lit-Verlag.
- Staraschek, E. (2006). Der Einfluss von Textkohäsion und gegenständlichen externen piktoralen Repräsentationen auf die Verständlichkeit von Texten zum Physiklernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 127-157.
- Tergan, S.-O. (1997). Conceptual and methodological shortcomings in hypertext/ hypermedia design and research. *Journal of Educational Computing Research*, 16(3), 209-235.
- Urhahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186.
- Urhahne, D. & Schanze, S. (2003). Wie lässt sich das Lernen mit Hypertext effektiver gestalten? Empirischer Vergleich einer linearen und einer netzwerkartigen hypermedialen Lernumgebung. *Unterrichtswissenschaft*, 31(4), 359-377.
- von Davier, M. (2001). WINMIRA. Assessment Systems.
- Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: State of the art and future directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp.3-13). Amsterdam u.a.: Elsevier.
- Wagenschein, M. (1971). Naturwissenschaftliche Bildung und Sprachverlust. *Neue Sammlung*, 11(6), 497-507.
- Wagenschein, M. (1988). Die Sprache im Physikunterricht (1968). In C. Berg (Ed.), *Naturphänomene sehen und verstehen. Genetische Lebregänge* (pp.133-148). Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Wellington, J. & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Wild, K. A., Schreyer, I., Lewalter, D. & Krapp, A. (1997). *Dokumentation und Analyse der Erhebungsverfahren in der Intensivstudie Berufsschulunterricht. Berichte aus dem DFG-Projekt „Bedingungen und Auswirkungen berufsspezifischer Lernmotivation“*. Forschungsbericht Nr.3, Ludwig-Maximilian-Universität München.
- Yore, L. D., Bisanz, G. L. & Hand, B. M. (2003). Examining the literacy component of science literacy: 25 years of language arts and science research. *International Journal of Science Education*, 25(6), 689-725.

Kontakt

Dr. Thorid Rabe
Prof. Dr. Helmut F. Mikelskis
Universität Potsdam
Didaktik der Physik
Am Neuen Palais 10
D-14469 Potsdam
rabeth@uni-potsdam.de
mikelskis@uni-potsdam.de

Autoreninformation

Thorid Rabe hat zum Thema Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen an der Universität Potsdam promoviert, wo sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin gearbeitet hat. Seit Juni 2007 absolviert sie den Vorbereitungsdienst für das Lehramt an Gymnasien mit den Fächern Deutsch und Physik im Land Brandenburg.

Helmut F. Mikelskis lehrt Didaktik der Physik an der Universität Potsdam und befasst sich mit der Untersuchung von Lernprozessen. Er ist Herausgeber und Autor der „Physik plus“ Schulbuchreihe. Sein Interesse gilt phänomenologischen und ästhetischen Zugängen zu Naturverstehen und der Rolle des Computers beim Physiklernen.