

ERICH STARAUSCHEK

## Der Einfluss von Textkohäsion und gegenständlichen externen piktoralen Repräsentationen auf die Verständlichkeit von Texten zum Physiklernen

### Zusammenfassung

Die physikdidaktische Schulbuchforschung hat mit Hilfe der Lesbarkeitsforschung und der Textverständlichkeitsforschung eine Reihe von Textmerkmalen gefunden, die das Physiklernen mit Lehrbuchtexten in der Schule erschweren. Die bislang in der Physikdidaktik rezipierten Ansätze des Textverstehens sind jedoch nur teilweise theoretisch basiert. Kognitionspsychologische Ansätze schließen über Einbeziehung der Textkohärenz einige theoretische Lücken und integrieren in ihre Modelle zusätzlich externe pikturale Repräsentationen. Für einen wichtigen linguistischen Spezialfall lassen sich heuristisch erste Indices für die Textoberflächenmerkmale lokale und globale substantivische Textkohäsion von Sachtexten definieren. Es zeigt sich, dass Schulbuchtexte, die von Lernenden der Sekundarstufe I des Gymnasiums als verständlich eingeschätzt wurden, im Mittel einen höheren Grad an lokaler und globaler Textkohäsion aufweisen als vergleichbare weniger verständlich eingeschätzte Schulbuchtexte. Damit wird das Spektrum der Textmerkmale für verständliche Texte zum Physiklernen erweitert. Anhand der bekannten Textverständlichkeitskriterien sowie der Textkohäsion wurde ein Text zur optischen Abbildung mit der Lochkamera entwickelt und mit vielen gegenständlichen Bildern illustriert, um folgende Fragen zu untersuchen:

1. Schätzen Lernende die mit Hilfe der Textverständlichkeitskriterien gestalteten Texte als verständlich ein? Wie beurteilen sie die Rolle der Bilder für das Textverstehen?
2. Zeigen zwei Versionen eines Textes, die sich nur im Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion unterscheiden, unterschiedliche Schülereinschätzungen?

Die Größe des Anteils der Schülerantworten, die den Text als verständlich kennzeichnen, ist mit dem Anteil aus einer vorhergehenden Untersuchung vergleichbar, die Texte zur Physik mit hoher Textverständlichkeit identifiziert hat. Darüber hinaus geben die Schülerinnen und Schüler an, dass die gegenständlichen Bilder das Textverstehen unterstützen. Entgegen der Erwartung zeigt die Selbstauskunft der Lernenden jedoch keine Unterschiede in der Einschätzung der Verständlichkeit der Texte mit einer unterschiedlich großen Ausprägung der lokalen substantivischen Textkohäsion.

### Abstract

Science education research about textbooks revealed a set of text characteristics making physics learning difficult for students. The approaches of textual understanding used in science education so far are however only partly theoretically based. Cognition-psychological models bridge some theoretical gaps with the inclusion of textual coherence integrating into their models additionally external pictorial representations. For an important linguistic special case heuristically first indices for the text surface characteristics of expository texts can be defined: local and global substantival textual cohesion. High school textbooks that are assessed by students as understandable exhibit a higher average degree of local and global substantival textual cohesion as comparable less understandable textbooks. Thus the spectrum of the text parameters for understandable textbooks is extended. On the basis of the well-known textual understandability criteria as well as the textual cohesion a text 'pinhole-camera' with many pictures was developed to examine the following questions:

1. Do learners assess the texts arranged with the help of textual understandability criteria as understandable? How do they judge the role of the pictures for textual understanding?
2. Do two versions of the text that differ only in the degree of the local substantival textual cohesion induce different students' assessments concerning understandability?

The amount of student answers that indicate the text as understandable is comparable with the amount of student answers from a preceding investigation that identified texts with high textual understandability. Beyond that students indicate that the pictures support textual understanding. Contrary to the expectation student answers show no differences in the assessment of the textual understandability of the two versions with different degree of local substantival textual cohesion.

## 1 Einleitung

(a) Lernende werden oft zu früh und ohne Übergang aus der Alltagssprache mit einer theoriegeladenen Fachsprache konfrontiert, deren Bedeutungen sich erst bei vollzogenem Wissenserwerb erschließen (s. 3.2). Dass der Wissenserwerb auf sprachlicher Ebene mit Sprachfindung und Spracharbeit einhergeht – sozialkonstruktivistische Ansätze sprechen vom kommunikativen Aushandeln oder vom Verstehen des Verstehens –, wird im Physik- und im verwandten Chemieunterricht, so der Ausgangspunkt der Argumentation, oftmals vernachlässigt. Für diese Behauptung spricht die Beobachtung, dass Lernende im Physik- oder Chemieunterricht nur wenig sprechen (Lemke 1990, Duit 2006, 4). Zweitens hinterlassen sowohl Erklärungen im Unterricht als auch Lehrbuchtexte bei Schülerinnen und Schülern oft den Eindruck der Unverständlichkeit (Lemke 1990, Merzyn 1994). Neben den inhaltlichen Schwierigkeiten, die noch genauer zu definieren wären, gilt insbesondere beim Physiklernen die sprachliche Gestaltung von Fachtexten<sup>1</sup> als Hindernis beim Wissenserwerb. Daher ist die Suche nach Kriterienbündeln, mit denen verlässlich verständliche Texte hergestellt werden können, sowie die Überprüfung deren Wirksamkeit ein wünschenswertes Ziel.

Im Vergleich zur Textverstehensforschung ist die ‚Bildverstehensforschung‘ in der Physikdidaktik weniger weit fortgeschritten. Fragen nach der Gestaltung von Bildern für den Wissenserwerb beim Physiklernen oder naturwissenschaftlichem Lernen gehören zu den aktuellen Forschungsfragen, da an der Annahme, dass Bilder ein per se leicht verständliches Medium sind (Mayer 2001), das keiner weiteren instruktionalen Überlegungen bedarf, berechnete Zweifel aufkommen (z.B. Lewalter 1997, Sumfleth & Telgenbüscher 2000, Weidenmann 2002, Dimopoulos et al. 2003). Im Fokus der Wahrnehmung standen bislang eher Worte; die Bedeutung der Bildkomponente bzw. anderer externer Repräsentationen wurde unterschätzt (Lemke 1998).

(b) Im Folgenden wird das Physiklernen in einem eingeschränkten Szenario betrachtet: Eine Schülerin oder ein Schüler liest oder hört einen Text, der zum Physiklernen geschrieben wurde, mit dem Ziel, über das Lesen des Textes Behaltens- und inhaltsbezogene Transferaufgaben zu lösen. Der Text ist dabei mit vielen Bildern illustriert. In diesem Sinn sei in Abgrenzung zum Text kurz auch von einem Bildtext gesprochen. Das Wort Text wird in dieser Arbeit synonym zur Bezeichnung Bildtext verwendet, wenn keine Missverständnisse auftreten können. Textuelle oder grafische Verweise vom Text zum Bild – und umgekehrt – sollen nicht vorkommen. Steht der auditive Modus zur Verfügung, d.h. der Text wird gesprochen, so ist von einem Lernprogramm die Rede.

In der vorliegenden Arbeit sollen erstens die theoretischen Grundlagen der kognitionspsychologischen Ansätze skizziert und zweitens drei Fragen beantwortet werden:

1. Lässt sich ein Satz von Merkmalen angeben, mit dem ein Text zum Physiklernen gestaltet werden kann, der von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I des Gymnasiums als verständlich eingestuft wird?
2. Unterscheiden sich die Einschätzungen der Lernenden, wenn der äußerlich erkennbare linguistische Zusammenhang zwischen aufeinander folgenden Sätzen unterschiedlich ausgeprägt ist? Der Begriff der lokalen Textkohäsion wird in diesem Zusammenhang weiter unten erklärt.
3. Wie wirken sich viele Text begleitende Bilder – ein Bildtext – auf die Einschätzung der Verständlichkeit durch die Lernenden aus?

## 2 Theoretischer Hintergrund

Die Textverstehensforschung hat ihren Anfang in der Lesbarkeitsforschung. Sie versucht die Lesbarkeit eines Textes unabhängig vom Leser anhand objektiver Textmerkmale zu bestimmen. Als entscheidende Charakteristika werden die Satzlänge und die Silbenzahl der Wörter angesehen, die zu Lesbarkeitsformeln entwi-

<sup>1</sup> Mit Text soll bis auf weiteres sowohl geschriebener als auch gesprochener Fachtext, d.h. ein expositorischer Text, bezeichnet werden.

ckelt werden (Bamberger und Vanecek 1984). Die Untersuchung der Physikschulbuchtexte mit den Lesbarkeitsformeln zeigt, dass die Texte von Physikschulbüchern zu lange Sätze und zu viele unbekannte oder ungewohnte Wörter aufweisen (Merzyn 1994, 155ff). Ob sich diese Aussage auf aktuelle Schulbücher übertragen lässt, bleibt offen. Die praktischen Empfehlungen der Lesbarkeitsforschung, kurze Sätze und einfache Worte zu verwenden, ungebrauchliche Worte jedoch zu vermeiden, gehen dabei nicht über das Erfahrungswissen hinaus. Aus den Ansätzen von Chomsky lässt sich zusätzlich zu den beiden letztgenannten Kriterien ableiten, dass passive Konstruktionen die Verständlichkeit von Texten erschweren (s. Schnotz 1994, 307)

Die Verständlichkeitsforschung als Textverstehensforschung entwickelt die Lesbarkeitsforschung weiter: Sie berücksichtigt explizit den Leser als Variable und nutzt informationstheoretische Überlegungen; letztendlich bleibt auch sie eine theoretische Verankerung schuldig (Langer, Schulz von Thun & Tausch 1974, Groeben 1982, zusammenfassend Schnotz 1994, Kap. 14, kurze Zusammenfassung in Sumfleth & Schüttler 1995). Individuelle Lernvoraussetzungen werden dabei nur beim Ansatz von Groeben (1982) berücksichtigt. Aus der Verständlichkeitsforschung ergeben sich folgende konkrete Empfehlungen: Sprachliche Einfachheit, Gliederung und Ordnung – äquivalent hierzu die so genannte kognitive Strukturierung –, Kürze und Prägnanz sowie die Einfügung motivationaler Textelemente. In der Physikdidaktik findet sich der Ansatz, Texte nach den Kriterien Langer, Schulz von Thun & Tausch zu gestalten, nur vereinzelt (Feldner 1997, Apolin 2002).

Einen dritten Entwicklungsschritt geht die Kognitionspsychologie. Ausgehend von Gedächtnismodellen liefert sie ein differenziertes Bild kognitiver Verarbeitungsprozesse beim Textverstehen. Dem Leser wird nach diesen Modellen mit einem Text eine lineare Abfolge von Sätzen angeboten, die von ihm zu einem zusammenhängenden Ganzen verbunden werden (Kintsch & van Dijk 1978). Als praktische Folge ist nach dieser Auffassung darauf zu ach-

ten, dass sich in einem nachfolgenden Satz Anknüpfungsmöglichkeiten an den oder an kurz vorhergehende Sätze finden. Übergeordnete Strukturierungen spielen in den ersten Ansätzen keine Rolle. Sumfleth & Schüttler (1995) zeigen für das Lernen mit Texten zur Chemie, dass Anknüpfungsmöglichkeiten zwischen zwei Sätzen und kognitive Strukturierungen im Sinne von Groeben (1982) zur Verbesserung von Behaltensleistungen führen.

In einem vierten und vorläufig letzten Entwicklungsschritt hat die Textverstehensforschung mit der kognitionspsychologischen Theorie des Textverstehens einen ersten Abschluss gefunden. Demnach fügen sich die Sätze und Nebensätze eines Textes zu einem geordneten Ganzen zusammen und werden zu Prozeduren des Gedächtnisses, die sich als propositionale Repräsentationen und mentale Modelle beschreiben lassen. Diese Ansätze entwickeln sich zu verschiedenen Theorien des multimedialen Lernens weiter, da die Bedeutung externer piktoraler Repräsentationen für den Aufbau mentaler Repräsentationen offenbar wird (Baddeley 2002, Mayer 2003, Schnotz & Bannert 2003).

Die mentale Konstruktion ist damit im Kontext einer Autor-Text-Leser-Relation zu denken und somit auch immer als Rekonstruktion aufzufassen: Der Autor externalisiert seine – als kohärent angenommene – Wissensstruktur in Form eines Textes. Die Kohärenz seiner Wissensstruktur wird durch Textoberflächenmerkmale erkennbar und kann über diese indiziert werden. Dies schließt die Annahme ein, dass der Text nicht aus zusammenhanglosen Sätzen besteht. Über den Text (re-)konstruiert der Leser unter Einbeziehung seines Vorwissens eine mentale Repräsentation der Repräsentation des Autors. In diesem Sinn kann vereinfachend auch von mentaler Repräsentation von Inhalten eines Textes gesprochen werden. Verstehen hat in dieser Sprechweise stattgefunden, wenn ein Leser eine dem Inhalt des Textes und damit der mentalen Repräsentation des Autors entsprechende mentale Repräsentation aufgebaut hat (Schnotz 1994, 18). Die vorgenommene Rekonstruktion ist dabei keine eindeutige Abbildung: Die Grenzen zwischen Verstehen,

Irrtum und Missverstehen sind fließend. Der Autor stellt Kohärenzbildungshilfen zur Verfügung, die aber nicht zwangsläufig zum Aufbau der intendierten mentalen Repräsentationen durch den Leser führen. Im gleichen Zug ist jedoch zu betonen, dass ein kohärent gestalteter Text den Wissenserwerb unterstützt.

Im Sinne von Schnotz (1994, 18) ist Textkohärenz damit keine ausschließliche Eigenschaft des Textes – also seiner Oberflächenmerkmale –, sondern eine Eigenschaft der Autor-Leser-Text-Interaktion. Pragmatisch soll zwischen der Kohärenz der mentalen Repräsentationen des Lerner und der Textkohäsion unterschieden werden, ohne die Problematik der Trennung zwischen den beiden Begriffen zu diskutieren. Textkohäsion bezeichne somit Oberflächenmerkmale des Textes, die eine Ausbildung intendierter kohärenter mentaler Repräsentationen unterstützen.

Zwei Bemerkungen hierzu: (1) In der Linguistik geht der Kohäsionsbegriff auf Arbeiten von Halliday & Hasan (1976) zurück. (2) Es scheint eine Eigenschaft des kognitiven Systems zu sein, Informationen zusammenhängend zu verbinden. Dabei können Informationen ignoriert oder durch Informationen aus dem Vorwissen ergänzt und ersetzt werden.

Der Textzusammenhang wird in der Regel zwischen Sätzen oder Teilsätzen hergestellt. Zwischen zwei Klassen von Textzusammenhängen kann grob unterschieden werden: (1) Ein lokaler: d.h. zwei aufeinander folgende Sätze hängen zusammen. Und (2) ein globaler: d.h. Sätze, die im Text weit auseinander liegen, hängen semantisch zusammen. Dementsprechend weisen Texte die Merkmale lokale und globale Textkohäsion auf.

Zwei Sätze hängen lokal zusammen, wenn im nachfolgenden Satz eine Information aus dem vorangehenden Satz aufgegriffen und mit einer neuen Information kombiniert wird.<sup>1,2</sup> Globale Kohärenz liegt vor, wenn Sätze oder Textteile, die im Text weit auseinander liegen, als zusammengehörig erkannt werden. Weit heißt in einem technischen Sinn nicht-benachbart. Aber auch semantische Zusammenhänge zwischen größeren Textabschnitten werden damit bezeichnet. Dementsprechend treten bei der Kohärenzbildung – und damit dem Textverstehen – Störungen auf, die sich argumentativ aus dem eben Gesagten gewinnen lassen (Mandl 1981, de Leeuw & Chi 2003):

- (a) benachbarte Sätze sind nicht erkennbar lokal miteinander verbunden,
- (b) weit auseinander liegende Bedeutungseinheiten, die zusammen gehören, werden nicht als zusammengehörig erkannt,
- (c) so genannte Kohärenzlücken treten auf, d.h. wichtige Informationen fehlen.

(b) und – überwiegend – (c) beziehen sich auf die globale, (a) auf die lokale Kohärenzbildung. Zu den bekannten Merkmalen für die Gestaltung verständlicher Texte treten damit kognitionspsychologisch begründet die Eigenschaften lokale und globale Textkohäsion.

Ob zur Klassifizierung die Unterscheidung zwischen lokaler und globaler Kohäsion auch bei sehr langen Texten ausreicht, ist eine unbeantwortete Frage: Es ist durchaus denkbar, dass die Einbeziehung einer mittleren Ebene – Bedeutungseinheiten, die innerhalb eines Abschnittes oder auf einer Seite liegen – für die Analyse des Textverstehens sinnvoll ist.

Die genaue Funktion der Bilder beim Aufbau mentaler Repräsentationen soll hier nicht aus-

<sup>1</sup> Die lokale Kohärenz hat in unterschiedlichen Bezugsdisziplinen verschiedene Namen z.B. semantische Rekurrenz (z.B. Pfaff 2002, 111f). Es lässt sich auch die Verwendung der Bezeichnung Textkohärenz an Stelle der Textkohäsion rechtfertigen, wenn abgrenzend mit Kohärenz die mentale Kohärenz bezeichnet wird, die der Leser anhand des Textes herstellt. Die Bezeichnung Textkohärenz betont den Aspekt der Kohärenzbildung, die der Leser anhand des Textes vornimmt, die Bezeichnung Textkohäsion betont den Aspekt der Kohärenzbildungshilfen im Text.

<sup>2</sup> Der Begriff Information soll hier und im Weiteren undefiniert bleiben. Es genügt der intuitive Begriff: Mit Information werde das bezeichnet, was ein Autor einem Leser mitteilen will, was von unterschiedlichen Lesern rekonstruiert und in einem anschließenden intersubjektiven Diskurs überprüft werden kann.

fürhlich diskutiert werden. Eine plausible Annahme berücksichtigt die weiter oben schon erwähnten elaborierten Modelle der Kognitionspsychologie in einer stark vereinfachten Überlegung: Bilder und Text sowie Text-Bild-Kohärenzen tragen zum Aufbau mentaler Repräsentationen bei. Text- und Bildverarbeitung ergänzen sich hierbei. Sie haben jedoch unterschiedliche funktionale Eigenschaften. Dies geht mit der Annahme einher, dass die lernförderliche Wirkung von verständlichen Texten auch bei Bildtexten zum Tragen kommt.

Ferner sei angenommen, dass lernförderliche Wirkungen von verständlichen Texten auch zum Tragen kommen, wenn die Texte auditiv präsentiert werden. Zwischen Hör- und Leseverstehen wird in dieser ersten Näherung nicht unterschieden; die Literatur spricht in vielen Bereichen für diese Annahme (Rost 1998, 337).

Eine letzte Bemerkung, um die vorgestellten Ansätze zu rechtfertigen, sei angefügt. Es geht letztendlich um eine fachdidaktische Frage: ‚Wie können fachspezifische Informationen – in unserem Falle zur Physik – so präsentiert werden, dass Lernenden ein optimierter Lernprozess ermöglicht wird?‘ Kognitionspsychologische Ergebnisse und Modelle sollen dazu dienen, Lehrmaterial im konkreten Fall zu gestalten. Dabei ist zu beachten, dass kognitionspsychologische Ergebnisse nicht Eins zu Eins übernommen werden können und pragmatisch Entscheidungen getroffen werden müssen, auch wenn noch keine Ergebnisse von Grundlagenuntersuchungen vorliegen. Konkret stellt sich die Frage der Textlänge, da die Ergebnisse der kognitionspsychologischen Forschung zur lokalen Textkohäsion anhand sehr kurzer Texte, die aus wenigen Sätzen bestehen, gewonnen wurden. Es ist durchaus nicht ausgemacht, dass ein hoher Grad der lokalen Textkohäsion auch bei längeren Texten die erwarteten lernförderlichen Wirkungen entfaltet. Die Physikdidaktik betreibt an dieser Stelle anwendungsorientierte Entwicklungsarbeit, die theoretisch auf der Kognitionspsychologie basiert.

Zur Begründung der linguistischen Definition von Indices der lokalen und globalen Textkohäsion sollen die notwendigen Ergebnisse der kognitionspsychologischen Textverstehensforschung zusammengefasst und die Dynamik der textuellen Kohärenzbildung dargestellt werden.

## 2.1 Ergebnisse der Kognitionspsychologie zur Textkohärenz

(a) *Kohärenzbildung*: Die lokale Kohärenzbildung zwischen zwei Sätzen wird vom kognitiven Apparat weitgehend automatisiert vorgenommen und implizit über den Text gesteuert. Ist die lokale Textkohäsion zu ausgeprägt, kann dies zu einer Senkung der Aufmerksamkeit und zu einer oberflächlichen Textverarbeitung führen. Lokale Kohärenzbildungshilfen haben daher einen optimalen Bereich.

Die globale Kohärenzbildung hingegen wird zu großen Teilen explizit – d.h. die Aufmerksamkeit wird auf etwas hin gerichtet – gesteuert, um Informationen im Arbeitsgedächtnis zu organisieren. Globale Kohärenzbildungshilfen lassen sich gefahrlos anbieten.<sup>1</sup> Meist sind sie über das Layout oder andere grafische Merkmale erkennbar. Ob die Lernenden dieses Angebot nutzen, hängt nicht von ihrer fachlichen Expertise ab.

(b) *Moderatorvariablen*: Die Kohärenzbildung ist von individuellen Lernermerkmalen abhängig. Beim Lernen kann grob zwischen Experten und Novizen unterschieden werden. Im Sinne der Expertiseforschung gelten fortgeschrittene Lerner in der Regel zwar nicht als Experten (Reimann 2005), in der fachdidaktischen Literatur jedoch findet der Ausdruck Experte in Anlehnung an die Expertiseforschung auch für fortgeschrittene Lernende Anwendung.

Fortgeschrittene Lerner können insbesondere global inkohäsive Texte nutzen, indem sie Kohärenzlücken mit ihrem größeren Vorwissen schließen. Eine ausgeprägte lokale Textkohäsion hingegen führt bei Experten zum Erliegen des Textverarbeitungsprozesses, da sie implizit im Text angelegt ist. Im Allgemeinen aber sind

<sup>1</sup> Als klassische globale Kohärenzbildungshilfen gelten u.a. Zielangaben, Themenüberblicke, advanced organizer, Überschriften, Marginalien, Zusammenfassungen.

fehlende Informationen, die eine globale Kohärenzbildung behindern, entgegen vorherrschender Einschätzungen für Novizen nicht lernförderlich (Schnotz 1994).

(c) *Praxisrelevanz*: Letztendlich geht es bei der Verwendung von Kohärenzbildungshilfen um die Balance zwischen notwendiger Unterstützung und überflüssiger Gängelung. Konkrete Anweisungen, wie ein Text zu gestalten sei, sodass eine erfolgreiche Wissensvermittlung erreicht wird, lassen sich aus der Analyse der Textkohäsion nicht gewinnen. Wissenschaftliche Arbeit kann die kreativen Momente des Schreibens und Erklärens nicht ersetzen oder mechanisieren. Ihre Indikatoren jedoch können insbesondere den Autoren von Sachtexten helfen, ihren Text über das subjektive Empfinden hinaus zu beurteilen und intuitive Mechanismen zu schulen (Schnotz 1994, 310).

## 2.2 Dynamik der Kohärenzbildung

Erste Ansätze zur Definition von Indikatoren zur Bestimmung des Grades der lokalen und globalen Textkohäsion lassen sich mit Hilfe der Dynamik der Kohärenzbildung gewinnen. Es wird hierzu eine vereinfachte Darstellung der Dynamik benutzt:

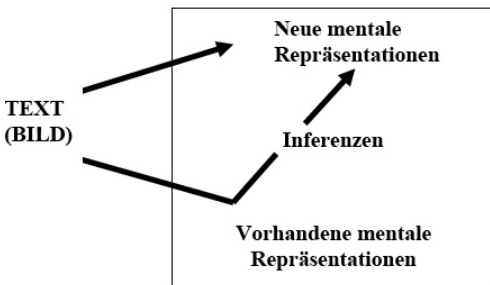


Abb. 1

Abbildung 1 zeigt zwei Wege vom Text zu den mentalen Repräsentationen. Vom illustrierten Text gehen zwei Pfeile zum Leser. Der obere Pfeil signalisiert, dass direkt über die Textbasis propositionale Repräsentationen bzw. mentale Modelle gebildet werden. Diese Prozesse, die

auch von der syntaktischen Ordnung abhängig sind, sollen nicht weiter interessieren. Der untere Pfeil stellt den Weg über die vorhandenen mentalen Repräsentationen – dem Vorwissen – und die mentalen Modelle im besonderen dar: Die Informationen über einen Gegenstand, die in der Textbasis externalisiert sind, werden während der Rekonstruktion mit dem Vorwissen verglichen. Ungereimtheiten oder Kohärenzlücken werden durch Schlussfolgerungen – Inferenzen – gelöst oder geschlossen oder auch nicht beachtet. Gleichzeitig lässt sich damit die Entstehung in sich konsistenter hybrider Vorstellungen zu physikalischen Sachverhalten verstehen: Da Lernende versuchen, kohärente mentale Repräsentationen zu generieren, benutzen sie auch Elemente des ihnen zur Verfügung stehenden Alltagswissens – oft steht ihnen nichts anderes zur Verfügung –, um den physikalischen Vokabeln Sinn zu verleihen.

Zu Beginn der Textverarbeitung wird ein vorläufiges mentales Modell konstruiert oder ein vorhandenes mentales Modell rekonstruiert. Worte und Sätze des Textes sind damit Auslöser von Konstruktionsprozessen mentaler Modelle, die anhand der vorhandenen mentalen Modelle beurteilt und verändert werden. Mit der Zeit entsteht durch Elaboration ein differenziertes mentales Modell eines im Text beschriebenen Gegenstandes. Der Elaborationsprozess kann durch Instruktion, z.B. Aufgaben, vorangetrieben werden. Die neuen mentalen Repräsentationen werden in das bestehende Wissen integriert (zsf. Schnotz 1994, 194).

Die Verarbeitungsprozesse sind durch eine entscheidende Randbedingung des kognitiven Systems bestimmt, seine begrenzte Verarbeitungskapazität (*limited capacity*) (Baddeley 1977). Das Arbeitsgedächtnis<sup>1</sup> kann nur eine begrenzte Zahl an ‚Gedächtniselementen‘ – die sogenannten *chunks* – speichern. Dies hat zur Folge, dass nur mentale Teilrepräsentationen zur Verfügung stehen und verarbeitet werden. Hieraus ergibt sich eine einfache und wichtige Konsequenz: Sollen zusammengehörige mentale Teilrepräsentationen verknüpft werden,

L  
E  
S  
E  
R

<sup>1</sup> Eine differenzierte Darstellung der Dynamik mit Unterscheidung zwischen Kurzzeitgedächtnis und Arbeitsgedächtnis ist für den Zweck des Artikels nicht notwendig. Vgl. z.B. Mayer (2003, 15ff).

müssen sie gemeinsam im Arbeitsgedächtnis aktiviert und als zusammengehörig erkannt werden. Daraus lassen sich zwei Folgerungen ziehen:

1. Sind zu viele Informationen in kurzer Zeit zu verarbeiten, ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass zusammengehörige mentale Teilrepräsentation im Arbeitsgedächtnis aktiviert sind – der Fall des *cognitive overloads* tritt ein.<sup>1</sup> Die Gestaltung von Texten und piktoralen Repräsentationen zielt aus kognitionspsychologischer Sicht auf die Reduktion des *extraneous load*. Fachdidaktisch hingegen ist es auch sinnvoll, von der Reduktion des *intrinsic load* zu sprechen, da der *intrinsic load* eines Gegenstandes z.B. durch eine geeignete didaktische Darstellung verringert werden kann.
2. Die Verarbeitung des Textes kann über die Gestaltung der Textoberflächenstruktur unterstützt werden, indem auf zusammengehörige Teile verwiesen wird, um diese gezielt im Arbeitsgedächtnis zu aktivieren:

*„Für den Prozess der mentalen Kohärenzbildung sind deshalb geeignete Hilfen für eine entsprechende Aufmerksamkeitssteuerung des Lesers von zentraler Bedeutung.“*  
(Schnotz 1994, 259)

Anhand eines exemplarischen Beispiels, das bei der Untersuchung des Textverstehens benutzt wird, soll dies illustriert werden (vgl. Schnotz 1994, 263):<sup>2</sup>

*Hans nahm seine Tasche. Dann verließ er das Haus und stieg in den Autobus. Sie war aus Leder.*

Im dritten Satz bezieht sich das Personalpronomen ‚sie‘ auf das Substantiv ‚Tasche‘ im ersten Satz. Beim Lesen führt dies für viele Leser

zu einer Unterbrechung. Der Leser muss den Zusammenhang zum ersten Satz erst wieder herstellen, kognitive Ressourcen werden zusätzlich benötigt. Diese erhöhte kognitive Belastung kann durch die explizite Nennung eines Substantivs vermieden werden.<sup>3</sup>

*Hans nahm seine Tasche. Dann verließ er das Haus und stieg in den Autobus. Die Tasche war aus Leder.*

Der (*extraneous*) *cognitive load* kann bei der Kohärenzbildung also niedrig gehalten werden, wenn die Textoberfläche Such- und Konstruktionshilfen enthält:

*„Gebt der Autor von einem zum anderen Thema (Original: Topic) über, so muss der Leser diesen Wechsel erkennen und den Fokus seiner Aufmerksamkeit entsprechend verschieben.“*  
(Schnotz 1994, 259)

Einfach gesagt: Der Autor sollte dem Leser mitteilen, wenn er einen neuen Gedanken beginnt.

### 2.3 Aufmerksamkeitssteuerung als zentraler Mechanismus der Kohärenzbildung

Die Aufmerksamkeitssteuerung findet, wenn keine grafischen Zeichen verwendet werden, auf der impliziten Oberflächenstruktur statt, d.h. über die Wahl der Worte. Dabei spielen im allgemeinen Fall der aktuelle Verstehenskontext und die individuellen Voraussetzungen der Lernenden eine Rolle. Die zentrale Frage lautet: Mit welchen sprachlichen Mitteln kann die Aufmerksamkeitslenkung und damit die Kohärenzbildung bei Novizen unterstützt werden? Diese Frage soll anhand eines Beispiels aus der Physik verdeutlicht werden (Abb. 2). Der Text ist einem Lehrbuch der Phy-

<sup>1</sup> Ob eine Differenzierung in *intrinsic*, *extraneous* und *germane load* immer notwendig und sinnvoll ist – und damit eine glückliche Konstruktion darstellt –, scheint eine offene Frage zu sein. Im Zweifelsfall soll immer der *extraneous load* reduziert werden.

<sup>2</sup> Für die empirischen Grundlagen – auch für die vorher angeführten Behauptungen – s. Schnotz (1994).

<sup>3</sup> Bei Zweideutigkeiten tritt das Problem offen zu Tage: *Der Mann und die Frau gingen über die Straße. Sie war nass.* Kognitive Ressourcen werden gebraucht, um die Bedeutung von ‚Sie‘ zu erkennen. Der Leser bleibt ‚hängen‘.

sik für Studierende der Biologie entnommen. Auf die Angabe der Quelle sei verzichtet. Die Erfahrung zeigt, dass es leicht ist, in Physiklehrbüchern vergleichbare Beispiele zu finden.

### Textbeispiel 1

Ein elektrischer Schwingkreis bestehe aus einem Kondensator und einer Spule.

Dieser ist vorerst offen.

Im Kondensator ist elektrische Ladung gespeichert.

Ein Schalter wird betätigt.

Sie fließt ab.

Abb. 2

- Im ersten Satz wird beschrieben, aus welchen Teilen der Gegenstand des Satzes ‚*der elektrische Schwingkreis*‘ besteht: Aus einem ‚*Kondensator*‘ und einer ‚*Spule*‘.
- Der Gegenstand des ersten Satzes wird im zweiten Satz durch das Demonstrativpronomen ‚*dieser*‘ wieder aufgenommen: Es liegt pronomiale lokale Textkohäsion vor. Für einen Novizen ist die Frage, worauf sich ‚*dieser*‘ bezieht, nicht sofort beantwortet: Auch bei Kondensatoren und Spulen lässt sich eine sinnvolle Bedeutung für das Attribut ‚*offen*‘ vorstellen.
- Der dritte Satz ist nicht lokal textkohäsiv mit dem zweiten Satz verknüpft. Er greift jedoch den ‚*Kondensator*‘ als Bestandteil des Stromkreises auf: dritter und erster Satz sind nominal global textkohäsiv miteinander verknüpft.
- Der dritte und der vierte Satz sind nicht lokal textkohäsiv miteinander verknüpft. Im vierten Satz taucht aber ein ‚*Schalter*‘ auf – von einem ‚*Schalter*‘ war bislang im Text nicht die Rede. Der Experte kann ihn sich optional als ein Bestandteil eines jeden Stromkreises leicht dazu denken. Für den Novizen ist dies schwieriger – er kann die fehlende Information u. U. nicht wie der Experte ergänzen. *Der Schalter wird betätigt*: Was heißt das? Der Experte weiß, dass der ‚*Schalter*‘ geschlossen wird. Er wird auch schon ahnen, was dann mit der elektrischen Ladung geschieht. Für einen Novizen wird dies vermutlich nicht der Fall sein.

- Der fünfte Satz ist ebenfalls nicht lokal textkohäsiv mit seinem Vorgängersatz verbunden. Das Personalpronomen ‚*sie*‘ bezieht sich auf die elektrische Ladung im dritten Satz. Der Experte wird diesen Zusammenhang über ein schon vorhandenes mentales Modell oder über die semantische Bedeutung des Verbs ‚*fließen*‘ herstellen. Das Einzige, was von dem bisher Genannten im physikalischen Kontext ‚*fließen*‘ kann, ist die ‚*elektrische Ladung*‘. Der fünfte Satz ist demnach für den Experten pronomial global textkohäsiv mit dem dritten Satz verbunden.

In dem vorliegenden Textbeispiel sind damit zwei Sätze pronomial lokal textkohäsiv verbunden und drei Sätze global textkohäsiv verbunden, einmal nominal und einmal pronomial mit einer Vereindeutigung über das Verb des Satzes. Soweit eine erste einfache linguistische Analyse.

Lokale und globale Textkohäsion kann also auf verschiedene Arten hergestellt werden. Die Linguistik kennt für die lokale Textkohäsion: Nominale, synonymale, pronomiale, konjunktionische ... Verbindungen. Globale Textkohäsion im Text kann nominal, synonymal, pronomial, durch explizite Verweise ... hergestellt werden.

Welche der linguistischen Möglichkeiten sind nun für Novizen vorteilhaft? Wie das Beispiel mit Hans' Koffer nahe legt, ist eine pronomial global textkohäsive Verbindung mit erhöhtem kognitivem Aufwand verbunden. Unter Berücksichtigung der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Suchfunktion stellen die nominalen Verbindungen bei der Textverarbeitung eindeutige Verbindungen her. Sie bilden „... einen relativ genauen Steckbrief für den Suchprozess.“ (Schnotz 1994, 265). Wird also das Substantiv wieder verwendet, kann schon Benanntes eindeutig wieder erkannt und eine Verbindung im Arbeitsgedächtnis hergestellt werden. Damit lässt sich die Annahme wie folgt formulieren:

*Wird die lokale und globale Textkohäsion durch substantivische Wiederaufnahme hergestellt, so wird bei Novizen der Wissenserwerb*



beim Lesen oder Hören von Texten oder Bildtexten unterstützt, wenn die notwendigen Informationen strukturiert zur Verfügung gestellt werden<sup>1</sup>. Bei der Textverarbeitung werden kognitive Ressourcen durch eine vereindeutigte Aufmerksamkeitslenkung geschont.

Wie könnte der Text des Beispiels 1 (Abb. 2) für Novizen angemessen gestaltet werden? Die fehlenden Informationen werden ergänzt und nominale Verbindungen werden hergestellt (Abb. 3).

### Textbeispiel 2

Ein elektrischer Schwingkreis bestehe aus einem Kondensator, einer Spule und einem Schalter.

Der elektrische Schwingkreis ist vorerst offen.

Im Kondensator ist elektrische Ladung gespeichert.

Der Schalter wird geschlossen.

Die elektrische Ladung fließt über die Spule durch den Schwingkreis.

Abb. 3

Zum Vergleich: Im Textbeispiel 1 wurden sechs Substantive verwendet; fünf Substantive wurden nur einmal benutzt, ein Substantiv wurde mehr als einmal verwendet. Im Textbeispiel 2 kommen insgesamt elf Substantive vor: Alle Substantive kommen mehr als einmal vor.

Am Beispiel zeigt sich die Methode, nominal dominierte Textkohäsion herzustellen. Es zeigt aber auch, dass eine Textgestaltung nicht einfach mechanisch vorgenommen werden kann. Der Text wirkt zu redundant und damit ‚zäh‘. Die Demonstration der Methode hatte hierbei Vorrang. Das kreative Moment des Autors, das zur richtigen Balance führt, kann – wie das Beispiel zeigt – nicht ersetzt werden. Die Aufmerksamkeitslenkung durch Substantive sollte insbesondere bei längeren Texten helfen.

An unserem Beispiel (s. Abbildung 2) lässt sich die oben genannte Problematik der Kohärenzlücken diskutieren. Damit geht es um einen entscheidenden Punkt: Welche Erklärung ist für einen Lerner oder Zuhörer in Abhängigkeit von spezifischen Personenmerkmalen vollständig? Für das Verstehen des Textes sind eine Reihe von Voraussetzungen notwendig: der physikalische Hintergrund der Wörter *Kondensator*, *Spule*, *Schalter* und *elektrische Ladung* – oder auch elektrische Leiter, von dem in der vorliegenden Textpassage keine Rede war – muss bekannt sein. Ebenso die Bedeutung der Bezeichnungen *offener* und *geschlossener Schalter* – in der Physik wird synonym von offenen und geschlossenen Stromkreisen gesprochen – sowie die physikalische Bedeutung von *fließen* und *speichern*, die Bezeichnung Ladungsverschiebung wäre treffender. Damit zeigt sich, dass es sich nicht um einen Text für physikalische Anfänger handelt. Kohärenzlücken werden notwendig, wenn der Lernprozess fortschreitet. Jedoch ist die Annahme plausibel, dass physikalische Erklärungen gerade für Anfänger oft zu dicht und damit unvollständig sind. Diese Behauptung soll mit einer Erklärung der optischen Abbildung mit der Lochkamera aus einem Lehrbuch der Physik für die Mittelstufe illustriert werden. Auf die Angabe der Quelle sei wieder verzichtet. Der Abschnitt zur optischen Abbildung beginnt nach drei Überschriften und einer kurzen Einleitung mit den folgenden Worten:

*Nun können wir leicht erklären, warum durch ein kleines Loch im Verdunkelungsvorhang eine Abbildung der Außenwelt auf die Mattscheibe gezeichnet wird. Die Häuser und Bäume vor dem Fenster des Physiksaals streuen das auf sie fallende Sonnenlicht (...).*

Frei interpretiert muss ein Leser die Situation und das damit verbundene Phänomen im

<sup>1</sup> Wird lokale Textkohäsion durch eine substantivische Verbindung hergestellt, so spricht man auch von semantischer oder kurz nur Rekurrenz. Eine fachdidaktische Rezeption der Rekurrenz aus der sprachwissenschaftlichen Perspektive findet sich in Rabe et al. (2004). Bei der globalen Kohäsion zeigt sich eine definitorische Schwierigkeit: Was ist eine strukturierte Darstellung? Wir lassen diese Frage unbeantwortet und setzen eine kognitive Strukturierung (Groeben 1982) oder kognitive Gliederung/Ordnung im Sinne von Langer, Schulz & Thun (1974) voraus.

Grunde schon kennen, um die Informationen des Textes erfassen zu können. Er muss wissen, wie die Verdunkelungsvorhänge in einem Physiksaal oder einem Vortragssaal aussehen: Sie sind nicht wellig und weich wie Vorhänge in einer Wohnung. Er muss eine Mattscheibe kennen. Er muss wissen, dass ein Bild auf der Mattscheibe entsteht. Ohne diese Kenntnisse können die beiden Sätze, aus denen der Text besteht, inhaltlich nicht verbunden werden. Der Leser muss ferner erkennen, dass mit der Außenwelt des ersten Satzes die Häuser und Bäume des zweiten gemeint sind. Semantisch wird das Wort *streuen* in der Alltagssprache anders verwendet als in der Physik. Damit ist das Verteilen von Sanden, Stäuben und Granulaten jeder Art gemeint. Die Frage, ob ein Schulbuchautor die Kenntnis eines Phänomens voraussetzen kann, ist zu stellen.

Es lässt sich erahnen, wie die obige Erklärung ohne weitere Erläuterungen bei Novizen sprachlich zu Missverständnissen führen kann, ja fast muss. Der Text weist Kohärenzlücken auf, die nur über das Vorwissen des Lesers geschlossen werden können. Soll ein Novize allein anhand dieses Textes das Phänomen der optischen Abbildung mit einem Loch erschließen, wird er in der Regel überfordert sein.

Ein Beispiel ersetzt keine breiten linguistischen Untersuchungen von Schulbuchtexten und Lehrerklärungen im Unterricht. Es soll die Annahme illustrieren, dass neben der Frage der Textkohäsion auch die Ausführlichkeit der Erklärungen zum Aufbau intendierter kohärenter mentaler Repräsentationen beitragen kann. Die Problematik ausführlicher Erklärungen wird ebenfalls sichtbar. Ausführliche Erklärungen sind in der Regel lang. Sie können ihrerseits zur Erhöhung des *extraneous cognitive load* führen.

### 3 Vorstudien zur Textkohäsion in Physikschulbuchtexten

#### 3.1 Definitionen von Indices zur Bestimmung des Grades der lokalen und globalen substantivischen Textkohäsion

Die Rolle, die die Kognitionspsychologie den Substantiven bei der Bildung von kohärenten mentalen Repräsentationen zuweist, führt auf Indices für die lokale und globale Textkohäsion. Die lokale Textkohäsion lässt sich bei nominalen Verknüpfungen eindeutig bestimmen, da in zwei aufeinander folgenden Sätzen ein identisches Substantiv verwendet wird. Der Index der lokalen Kohäsion errechnet sich somit elementar:

$$\text{Index für lokale Textkohäsion} = \frac{\text{Zahl der durch substantivische Wiederaufnahme verbundenen Sätze}}{\text{Zahl der Sätze des Textes}}$$

Der Grad der globalen Textkohäsion lässt sich in einem ersten Versuch analog bestimmen. Da nur ein erster Indikator konstruiert werden soll, wird ebenfalls ein elementares Verfahren gewählt. Da in einem Satz – zumal eines Fachtextes – ein Substantiv oft nur einmal auftritt, lässt sich als Index für die globale Kohärenz der Quotient, der aus der Zahl der Substantive, die im Text mehrmals verwendet werden, und der Gesamtzahl der Substantive gebildet wird, verwenden:<sup>1</sup>

$$\text{Index für globale Textkohäsion} = \frac{\text{Anzahl der Substantive, die in zwei und mehr als zwei Sätzen verwendet werden}}{\text{Anzahl aller Substantive}}$$

<sup>1</sup> Adhoc-Annahme: Um pathologische Fälle auszuschließen, soll der Text aus mehr als sechs Sätzen bestehen. Bei maximaler lokaler substantivischer Textkohäsion nimmt der Index den Wert  $5/6 = 0.8\bar{3}$  an. Dieser Wert liegt eindeutig über den ermittelten Werten (s. Tab. 2).

In diesen Index geht die Textlänge implizit ein. Längere Texte zu einem Thema sollten in der Regel einen höheren Wert für die globale Kohäsion ergeben als kürzere Texte, obwohl sich auch hier Gegenbeispiele denken lassen. Der Index der globalen Textkohäsion für den Text aus Beispiel 1 hat einen Wert von  $2/6$ , der Index für den Text 2 einen Wert von 1. Der Index gibt das Gewünschte numerisch wieder. Mit einem ähnlichen aber linguistisch aufwändigeren Verfahren wurde die globale Textkohärenz der Erklärungen von Lehrern im Unterricht untersucht (Rodrigues & Thompson 2001). Dort wird das Verfahren linguistisch begründet (Halliday & Hasan 1976). Im Vergleich erscheint der hier vorgeschlagene Index als äußerst einfach. Berechnungen des einfachen Index für die drei Beispiele aus der Arbeit von Rodrigues & Thompson führen zu den gleichen Einschätzungen des Grades der globalen Textkohäsion wie das aufwändige Verfahren, ohne zu beachten, dass die dortigen Texte in Englisch verfasst sind. Dies ist zwar kein Beweis für die Aussagekraft des Index, aber ein weiterer heuristischer Hinweis. Im Grunde misst der für die globale Textkohäsion vorgeschlagene Index die Zahl der Substantive, die im Text einmal verwendet werden, wenn der Index von Eins subtrahiert wird. Er stellt in diesem Sinn eine Verallgemeinerung der Zahl der einmal auftretenden Fachbegriffe dar, die als Indikator für die Verständlichkeit von Fachtexten gilt.

Denkbar sind andere Varianten des Index der globalen Textkohäsion. Z.B. scheint es plausibel, nicht nur die einmal verwendeten Substantive auszuschließen, sondern auch die Substantive, die nur zweimal verwendet werden. Desweiteren unterliegen Schlüsselbegriffe wie die z.B. die optische Abbildung beim Leseprozess einem Bedeutungswandel. Sie sollten zu Beginn eines Textes mental anders verwendet

werden als am Ende eines Textes. So ist es u.U. nicht notwendig, dass Begriffe, die im Text durchgängig verwendet werden, zu Beginn und am Ende eines Textes mit der gleichen Häufigkeit durch Substantive benannt werden. Es könnte daher sinnvoll sein, dass der Grad der globalen Textkohäsion am Ende eines Textes geringer ist als zu Beginn.

Mit der vorgeschlagenen Definition lassen sich auf jeden Fall ‚schlechte‘ Texte für Anfänger identifizieren, d.h. Texte, die viele Substantive nur einmal verwenden oder den Sinnzusammenhang nichtsubstantivisch herstellen. Bevor die Kohärenzgrade für einige Schulbuchtexte angegeben werden, noch einige Bemerkungen:

1. Bei der Textgestaltung ist nicht die Festlegung auf ein Textmerkmal entscheidend. Es gibt eine Reihe von Indikatoren, die einem Autor im Nachhinein helfen, einen Text mit objektivierten Kriterien zu betrachten. Hilfreich werden geeignete Kombinationen relevanter Faktoren sein. Eine hilfreiche Kombination dieser Faktoren wird weiter unten vorgestellt.
2. Es lassen sich Texte gegen die Indikatoren konstruieren, d.h. obgleich ein Indikator einen konstruierten Text beim Aufbau mentaler kohärenter Strukturen als unterstützend ausweist, ist der Text unverständlich.
3. Weder die lokale noch die globale Textkohäsion lassen sich auf diese Weise allgemein oder vollständig fassen. Diese Schwierigkeit ist der linguistischen Analyse inhärent. Es hängt von der Fragestellung ab, ob sich eine linguistische Analyse eines Textes der Vollständigkeit annähert.<sup>1</sup> Das vorgestellte quantitative Verfahren ist ‚weich‘ und hat damit heuristischen Charakter.
4. Wenn es um die Verständlichkeit eines Textes geht, ist die Trennung von Inhalt und linguistischem Textmerkmal per se problematisch.

<sup>1</sup> Als Beispiel für die linguistische Analyse der Tiefenstruktur von Sätzen einer mathematischen Aufgabe, die sich aus der Verwendung einer Nominalisierung ergeben, sei Rosch (2006) genannt.

### 3.2 Werte der Indices der lokalen und globalen Textkohäsion von verständlich und unverständlich eingeschätzten Schulbuchtexten

Mit dem Karlsruher Physikkurs (Herrmann 1998) liegt ein Schulbuch vor, das von Schülerinnen und Schülern im Gegensatz zu traditionellen Physikbüchern als verständlich eingeschätzt wird (Starauschek 2003). Damit lohnt es sich, diese Texte auf ihre linguistischen Merkmale zu untersuchen und insbesondere zu fragen, ob sich diese Schulbücher im Vergleich zu den traditionellen Schulbüchern in ihrer lokalen und globalen Textkohäsion unterscheiden. In einer zweiseitigen offenen Befragung im Jahr 1998 schätzte ein Großteil der Schülerinnen und Schüler – Gymnasium Klasse 8, 9 und 10 –, die nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichtet wurden, das Buch zu dem Kurs als verständlich ein (Tab. 1):

Das Physikbuch ist verständlich		
% Mehrfachnennungen <sup>a</sup>	Karlsruher Physikkurs N = 266	Trad. Physiklehrbuch <sup>1</sup> N = 286
Gesamt	59	23
Jungen	45	21
Mädchen	74	25

<sup>a</sup> Die Tabelle zeigt nur diese eine Kategorie der offenen Befragung. Die vollständigen Angaben finden sich in Starauschek (2003). Innerhalb dieser Kategorie fallen Mehrfachnennungen nicht ins Gewicht, sodass die Zahl als % der Schüler gedeutet werden kann.

Tab. 1

%/ 100	Lochkamera		Spiegel		Auftrieb		Gewichtskraft		Kühlschrank		Halbwertszeit	
	lok	glob	lok	glob	lok	glob	lok	glob	lok	glob	lok	glob
KPK	,56	,79	,47	,70	,41	,84	,65	,89	,52	,79	,43	,77
Trad.	,23	,59	,41	,58	,26	,82	,30	,66	,38	,63	,18	,73

lok: lokale Textkohäsion; glob: globale Textkohäsion; KPK: Karlsruher Physikkurs; Trad: Lehrbuch traditionell <sup>3</sup>

Tab. 2

<sup>1</sup> Bei der Befragung wurden zwei traditionelle Bücher genannt, die sich aber in der Einschätzung der Schülerinnen und Schüler nur in Details unterscheiden; nicht aber in der Einschätzung der Verständlichkeit.

<sup>2</sup> Über die Ergebnisse wurde in Rabe et al. (2004) und in Starauschek (2004) berichtet. Hier ist eine Zusammenfassung angegeben. Im Vergleich zu Starauschek (2004) wurde ein Text zum Elektromotor nicht mehr in die Analyse einbezogen, da die Erklärungen thematisch zu unterschiedlich und damit nicht äquivalent sind.

<sup>3</sup> Die Substantive der Verweise – Abbildung, Bild, Tabelle etc. – werden nicht gezählt. Die Häufigkeiten der Substantive wurden von Hand ausgezählt; ein Fehler von +/- 0.02 wurde durch den Vergleich von drei unabhängigen Zählern bei einem Text abgeschätzt.

59% der Karlsruher Schüler betonen die gute Verständlichkeit des Buches zum Karlsruher Physikkurs. Ein deutlicher Geschlechtereffekt wird sichtbar. Die Besetzung der Kategorie ‚Verständlichkeit‘ lässt sich wie folgt in Unterkategorien zerlegen: Etwa 45% der Antworten der Karlsruher Schüler (zum Vergleich 17% der traditionellen Schülerantworten) finden die Texte sehr verständlich, 11% der Karlsruher Schülerantworten sagen aus, dass die Bilder beim Karlsruher Kurs das Verstehen unterstützen (zum Vergleich 3% der Antworten der traditionellen Schüler). Bei den Bildern im Karlsruher Kurs handelt es sich um einfache SW-Strichzeichnungen. Unverständlich nannten ihr Schulbuch 26% der traditionell unterrichteten, hingegen nur 6% der Karlsruher Schüler. Bei dem traditionellen Lehrbuch handelt es sich um zwei in der Region Baden-Württemberg zum damaligen Zeitpunkt verbreitete Lehrbücher. Die beiden traditionellen Bücher unterscheiden sich in der Kategorie Verstehen nicht in ihrer Beurteilung.

Nach den Kriterien der Lesbarkeitsforschung ist das Buch zum Karlsruher Kurs ein für Schülerinnen und Schüler ‚lesbares‘ oder ‚verständliches‘ Schulbuch: So ergeben die Lesbarkeitsformeln im Vergleich zum traditionellen Schulbuch niedrigere Werte, eine kleinere Zahl der verwendeten Fachvokabeln sowie eine vermehrte persönliche Ansprache (Starauschek 1998).

In einem weiteren Schritt wird nach dem Grad der lokalen und globalen substantivischen Kohäsion gefragt: Sind die als verständlich klassifizierten Texte des Karlsruher Kurses im Vergleich zu einem der verwendeten traditionellen Schulbücher lokal oder global kohäsiver? Je sechs Kapitel aus beiden Schulbüchern wurden zufällig unter den Bedingungen vergleichbares Thema und vergleichbarer Umfang gewählt (Tab.2).

Die Texte im Buch zum Karlsruher Kurs weisen im Mittel einen höheren Grad an substantivischer lokaler und globaler Textkohäsion auf als die Texte des traditionellen Physikbuches. Für den Grad der lokalen Kohäsion liegt der kleinste Wert für einen Text des Karlsruher Kurses in der Nähe des höchsten Wertes eines der traditionellen Texte. Für den Grad der globalen Textkohäsion lassen sich die Werte nicht derart eindeutig trennen. Die Statistik bestätigt einen signifikanten Unterschied (U-Test, Grad der lokalen Textkohäsion:  $p$ -Wert = .005, Grad der globalen Textkohäsion:  $p$ -Wert = .037). Der Index der lokalen Kohärenz korreliert nicht signifikant mit dem Index der globalen Kohärenz – und wenn, wäre diese Korrelation schwach ausgeprägt. Damit messen die beiden Indices unterschiedliche Textmerkmale. Die vergleichbaren Texte unterscheiden sich nicht signifikant hinsichtlich der Zahl der Sätze und der Zahl der Wörter.

Die Ergebnisse sind wegen des kleinen Stichprobenumfangs als statistisch fundierte Hypothesen zu betrachten. Insbesondere für die globale Textkohärenz ist der statistische Unterschied nicht überzubewerten. Die definierten

Indices haben den Rang von Indikatoren, da sie die linguistischen Eigenschaften des Textes nur in einer groben Näherung abbilden. Innerhalb dieser Grenzen deutet die linguistische Analyse auf die Faktoren lokale und globale substantivische Textkohäsion hin, wie es die kognitionspsychologischen Modelle des Textverstehens nahe legen. Andere linguistische Merkmale wurden ebenfalls explorativ daraufhin untersucht, ob sich die Merkmale in der Häufigkeit ihres Auftretens unterscheiden.<sup>1</sup> Außer der lokalen und globalen Textkohäsion finden sich nur wenige Unterschiede. Beim traditionellen Schulbuch sind (1) Wörter häufiger fett oder kursiv gedruckt, (2) die Textabschnitte kürzer, (3) finden sich mehr Bezeichnungen (dies heißt etc.) im Satz. (1) und (2) bedeuten, dass die klassischen grafischen globalen Kohärenzbildungshilfen keinen Einfluss auf das Urteil der Schülerinnen und Schüler haben. (3) stimmt mit dem Befund überein, dass ‚ältere‘ Physikschulbücher häufig Fachwörter verwenden. (4) Der traditionelle Text verwendet viel häufiger konsekutive Konjunkionaladverbien (z.B. also) und konditionale Konditionen (z.B. wenn ..., dann ...) als der Text des Karlsruher Kurses, was darauf hinweist, dass in traditionellen Texten häufiger argumentiert wird.

#### 4 Anlage der empirischen Studie

##### 4.1 Bildtextdesign anhand linguistischer Verständlichkeitskriterien und multimedialer Gestaltungsprinzipien

Die bisherigen linguistischen Analysen liefern nur Anhaltspunkte zu einem heuristischen Konstrukt, mit dem sich verständliche Texte

<sup>1</sup> Die Wahl der Merkmale orientierte sich überwiegend an kognitionspsychologischen und von der Kognitionspsychologie rezipierten linguistischen Angaben (Schnotz 1994).

Pro Wortanzahl wurde verglichen: Zahl der fett gedruckten Satzteile, Zahl der fett gedruckten Einzelwörter, Zahl der kursiv gedruckten Satzteile, Zahl der Textabschnitte, Zahl der direkten Verweise, Zahl der indirekten Verweise, Zahl der Bildverweise, Zahl der kausalen Konjunktionen, Zahl der finalen Konjunktionen, Zahl der konditionalen Konjunktionen, Zahl der konsekutiven Konjunktionen, Zahl der kausalen Konjunkionaladverbien, Zahl der konsekutiven Konjunkionaladverbien, Zahl aller grafischen Hervorhebungen, Zahl aller Verweise, Zahl aller Konjunktionen.

Pro Satzanzahl wurde verglichen: Zahl der Zeichnungen eines Textes, Zahl der Analogien, Zahl der Inklusionen, Zahl der Bildbeschreibungen, Zahl der Fragen, Zahl der Hinweise Trennung Modell/Phänomen, Zahl der Fragen, Zahl der kausalen Konjunktionen, Zahl der finalen Konjunktionen, Zahl der konditionalen Konjunktionen, Zahl der konsekutiven Konjunktionen, Zahl der kausalen Konjunkionaladverbien, Zahl der konsekutiven Konjunkionaladverbien, Zahl aller grafischen Hervorhebungen, Zahl aller Konjunktionen.

herstellen lassen könnten. Eine erste empirische Überprüfung besteht darin, einen Text über Physik anhand der bekannten Kriterien zu verfassen, und diesen von den Lernenden beurteilen zu lassen. Die Einschätzung der Verständlichkeit durch Schülerinnen und Schülern, sollte zumindest in einer empirischen Studie die Einschätzungen der Texte des Karlsruher Kurses reproduzieren. Als Themen für diesen Text wurden die optische Abbildung und Eigenschaften des Lichtes gewählt. Der Text besteht insgesamt aus drei Teilen. An dieser Stelle wird nur über den ersten Teil, die optische Abbildung mit der Lochkamera, berichtet. Im Anhang finden sich Beispielseiten: Der Bildtext besteht aus einer Reihe von Seiten, jede Seite besteht aus einem Bild und einigen Sätzen. Der Bildtext lässt sich inhaltlich in vier Teile mit je ca. 10 Seiten teilen. Der Text einer Seite besteht aus zwei bis fünf Sätzen. Insgesamt umfasst der gesamte Text ca. 1500 Worte.

*Inhaltlicher Aufbau des Bildtextes:* Im ersten Teil des Bildtextes wird der Aufbau der Lochkamera gezeigt und handlungsorientiert die Bildentstehung und die Bildeigenschaften erklärt. Im zweiten Teil und dritten Teil stehen die Zerlegung einer beliebigen Lichtquelle in Punktlichtquellen und die Zerlegung des Lichts in Lichtbündel und dünne Lichtbündel im Fokus der Betrachtung. Die Beschreibung des Lichtes setzt Helligkeitsvorstellungen voraus und beginnt mit dem schon elaborierten Modell, dass sich Licht wie ein Fluid gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet (Wiesner 1986, Galili 2000). Im vierten Teil des Textes wird die optische Abbildung durch das Loch mit dem Aussortieren von dünnen Lichtbündeln erklärt. Der inhaltliche Aufbau folgt in seinen wesentlichen Zügen dem Aufbau der Unterrichtsgänge, die von Bresler et al. (2003, insbesondere 5ff) entwickelt wurden. Der Begriff des Lichtstrahls als geometrisches Modell für die phänomenologischen dünnen Lichtbündel sowie die geometrische Konstruktion über den Strahlensatz werden im Bildtext nicht benutzt.

*Gestaltung nach multimedialen Prinzipien:* Der grundlegende Aufbau, d.h. die hochfre-

quente Visualisierung eines Textes, orientiert sich an kognitionspsychologischen Ansätzen zum multimedialen Lernen (z. B. Mayer 2001, Mayer & Moreno 2002). Damit ist das sogenannte Multimediaprinzip verwirklicht. Der möglichen Kritik der kleinschrittigen Aufbereitung des Lernmaterials kann auf zweierlei Arten begegnet werden. Zum einen bedeutet der kleinschrittige Aufbau nicht unbedingt ein Atomisieren der Sinneinheiten in kleinstmögliche Schritte, die für sich betrachtet sehr einfach sind; ein Ansatz, der in den 70er Jahren mit dem programmierten Lernen vorgeschwebt haben mag. Zum zweiten stellt sich die Frage der Ausführlichkeit der Erklärung. Die in der Einleitung benannten Schwierigkeiten der Unverständlichkeit physikalischer Texte lassen sich als mögliche Ursache auch auf unvollständige Erklärungen zurückführen, d.h. sie weisen – in kognitionspsychologischer Sprache – für Novizen zu viele Kohärenzlücken auf (Mandl 1981). Die Frage nach dem optimalen Grad der Ausführlichkeit von Erklärungen führt auf ein „Passungsproblem“: Wie können Informationen zielgruppengerecht so strukturiert werden, dass eine optimale Erstverarbeitung erreicht wird? Bei den vorliegenden Texten zur optischen Abbildung, die für Novizen geschrieben wurden, hat die hochfrequente Visualisierung zu ausführlichen Beschreibungen und Erklärungen der Phänomene und der physikalischen Zusammenhänge geführt. Mayer & Moreno (2002) führen in diesem Zusammenhang den *segmentation effect* an.

*Gestaltung der Illustrationen:* Die Illustrationen wurden theoriegeleitet und anhand kognitionspsychologischer Arbeiten zum Bildverstehen entwickelt; dies betrifft insbesondere die Wahl der kolorierten Handzeichnungen (Weidenmann 2002, 90). Sie erfüllen eine Zeigefunktion und gehören in die Klasse der gegenständlichen, realitätsnahen Bilder. Der Komplexitätsgrad der Zeichnungen ist gering (Ballstaedt 1997, 227f), Text und Bild sind kongruent (Ballstaedt 1997, 251f), die Blickpfade führen von links nach rechts (Ballstaedt 1997, 234).

Die Darstellungscodes der Bilder sind einheitlich gestaltet, so hat z.B. die Blende mit dem

Loch immer die gleiche Form und die gleiche Farbe. Die durchgängigen Darstellungscodes ähneln der redundanten globalen Verwendung der Substantive. Detaillierte Ausführungen zur Gestaltung und zur Optimierung der verwendeten Bilder finden sich bei Slancik et al. (2004).

*Textgestaltung:* Im Vergleich zu anderen Physikbüchern schätzen Schülerinnen und Schüler das Buch zum Karlsruher Physikkurs als besonders verständlich ein (s. 4.2). Mit Hilfe der ersten linguistischen Analysen (Staraschek 1998) und der linguistischen Analyse der Textkohäsion (s. 4.2) lässt sich explorativ eine Reihe von Indikatoren zusammenstellen – ein ‚Set‘ –, mit sich die verständlichen Texte von den weniger verständlichen Texten unterscheiden lassen (s. Tabelle 3, erste Spalte). Um das Textmerkmal der lokalen Textkohäsion zu untersuchen, wurden zwei Varianten desselben Textes hergestellt, die sich nur im Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion unterscheiden: Die K-Version und die IK-Version des Textes.

here Grad der lokalen Kohäsion der K-Version wird damit überwiegend durch die substantivische lokale Textkohäsion erzielt. In den übrigen Textmerkmalen der Tabelle 3 unterscheiden sich die beiden Textversion nur geringfügig.

Wie weiter oben schon angedeutet ist die Beschreibung der globalen Kohäsion eine offene Frage. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei, inwieweit die Sachstruktur mit ihren linguistischen Merkmalen zur globalen Textkohärenz beiträgt. Hier besteht ein Bedarf an linguistischen Analysen und empirischen Studien.

#### 4.2 Einschätzung der Verständlichkeit des ‚Design-Bildtextes‘ durch die Lernenden

Die zentrale Frage lautet: Ergeben sich bei der Einschätzung des Bildtextes durch Schülerinnen und Schüler, der nach den an den verständlichen Texten des Karlsruher Kurses identifizierten Merkmalen gestaltet wurde, Werte in der Einschätzung, die denen der Karlsruher Schüler gleichen? Dies ist mit einer Teilfrage zur lokalen Textkohäsion verbunden:

Tab. 3

Oberflächenmerkmale der Texte	K	IK
Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion (%)	45	15
Grad der globalen substantivischen Textkohäsion (%)	93	84
Klassenstufe nach 4. Wiener Lesbarkeitsformel <sup>a</sup>	5,9	5,8
Zahl der Fachbegriffe <sup>b</sup> (% der Wörter)	5,33	4,82
Zahl der Fachbegriffe ohne Wiederholung (% der Wörter)	0,45	0,64
Persönliche Anrede pro Zahl der Sätze und Nebensätze (%)	33	35

K: Textversion mit hoher lokaler substantivischer Textkohäsion; IK: Textversion mit niedriger lokaler substantivischer Textkohäsion. In beiden Texten wurden Formulierungen im Passiv und Nominalisierungen vermieden. <sup>a</sup>Lesbarkeitsformel nach Bamberger & Vanacek (1984).

<sup>b</sup> Ein Liste der Fachbegriffe kann vom Autor anfordert werden.

In der K-Version sind 45% der benachbarten Sätze substantivisch lokal kohäsiv miteinander verbunden, in der IK-Version sind es nur 15% (s. Tabelle 3). Die linguistische Analyse der nichtsubstantivischen lokalen Textkohäsion zeigt, dass die Zahl der nichtsubstantivischen lokalen Kohäsionen klein ist. Der hö-

Unterscheiden sich die Bildtexte der K- und der IK-Version in der Einschätzung der Verständlichkeit?

Mit der Beantwortung der letzten Frage wäre keine Aussage über eine lernfördernde oder lernhemmende Wirkung dieses Textmerkmals verbunden. Zum einen liegen subjektive

Selbstauskünfte vor, zum anderen müssen implizite Textmerkmale nicht zwangsläufig zu explizierbaren Aussagen führen. Hierzu sind eigene Untersuchungen zur Lernleistung notwendig. Mit einer positiven Beantwortung der ersten Frage hätte ein Autor jedoch ein erstes Instrument an der Hand, um Texte nach dem Erstellen auf deren Leserfreundlichkeit zu prüfen. Eine weitere Teilfrage ist es in diesem Zusammenhang auch, ob die hochfrequente Visualisierung die Einschätzung der Verständlichkeit des Bildtextes beeinflusst. Zu erwarten wäre etwa eine Verstärkung der Unterkategorie ‚Bilder unterstützen das Verstehen‘.

*Design:* Die vorliegenden Ergebnisse sind das Produkt von Begleituntersuchungen zu drei Studien, in denen die Wirkung der Instruktion und der lokalen Textkohäsion auf den Wissenserwerb untersucht wurde. Diese Ergebnisse werden in eigenständigen Arbeiten publiziert. In der vorliegenden Arbeit liegt damit ein unvollständiges Design vor.

*Datenerhebung und Stichprobe:* Die Daten wurden in Studien und Untersuchungen in den Klassenstufen 7 und 10 erhoben. Die gesamte Stichprobe besteht aus acht Teilstichproben. Wird die gesamte Stichprobe zuerst hinsichtlich der Instruktion und damit der medialen Gestaltung geordnet, so ergeben sich vier Teilgruppen. Eine Teilgruppe gehört zu Klasse 7; sie hat den Bildtext in einem Heft gelesen und sollte anschließend das Wichtige mit Notizen zusammenfassen. Eine weitere Teilgruppe gehört ebenfalls der Klasse 7 an; sie hat den Text mit einem linearen Lernprogramm, das über einfache Selbststeuerungsmöglichkeiten verfügt, angehört. Der Bildtext konnte dabei nachgelesen werden. Eine dritte Teilgruppe, ebenfalls Klasse 7, hat den Text ebenfalls mit dem Lernprogramm angehört. Nach dem Anhören wurden sie im Lernprogramm durch einen prompt aufgefordert, sich das eben Gehörte noch einmal selbst zu erklären (z.B. Chi et al. 1994). Auch hier bestand die Möglichkeit, das Gehörte nachzulesen. Die

Schülerinnen und Schüler der zehnten Klassen bilden die vierte Teilgruppe, die mit der *scripted cooperation* (Skriptkooperation) gelernt hat (O'Donnell & Dansereau 1992). Sie haben den Text ebenfalls mit dem Lernprogramm angehört und sich nach einem Leitfaden (script) gegenseitig aufgefordert, das Gehörte zu erklären und einige Fragen zu beantworten. Auch hier bestand die Möglichkeit nachzulesen. Jede Teilgruppe lässt sich in zwei weitere Teilstichproben aufteilen, K- und IK-Version. Nach dem Lernen wurden die Schülerinnen und Schüler aller Teilgruppen aufgefordert, in Analogie zur Befragung der Karlsruher Schüler zwei offene Fragen zur Einschätzung des Textes bzw. des Lernprogramms zu beantworten<sup>1</sup>, sowie einen Wissenstest zur optischen Abbildung mit der Lochkamera zu bearbeiten. Hier soll nur von der Analyse der Einschätzungen des Textes bzw. des Lernprogramms berichtet werden.

Bei Klasse 7 handelt sich um Schülerinnen und Schüler eines Brandenburger Gymnasiums. Alle Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 7 einer Schule waren an der Studie beteiligt. Es handelt sich um eine Klumpenstichprobe. Die Schülerinnen und Schülern der Klassenstufe 10 kommen von einem Berliner und einem Brandenburger Gymnasium. Bei den Schülern in Klasse 7 handelt es sich überwiegend um Anfänger, auch wenn Physik in Brandenburg schon in Klasse 6 in der Grundschule unterrichtet wird. Die zehnten Klassen haben im dritten Jahr Physikunterricht. Die Teilstichproben sind nach Geschlecht geschichtet und innerhalb dieser Schichten vollständig randomisiert. Bei der *scripted cooperation* wurden die Schülerpaare weitgehend so gewählt, dass je eine Person mit hohem und eine Person mit niedrigem Vorwissen in der Gruppe waren.

Als Kontrollvariablen wurden die räumlichen Fähigkeiten mit (KFT-N-Kurz, Heller et al. 1976), die verbalen Fähigkeiten (KFT-V-Kurz, Heller et al. 1976) – ersatzweise für die Berliner Schüler die Deutschnote im letzten Zeug-

<sup>1</sup> 1) Was gefällt dir an dem Text (bzw. am Programm) zur optischen Abbildung?; 2) Was gefällt dir nicht an dem Text (bzw. am Programm) zur optischen Abbildung?



nis –, das Vorwissen zur Optik (Baumert et al. 1998), das spezielle Vorwissen zur Lochkamera (Offene Frage), das fachspezifische Selbstkonzept (Helmke 1992), die fachspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen (Jerusalem & Satow 1999), das Computervorwissen (Senkbeil 2002) und die Bearbeitungszeit erhoben. Die Teilstichproben sind hinsichtlich der erhobenen Personenvariablen in ihrer jeweiligen Klassenstufe vergleichbar.

*Auswertung:* Die Antworten wurden nach einem reduzierten induktiven Verfahren vorgenommen, das sich an der Inhaltsanalyse von Mayring (2000) orientiert. Im Grunde werden die Aussagen in Teilaussagen zerlegt, paraphrasiert und anhand von Ankerbeispielen sortiert. Die Intercoder-Reliabilitäten sind mit einer prozentualen Übereinstimmung von ca. 90% befriedigend. Eine Beschreibung des Verfahrens findet sich in Starauschek (2001) im Anhang.

## 5 Ergebnisse

Tabelle 4 zeigt für Klasse 7 mit 84% und für Klasse 10 mit 116% höhere Werte für die positive Einschätzung der Verständlichkeit als beim Karlsruher Kurs. Die Schüler der zehnten Klasse schätzen die Verständlichkeit positiver ein als die Schüler der Klasse 7. Die Analyse der Unterkategorien zeigt, dass die Unterkategorie ‚verständlicher Text/gute Erklärungen‘ mit 51% und 56% numerisch in der Nähe des Wertes (45%) für den Karlsruher Kurs liegt (Vgl. Tabelle 1).<sup>1</sup>

Bei den negativen Äußerungen fällt in beiden Klassenstufen die starke Besetzung der Kategorie ‚Keine Angabe‘ von Kritik auf. Die Kritik an der Verständlichkeit lässt sich auf die Unterkategorie ‚Text zu lang‘ zurückführen. Insbesondere die Schülerinnen und Schüler

der Klassenstufe 7 empfinden den Text als zu lang. Dies ist plausibel, da der Text sehr viele Informationen erhält.

Damit ist die entscheidende Frage beantwortet: Es gelingt, mit dem vorgeschlagenen Set der linguistischen Verständlichkeitskriterien, einen Text zu gestalten, der von Lernenden als verständlich eingeschätzt wird.<sup>2</sup> Im Gegensatz zu den Untersuchungen beim Karlsruher Kurs treten keine Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen auf. Der Text ist vermutlich nicht nur für Lernende in den Klassenstufen 7 und 10 geeignet, sondern auch für Lernende in den Klassen 8 und 9. Größere Unterschiede zwischen den Klassenstufen 7 und 10 zeigen sich in der Bewertung der Bilder. Lernende in Klasse 10 bewerten die unterstützende Rolle der Bilder beim Verstehen höher ein als die Lernenden der Klassenstufe 7. Dies kann auch mit den unterschiedlichen Instruktionen zusammenhängen. Insgesamt jedoch scheinen die verwendeten piktoralen Repräsentationen das Verstehen zu unterstützen. 56% der Schülermehrfachantworten in Klasse 10 und 26% der Schülermehrfachantworten in Klasse 7 entfallen auf die Unterkategorie ‚Bilder helfen beim Verstehen‘. Zum Vergleich: In der Untersuchung zum Karlsruher Kurs ist diese Unterkategorie mit 11% besetzt.

*Bemerkungen:* (a) Die Kategorie Gestaltung zeigt bei den positiven Äußerungen ein zersplittertes Bild. Bei den negativen Äußerungen der Kategorie Gestaltung sticht als Unterkategorie die Kritik an der Stimme hervor. Die Stimme wird sowohl als zu schnell als auch als zu langsam bezeichnet.

(b) Auf die Darlegung der vollständigen Analyse wird verzichtet. Die Tabellen in Anhang 1 zeigen das Spektrum der Antworten. Mit Hilfe der in Tabelle 4 angegebenen Kategorienziffern

<sup>1</sup> Auf die statistische Berechnung von Signifikanzen kann – entgegen des empirischen Standards – verzichtet werden, da sich die Zahlen, die zu den Folgerungen führen, eindeutig interpretieren lassen. Die numerischen Differenzen reichen für die Unterscheidung in zufällige oder nicht zufällige Ereignisse aus.

<sup>2</sup> Die Frage der Sachstruktur wird in dieser Arbeit nicht weiter diskutiert. Der Text wurde mit Hilfe von Selbsterklärungen und *stimulus-recall*-Interviews mit einer kleinen Zahl von Lernenden erprobt und anschließend bearbeitet. Ein Eindruck von der Sachstruktur lässt sich mit Hilfe von Anhang 2 gewinnen. Einige Hinweise auf die didaktische Struktur finden sich im Abschnitt 4.3, inhaltlicher Aufbau des Bildtextes.

kann geschlossen werden, dass die nicht angegebenen Unterkategorien im Vergleich zu den angegebenen schwach besetzt sein müssen.

Für Klasse 7 liefert die Unterscheidung nach der Instruktion noch einige zusätzliche Hinweise (s. Tabelle 5). Bei der Instruktion Lesen fällt für die Kategorie ‚Verstehen‘ die positive Beurteilung niedriger und die negative Beurteilung höher als beim Hören oder Selbsterklären aus. Bei den Lesern wird mit 30% der Antworten deutliche Kritik an der Verständlichkeit des Textes geäußert. Als zu lang wird der Text sowohl beim Lesen als auch bei der Instruktion Selbsterklärung eingeschätzt. Dies ist plausibel, da das Zuhören weniger eigene Aktivitäten erfordert. Die deutliche Kritik der Leser kann auf Schwierigkeiten mit dem Text hinweisen, die im auditiven Modus überhört werden. Sie kann aber auch von der Ent-

täuschung herrühren, nicht, wie in der Abschlussbesprechung geäußert, zu den Kindern zu gehören, die mit dem Computer arbeiten durften.

Interessant sind auch die Zahlen der Unterkategorien ‚verständlicher Text/gute Erklärungen‘ und ‚Bilder helfen beim Verstehen‘. Beim Hören sind beide Kategorien gleich groß. Bei der Selbsterklärung und beim Lesen überwiegt der Anteil der Unterkategorie ‚verständlicher Text/gute Erklärungen‘. Eine Interpretation hierfür lautet: Die Aufmerksamkeit beim Selbsterklären und Lesen liegt auf dem Text. Die Bilder werden dementsprechend weniger wahrgenommen. Beim Hören stehen nach dem Modalitätsprinzip zwei Kanäle zur Informationsaufnahme zur Verfügung, sodass die Informationen des Textes direkt mit den Informationen des Bildes in Verbindung gebracht werden können.

#### Positive Äußerungen

Klasse 7: Stichprobengröße N=79, Zahl der Antworten N=116

Klasse 10: Stichprobengröße N=121, Zahl der Antworten N=245

Die prozentuale Angabe der Mehrfachnennung bezieht sich auf die Stichprobengröße.

Kategorienziffer	Kategorienbezeichnung Angabe in %, Mehrfachnennungen	Klasse 7	Klasse 10
1	Verstehen	84	116
2	Bilder	9	32
4	Gestaltung	23	45
91	Keine Angabe	11	0

Kategorienziffer	Unterkategorien mit Ankerbeispielen Angabe in %, Mehrfachnennungen	Klasse 7	Klasse 10
11, 12, 16	1. Unterkategorie Verstehen: Einfache Erklärungen, verständliche Erklärungen, gut/leicht zu verstehen, einfach/gut/verständlich erklärt	51	56
17, 18	2. Unterkategorie Verstehen: Bilder helfen beim Verstehen: Mit Bildern erklärt, Bilder helfen verstehen, verständliche/einfache Bilder	26	56
21	1. Unterkategorie Bilder: Gute Abbildungen	8	12

Tab. 4 (Teil 1): Positive und negative Äußerungen der Schülerinnen und Schüler zum Text oder zum Lernprogramm. Gymnasium Brandenburg und Berlin (2003, 2004, 2005), relative Häufigkeit der Mehrfachnennungen, Angabe in %

Negative Äußerungen

Klasse 7: Stichprobengröße N=79, Zahl der Antworten N=87

Klasse 10: Stichprobengröße N=121, Zahl der Antworten N=135

Die prozentuale Angabe der Mehrfachnennung bezieht sich auf die Stichprobengröße.

Kategorienziffer	Kategorienbezeichnung Angabe in %, Mehrfachnennungen	Klasse 7	Klasse 10
2	Verstehen	32	15
3	Bilder	4	19
4	Gestaltung	11	22
90, 91	Keine Angabe	46	46

Kategorienziffer	Unterkategorien mit Ankerbeispielen Angabe in %, Mehrfachnennungen	Klasse 7	Klasse 10
201, 202, 213	1. Unterkategorie Verstehen: Unverständlich, Schwer zu verstehen, Nicht gut erklärt	10	4
204, 205, 206, 208	1. Unterkategorie Verstehen: Zu viel, zu lang	22	9
305	1. Unterkategorie Bilder: Zu einfache Bilder (Handzeichnung)	0	7
401, 402, 403	1. Unterkategorie Gestaltung: Stimme (zu schnell, zu langsam, undeutlich)	5	13

Bemerkungen: (1) Es handelt sich um gerundete Werte.

(2) Die Mehrfachnennungen in den Unterkategorien fallen nicht ins Gewicht. Wenige Lernenden geben etwa an, dass die Erklärungen einfach und der Text gut zu verstehen sei.

(3) Die „kleinen“ Zahlen kennzeichnen die Kategorien, die Zahlen größer als Hundert die Unterkategorien. Die erste Ziffer der Unterkategorien bestimmt, welcher Kategorie sie zugeordnet wird. Im Anhang finden sich die übrigen Unterkategorien. Sie sind nicht explizit angegeben, da sie schwach besetzt sind.

(4) Lesehinweis zur Tabelle an einem Beispiel: Die Angabe 116% in der ersten Datenzeile und letzten Spalte bedeutet, das 116% der Antworten bezogen auf den Stichprobenumfang zu dieser Kategorie gehören. Sie setzt sich additiv aus den Angaben der Unterkategorien zusammen: 2 mal 56% ergeben 112%, d.h. 4% der Antworten verteilen sich auf die übrigen Unterkategorien der Hauptkategorie Verstehen.

Tab. 4 (Teil 2): Positive und negative Äußerungen der Schülerinnen und Schüler zum Text oder zum Lernprogramm. Gymnasium Brandenburg und Berlin (2003, 2004, 2005), relative Häufigkeit der Mehrfachnennungen, Angabe in %

Entgegen der Erwartung finden sich in den Einschätzungen für die Kategorie ‚Verstehen‘ und deren Unterkategorien weder für Klassenstufe 7 noch für Klassenstufe 10 Unterschiede zwischen K- und IK-Version. Die Differenzen liegen zwischen 1–5%. Wird die Analyse nach einem *split half* mit der Variable Vorwissen in Optik durchgeführt, so zeigen sich ebenfalls nur geringe Differenzen. Wird jedoch nach den Variablen Vorwissen – in den Ausprägungen hoch und niedrig – und lokaler substantivischer Textkohäsion – ebenfalls in den Ausprägungen hoch (K) und niedrig (IK) – diffe-

renziert, so ist für Klasse 10 mit der Instruktion *scripted cooperation* bei den Schülerinnen und Schülern mit dem niedrigen Vorwissen bei der IK-Version die Kategorie ‚negative Einschätzung der Bilder‘ mit 24% der Nennungen besetzt, die sich mit 17% auf die Unterkategorie „Zu einfache Bilder“ zurückführen lässt. Zum Vergleich: In den drei übrigen Teilgruppen ist diese Unterkategorie mit 2%, 3% und 5% besetzt. Dieser Unterschied ist schwer zu deuten. Bei den Schülern mit niedrigem Vorwissen, die mit der K-Version des Lernprogramms gearbeitet haben, zeigt sich mit 18% eine starke

**Positive Äußerungen**

Hören: Stichprobengröße N=27, Zahl der Antworten N=41; Selbsterklärung: Stichprobengröße N=28, Zahl der Antworten N=45; Lesen: Stichprobengröße N=24, Zahl der Antworten N=30  
Die prozentuale Angabe der Mehrfachnennung bezieht sich auf die Stichprobengröße.

Kategorienziffer	Kategorienbezeichnung Angabe in %, Mehrfachnennungen	Hören	Selbsterklärung	Lesen
1	Verstehen	89	89	71
2	Bilder	11	11	4
4	Gestaltung	33 <sup>1</sup>	23 <sup>2</sup>	17
91	Keine Angabe	15	0	21

Kategorienziffer	Unterkategorien mit Ankerbeispielen Angabe in %, Mehrfachnennungen	Hören	Selbsterklärung	Lesen
11, 12, 16	1. Unterkategorie Verstehen: Einfache Erklärungen, verständliche Erklärungen, gut/leicht zu verstehen, einfach/gut/verständlich erklärt	44	61	46
17, 18	2. Unterkategorie Verstehen: Bilder helfen beim Verstehen: Mit Bildern erklärt, Bilder helfen verstehen, verständliche/einfache Bilder	37	21	17
21	1. Unterkategorie Bilder: Gute Abbildungen	11	11	0

<sup>1</sup> 44 (Hören gut): 17%; <sup>2</sup> 43 (Man kann noch einmal nachlesen), 45 (Gute Stimme): je 9%; bei den Selbsterklärern ist auch die Antwort „Schritt für Schritt erklärt“ häufig, was die Instruktion widerspiegelt.

**Negative Äußerungen**

Hören: Stichprobengröße N=27, Zahl der Antworten N=28; Selbsterklärung: Stichprobengröße N=28, Zahl der Antworten N=28; Lesen: Stichprobengröße N=24, Zahl der Antworten N=31  
Die prozentuale Angabe der Mehrfachnennung bezieht sich auf die Stichprobengröße.

Kategorienziffer	Kategorienbezeichnung Angabe in %, Mehrfachnennungen	Hören	Selbsterklärung	Lesen
1	Verstehen	11	29	59
2	Bilder	4	0	8
4	Gestaltung	22	11	0
91	Keine Angabe	39	43	33

Kategorienziffer	Unterkategorien mit Ankerbeispielen Angabe in %, Mehrfachnennungen	Hören	Selbsterklärung	Lesen
201, 202, 213	1. Unterkategorie Verstehen: Unverständlich, Schwer zu verstehen, Nicht gut erklärt	0	4	30
204, 205, 206, 208	1. Unterkategorie Verstehen: Zu viel, zu lang	11	25	29
305	1. Unterkategorie Bilder: Zu einfache Bilder (Handzeichnung)	0	0	0
401, 402, 403	1. Unterkategorie Gestaltung: Stimme (zu schnell, zu langsam, undeutlich)	7	7	-

Bemerkungen: (1) Es handelt sich um gerundete Werte.

(2) Die „kleinen“ Zahlen kennzeichnen die Kategorien, die Zahlen größer als Hundert die Unterkategorien. Die erste Ziffer der Unterkategorien bestimmt, welcher Kategorie sie zugeordnet wird. Im Anhang finden sich die übrigen Unterkategorien. Sie sind nicht explizit angegeben, da sie schwach besetzt sind.

(3) Die Mehrfachnennungen in den Unterkategorien fallen nicht ins Gewicht.

(4) Ein Lesehinweis findet sich bei den Bemerkungen von Tabelle 4.

Tab. 5: Positive und negative Äußerungen der Schülerinnen und Schüler zum Text oder zum Lernprogramm. Gymnasium Brandenburg Klasse 7 (2003), relative Häufigkeit der Mehrfachnennungen, Angabe in %

Besetzung der Unterkategorie ‚zuviel/zu lang‘; in den drei übrigen Teilgruppen ist zum Vergleich diese Unterkategorie mit 0%, 3% und 4% besetzt. Rechnerisch gesehen unterscheiden sich die Versionen um ca. 200 Wörter (Zahl der Wörter K-Version: 1765; Zahl der Wörter IK-Version: 1556). Dies kann als Hinweis gedeutet werden, dass die K-Version bei Schülern mit niedrigem Vorwissen in Klassenstufe 10 zu Behinderungen führt, die von den Schülern mit höherem Vorwissen kompensiert werden können.

Wird der Einfluss der verbalen Fähigkeiten und des räumlichen Vorstellungsvermögens nach dem KFT in der Teilstichprobe Klasse 10 auf die Einschätzung der Verständlichkeit *ex-post* mittels *split half* analysiert, so zeigen sich keine Unterschiede. Eine Aufteilung nach der Deutschnote ergibt ebenfalls keine Unterschiede. Ein Aufteilung nach den Variablen lokale substantivische Textkohäsion (Ausprägungen K und IK) und verbale Fähigkeiten bzw. räumliches Vorstellungsvermögen – ebenfalls mit *split half* – zeigen auch keine Unterschiede. Die Lernenden in Klasse 10 schätzen den Bildtext in Verbindung mit der *scripted cooperation* hinsichtlich seiner Verständlichkeit unabhängig von ihren persönlichen Lernvoraussetzungen ein.

## 6 Zusammenfassung und Diskussion

Die Stichprobe, die der Untersuchung zum Karlsruher Kurs zu Gunde liegt, und die Stichprobe der vorliegenden Untersuchung sind nicht direkt vergleichbar. Die Aussagen aus der Untersuchung zum Karlsruher Kurs sind Aussagen über den Unterricht nach einem oder einigen Schuljahren. Die Aussagen der vorliegenden Untersuchung sind Aussagen über einen Bildtext, mit dem im Durchschnitt zwanzig Minuten gearbeitet wurde.

Es wurde gezeigt, dass sich ein in den Augen der Lernenden verständlicher, multimedialer, expositorischer Text mit Hilfe von definierten Kriterien gestalten oder auch ‚machen‘ lässt. Das *set* der Eigenschaften besteht aus Merkmalen, die in der fachdidaktischen Literatur bekannt sind, und zwei linguistischen Merkmalen, die sich kognitionspsychologisch begrün-

den lassen: die lokale und globale substantivische Textkohäsion. Diese beiden Merkmale wurden heuristisch-empirisch validiert. Hinsichtlich des ‚Textdesigns‘ sind die Möglichkeiten der linguistischen Analyse nicht ausgeschöpft. Zum einen ist die Frage offen, wie ein oder auch andere optimale sets von Textoberflächeneigenschaften beschaffen sind. Insbesondere stehen hier Fragen nach den globalen Kohärenzbildungshilfen und der Sachstruktur im Mittelpunkt des Interesses. Die hierzu notwendigen Untersuchungen sollten allerdings tiefer und breiter linguistisch basiert sein. Zum anderen stehen die Ergebnisse der Untersuchungen aus, die Wissensunterschiede in Abhängigkeit der Variablen ‚lokale substantivische Textkohäsion‘ und ‚Instruktion‘ messen. Letzten Endes ist eine verständliche Textgestaltung allein keine hinreichende Bedingung für den Wissenserwerb beim schulischen Fachlernen, sondern eine möglicherweise notwendige, da sie der Funktionsweise des kognitiven Apparates Rechnung trägt. Entgegen der Erwartung zeigt sich in der Einschätzung der Lernenden kein eindeutiger Unterschied, aus dem auf eine generelle Präferenz für die eine oder andere Textvariante, die sich im Grad der lokalen substantivischen Kohäsion unterscheidet, geschlossen werden könnte. Hingegen ist die Einschätzung, abgesehen von der Instruktion oder der Klassenstufe, unabhängig von den Persönlichkeitsvariablen, mit denen das Vorwissen erfasst wird.

Der gewählte Ansatz ist ‚weich‘. Deshalb soll der heuristische Wert der vorliegenden Daten in den Fokus der Beurteilung rücken. Die Untersuchung liefert einen ersten Anhaltspunkt für weitere Arbeiten, in denen andere oder optimierte sets entwickelt werden können. Die Texte werden daher offen gelegt. Im Anhang 2 befinden sich exemplarisch eine Reihe der Seiten.

Der erwartungswidrige Befund, dass die Lernenden die Texte unabhängig vom Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion als verständlich einschätzen, deutet auf ein überbestimmtes *set* hin. In Verbindung mit Bildtexten und den übrigen Parametern, die eine hohe Textverständlichkeit indizieren, scheint

die lokale substantivische Textkohäsion in der Einschätzung der Lernenden keine Rolle zu spielen. Dieser Befund ist zu hinterfragen:

(1) Es ist nicht geklärt, ob die lokale substantivische Textkohäsion die Text-Bild-Kohärenz beeinflusst. Bei Texten mit wenigen oder keinen Bildern könnte durchaus der erwartete Effekt in der Einschätzung auftreten.

(2) Es ist nicht geklärt, ob die lokale substantivische Textkohäsion nicht in anderen Parameterkonstellationen eine Rolle spielt. Sind etwa die Sätze länger und werden häufiger vielsilbige Worte verwendet, so könnte die lokale substantivische Textkohäsion durchaus zur Verständlichkeit von Texten und Bildtexten beitragen.

(3) Es ist durchaus möglich, dass die lokale substantivische Textkohäsion den Wissenserwerb beeinflusst, ohne dass dies von den Lernenden bemerkt wird.

Was bedeutet der erwartungswidrige Befund für die Diskussion um die hohe Verständlichkeit der Texte des Karlsruher Kurses? In der Diskussion wird das Argument vorgebracht, dass die Texte sehr gut zum Unterrichtsgang ‚passen‘. Die Verständlichkeit der Texte wäre damit nicht allein auf linguistische Merkmale zurückzuführen, sondern auch auf die Nützlichkeit für die Lernenden. Generell ist zu sagen, dass diese Frage durch eine Vergleichsuntersuchung mit den Variablen Verständlichkeit und Passung zu klären wäre. Der erwartungswidrige Befund spricht auf den ersten Blick für das Argument der Passung und damit für eine Kombination der beiden Variablen, da die Texte zum Karlsruher Kurs auch hinsichtlich anderer Textmerkmale eine höhere Verständlichkeit aufweisen. Die Frage der Passung spielt allerdings für die Lernenden bei den Studien keine Rolle. Insofern bleibt die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Passung, linguistischen Textverständlichkeitskriterien und Schülereinschätzung offen.

Es sei noch einmal betont, dass die Arbeit des Schreibens nicht ersetzt werden kann. Das *set* kann im Nachhinein für den Autor eine Hilfe sein, einen Text nach dem Schreibprozess adressatengerecht zu gestalten. Weitere, sowohl linguistische als auch kognitionspsy-

chologische, Grundlagenuntersuchungen sind wünschenswert. Von Bedeutung sind die Fragen nach der Verständlichkeit von Schülertexten auch aus einer anderen Perspektive: Verständliche Texte können die Einstellung von Schülerinnen und Schülern zum Physikunterricht positiv beeinflussen. Dem Attribut der Unverständlichkeit des Physikunterrichts kann an dieser Stelle entgegengewirkt werden.

Die gewählten piktoralen Repräsentationen werden als hilfreich für das Verstehen angesehen. Im Urteil der Schüler zeigt sich ein deutlicher Einfluss. Es lässt sich annehmen, die Art der Gestaltung von Texten und Bildern zur Verständlichkeit des Textes beiträgt. Dieser Effekt tritt besonders bei den Lernenden in Klasse 10 mit der Instruktion der *scripted cooperation* auf. Auch in Klassenstufe 7 zeigt sich ein deutlicher Effekt. Die Fragen der Text-Bild-Kohärenz sind hierbei noch offen. Insbesondere ist ungeklärt, welche Rolle die Bilder des Lernprogramms bei der Aufmerksamkeitssteuerung spielen, und wie sich die in Bild und Text enthaltenen Informationen ergänzen oder auch stören.

Die Annahme der Äquivalenz von Lese- und Hörverstehen sowie von Textverstehen und Leseverstehen trägt im Rahmen der Untersuchung. Ob das *set* der Textmerkmale für verständliche Texte auch für die Verständlichkeit des Lehrervortrages oder mündlicher Erklärungen in Schüler-Schüler-Gesprächen eine Rolle spielen, ist ebenfalls eine offene Frage. Das Merkmal der nominalen lokalen Textkohäsion entspricht nicht dem, was guter Stil genannt wird: Gleiche Wörter sind zu vermeiden. Eine Antwort über die Wirkung der lokalen substantivischen Textkohäsion auf den Wissenserwerb steht wie weiter oben schon angesprochen noch aus. Hier kann wieder auf die Eingangs erwähnte Balance verwiesen werden, die ein Autor für seine Leser zu finden hat. Novizen allerdings scheinen die nominalen Verbindungen beim Lesen zu nutzen (Schnotz 1994, 265). Die Ergebnisse der Studien zum Wissenserwerb sind abzuwarten. Es existieren zudem zwei weitere Teile des Lernprogramms: Einer zur Verbesserung der optischen Abbildung mit der Lochkamera und

ein weiterer zur optischen Abbildung mit der Linse. Damit soll untersucht werden, ob sich mögliche Effekte der Textgestaltung auch bei schwierigen Themen wie der optischen Abbildung mit der Linse und über mehrere Einheiten hinweg zeigen.

Was konkret hat die diskutierte Textkohäsion mit Physikdidaktik zu tun? Eine erste nüchterne Antwort lautet: Das vorgeschlagene *set* ist für die Physikdidaktik nicht spezifisch. Insofern können die Ergebnisse auch zur Gestaltung von Fachtexten verwandter Wissensdomänen herangezogen werden. Eine zweite Antwort findet sich nur für die globale Textkohäsion. Die nominalen Verbindungen scheinen die Suchfunktion bei der Textverarbeitung zu unterstützen. Es gibt aber auch globale Kohärenzhilfen, die durch die Physik und ihre Didaktik bestimmt sind. Zur Wissensorganisation tragen in besonderen Maße Analogien bei (z.B. Duit 1991), von denen aus fachdidaktischer Sicht oft mehrere zur Verfügung stehen. Die Frage liegt auf der Hand: Welche Analogie ist lernwirksam und wie hoch ist ihr Beitrag zur Einschätzung der Verständlichkeit? Diese Frage lässt sich beantworten, wenn eine Analogie in einem verständlichen Text verwendet und mit einem ansonsten identischen Text verglichen wird, der diese Analogie nicht enthält. Offen ist auch die Frage, wie die Sachstruktur die Verständlichkeit beeinflusst.

Neues Licht können auch der bilinguale Unterricht und der naturwissenschaftliche Unterricht in der Grundschule auf die Bedeutung der lokalen und globalen substantivischen Kohäsion werfen. Unter diesen Aspekten ist die Frage nach dem Grad der Verwendung von Substantiven neu zu diskutieren.

## Literatur

- Apolin, M. (2002). Die Sprache in Physikschulbüchern unter besonderer Berücksichtigung von Texten zur speziellen Relativitätstheorie. Dissertation, Universität Wien.
- Baddeley, A. D. (1977). The psychology of memory. New York: Basic Books.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7, 85-97.
- Ballstädt, S.-P. (1997). Wissensvermittlung – Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Beltz.
- Bamberger R. & Vanecek, E. (1984). Lesen, Verstehen, Lernen, Schreiben. Wien: Jugend und Volk.
- Baumert, J. et. al. (Hrsg.) (1998). Testaufgaben Naturwissenschaften, TIMSS 7./8. Klasse (Population 2). Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Bresler, S., Heepmann, B., Muckenfuß, H. und Schröder, W. (2003). Natur und Technik Realschule NRW Physik 7/8, Handreichungen für den Unterricht mit Kopiervorlagen zum Schülerbuch 851044. Berlin: Cornelsen.
- Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (1997). Gutachten zur Vorbereitung des Programms SINUS. Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung, Heft 60, Bonn. <http://www.blk-bonn.de/> (Stand: 4/2006)
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H. & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439 - 477.
- de Leeuw, N. & Chi, M. T. H. (2003). The role of self-explanation in conceptual change learning. In G. Sinatra & P. Pintrich (Eds.), *Intentional Conceptual Change* (pp.55-78). Mahwah: Erlbaum.
- Dimopoulos, K., Kouladis, V. & Sklaveniti, S. (2003). Towards an analysis of visual images in school science textbooks and press articles about science and technology. *Research in Science Education*, 33, 189-216.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672.
- Duit, R. (2006). Der Physikunterricht nach TIMSS und PISA Schocks. In V. Nordmaier & A. Oberländer (Hrsg.), CD zur DPG-Tagung 2006 Kassel. Berlin: Lehmanns.
- Feldner, P. (1997). Zur Sprachgestaltung in Physikschulbüchern. Tagungsband zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der DPG Berlin, 200-205.
- Galili, I. (2000). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22, 57-88.
- Groeben, N. (1982). *Leserpsychologie: Textverständnis – Textverständlichkeit*. Münster: Aschendorff.

- Heller, K., Gaedicke, A. K. & Weinläder, H. (1976). Kognitiver Fähigkeitstest (KFT 4-13). Weinheim: Beltz.
- Helmke, A. (1992). Determinanten der Schulleistung: Forschungsstand und Forschungsdefizit. In G. Nold (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien* (S. 23-34). Tübingen: Narr.
- Herrmann, F. (1998). *Der Karlsruher Physikkurs*. Köln: Aulis.
- Jerusalem, M. & Satow, L. (1999). Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartungen. In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Hrsg.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen, Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuches 'Selbstwirksame Schulen'* (S. 15-16). Berlin: FU Berlin.
- Kintsch, W. & van Dijk, T. A. (1978). Towards a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363-394.
- Langer, I., Schulz von Thun, F. & Tausch, R. (1974). *Verständlichkeit in Schule, Verwaltung, Politik, Wissenschaft*. München: Reinhardt.
- Lemke, J. (1990). *Talking Science: Language, Learning, and Values*. Norwood NJ: Ablex Publishing.
- Lemke, J. L. (1998). *Metamedia Literacy: Transforming Meanings and Media*. In D. Reinking, L. Labbo, M. McKenna, & R. Kiefer (Eds.), *Handbook of Literacy and Technology: Transformations in a Post-Typographic World* (pp. 283-301). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lewalter, D. (1997). Kognitive Informationsverarbeitung beim Lernen mit computerpräsentierten statischen und dynamischen Illustrationen. *Unterrichtswissenschaft – Zeitschrift für Lernforschung*, 25, 207-222.
- M. Halliday & R. Hasan (1976). *Cohesion in English*. London: Longman.
- Mandl, H. (1981). *Zur Psychologie der Textverarbeitung. Ansätze, Befunde, Probleme*. München: Urban & Schwarzenberg, 3-37.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38, 43-52.
- Mayer, R.E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.
- Mayer, R.E. (2003). *Learning and Instruction*. New Jersey: Merrill Prentice Hall.
- Mayring, P. (2000). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Merzyn, G. (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht*. Kiel: IPN.
- O'Donnell, A. M. & Dansereau, D. F. (1992) Scripted cooperation in student dyads: A method for analyzing and enhancing academic learning and performance. In R. Hertz-Lazarowitz & N. Miller (Eds.), *Interaction in cooperative groups* (pp. 120-141). New York: Cambridge University Press.
- Pfaff, H. (2002). Referenzen in Texten. In P. G. Baireuther & H. Gerstberger (Hrsg.), *Perspektiven des Verstehens* (S. 103-116). Hohengehren: Schneider.
- Rabe, T., Starauschek, E. & Mikelskis H. F. (2005). Textkohärenz und Selbsterklärung beim Lernen mit Texten im Physikunterricht, Ergebnisse einer Vorstudie zur lokalen Textkohärenz. In V. Nordmaier (Hrsg.), *CD zur DPG-Tagung 2004 Düsseldorf*. Berlin: Lehmanns.
- Reimann, P., & Rapp, A. (In Vorbereitung). Expertiseforschung. In A. Renkl, (Hrsg.). *Pädagogische Psychologie*. Bern: Huber.
- Rosch, J. (2006). Aufgabenanalyse als Methode der Bildungsforschung – Ein mikrologischer Zugang zum Problemfeld von Didaktik und Lernen. In S. Rahm, I. Mommes & M. Schratz (Hrsg.), *Unterrichtsforschung, Perspektiven innovativer Ansätze. Schulpädagogische Forschung Bd. 1* (S. 167-186). Innsbruck: Studienverlag.
- Rodrigues, S. & Thompson, I. (2001). Cohesion in science lesson discourse: clarity, relevance and sufficient information. *International Journal of Science Education*, 23, 929-940.
- Rost, D. H. (1998). Leseverständnis. In D. H. Rost. (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 334-339). Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen*. Weinheim: Beltz.
- Senkbeil, M. (2002). Die Entwicklung der Mediennutzung und –kompetenz von Schülerinnen und Schülern im Längsschnitt. In M. Prenzel, M. Senkbeil, T. Ehmke & M. Bleschke (Hrsg.), *Didaktisch optimierter Einsatz Neuer Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 91-139). Kiel: IPN.
- Slancik, K., Starauschek, E. & Mikelskis, H.F. (2005). Bedingungen für die Gestaltung von Animationen beim Physiklernen. In A. Pitton (Hg.), *Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung* (S. 390-392). Münster: LIT.
- Starauschek, E. (1998). *Zur Sprache im Karlsruher Physikkurs. Praxis der Naturwissenschaften, Physik*, 47, 24-28.
- Starauschek, E. (2001). *Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs – Ergebnisse einer Evaluationsstudie*. Berlin: Logos.
- Starauschek, E. (2003). Ergebnisse einer Schülerbefragung über Physikschulbücher. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 135-146.
- Starauschek, E. (2005). Über den Einfluss der Textkohärenz auf den Wissenserwerb in Physik. In V. Nordmaier (Hg.), *CD zur DPG-Tagung 2004 Düsseldorf*. Berlin: Lehmanns.
- Sumfleth, E. & Schüttler, S. (1995). Linguistische Textverständlichkeitskriterien – Helfen sie bei der Darstellung chemischer Inhalte? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1, 55-72.



- Sumfleth, E. & Telgenbüscher, L. (2000). Zum Einfluss von Bildmerkmalen und Fragen zum Bild beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern – Beispiel Massenspektroskopie. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 6, 59-78.
- Weidenmann, B. (2002). Abbilder in Multimediaanwendungen. In L. J. Issing & P. Klimsa, (Hg.), Information und Lernen mit Multimedia und Internet (S. 83-96). Weinheim: Beltz PVU.
- Wiesner, H. (1986). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. Naturwissenschaften im Unterricht, Physik/Chemie, 34, 13, 25-29.

#### Hinweis

Der Bildtext wurde von E. Starauschek unter der Mitarbeit von K. Slančík (Bilder) und T. Rabe entwickelt.

Dr. Erich Starauschek ist Professor für Naturwissenschaftliches Lernen mit den Schwerpunkten Physik und Grundschule an der Pädagogischen Hochschule Weingarten.

Prof. Dr. Erich Starauschek  
Physik und ihre Didaktik  
Pädagogische Hochschule Weingarten  
Kirchplatz 2  
88250 Weingarten

E-Mail: [starauschek@ph-weingarten.de](mailto:starauschek@ph-weingarten.de)

## Anhang 1

**Tabelle 6: Kategoriensystem zur Auswertung der Frage:  
Was gefällt Dir am Programm zu optischen Abbildung?**

<b>Verstehen</b>			
Einfache Erklärungen, verständliche Erklärungen, gut/leicht zu verstehen, einfach/gut/verständlich erklärt	11	1	
Deutlich erklärt, logisch erzählt,	12	1	
Guter Umfang: Nicht zu lang, ausführlich	13	1	
Begriffe werden erklärt	14	1	
Fragen leiten zur nächsten Seite	15	1	
Schritt für Schritt erklärt, genau erklärt, langsam erklärt	16	1	
Bilder passen zum Text, anhand von Bildern gezeigt, Text <u>und</u> Bild	17	1	
Bilder helfen beim Verstehen: Mit Bilder erklärt, Bilder helfen verstehen, verständliche/einfache Bilder	18	1	
<b>Bilder</b>			
Gute Abbildungen	21	2	
Viele Bilder, bunte/schöne Bilder	22	2	
Bilder machen es spannend	23	2	
Bilder einprägsam	24	2	
<b>Beispiele, Organizer</b>			
gute Beispiele	31	3	
Zusammenfassung	32	3	
<b>Gestaltung</b>			
Vorhandene Materialien	41	4	
Guter Aufbau des Programms	42	4	
Man kann noch mal nachlesen	43	4	
Man kann hören / muss nicht lesen, es gibt einen Erzähler	44	4	
Deutlich und langsam gesprochen/gute Stimme	45	4	
Hören zum Bild	46	4	
Fragen im Text regen zum Nachdenken an	47	4	
<b>Instruktion</b>			
Man kann mitarbeiten	51	5	
Arbeit am PC	52	5	
Durch Mitsprechen besseres Einprägen	53	5	
Partnerarbeit (gegenseitig helfen)	54	5	
Jeder hat sein eigenes Tempo	55	5	
<b>Inhalt</b>			
Einzelne Themen	61	6	
<b>Positive Zustimmung</b>			
Alles, macht Spaß, freundlich, kindgerecht Ich glaube, das diesmal jeder verstanden hat	71	7	
Sonstiges	81	8	
Nichts	90	9	
Keine Angabe	91	91	

Bemerkung: Zweistellige Zahlen charakterisieren mit einer Ausnahme die Unterkategorien, die einstelligen Ziffern die Kategorien.

**Tabelle 7: Kategoriensystem zur Auswertung der Frage:  
Was gefällt Dir nicht am Programm zur optischen Abbildung?**

<b>Verstehen</b>			
	Unverständlich, schwer zu verstehen, nicht gut erklärt	201	2
	Einiges schwer zu verstehen	202	2
	Es war etwas durcheinander	203	2
	Alles wird auf einmal erklärt	204	2
	Zuviel in einer Seite	205	2
	Der Text ist sehr lang (zum Hören)	206	2
	Zu detailliert, zu ausführlich, zu langsam	208	2
	Ablenkung durch Unwichtiges	209	2
	Zu viele Fragen	210	2
	Redundant, zu viele Wiederholungen	211	2
	Fachbegriffe verwenden	212	2
	Bei manchen Fragen verstehe ich die Fachwörter nicht	213	2
<b>Bilder</b>			
	Fehlende Bilder	301	3
	Fehlende Beschriftung der Bilder	302	3
	Zu viele Bilder	303	3
	Zu kleine Bilder	304	3
	Zu einfache Bilder (Handzeichnung)	305	3
	Bilder, unanschauliche Bilder	306	3
<b>Gestaltung</b>			
	Stimme zu schnell	401	4
	Stimme zu langsam	402	4
	Stimme undeutlich, etc.	403	4
	Wahl Hören/Lesen fehlt	404	4
	Nicht nutzerfreundlich	405	4
	Aufgaben fehlen	406	4
	Der Hintergrund	407	4
	Text beim Hören mitlesen	408	4
	Wiederholung hören fehlt	409	4
	Schrift zu groß	207	4
<b>Instruktion</b>			
	Das Mitreden / laut Sprechen	501	5
	Kein Nachfragen möglich	502	5
<b>Inhalt</b>			
	Einzelne Themen	601	6
	Nur ein Themengebiet wird behandelt / Nur einmal einsetzbar	602	6
<b>Ablehnung</b>			
	Ist einfach langweilig, uninteressant, monoton	701	7
	Kindisch	702	7
<b>Sonstiges</b>		801	8
<b>Volle Ablehnung (Alles)</b>		901	89
<b>Keine Kritik</b>		902	90
<b>Keine Angabe</b>		991	91

Bemerkung: Dreistellige Zahlen charakterisieren die Unterkategorien, die ein- oder zweistelligen Ziffern die Kategorien.

**Anhang 2: Ausschnitte aus dem Bildtext**  
(Original in Farbe)

3

Wir fragen also: Wie sieht eine Lochkamera aus?  
Eine Lochkamera ist ein Kasten, zum Beispiel ein Schuhkarton oder eine andere Schachtel. In einer der beiden kleineren Seiten ist ein kleines Loch. Auf der Seite gegenüber dem Loch sitzt die Mattscheibe.

4

Eine Mattscheibe ist ein flacher Gegenstand, der fast durchsichtig ist, aber durch den man nicht direkt schauen kann. Wir können zum Beispiel Butterbrot- oder Pergamentpapier als Mattscheibe nehmen.

6

Jetzt kannst Du den Kasten in die Hand nehmen und die Lochseite auf einen Baum richten.  
Was siehst Du, wenn Du die Mattscheibe betrachtest?

7

Auf der Mattscheibe erscheint ein Bild des Baumes. Aber das Bild ist nicht so, wie Du es vielleicht erwartest: Der Baum steht auf dem Kopf. Und auf dem Bild ist alles kleiner als in der wirklichen Landschaft.  
Wenn wir Bilder von Gegenständen auf einer Mattscheibe auffangen können, dann sagen wir, dass eine optische Abbildung stattfindet.

8

Wie verändert sich das Bild, wenn Du die Mattscheibe nach vorne oder nach hinten schiebst?

9

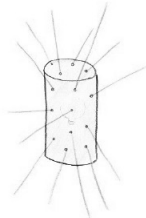
Schieben wir die Mattscheibe zum Loch hin: Das Bild wird kleiner. Und jetzt in die andere Richtung: Das Bild wird größer. Dabei verändert sich die Position des Gegenstandes nicht. Das Bild des Gegenstandes ist umso größer, je weiter die Mattscheibe vom Loch entfernt ist.

10

Wir kommen gleich zum wichtigen Teil des Lernprogramms. Dort wollen wir erklären, wie das Bild auf der Mattscheibe entsteht. Dazu müssen wir eine der Eigenschaften des Lichtes kennen: Wir müssen wissen, dass sich Licht geradlinig ausbreitet. Was heißt das?

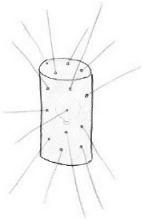
17

Es reicht erst einmal aus, mit Hilfe von so genannten Blenden nur einen Teil des Lichtes zu verwenden, um solche Lichtbündel herzustellen. Eine Blende ist ein Gegenstand, der das Licht nur an einer kleinen Öffnung durchlässt oder an mehreren Öffnungen.



18

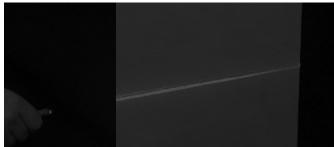
Die Lichtbündel, die hinter den Blenden entstehen, laufen auch trichterförmig auseinander – allerdings nur sehr wenig, wenn das Loch klein ist. Man kann deshalb sagen: Das Lichtbündel verbreitert sich nicht, wenn eine Strecke von der Länge eines Meters betrachtet wird.



19

Eine Lichtquelle, die Lichtbündel herstellt, die fast nicht auseinander laufen, kann jeder kaufen: Einen Laserpointer. Über große Entfernungen ändert sich daher der Durchmesser des Lichtbündels aus dem Laserpointer nicht.

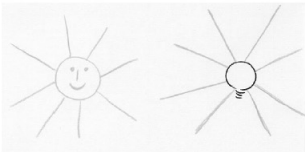
So ein Laserpointer sieht so ähnlich aus wie ein Kugelschreiber. Sein Licht kannst Du nur sehen, wenn es zum Beispiel eine Wand oder einen Tisch streift.



21

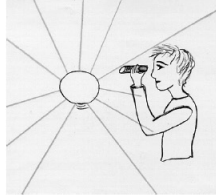
Beginnen wir mit einer Glühlampe. Wie breitet sich das Licht von einer Glühlampe aus?

Vielleicht wirst Du sagen, das ist doch ganz einfach. Zeichne die dünnen Lichtbündel so ein, wie kleine Kinder Sonnenstrahlen einzeichnen.



22

Aber stimmt dieses Bild der Sonnenstrahlen mit den Beobachtungen überein? Physikerinnen und Physiker fragen sehr genau nach. Sie könnten Dich bitten, mit einer Pappröhre auf den Rand einer Glühlampe zu sehen. Nimm an, dass Du dabei die Pappröhre schräg zu allen gelben Linien hältst. Keine dieser gelben Linien gelangt in die Pappröhre. Du könntest die Lampe durch die Pappröhre also gar nicht sehen. Du siehst sie aber. Etwas stimmt nicht an dem einfachen Bild.



23

Um zu verstehen, wie Licht auch schräg in die Papprolre fällt, wenden wir einen Trick an: Wir machen die Glühlampe immer kleiner. So klein, dass Du sie fast nicht mehr erkennen kannst. Die Glühlampe ist zu einem Fleck geschrumpft.

24

In welche Richtungen wird sich das Licht von einem ganz kleinen Fleck ausbreiten? Die Antwort lautet: in alle Richtungen. Wir könnten das durch unendlich viele dünne Lichtbündel darstellen. Weil wir nicht alle dünnen Lichtbündel zeichnen können, haben wir nur einige ausgewählt.

25

Wir zerlegen jetzt die Lampe in viele kleine Lichtquellen, in Flecken. Von jedem Fleck zeichnen wir dann dünne Lichtbündel in alle Richtungen ein. Jetzt kannst Du auch verstehen, dass es egal ist, wie Du mit Deiner Papprolre auf die Lampe siehst. Es gibt immer Lichtbündel, die sich in Richtung der Papprolre ausbreiten.

28

Wir zerlegen jetzt eine Kerzenflamme. Die Farben der Kerzenflamme sind übertrieben eingezeichnet, um verschiedene Stellen der Flamme deutlich unterscheiden zu können. In Wirklichkeit sind die Farben nicht so getrennt. An jedem Punkt der Kerzenflamme kann man beliebig viele dünne Lichtbündel einzeichnen, die in alle Richtungen gehen. Nehmen wir zuerst eine rote Stelle und zeichnen rote Lichtbündel ein.

29

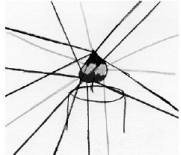
Dann die Lichtbündel von einer gelben Stelle. Und jetzt von einer blauen Stelle. Das Bild wird schnell unübersichtlich.

31

Diese drei Gegenstände stellen wir in einen dunklen Raum und zünden die Kerze an. Auf der Mattscheibe erscheint das Bild der Kerzenflamme.

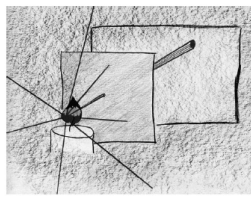
32

Zerlegen wir die Kerzenflamme noch einmal in Punktlichtquellen. Wie war das noch? Die Kerzenflamme wird in einzelne Punkte zerlegt, von denen dann dünne Lichtbündel in alle Richtungen ausgehen.



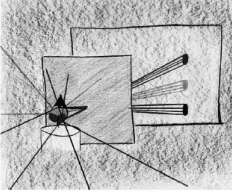
33

Wo kommen die Lichtbündel an?  
 Von der roten Stelle kommen die rot gezeichneten dünnen Lichtbündel. Das Loch lässt nur wenige der roten Lichtbündel durch, die auf die Mattscheibe treffen.



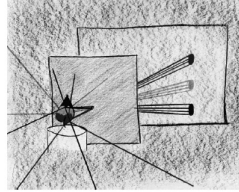
34

Von den gelb und blau gezeichneten dünnen Lichtbündeln passieren auch nur wenige das Loch. Das geschieht natürlich nicht hintereinander, sondern im gleichen Augenblick.



35

Was macht die Pappe mit ihrem Loch? Das Loch sortiert dünne Lichtbündel. Und die Pappe verhindert, dass andere Lichtbündel auf die Mattscheibe gelangen können. Das Loch lässt Licht durch, und kommt das Licht auf der Mattscheibe an, so können wir einen kleinen Lichtfleck sehen. Die schwarze Pappe hingegen nimmt Licht auf.



36

Wie entsteht das Bild? Wir zeichnen nur das Licht ein, das von einem Punkt aus durch das Loch gelangen kann. Die dünnen Lichtbündel fassen wir zu einem großen Lichtbündel zusammen.  
 Licht von der roten Stelle... das Loch lässt nur einen Teil des Lichtes durch. Auf der Mattscheibe zeigt sich ein roter Fleck. Licht von der gelben Stelle... das Loch lässt nur einen Teil des Lichtes durch. Auf der Mattscheibe zeigt sich ein gelber Fleck. Licht von der blauen Stelle... mit einem blauen Fleck.



37

Du weißt jetzt schon, wie es weitergeht. Wir machen das für jede Stelle der Kerzenflamme. Die Lichtbündel zwischen Kerzenflamme und Bild lassen wir in unserer Skizze weg. Aus den einzelnen kleinen Lichtflecken setzt sich das Bild der Kerze zusammen. Das Bild steht, wie wir schon gesehen haben, auf dem Kopf.

