

CHRISTOPH T. MÜLLER UND REINDERS DUIT

Die unterrichtliche Sachstruktur als Indikator für Lernerfolg – Analyse von Sachstrukturdiagrammen und ihr Bezug zu Leistungsergebnissen im Physikunterricht

Zusammenfassung:

Im Rahmen einer Videostudie des IPN zum Anfangsunterricht in Physik wurde die Sachstruktur aller aufgezeichneten Unterrichtsstunden in Form von sachlogischen Flussdiagrammen rekonstruiert. Diese Diagramme dienen einerseits dazu, die sachliche Stimmigkeit (also die fachliche Qualität des Unterrichts) zu beurteilen und die unterschiedlichen Wege der beteiligten Lehrkräfte bei der Einführung der Begriffe und Prinzipien (hier zum elektrischen Stromkreis und zum Kraftbegriff) zu analysieren. Andererseits erlauben die Diagramme auch, allgemeinere Merkmale des inhaltlichen Aufbaus und ihren Zusammenhang mit der Leistungsentwicklung der Schülerinnen und Schüler zu untersuchen. In der hier vorgelegten Studie berichten wir über Ergebnisse zu diesem Aspekt. Es zeigt sich, dass eine hohe Vernetztheit der inhaltlichen „Elemente“ und ein hoher Einbezug von Vorwissen mit einem höheren Lernerfolg assoziiert sind.

Abstract:

A video study has been carried out to investigate predominating structures and scripts of German introductory physics instruction. The content structure of each video-documented lesson was reconstructed by using logical flow diagrams. On the one hand, these diagrams allow to evaluate whether the lessons are sound from the physics point of view, i.e. they provide information on a key feature of instructional quality. They also provide valuable insights into the different paths to the concepts and principles (in the video study the electric circuit and the force concept) the participating teachers chose. On the other hand, the diagrams allow to investigate relations between general structural features of the lessons and the development of student achievement. The study presented here deals with the latter issue. It turns out, for instance, that a high degree of interrelatedness of the content elements and a high degree of taking pre-instructional knowledge into account is linked to better achievement.

1 Einführung

Die Ergebnisse aus TIMSS und PISA haben für deutsche Schülerinnen und Schüler unzureichende Ergebnisse in der Leistung in den naturwissenschaftlichen Fächern ergeben. Das DFG-Projekt „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht – eine Videostudie“ (Prenzel et al., 1999, 2001a) am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), das als Reaktion auf die TIMSS-Ergebnisse ins Leben gerufen wurde, versucht den Ursachen für diese Ergebnisse auf die Spur zu kommen.

Mit Hilfe videographierter Unterrichtsstunden, Fragebogen- und Testerhebungen am Anfang und Ende des Schuljahres (vgl. Prenzel et al., 2001b) sowie einem Lehrerinterview (Duit, Lehrke & Müller, 2001) wurde eine breite Datenbasis erhoben, die als Grundlage für umfassende explorative und deskriptive Ana-

lysen des Anfangsunterrichts (Schuljahr 7 bzw. 8) dient. In einer Reihe von Arbeiten wird der Zusammenhang zwischen Merkmalen des Unterrichts und der Lernentwicklung der Schülerinnen und Schüler beschrieben (zusammenfassend: Duit, Müller, Tesch & Widodo, 2004):

- Zu den allgemeinen Merkmalen des Unterrichts (Prenzel et al., 2002; Seidel et al., 2002).
- Zur Rolle des Experiments (Tesch, 2001; Tesch & Duit, 2004).
- Zu konstruktivistischen Unterrichtsmerkmalen (Widodo, Duit & Müller, 2002; Widodo, 2004).
- Zur Rolle der subjektiven Theorien der Lehrkräfte (Müller, 2004).

Im Rahmen der Video-Studie haben wir für

jede der aufgezeichneten Unterrichtsstunden ein Sachstrukturdiagramm rekonstruiert, das den sachlogischen Zusammenhang der behandelten Inhalte in einem Flussdiagramm darstellt. Diese Diagramme (s. Beispiele in Abb. 1 und 2) geben einen prägnanten und kurzen Überblick über die Inhalte und ihre Zusammenhänge. Sie stellen damit einen wichtigen „Hintergrund“ für die Interpretation der Ergebnisse der verwendeten Kodiersysteme (z.B. zur Rolle des Experiments oder zu konstruktivistischen Kennzeichen des Unterrichts) bereit. Sie erlauben aber nicht allein, die inhaltliche Seite der Unterrichtsstunden „auf einen Blick“ zu erfassen, sondern auch die fachliche Stimmigkeit zu beurteilen und zu untersuchen, welche unterschiedlichen Wege die Lehrkräfte bei der Einführung in die beiden aufgezeichneten Themen „Elektrischer Stromkreis“ und „Kraftbegriff“ wählen. Es hat sich überdies herausgestellt, dass bestimmte strukturelle Merkmale des Unterrichts, die mit den Diagrammen beschrieben werden können, wie die Vernetztheit der inhaltlichen Elemente und das Anknüpfen am Vorwissen, mit der Entwicklung der Leistung verbunden sind (Müller & Duit, 2003). Um diesen Aspekt geht es in der hier vorgelegten Teilstudie.

2 Theoretischer Hintergrund

Diese Teilstudie operiert auf dem Hintergrund konstruktivistischer Grundannahmen. Der Terminus Konstruktivismus verweist darauf, dass Wissen nicht einfach „übergeben“ und passiv erworben werden kann, sondern dass sich Schülerinnen und Schüler ihr Wissen auf der Grundlage ihres bereits vorhandenen Wissens eigenständig und aktiv erarbeiten, „rekonstruieren“ müssen (vgl. z.B. Duit, 1999; Jonassen, Mayes & McAleese, 1993). Der Unterricht muss hierfür entsprechende Lerngelegenheiten bereitstellen. Dabei spielt insbesondere die Berücksichtigung der Alltagserfahrungen sowie der vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler eine wichtige Rolle. Ein konstruktivistisch orientierter Unterricht muss die Vorstellungen der Schüler erkunden und ernstnehmen. Er muss darauf angelegt sein, diese Vorstellungen in Frage zu stellen,

zu erweitern und die Lernenden mit der physikalischen Weltansicht zu konfrontieren (Duit, 2000).

Als weiterer wichtiger Aspekt ist zu berücksichtigen, dass bei jedem Lernprozess zugleich die Lernsituation gewissermaßen „mitgelernt“ wird. Diese „Situiertheit“ der Inhalte führt im gegenwärtigen Physikunterricht häufig dazu, dass Wissen, das dort in isolierten, an der Fachsystematik orientierten Zusammenhängen erworben wird, „träge“ bleibt. Mit Trägheit ist hier gemeint, dass sich das Wissen nur schlecht auf neue, über diesen engen Kontext hinausgehende Situationen und Problemstellungen anwenden lässt (Gruber & Renkl, 2000). Damit Schüler ein anwendungs- und transferfähiges Wissen entwickeln können, sollte Lernen in Kontexten situiert werden, die eine größtmögliche Nähe zu den Problemen und Anwendungssituationen des Alltags und der Lebenswelt der Schüler aufweisen (Theorie des situierten Lernens: Lave, 1991, 1993; Lave & Wenger, 1991). Dies kann z.B. durch die Einbettung von Lerninhalten in authentische Kontexte erreicht werden, die eine geringere „Transferdistanz“ zu Alltagssituationen aufweisen (Anchored Instruction-Ansatz: Bransford et al. 1989). Authentische Kontexte sind als sinnstiftende, d.h. „affektiv überzeugende“ Kontexte zugleich auch lernförderliche Kontexte, indem sie das Interesse und die Motivation der Schüler anregen und verstärken. Lerninhalte sollten in eine Reihe unterschiedlicher Kontexte eingebettet werden. Daneben sollte Schülerinnen und Schülern deutlich gemacht werden, dass sich für Problemstellungen oft verschiedenartige Erklärungsansätze nutzen lassen. Derartige „multiple Perspektiven“ und „multiple Kontexte“ (Cognitive Flexibility-Ansatz: Spiro et al. 1987, 1989, 1992; Spiro & Jehng, 1990) unterstützen den Transfer und die Abstraktion physikalischer Konzepte („De-kontextualisierung“) (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1999, 2001). Schließlich müssen Lernprozesse systematisch unterstützt werden. Dies kann durch gezielte „kognitive“ Aktivierungen und schrittweise Einführung der Schülerinnen und Schüler in die physikalische Sichtweise

geschehen (Cognitive Apprenticeship: Collins et al., 1989).

Entsprechend der hier skizzierten Sicht orientiert sich die Entwicklung des Kategoriensystems zur Kodierung der Sachstrukturdiagramme an den folgenden Grundannahmen:

- (1) Situierter Unterricht bietet Schülerinnen und Schülern mehr und bessere Gelegenheiten zu eigenständiger Wissenskonstruktion (Theorie des situierten Lernens).
- (2) Anwendungsbezüge erleichtern das Lernen (Anchored Instruction-Ansatz)
- (3) Multiple Bezüge und multiple Kontexte erleichtern den Wissensaufbau (Cognitive Flexibility-Ansatz).
- (4) Lernprozesse können durch gezielte kognitive Aktivierung systematisch unterstützt werden (Cognitive Apprenticeship-Ansatz).

3 Methode

3.1 Stichprobe und Design

Das Projekt „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht – eine Videostudie“ (Prenzel et al., 1999, 2001a) wird im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Bildungsqualität von Schule“ (BiQua) von der DFG gefördert¹. Der Projektzeitraum von 2000 bis 2006 umfasst drei Phasen. Die erste Phase diente explorativen Unterrichtsanalysen, deren Ergebnisse in der zweiten Phase an einer größeren Stichprobe überprüft werden. Die dritte Phase dient der Entwicklung und Erprobung von Interventionskonzepten, die auf den Ergebnissen der beiden ersten Phasen basieren. In der ersten Phase der Videostudie wurde der Physikunterricht von 13 Lehrerinnen und Lehrern in Schleswig-Holstein (2) und Bayern (11) videographiert. 9 Lehrkräfte stammten aus dem Gymnasium, 4 aus der Realschule. Alle Lehrkräfte unterrichteten an Schu-

len, die am BLK-Modellversuchsprogramm SINUS (Prenzel, 2003) teilnahmen. Es liegt damit eine Stichprobe vor, die lediglich erste Hypothesen für Kennzeichen des Physikunterrichts in Deutschland zulässt. Ein verlässliches Bild des Physikunterrichts kann erst auf der Basis der zweiten Phase gezeichnet werden, an der 50 Lehrkräfte aus vier Bundesländern aus Schulen teilnahmen, die zufällig ausgewählt wurden. Die erste Phase diente einerseits der Erprobung der Untersuchungsinstrumente, sie lieferte darüber hinaus aber auch erste Ergebnisse, die zu Hypothesen führten, die in der zweiten Phase überprüft werden. Im folgenden werden nur Ergebnisse der ersten Phase vorgestellt, da die Erstellung von Sachstrukturdiagrammen zur Zeit (Juli 2004) erst in Angriff genommen wird.

Aufgenommen wurden in der ersten Phase jeweils sechs Unterrichtsstunden zum Physikanfangsunterricht (in Schleswig-Holstein Klasse 7; in Bayern Klasse 8) pro Lehrkraft, davon drei zur Einführung in den elektrischen Stromkreis und drei zur Einführung in den Kraftbegriff. Am Beginn und Ende des Schuljahres wurde mit den Schülern ein Leistungstest durchgeführt; außerdem wurden mit Fragebögen unter anderem Interesse, Motivation, Selbstkonzept und Kompetenzerleben der Schülerinnen und Schüler erhoben (zu den Instrumenten siehe Prenzel et al., 2001b). Der Leistungstest umfasst multiple-choice- und offene Items zu den behandelten Inhalten aus der Elektrizitätslehre und der Mechanik. Zur Beschreibung der Lernentwicklung der Schülerinnen und Schüler wurden die Regressionsresiduen² der Vortest-Nachtest-Korrelation genutzt. Von den Lehrkräften wurde zu Beginn des Schuljahres eine Stundenplanung erfragt. Nach Abschluss der zweiten Serie von Unterrichtsstunden wurde mit jeder Lehrkraft ein strukturiertes Interview durchgeführt (vgl. Duit, Lehrke & Mül-

¹ <http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/video/videostu.htm>

Das Team der Videostudien in den beiden Phasen: Manfred Prenzel, Tina Seidel, Reinders Duit, Manfred Euler, Manfred Lehrke, Rolf Rimmel, Inger-Marie Dalehefte, Lena Meyer, Christoph T. Müller, Maike Tesch, Ari Widodo

² Dabei bedeutet z.B. eine positive Leistungsentwicklung, dass die Leistung vom Vor- zum Nachtest mehr als (bei einer linearen Regression) erwartet zugenommen hat.

ler, 2001). Die Sachstrukturdiagramme aller videographierten Unterrichtsstunden wurden im Rahmen zweier Examensarbeiten für das Höhere Lehramt (Martin, 2001; Wachsmuth, 2001) erstellt.

3.2 Die Erstellung von Sachstrukturdiagrammen

Bei den Sachstrukturdiagrammen (Abb. 1 und 2) handelt es sich um Flussdiagramme. Sie stellen die Sachstruktur in einem „mittleren“ Auflösungsgrad dar; sie sind weniger detailliert als Concepts Maps, die sich ebenfalls zur Darstellung von Sachstrukturen eignen.

Der Terminus „Sachstruktur“ steht hier nicht für die Sachstruktur der Physik zum betreffenden Thema. Sachstruktur bedeutet vielmehr die Struktur der Inhalte, die im Unterricht vermittelt wurden. Die Diagramme wurden ursprünglich zur Unterrichtsplanung entwickelt (Duit, Häußler & Kircher, 1981). Sie lassen sich aber auch zur Rekonstruktion von videographiertem Physikunterricht nutzen. Sachstrukturdiagramme veranschaulichen die Inhalte (Begriffe, Prinzipien, Anwendungen, Arbeitsweisen etc.) im Unterricht und ihre Beziehungen untereinander.

Sachstrukturdiagramme bestehen im wesentlichen aus drei Elementen: Blöcken, Pfeilen und Linien. Die Blöcke enthalten die „inhaltlichen Elemente“: Begriffe, Prinzipien, Anwendungskontexte und dgl. in der im Unterricht verwendeten Formulierung. Pfeile veranschaulichen die Beziehung der einzelnen Blöcke untereinander: ein einfacher Pfeil verweist darauf, dass der vorstehende Block die sachlogische Voraussetzung für den nachstehenden ist, ein Doppelpfeil bezeichnet die Wechselbeziehung zweier Blöcke, und ein gestrichelter Pfeil weist darauf hin, dass ein inhaltlicher Block einem anderen nur zeitlich, nicht aber sachlogisch vorangeht. Jedes Sachstrukturdiagramm enthält außerdem zwei Linien: Zwischen den beiden Linien finden sich die eigentlichen Inhalte des Unterrichts. Oberhalb der oberen, breit gestrichelten Linie stehen Begriffe, Prinzipien und weitere Inhalte, die aus vorangegangenen Unterrichtsabschnitten oder aus Vorerfahrungen der Schülerinnen

und Schüler vorausgesetzt werden. Es werden nur solche Voraussetzungen aufgeführt, an die der Lehrer im Unterricht explizit anknüpft, nicht aber solche, die unausgesprochen vorausgesetzt werden. Unterhalb der unteren, gepunkteten Linie finden sich Blöcke, die sich inhaltlich mit der vom Lehrer explizit geäußerten Zielorientierung für weitere Stunden oder den entsprechenden Hausaufgaben befassen. Es werden nur solche inhaltlichen Elemente berücksichtigt, auf die der Lehrer ausdrücklich zurückgreift oder auf die ausdrücklich als Ziel von Aktivitäten verwiesen wird.

Bei der Erstellung der Sachstrukturdiagramme handelt es sich um eine Rekonstruktion der Sachstruktur des gehaltenen Unterrichts. Grundlage ist vor allem das Video (einschließlich des Transkripts und Abschriften des Tafelbildes). Ergänzend werden auch eine vom Lehrer vor dem Unterricht angefertigte Skizze des Unterrichts sowie alle im Unterricht verwendeten Arbeitsmaterialien (Arbeitsbögen, Texte, Overheadfolien) berücksichtigt.

Bei der Erstellung der Sachstrukturdiagramme wird so verfahren, dass der Kodierer zunächst einen zeitlichen Ablauf der Stunde zu Papier bringt, d.h. der Unterricht wird im ersten Schritt in klar voneinander abgrenzbare Abschnitte geordnet. Der Ablauf wird entsprechend inhaltlich zusammengehöriger Elemente in die inhaltlichen Blöcke gegliedert. In einem zweiten Schritt wird eine Liste der sachstrukturellen Elemente in zeitlicher Reihenfolge erstellt. Dieser Schritt führt bei unterschiedlichen Auswertern nicht notwendigerweise zur gleichen Liste. Es gibt hier einen gewissen Interpretationsspielraum, was als sachstrukturelles Element behandelt wird. In einem dritten Schritt werden die sachstrukturellen Elemente zu klar zu trennenden inhaltlichen Einheiten zusammengefasst und Blöcken zugeordnet. Bei der Festlegung der inhaltlichen Einheiten (also dem, was in den Blöcken steht) gibt es wiederum einen gewissen Interpretationsspielraum. Die Erfahrungen beim Umgang mit Sachstrukturdiagrammen zeigen aber, dass es in der Regel ohne große Schwierigkeiten gelingt, klar zu trennende inhaltliche Einheiten zu gewinnen und dass unabhängige Bewerter

in den meisten Fällen zu gleichen inhaltlichen Einheiten kommen. In einem vierten Schritt werden die Blöcke aufgrund der im Unterricht hergestellten Zusammenhänge zwischen den Inhalten durch Pfeile verbunden. Im letzten Schritt wird das entstandene Sachstrukturdiagramm noch einmal mit der videographierten Stunde verglichen (zum Vorgehen vergleiche auch Duit, Martin & Wachsmuth, 2001). Zur Gewährleistung einer hinreichenden Objektivität bei der Erstellung der Diagramme fertigten zwei Kodierer (die beiden genannten Staats-examenskandidaten) zunächst Diagramme von zwei Stunden an, die auf ihre Übereinstimmung überprüft wurden. Nachdem eine ausreichende Übereinstimmung erzielt wurde, erfolgte die Erstellung der Sachstrukturdiagramme aller in der ersten Phase videographierter Unterrichtsstunden (vgl. zum Verfahren Martin, 2001 und Wachsmuth, 2001). Es ergab sich eine „befriedigende“ Übereinstimmung, die für die Analyse der fachlichen Konsistenz und der von den Lehrern gewählten Wege zu den Begriffen und Prinzipien ausreichend erscheint. Allerdings muss eingeräumt werden, dass es bisher noch nicht gelungen ist, ein Maß festzulegen, das die Berechnung der Auswertere liability in ähnlicher Weise festzulegen gestattet, wie es beispielsweise bei der Auswertung von Interviews durch die Festlegung genauer Auswertekategorien gelingt. Ein wichtiges Problem betrifft die Festlegung der „inhaltlichen Elemente“, also der Aspekte, die einen Block ausmachen. Es laufen derzeit Bemühungen, hier zu Verbesserungen zu kommen.

3.3 Zwei Sachstrukturdiagramme im Vergleich

In den Abbildungen 1 und 2 finden sich zwei Beispiele für Sachstrukturdiagramme; Abb. 1 für die erste Stunde zur Einführung in die Mechanik eines Realschullehrers in Bayern (LB), Abb. 2 für die erste Stunde zur Einführung in den Kraftbegriff eines Gymnasiallehrers in Schleswig-Holstein (LS). Auf den ersten Blick sind die gewählten Wege zum Kraftbegriff sehr ähnlich, beide Lehrer gehen von Beispielen für „Kraft im Alltag“ aus und entwickeln darauf aufbauend die Kennzeichen physikalischer

Kräfte. Die Unterscheidung von physikalischen und nicht-physikalischen Kräften steht im Mittelpunkt.

Beim Lehrer LB (Abb. 1) schreiben die Schüler am Beginn der Stunde auf einen Streifen Overheadfolie, was ihnen zum Wort Kraft einfällt. Diese Beispiele werden gesammelt und in „Kräfte in der Physik“ und solche, die mit Physik nichts zu tun haben, unterschieden. Vorbereitete Experimente (Block 10) sollen dazu dienen, Kennzeichen des physikalischen Kraftbegriffs herauszuarbeiten. Hier verwendet LB ein fragend-entwickelndes Verfahren, bei dem er versucht, gewissermaßen aus den Schülerinnen und Schülern die betreffenden Kennzeichen „herauszufragen“. Es gibt auch einen Exkurs zur Unterscheidung von Kraft und Energie, die mit Block 8 gekennzeichnet wird: Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Kraft tritt erst auf, wenn man etwas tut. Dieser Exkurs erscheint nicht schlüssig – zumal im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch den Schülerinnen und Schülern an vielen Stellen unklar bleibt, worauf LB hinaus will. Die Unterscheidung zwischen Kraft und Energie spielt im weiteren Verlauf der Erarbeitung der Kennzeichen des Kraftbegriffs keine Rolle.

Der Weg des Lehrers LS in Abb. 2 scheint insgesamt fachlich konsistenter zu sein, auch werden von vornherein kleine Experimente durchgeführt. Er steigt mit einem Zeitungsbericht über Bankangestellte ein, die Säcke mit dem neuen Euro in eine Bank schleppen müssen (Block 1). Bei der ersten Anbahnung des physikalischen Kraftbegriffs macht der Lehrer Gebrauch von kleinen Experimenten. Als Kennzeichen physikalischer Kräfte wird – anknüpfend an den diskutierten Beispielen – herausgearbeitet, dass sie Gegenstände in Bewegung setzen oder verformen können (Block 9). Es schließen sich Experimente an, um diese Kennzeichen näher zu bestimmen. Auch hier gibt es allerdings einen kleinen Aspekt, der fachlich fragwürdig ist: Der Lehrer akzeptiert die Solarkraft als physikalische Kraft, weil sie Strom in Bewegung setzen kann (Block 10).

Es zeigt sich, dass die Sachstrukturdiagramme einen klaren und schnell erfassbaren Überblick über die fachliche Struktur des Unterrichts bie-

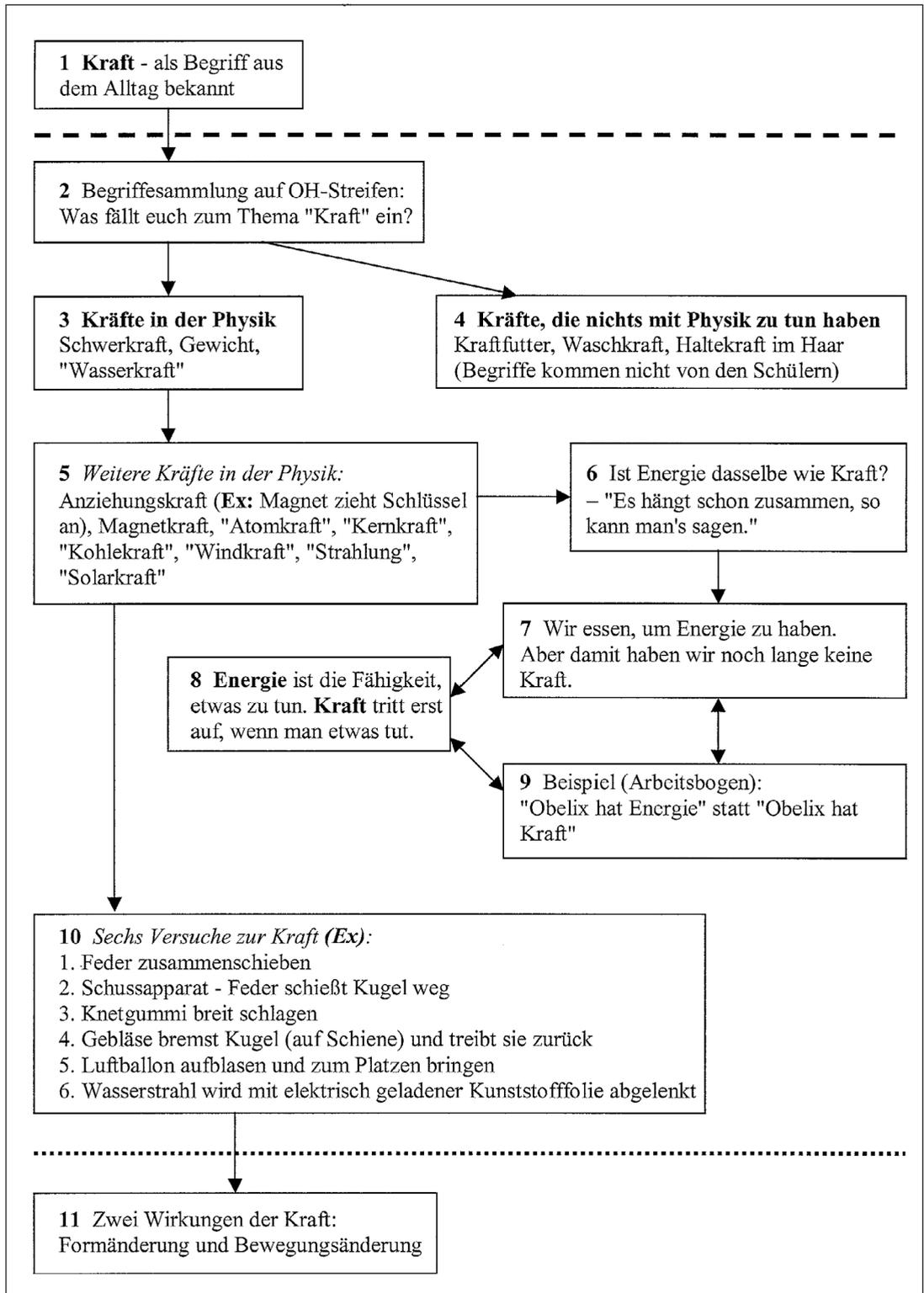


Abb. 1: Einführung in den Kraftbegriff, Lehrer LB

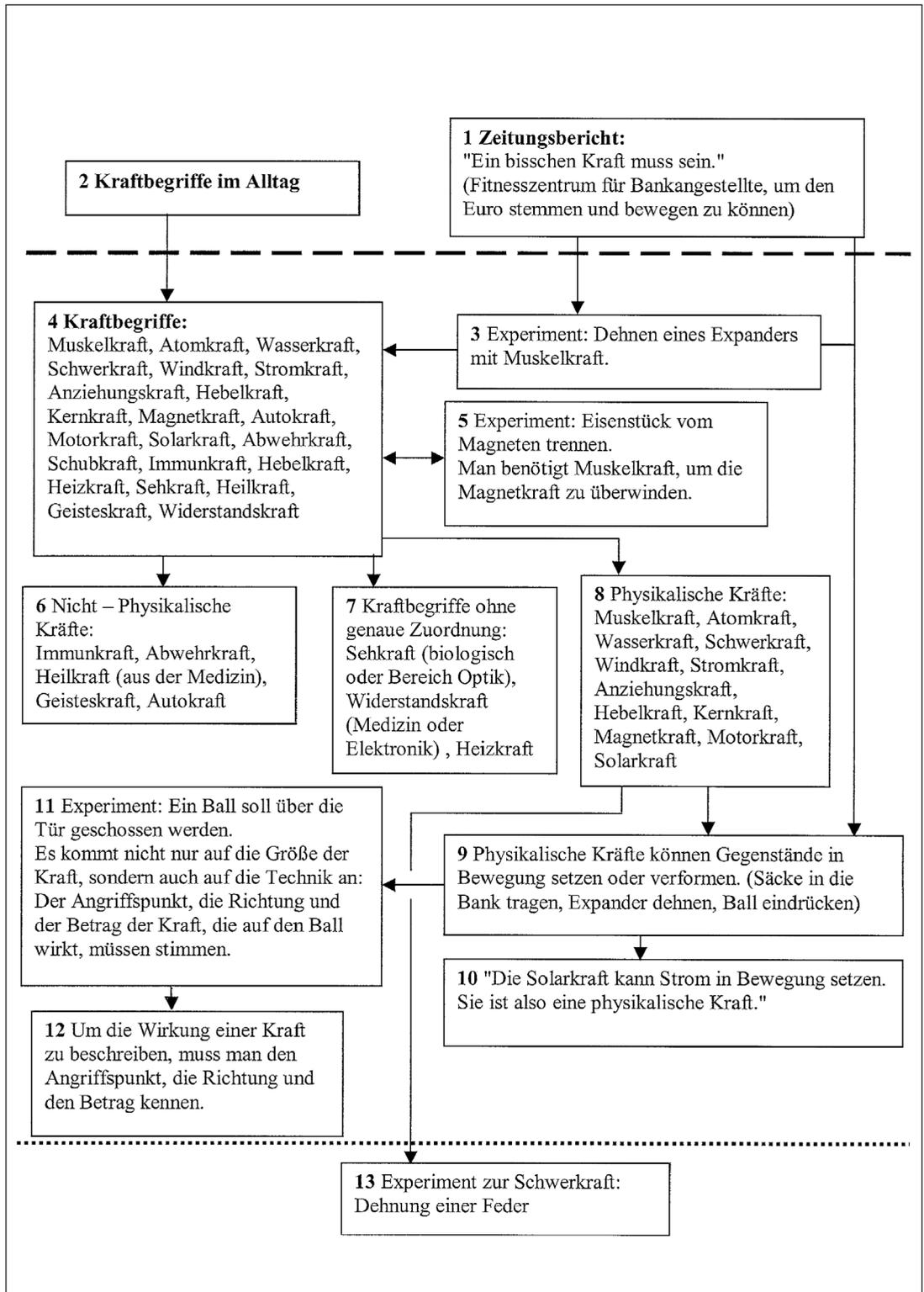


Abb. 2: Einführung in den Kraftbegriff, Lehrer LS

ten. Damit ist ein unverzichtbarer Rahmen für die fachdidaktische Interpretation einer Unterrichtsstunde gegeben. Für vertiefte Analysen, wie der Passung zwischen Lernangebot und Lernmöglichkeiten, muss selbstverständlich in die Feinstruktur des Unterrichts eingestiegen werden. Claudia von Aufschnaiter (2003) hat z.B. in der ZfDN die beiden hier in Rede stehenden Unterrichtsstunden genauer unter die Lupe genommen. Sie kommt zu dem Schluss (S. 120), dass der Unterricht des Lehrers LS (Abb. 2) insgesamt gesehen eine bessere Passung zwischen Anforderungen und Fähigkeitsniveau der Schülerinnen und Schüler erreicht. Er bevorzugt eine konsequent induktive Unterrichtsführung, in der konkrete Erfahrungen und Beobachtungen den dazu gehörenden Erläuterungen und Verallgemeinerungen vorangestellt werden. Die vom Lehrer LS entwickelten theoretischen Beschreibungen bleiben eng an den Erfahrungen der Schüler orientiert. Im Vergleich dazu operiert der Lehrer LB in der Regel auf einem höheren Abstraktionsniveau, ohne systematisch einen Bezug zu den Erfahrungen und vorgeführten Experimenten herzustellen.

3.4 Entwicklung eines Kodiersystems

Um den Zusammenhang der oben genannten strukturellen Merkmale des inhaltlichen Aufbaus mit der Leistungsentwicklung der Schülerinnen und Schüler zu untersuchen, wurde ein Kategoriensystem zur Kodierung dieser strukturellen Unterrichtsmerkmale entwickelt. Es handelt sich hierbei um eine Kodierung 2. Ordnung – kodiert werden die Sachstrukturdiagramme, nicht der videografierte Unterricht. Diese Kodierung bietet die Möglichkeit zur weiteren Verdichtung und Klassifizierung sowie zur Quantifizierung der in den Sachstrukturdiagrammen enthaltenen Daten. Die Kriterien zur Kodierung der Sachstrukturen beziehen sich auf vier Bereiche. Bei der Entwicklung der Kategorien wurde auf die vorgenannten theoretischen Prämissen Bezug genommen.

Der erste Bereich betrifft die *Komplexität* oder den Input des Unterrichts. Damit wird die Anzahl neuer Inhaltelemente oder Blöcke

im Mittelteil des Diagramms bezeichnet. Die Komplexität entspricht somit der Menge inhaltlicher Angebote, die aus der Perspektive multipler Kontexte und Bezüge (Collins et al., 1989; Spiro et al., 1992) Voraussetzung für die Wissenskonstruktion sind. Der Input kann als Maß sowohl für den Grad an Lerngelegenheiten des Unterrichts als auch für die inhaltlichen Anforderungen an die Schüler dienen. Die Komplexität der Sachstruktur ist außerdem ein Maß für die inhaltliche Schwierigkeit und die Überschaubarkeit des Unterrichts; sie bietet einen Anhaltspunkt dafür, ob die Schüler mit dem Unterricht über- oder unterfordert werden. Entsprechend wird erwartet, dass ein erfolgreicher Unterricht durch eine mittlere Komplexität gekennzeichnet ist, d.h. hinreichend viele Lerngelegenheiten und Kontexte bereitstellt, die Schüler aber nicht durch ein Überangebot an Inhalten überfordert.

Der zweite Bereich bezieht sich auf die Struktur des Unterrichts und die Vernetzung der Inhalte. Mit *Vernetztheit* ist im Sinne multipler Bezüge gemeint, ob und wie häufig vom Lehrer Verbindungen zwischen den einzelnen inhaltlichen Blöcken geschaffen werden oder ob diese nur in einer zeitlichen Abfolge zueinander stehen. Als Kriterium dient die Anzahl der Verbindungslinien zwischen den Blöcken. Sie geben einen Hinweis, ob Lernen den Einbezug vorangegangenen Unterrichts, des Vorwissens der Schüler sowie die Herstellung von Anwendungsbezügen bedeutet. Die Kategorie Vernetztheit bezieht sich auch auf die sachlogische Konsistenz des Unterrichts. Zu beachten ist, ob sich im Diagramm inselartige Verteilungen oder Sackgassen finden und ob sich im Sinne einer Zielorientierung die Blöcke auf ein Ergebnis gerichtet im zeitlichen Ablauf der Stunde anordnen lassen. Bezogen auf den vermuteten lernförderlichen Effekt multipler Bezüge (Collins et al., 1989; Spiro et al., 1992) wird erwartet, dass erfolgreicher Unterricht durch eine hohe Vernetztheit gekennzeichnet ist.

Der dritte Bereich beschäftigt sich mit der Verankerung der behandelten Inhalte. Dazu soll im Sinne des Anchored Instruction-Ansatzes (Bransford et al., 1989), der die lernfördernde

Wirkung von Anwendungsbeispielen herausstellt, die Menge der *Anwendungsbezüge* ermittelt werden, die ein Lehrer zu einem Thema herstellt. Sie bemisst sich an der Zahl der Anwendungsblöcke, die mit einem Inhalt verbunden sind und ist außerdem ein Indiz für das Ausmaß, in dem kognitive Flexibilität gefördert wird. Erwartet wird, dass erfolgreicher Unterricht durch eine hohe Zahl von Anwendungsbezügen gekennzeichnet ist.

Der vierte Bereich versucht, den *Umgang mit Alltagsvorstellungen und Vorwissen* aufgrund der Informationen im Sachstrukturdiagramm zu beschreiben. Wie oben ausgeführt, stehen ganz oben im Diagramm inhaltliche Elemente in den Blöcken, auf die der Lehrer explizit im Unterricht zurückgreift. Differenziert wird zwischen der Bezugnahme auf Alltagsvorstellungen der Schüler und dem Bezug auf Vorwissen aus vorangehenden Stunden. Entsprechend der Theorie des situierten Lernens (Lave, 1993) sollte die Bezugnahme auf Alltagserfahrungen das Lernen erleichtern; außerdem sollte dem Cognitive Flexibility-Ansatz (Spiro et al., 1992) entsprechend der Einbezug von Vorwissen generell lernförderlich sein. Erwartet wird, dass ein hohes Maß von Alltagsbezügen innerhalb des einbezogenen Vorwissens erfolgreicher ist als ein hohes Maß von Bezugnahmen auf das Wissen vorangegangener Stunden. Im Sinne multipler Bezüge und Kontexte (Collins et al., 1989; Spiro et al., 1992) wird aber auch vom Einbezug unterrichtlichen Vorwissens ein positiver Effekt erwartet.

Damit liegen die folgenden Kodierungskategorien vor:

- (1) Komplexität (Input). Sie wird gemessen als Anzahl der Blöcke während des Unterrichts, d.h. für das Sachstrukturdiagramm zwischen breit gestrichelter und gepunkteter Linie.
- (2) Vernetztheit. Sie wird erhoben als Mittelwert der Pfeile pro Block.
- (3) Anwendungsbezüge. Sie werden gemessen als Anzahl der Blöcke innerhalb des „Inputs“, deren Inhalt sich auf Anwendungen oder Dinge aus der realen Welt der Schüler bezieht.

(4) Vorwissen. Beinhaltet die Zahl der Blöcke über der gestrichelten Linie (also die Blöcke, in denen an das bei den Schülern insgesamt vorausgesetzte Wissen angeknüpft wird).

(4a) Vorwissen aus dem Alltag. Beschreibt den Anteil der unter „Vorwissen“ erhobenen Blöcke, deren Inhalt Schülern aus ihrem Alltag bekannt ist bzw. sein sollte.

(4b) Vorwissen aus dem Unterricht. Beschreibt den Anteil der unter „Vorwissen“ erhobenen Blöcke, deren Inhalt Schülern aus dem vorangegangenen Unterricht bekannt ist bzw. sein sollte.

4 Ergebnisse: Zusammenhänge zwischen Strukturmerkmalen und Lernerfolg

Die Sachstrukturkodierung zeigt deutliche Unterschiede zwischen den strukturellen Unterrichtsmerkmalen bei den untersuchten Lehrkräften. Eine Analyse der Korrelationen zwischen den einzelnen Kodiervariablen zeigt, dass sich die Kategorien klar voneinander unterscheiden und somit unterschiedliche Merkmale der unterrichtlichen Sachstruktur erfasst werden. Ein signifikanter – negativer – Zusammenhang findet sich lediglich zwischen den Kategorien „Vorwissen Alltag“ und „Vorwissen Unterricht“ ($r = -0,753$; $p = 0,002$); dieser resultiert daraus, dass sich die beiden Kategorien auf dieselben Blöcke zum Vorwissen beziehen und der Inhalt meist eindeutig dem Alltag oder dem Unterricht zugeordnet werden kann.

Tabelle 1 enthält die Korrelationen der Mittelwerte der Sachstrukturkodierung für die einzelnen Lehrer mit den im Projekt erhobenen Leistungsdaten der Schüler. Abb. 3 zeigt diese Ergebnisse in einem Diagramm. Für die Sachstrukturdiagramme beider Sachgebiete zusammengenommen (Gesamt) korrelieren sowohl die Vernetztheit als auch der Einbezug von Vorwissen deutlich positiv mit dem Lernerfolg, beide Korrelationen sind auf dem Niveau von $p < 0,05$ signifikant. Die Komplexität der Sachstruktur und die Menge der angebotenen Anwendungen zeigen keinen Zusammenhang mit dem Lernzuwachs.

Der Einbezug von Vorwissen wird sowohl insgesamt als auch differenziert für die Bereiche

„Vorwissen aus dem Alltag“ und „Vorwissen aus dem Unterricht“ untersucht. Während die Bezüge zu den einzelnen Bereichen keine signifikanten Zusammenhänge mit dem Lernerfolg ergeben, zeigt sich für den Einbezug von Vorwissen insgesamt ein recht hoher und signifikanter Zusammenhang. Das bedeutet, dass sowohl „erfolgreiche“ als auch „weniger erfolgreiche“ Lehrkräfte zum Teil viel, zum Teil wenig Wissen aus den beiden Bereichen Alltag und Unterricht einbeziehen, dass aber „erfolgreiche“ Lehrkräfte insgesamt mehr Vorwissen einbeziehen als „weniger erfolgreiche“. Das Ergebnis zeigt, dass weder der Einbezug von Wissen aus dem Alltag noch der Einbezug von Wissen aus dem vorangegangenen Unterricht allein eine relevante Einflussgröße für den Lernerfolg zu sein scheint. Erst der Einbezug von Vorwissen insgesamt als der Summe aus Alltags- und Unterrichtsvorwissen steht in einem statistisch signifikanten Zusammenhang mit dem Lernerfolg.

Es gibt deutliche Unterschiede zwischen den beiden Sachgebieten. Die Komplexität der Sachstruktur spielt im Unterricht zur Elektrizitätslehre keine Rolle, in der Mechanik korreliert sie aber leicht positiv mit dem Lernerfolg. Die Vernetztheit korreliert beim Lernen in der

Elektrizitätslehre signifikant positiv mit dem Lernerfolg ($p < 0.01$), während sie für den Unterricht zur Mechanik keine Rolle spielt. Für die Menge der Anwendungsbezüge findet sich in der Elektrizitätslehre kein Zusammenhang mit dem Lernerfolg; für die Mechanik ist die Korrelation deutlich negativ, allerdings nicht signifikant. Der Einbezug von Vorwissen korreliert für beide Themengebiete positiv, allerdings nicht signifikant, mit dem Lernerfolg, für die Mechanik leicht, für die Elektrizitätslehre deutlicher, auch diese Zusammenhänge erreichen aber keine Signifikanz. Die Aufschlüsselung nach Vorwissen aus Alltag und Unterricht führt zu keiner bedeutsamen Korrelation.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass

- (1) die Komplexität des Unterrichts keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Lernerfolg aufweist, höhere Komplexität im Mechanikunterricht aber leicht positiv mit dem Lernzuwachs korreliert,
- (2) eine hohe Vernetztheit signifikant mit höherem Lernerfolg korreliert; diese Korrelation ist im Unterricht zur Elektrizitätslehre besonders hoch, für den Mechanikunterricht finden sich dagegen keine Zusammenhänge,

	Lernzuwachs (Residuen)	Lernzuwachs E (Residuen)	Lernzuwachs M (Residuen)
Komplexität	0,10	-0,11	0,37
Vernetztheit	0,57*	0,78**	0,07
Anwendung	-0,25	-0,05	-0,52
Vorwissen	0,57*	0,57	0,32
Vorwissen Alltag	0,25	0,26	0,21
Vorwissen Unterricht	-0,02	-0,06	0,22

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

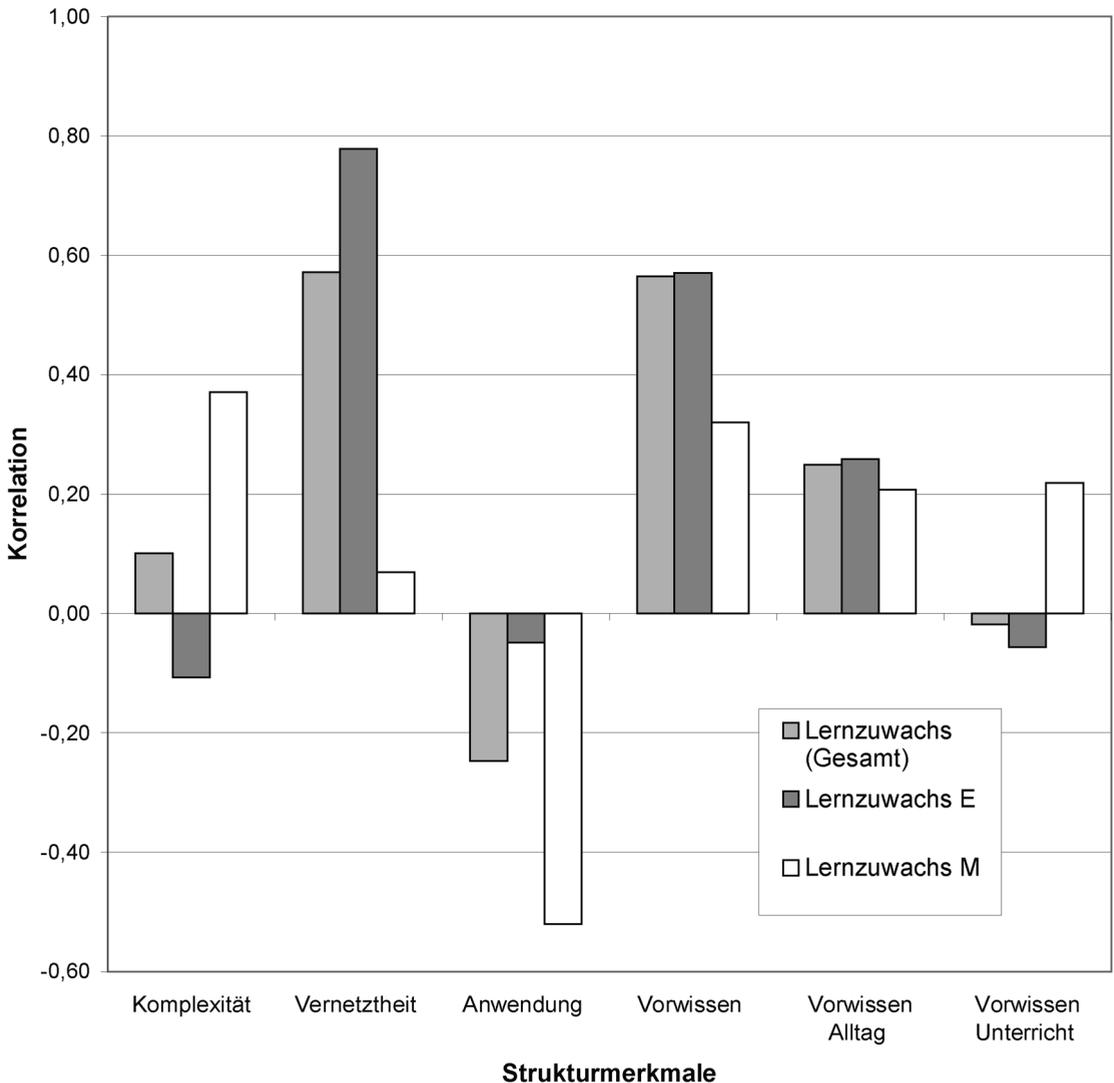
** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 1. Korrelation zwischen der Sachstrukturkodierung und den Ergebnissen des Leistungstests (gesamt, Elektrizitätslehre und Mechanik).

- (3) Anwendungsbezüge insgesamt nicht mit dem Lernerfolg assoziiert sind; für den Mechanikunterricht finden sich aber deutliche – wenn auch nicht signifikante – negative Korrelationen
- (4) der Einbezug von Vorwissen insgesamt signifikant positiv mit dem Lernerfolg korreliert; dieser Zusammenhang findet sich eher im Unterricht zur Elektrizitätslehre,
- (5) insgesamt kein Zusammenhang mit der Art des einbezogenen Vorwissens (Alltag oder Unterricht) besteht.

5 Diskussion und Ausblick

Die vorstehend zusammengefassten Ergebnisse deuten darauf hin, dass es mit dem beschriebenen Verfahren zur Kodierung von Sachstrukturdiagramme möglich ist, Differenzen zwischen Lehrkräften hinsichtlich wichtiger Strukturmerkmale des Unterrichts aufzudecken, die in einer relativ deutlichen Beziehung zum Lernerfolg der Schüler stehen. Die Ergebnisse entsprechen zum Teil den in der konstruktivistischen Literatur vorfindlichen Grundannahmen. Für die Sachstrukturdiagramme beider Sachbereiche zusammengenommen gibt es signifikante Zusammenhänge zwischen Lern-



zuwachs und den Kennwerten für Vernetztheit sowie Einbezug des Vorwissens. In beiden Fällen allerdings gehen diese Zusammenhänge vor allem auf die Sachstrukturdiagramme zum Sachbereich „Elektrizitätslehre“ zurück.

Was den Einbezug des Vorwissens angeht, so gibt die Analyse der Rolle konstruktivistischer Elemente im Unterricht von Widodo (2004) ein ähnliches Bild. Die Kategorie „Schülvorstellungen in Betracht ziehen“ (addressing students' conceptions) korreliert deutlich positiv ($r = .55$; S. 51) mit dem Lernerfolg. Allerdings wird diese Korrelation nicht signifikant. Es gibt also in beiden Untersuchungen Hinweise, dass Anknüpfen an den vorunterrichtlichen Schülvorstellungen tatsächlich die zentrale Rolle spielt, die aus konstruktivistischer Sicht zu erwarten ist. Interessant ist, dass ein hoher Grad der Vernetztheit mit besserem Lernerfolg verknüpft ist – wenn dies auch nur für eines der beiden Themen zutrifft.

Dass nicht der Einbezug von Vorwissen aus dem Alltag oder Vorwissen aus dem Unterricht allein, sondern nur der Einbezug von Vorwissen insgesamt in einem signifikanten Zusammenhang mit der Lernentwicklung steht, deutet darauf hin, dass für erfolgreichen Unterricht nicht in erster Linie die Art des einbezogenen Vorwissens, sondern die generelle Herstellung von Zusammenhängen mit dem Vorwissen der Schüler relevant zu sein scheint. Im Sinne der Theorie der multiplen Perspektiven und multiplen Kontexte (Collins et al., 1989; Spiro et al., 1992) steht dieses Ergebnis im Einklang mit dem signifikanten Zusammenhang zwischen der Vernetztheit des Unterrichts und dem Lernerfolg. Beide Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine hohe Strukturierung und Vernetzung des Unterrichts für das Lernen förderlich zu sein scheint.

Es konnte allerdings nicht bestätigt werden, dass ein hoher Anteil an Anwendungsbezügen das Lernen verbessert. Für den Sachbereich „Kraftbegriff“ gibt es sogar eine deutliche, wenngleich nicht signifikante, negative Korrelation mit dem Lernerfolg. In der Untersuchung von Widodo (2004) bleiben die Korrelationen zwischen „Alltagsorientierung“ des Unterrichts (Anknüpfen an Vorgängen und Phänomenen

aus dem Alltag, Verwendung von Alltagsbeispielen und Geräten, Anwendungen) und Lernerfolg relativ klein (zwischen $r = .20$ und $r = .30$; S. 93). Diese Befunde scheinen darauf hinzuweisen, dass Anwendungsbezüge nicht per se die Lernleistung verbessern, sondern nur dann, wenn sie in einer nachvollziehbaren Beziehung zu den im Unterricht behandelten Theorien und Prinzipien stehen und dort vor allem dazu dienen, diese Prinzipien zu veranschaulichen. Wenn die Voraussetzung der Nachvollziehbarkeit nicht gegeben ist, so helfen die Anwendungsbeispiele den Schülern nicht beim Verstehen, sondern sorgen eher für Verwirrung. Allerdings muss auch in Betracht gezogen werden, dass die bisherigen Regeln zur Erstellung der Sachstrukturdiagramme die Einbettung der fachlichen Inhalte in Alltagskontexte nicht hinreichend darzustellen erlauben. Hier müssen klarere Regeln geschaffen werden.

Insgesamt betrachtet sind die Ergebnisse ermutigend. Es gibt im Einklang mit konstruktivistischen Grundannahmen Hinweise, dass bestimmte strukturelle Unterrichtsmerkmale, die sich in den Sachstrukturdiagrammen zeigen, mit besserem Lernerfolg verknüpft sind. Allerdings basieren diese Hinweise auf der kleinen Zahl von nur 13 Lehrkräften. Sie sollen an der größeren Stichprobe von 50 Lehrkräften der zweiten Phase der Videostudie überprüft werden. Dabei soll auch das Instrumentarium weiter verfeinert werden. In der ersten Phase ging es vor allem um die Entwicklung einer einfachen Kodierung und die Überprüfung der grundsätzlichen Eignung dieses Instruments.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass sich mit der Analyse struktureller Merkmale Zusammenhänge zwischen der Struktur des Unterrichts und der Lernentwicklung der Schülerinnen und Schüler identifizieren lassen. Die deutlichen Unterschiede, die sich für dieselben Merkmale des Unterrichts in verschiedenen Themenbereichen ergeben, zeigen aber auch, dass jedes Verfahren zur Analyse von Unterrichtsmerkmalen immer nur Teile der komplexen Wirkmechanismen zwischen Unterricht und Lernentwicklung erfassen kann. Um dieser Komplexität gerecht

werden zu können, scheint die Entwicklung vernetzter Wirkungsmodelle sinnvoll. Mit der größeren Stichprobe in der zweiten Phase der Videostudie ergibt sich die Möglichkeit, die hier untersuchten Zusammenhänge zwischen strukturellen Unterrichtsmerkmalen und der Lernentwicklung der Schülerinnen und Schüler auch mit Mehrebenenanalysen zu prüfen, die einem solchen vernetzten Wirkungsmodell besser gerecht werden können. Ein solches Wirkungsmodell sollte neben der Betrachtung struktureller Merkmale außerdem auch differenzierte didaktisch-inhaltliche Merkmale einbeziehen.

Literatur

- Bransford, J.D., Franks, J.J., Nye, N.J. & Isherwood, R.D. (1989a). New approaches to instruction: Because wisdom can't be told. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*. New York: Cambridge University Press, 470-497.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Eds.), *Knowing, learning, and instruction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 453-494.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change*. Amsterdam, NL: Pergamon, 263-282.
- Duit, R. (2000). Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften in einem mehrperspektivischen Ansatz. In R. Duit & Ch. von Rhöneck (Hrsg.), *Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung*. Kiel: IPN, 77-104.
- Duit, R., Häußler, P. & Kircher, E. (1981). *Unterricht Physik*. Köln: Aulis.
- Duit, R., Lehrke, M. & Müller, C.T. (2001). LINT – Ein Interviewleitfaden zur Exploration allgemeiner und situationspezifischer Unterrichtsvorstellungen von Lehrkräften. In M. Prenzel, R. Duit, M. Euler, M. Lehrke & T. Seidel (Hrsg.), *Erhebungs- und Auswertungsverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht - eine Videostudie“*. Kiel: IPN, 145-156.
- Duit, R., Martin, O. & Wachsmuth, J. (2001). Anleitung zur Erstellung von Sachstrukturdiagrammen. In M. Prenzel, R. Duit, M. Euler, M. Lehrke & T. Seidel (Hrsg.), *Erhebungs- und Auswertungsverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht - eine Videostudie“*. Kiel: IPN, 135-142.
- Duit, R., Müller, C.T., Tesch, M. & Widodo, A. (2004). A video study on the practice of German physics instruction. In D. Zandvliet (Ed.), *NARST Conference 2004, Conference Proceedings*. Vancouver: NARST – National Association for Research in Science Teaching (CD Rom).
- Gruber, H. & Renkl, A. (2000). Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Das Problem des tragen

- Wissens. In G.H. Neuweg (Hrsg.), Wissen - Können - Reflexion. Ausgewählte Verhältnisbestimmungen. Innsbruck: StudienVerlag, 155-174.
- Jonassen, D., Mayes, T. & McAleese, R. (1993). A manifesto for a constructive approach to uses of technology in higher education. In T.M. Duffy, J. Lowyck, D.H. Jonassen & T.M. Welsh (Eds.), Designing environments for constructive learning. Berlin: Springer, 231-247.
- Lave, J. (1991). Situating learning in communities of practice. In L.B. Resnick, J.M. Levine & S.D. Teasley (Eds.), Perspectives on socially shared cognition. Washington, DC: American Psychological Association, 63-82.
- Lave, J. (1993). Word problems: A microcosm of theories of learning. In P. Light & G. Butterworth (Eds.), Context and cognition - ways of learning and knowing. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 74-114.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). Situated learning. Legitimate peripheral participation. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Martin, O. (2001). Sachstruktur, Unterrichtsskripts und Lernprozesse beim Kraftbegriff. Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien. Kiel: IPN.
- Müller, C.T. (2004). Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht. Studien zum Physikunterricht, Band 33. Berlin: Logos.
- Müller, C.T. & Duit, R. (2003). Rekonstruktion der Sachstruktur von video-dokumentiertem Physikunterricht. In E.J. Brunner, P. Noack, G. Scholz & I. Scholl (Hrsg.), Diagnose und Intervention in schulischen Handlungsfeldern. Münster: Waxmann, 195-203.
- Prenzel, M. (2003). Unterrichtsentwicklung auf der Grundlage empirisch fundierter Diagnosen und Interventionsprojekte. In E.J. Brunner, P. Noack, G. Scholz & I. Scholl (Hrsg.), Diagnose und Intervention in schulischen Handlungsfeldern. Münster: Waxmann, 29-46.
- Prenzel, M., Duit, R., Euler, M., Lehrke M. & Seidel T. (Hrsg.) (2001b). Erhebungs- und Auswertungsverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht - eine Videostudie“. Kiel: IPN.
- Prenzel, M., Duit, R., Euler, M. & Lehrke M. (1999). Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht: Eine Videostudie. Antrag an die DFG. Kiel: IPN.
- Prenzel, M., Duit, R., Euler, M. & Lehrke M. (2001a). Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht: Eine Videostudie. Fortsetzungsantrag an die DFG. Kiel: IPN.
- Prenzel, M., Seidel, T., Lehrke, M., Rimmele, R., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Müller, C.T. & Widodo, A. (2002). Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht - eine Videostudie. Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft, 129-156.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (1999). Implementation konstruktivistischer Lernumgebungen. Revolutionärer Wandel oder evolutionäre Veränderung? In H.-E. Renk (Hrsg.), Lernen und Leben aus der Welt im Kopf. Neuwied: Luchterhand, 61-78.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), Pädagogische Psychologie. Weinheim: Beltz PVU, 601-646.
- Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Lehrke, M., Müller, C.T. & Rimmele, R. (2002). „Jetzt bitte alle nach vorne schauen!“ – Lehr-Lernskripts im Physikunterricht und damit verbundene Bedingungen für individuelle Lernprozesse. Unterrichtswissenschaft, 30(1), 52-77.
- Spiro, R., Feltovich, P.J., Coulson, R.L. & Anderson, D.K. (1989). Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconceptions in advanced knowledge acquisition. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), Similarity and analogical reasoning. New York: Cambridge University Press, 498-531.
- Spiro, R., Feltovich, P.J., Jacobson, M.J. & Coulson, R.L. (1992). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext. In T. M. Duffy & D.H. Jonassen (Eds.), Constructivism and the technology of instruction. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 57- 75.
- Spiro, R.J. & Jehng, J.C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix & R. J. Spiro (Eds.), Cognition, education, and multimedia: Exploring ideas in high technology. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 163-205.
- Spiro, R.J., Vispoel, W., Schmitz, J., Samarapungavan, A. & Boerger, A. (1987). Knowledge acqui-

- sition for application: Cognitive flexibility and transfer in complex content domains. In B. C. Britton (Ed.), *Executive and control processes*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 177-199.
- Tesch, M. (2001). Zur Rolle des Experiments im Physikunterricht - Aus Sicht der Literatur und der Analyse von videografiertem Unterricht. Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien. Kiel: IPN.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51-69.
- von Aufschnaiter, C. (2003). Prozessbasierte Detailanalysen der Bildungsqualität von Physik-Unterricht: Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 105-124.
- Wachsmuth, J. (2001). Sachstruktur, Unterrichtsskripts und Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien. Kiel: IPN.
- Widodo, A. (2004). Constructivist oriented science classrooms: the learning environment and the teaching and learning process. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Widodo, A., Duit, R. & Müller, C.T. (2002, April). Constructivist views of teaching and learning in practice: Teachers' views and classroom behaviour. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans.

Information zu den Autoren:

Dr. Christoph Thomas Müller ist Psychologe und Pädagoge und arbeitet als Projektkoordinator von „Physik im Kontext“ am IPN.

Dr. Christoph T. Müller
IPN, Universität Kiel
Olshausenstr. 62
24098 Kiel

Prof. Dr. Reinders Duit ist Professor für Physikdidaktik am IPN.

Prof. Dr. Reinders Duit
IPN, Universität Kiel
Olshausenstr. 62
24098 Kiel

