Dr. Claudia von Aufschnaiter
Universität Hannover
Fachbereich Erziehungswissenschaften
Bismarckstraße 2
30173 Hannover

Hannover, den 18.12.2003

LEITFADEN ZU DEN PUBLIZIERTEN ERGEBNISSEN DER FORSCHUNGSARBEITEN[1]

mit dem Schwerpunkt

VIDEOBASIERTE ANALYSEN VON LERN- UND LEHRPROZESSEN IN PHYSIKALISCHEN KONTEXTEN

Gliederung

I	Einleitung	1
II	Videobasierte Untersuchung von Lernprozessen	3
III	Conceptual Change	6
IV	Interesse und situatives Erleben	10
V	Interaktionen zwischen Lernenden	14
VI	Lehrerverhalten	18
VII	Aufgabenkultur	20
VIII	Ausblick	23
	Zitierte Literatur	25
	Gesamtverzeichnis der wissenschaftlichen Veröffentlichungen	31

[1] Wesentliche Anteile der Forschungsarbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert (Kennzeichen AU 133/3-2 sowie AU 155/3-2).

I Einleitung

Die wohl in der Fachdidaktik am meisten zitierte Aussage „The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly.“ (Ausubel, 1968, S. V) hat eine Wende in der theoretischen Sichtweise auf Lernen und Lehren und damit auch eine Wende in der fachdidaktischen Forschung eingeläutet. Nachdem im Zuge behavioristischer Modelle vor allem „Input-Output-Relationen“ im Vordergrund standen, hat sich fachdidaktische Forschung seit den 70er Jahren mit der Analyse von Schülervorstellungen befasst (s. Kapitel III) und diese als Ausgangspunkt eines gelingenden Lehr-Lernprozesses verstanden. Als paradigmatischer Rahmen dieser Studien hat sich inzwischen eine moderat konstruktivistische Sichtweise etabliert, in der besonderer Wert auf den aktiven und selbstgesteuerten Lernprozess gelegt wird (u.a. Duit, 1995). Seit Mitte der 90er Jahre lässt sich jedoch zum Teil eine Wende in den paradigmatischen Grundannahmen beobachten, die sich auf soziale Aspekte des Lernens stützt und zur Untersuchung von geteilten Kognitionen („shared cognitions“) geführt hat (u.a. Sfard, 1998). Hier stehen vor allem Diskurse zwischen den Lernenden und deren Unterstützung seitens der Lehrenden im Zentrum von Forschungsbemühungen (s. Kapitel V).

Auch heute noch nimmt die Erforschung von Schülervorstellungen in der Fachdidaktik der Naturwissenschaften einen breiten Raum ein, wie die aktuelle Bibliographie von Duit (2003) belegt. Neben dieser stark kognitiv geprägten Forschungsrichtung wird zunehmend deutlich, dass affektive Komponenten Lernprozesse begleiten und initiieren (u.a. Pintrich, Marx & Boyle, 1993). Hier entwickeln sich in Ahnlehnung an pädagogische Traditionen Forschungsfelder, die das Interesse und die Motivation von Schülern in das Zentrum der Analysen stellen (u.a. Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998; Horstendahl, 1999; Schick, 2000; s. Kapitel IV).

Obwohl sich die fachdidaktische Lehr-Lernforschung in den letzten 30 Jahren zunehmend verbreitert hat und sich verschiedenen, zum Teil stark pädagogisch orientierten Fragestellungen zuwendet, lässt sich feststellen, dass sich das methodische Inventar dieser Studien nur langsam den unterrichtlichen Details der Wirkungszusammenhänge von Lehren und Lernen nähert. Nach wie vor werden in vielen Erhebungen sowohl zu kognitiven als auch zu affektiven Dynamiken Befragungen und Tests als zentrale Untersuchungsinstrumente eingesetzt (u.a. Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992; Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998; Lewis & Kattmann, 2004). Die Kenntnis der Fähigkeiten von Schülern sowie die Veränderung dieser Fähigkeiten im Anschluss an instruktionale Bemühungen stellen wesentliche Elemente des Beschreibungsrahmens von Lernen dar. Dazu gehören auch Erhebungen zur Interessenstruktur und Unterrichtswahrnehmung von Schülern und Lehrern. Befragungen und Test geben jedoch nur begrenzt Aufschluss über die unterrichtliche Realität, das situative Verständnis und Erleben von Schülern sowie die konkreten instruktionalen Bemühungen von Lehrkräften. Welche Entwicklungsläufe sich z.B. für das Lernen von spezifischen physikalischen Sachverhalten rekonstruieren lassen, welche konkreten Anforderungen positiv bzw. negativ erlebt werden und welche Instruktionen besonders wirkungsvoll in Hinblick auf die Entwicklungsverläufe sind bzw. diese (stark) behindern, lässt sich nur mit Hilfe der Auswertung von Videodaten über Prozesse des Lernens und Lehrens klären.

Im Kern der Forschungsarbeiten der Antragstellerin stehen auf Videoaufzeichnungen basierende Detailanalysen zur Aufklärung der Wirkungszusammenhänge von Lernen und

Lehren. Ausgehend von der empirischen Untersuchung und theoretischen Modellierung von Lernprozessen bei Studierenden der Physik sowie bei Schülern der 11. Klasse wurden zunehmend andere Kohorten, andere unterrichtliche Kontexte, weitere physikalische Inhalte und verschiedene fachdidaktisch-pädagogische Fragestellungen erschlossen. Basis eines Großteils der Untersuchungen bildet eine Serie von Laborstudien zum Lernen in der Elektrostatik und Elektrodynamik mit Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen und Schularten. Neben der Aufklärung grundlegender Prozessdynamiken wurden auch Fragestellungen der Motivations- und Interessenforschung und des Conceptual Change sowie Interaktionen von Lernenden an den Daten untersucht. In weiterführenden Studien wurde die Umsetzung und empirische Vergleichbarkeit der Laborumgebung im Physik-Unterricht der 8. und 10. Jahrgangsstufe erprobt und deren Auswertung begleitet.

Es wurde ferner in drei Kooperationsprojekten das bisher entwickelte methodische Vorgehen sowie darauf bezogene theoretische Modellierungen auf Prozessdaten mit unterschiedlichen Fragestellungen bezogen. In Kooperation mit dem King's College in London wurde untersucht, wie Prozesse des wissenschaftlichen Argumentierens mit kognitiver Entwicklung verbunden sind und wie in CASE-Stunden („Cognitive Acceleration through Science Education") Lehrer die kognitive Entwicklung ihrer Schüler zu befördern versuchen. In Kooperation mit dem IPN an der Universität Kiel wurden Daten aus der Videostudie zu Lehr-Lernprozessen im Physik-Unterricht in Hinblick auf die Passung von Lehrer-Instruktionen zu Entwicklungsverläufen beim Lernen von Physik untersucht.

Allen Forschungsarbeiten der Antragstellerin liegen Auswertungen von Videoaufzeichnungen zu Prozessen des Lehrens und Lernens zu Grunde, die unter einem spezifischen theoretischen Blickwinkel systematisch analysiert wurden. Dabei wurde auf der einen Seite die bereits am Institut für Didaktik der Physik entwickelte neurobiologisch begründete Lerntheorie weiter ausgebaut und empirisch untermauert. Auf der anderen Seite wurden unterschiedliche Forschungsfragen auf Prozessdaten bezogen und Ergebnisse dieser Fragen mit theoretischen Überlegungen systematisch verknüpft. Das Forschungsprogramm stellt somit sowohl einen Beitrag zur theoriegeleiteten Analyse von Prozessdaten als auch zur konsequenten Verbindung verschiedener Fragestellungen und Ansätze aus der Fachdidaktik und Pädagogik dar.

Der vorliegende Leitfaden gibt eine Übersicht über die durchgeführten Forschungsarbeiten, die in Zeitschriften- und Buchbeiträgen sowie in Konferenzpapieren publiziert wurden. Der Leitfaden ist nach Bereichen gegliedert: Er stellt zunächst die Arbeiten zur prozessbasierten Analyse von Entwicklungsverläufen sowie zum Conceptual Change dar (Kapitel II und III). Es folgen Arbeiten zu Interesse und situativem Erleben beim Lernen von Physik sowie zu Interaktionen zwischen Lernenden (Kapitel IV und V). In Kapitel VI über das Lehrerverhalten wird der Zusammenhang zwischen den Befunden zur Entwicklungsdynamik von Lernenden und den darauf bezogenen Instruktionen hergestellt. Kapitel VII befasst sich anschließend mit den Überlegungen zur Gestaltung einer Aufgabenkultur, die das Lernen von Physik optimal befördern sollte. Im Ausblick in Kapitel VIII wird diskutiert, welche Zukunftsperspektiven sich für videobasierte Forschung von Lehr-Lernprozessen ergeben.

In jedem Kapitel wird zunächst sehr kurz ein Überblick über den Forschungsstand gegeben. Anschließend werden die Arbeiten der Antragstellerin dargestellt und auf die entsprechenden Publikationen verwiesen. Bei Publikationen mit mehreren Autoren werden jeweils nur die

Teile berücksichtigt, die von der Antragstellerin beigetragen wurden. Alle Verweise auf Arbeiten der Antragstellerin erfolgen in eckigen Klammern und werden am Ende des jeweiligen Abschnittes (ggf. mit Verweis auf die entsprechende Anlage) aufgelistet.

II Videobasierte Untersuchung von Lernprozessen

Stand der Forschung

Der Einsatz und Nutzen von Video zur Analyse von Lernprozessen hat sich im Zuge der Entwicklung zugehöriger technischer Realisierungen seit Beginn der 90er Jahre schrittweise in pädagogische und fachdidaktische Forschung ausgebreitet. Videodokumente wurden und werden dabei zum Einen genutzt, um Beschreibungen stattfindender Prozesse möglichst detailgetreu zu ermöglichen (u.a. Roth, 2001). Auf der anderen Seite finden sich auch vereinzelt Forschungsprojekte, die sich um eine systematische Aufklärung der Wirkungszusammenhänge von Lehren und Lernen bemühen (u.a. S. v. Aufschnaiter & Welzel, 2001; Wild, 2003).

Mit der Debatte um Ergebnisse der TIMS-Videostudie (u.a. Klieme, Knoll & Schümer, 1998) wurden in den letzten Jahren methodische Zugänge zur Erhebung von Lehr- und Lernprozessen mittels Video entwickelt. Im Zusammenhang mit der Analyse unterrichtlicher Skripts werden dabei sowohl die Instruktionen von Lehrpersonen erfasst als auch die darauf bezogenen Schüleraktivitäten (u.a. Fischer et al., 2002). Kennzeichnend für die Auswertung von Videodaten sind hier besonders kategorienbasierte Zuschreibungen von Sichtstrukturen. Befunde solcher Analysen deuten unter anderem darauf hin, dass die Zielorientierung, die Gestaltung von Experimenten sowie die aktive Beteiligung der Lernenden einen Einfluss auf die Leistungsentwicklung haben (u.a. Prenzel et al., 2002; Seidel et al., 2002). In welcher Weise sich die Fähigkeiten der Lernenden (durch aktive Beiträge) weiter entwickeln, welchen spezifischen Beitrag Zielbeschreibungen leisten und wie Schüler Experimente zur Entwicklung eines übergeordneten Verständnisses nutzen, wird häufig jedoch nicht anhand der vorliegenden Videodaten ausgewertet.

Das methodische Vorgehen bei der Analyse von Videos bleibt zudem nicht ohne Kritik:

> Im Vordergrund stehen Merkmale der Quantität (Zeit) und Qualität des Unterrichts, dabei vor allem das Lehrerhandeln, jedoch mit unterschiedlich starker Gewichtung (Präsentation der Inhalte, Gestaltung des Unterrichts). Vorherrschend, wenn auch zunehmend stärkerer Kritik ausgesetzt, ist das sog. *Prozess-Produkt-Paradigma*, d.h. die Suche nach Beziehungen zwischen Merkmalen des Unterrichtsprozesses und Effektvariablen, wobei als Zielkriterium insbesondere fachliche Leistungen untersucht werden. Kritik wird im Zuge der kognitiven Wende vor allem am *black-box* Charakter des Modells geübt, d.h. daran, dass Prozesse, die zwischen die Instruktionsvariablen (Prozess) und den Lernerfolg der Schüler (Produkt) geschaltet sind, ausgeblendet werden. Die Kritik bezieht sich außerdem auf das überwiegend induktive, theorielose und additive Vorgehen bei der Suche nach Effekten [...]. (Ditton 2002, 201 f.; Hervorhebungen im Original)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich in den letzten Jahren zwar eine Zunahme videobasierter Prozessforschung verzeichnen lässt, der Fokus dieser Forschung jedoch überwiegend nicht auf der detaillierten Analyse von Entwicklungsverläufen beim Lernen liegt.

Eigene Arbeiten

Die Forschungsarbeiten der Antragstellerin sind eingebettet in theoretische und methodische Arbeiten des Institutes für Didaktik der Physik an der Universität Bremen. Im Institut werden seit knapp 20 Jahren Prozesse des Lernens untersucht, ganz überwiegend unter der Nutzung von Videoaufzeichnungen. Der Forschungsschwerpunkt der Antragstellerin folgt dem in Bremen bereits etablierten Forschungsprogramm. Im Rahmen der Dissertation wurden sowohl die Ansätze einer neurobiologisch fundierten Lehr-Lerntheorie als auch der paradigmatische Rahmen einer auf konsequent konstruktivistischen Annahmen beruhenden Interpretationspraxis herausgearbeitet [C. v. Aufschnaiter, 1999]. Im Zentrum stehen dabei theoretisch begründete Überlegungen zur Situativität von erzeugten Bedeutungen, die sich auf sehr kleinen Zeitskalen verändern. Um die Veränderungen physikalischer Denkweisen und damit die Dynamiken bei der Erzeugung und Nutzung physikalischen Wissens zu erfassen, sind kleinschrittige Videoanalysen notwendig. Es wird ferner argumentiert, dass durch Beobachter erfolgte Interpretationen systematisch von den durch die Lernenden erzeugten Bedeutungen getrennt werden müssen.

Das im Rahmen der Dissertation anhand einer Feldstudie mit Studierenden des 2. Studienjahres und einer Laborstudie mit Schülern der 11. Jahrgangsstufe erprobte methodische Vorgehen bei der Analyse von Videodaten sowie der theoretische Rahmen wurden in anschließend folgenden Laborstudien mit Schülern unterschiedlicher Altersstufen (Klassen 8, 10, 11 und 13) weiter entwickelt und in unterschiedlichen Zusammenhängen publiziert [C. v. Aufschnaiter & S v. Aufschnaiter, 2001a/b; C. v. Aufschnaiter & S. v. Aufschnaiter, 2002]. Die Entwicklungen beinhalten dabei vor allem eine Verbreiterung des methodischen Repertoires auf Verbindungen von transkriptbasierten Detailanalysen mit kategorienbasierten Beschreibungen von Videodaten. Der theoretische Rahmen wurde insbesondere in Hinblick auf die Präzisierung neurobiologischer Begründungen zur Unterscheidung kognitiver Prozesse von durch sie erzeugenden Strukturen erweitert [C. v. Aufschnaiter & S. v. Aufschnaiter, 2002]. Damit wird deutlich, dass die situativen Handlungs- und Denkaktivitäten von Probanden nicht mit Lernen gleichgesetzt werden können. Lernen erfolgt auf einer strukturellen Ebene, so dass sich die durch die kognitiven Strukturen hervorgebrachten Prozesse mittel- bis langfristig verändern. Damit einhergehend zeigen die situativen Handlungs- und Denkaktivitäten der Probanden eine geänderte Dynamik. Insbesondere die kontinuierliche Beobachtung von Lernenden über mehrere Lerneinheiten hinweg gibt dann Aufschlüsse auf die Stabilität des zunächst spontan entwickelten physikalischen Wissens.

Zur Beschreibung der Prozesse der Wissensentwicklung und -veränderung wurde zunächst das in Bremen entwickelte Modell der Komplexitätszuschreibungen genutzt (u.a. S. v. Aufschnaiter & Welzel 1996, 1997). Es zeigte sich jedoch bereits im Rahmen der Dissertation, dass eine allein auf Komplexität aufbauende Beschreibung die insgesamt auftretenden Dynamiken nur teilweise nachvollziehbar macht. Im Rahmen der folgenden Laborstudien mit Schülern wurde das Modell in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern des Bremer Institutes um eine inhaltliche und eine zeitliche Dimension erweitert [S. v. Aufschnaiter, C. v. Aufschnaiter & Schoster, 2000; C. v. Aufschnaiter & S. v. Aufschnaiter, 2003]. Sowohl aus den kohortenspezifischen Analysen als auch aus dem Vergleich der Prozesse zwischen den Kohorten wurde deutlich, dass

- die zeitliche Strukturierung von Denk- und Handlungsabläufen die zentrale limitierende Randbedingung für kognitive Prozesse darstellt. Lernende allen Alters können sich nicht länger als maximal 30 Sekunden mit einem zusammenhängenden Gedankengang befassen. In einem Zeitfenster von maximal 5 Minuten werden (Teil-)Aufgaben bearbeitet [S. v. Aufschnaiter & C. v. Aufschnaiter, 2003].
- Schüler der Sekundarstufe I und zu einem großen Teil auch der Sekundarstufe II befassen sich real und gedanklich (sprachlich) überwiegend mit konkreten Phänomenen und Objekten der Lernumgebung, auch dann, wenn ihnen Angebote auf einem abstrahierenden Niveau gemacht werden.
- Lernende können in für sie wenig vertrauten Kontexten nur sehr isolierte und eingeschränkte inhaltliche Aspekte im Rahmen eines Gedankenganges entwickeln. Die Verbindung unterschiedlicher Aspekte gelingt ihnen erst, wenn sie jedes Element für sich sicher innerhalb weniger Sekunden konstruieren können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Kompetenzentwicklung in der Physik nicht primär durch ein deutliches Ansteigen des im Mittel erzeugten Komplexitätsniveaus geprägt zu sein scheint, sondern sich vielmehr in der inhaltlichen Breite sowie der Bearbeitungszeit von Aufgaben bzw. des zeitlichen Bedarfs zur Entwicklung spezifischer Gedankengänge äußert.

In einer Folgeuntersuchung mit Schülern der 8. Jahrgangsstufe konnte gezeigt werden, dass sich die zunächst ausschließlich für den Laboreinsatz konzipierte Lernumgebung zur Elektrostatik auch in schulischen Kontexten bewährt [Rethfeld, Brinkmann, & C. v. Aufschnaiter, 2002]. Eine Einbettung der theoretischen und methodischen Überlegungen in die Grundannahmen der „Didaktischen Rekonstruktion“ (u.a. Kattmann et al., 1997) zeigt zudem, dass die in den Forschungsprojekten entwickelten theoretischen Annahmen und das methodische Vorgehen Beiträge zur Klärung der Entwicklung von Lernerperspektiven leisten kann und damit das Modell der Didaktischen Rekonstruktion um eine prozessorienterte Komponente erweitert [C. v. Aufschnaiter, Hirsch & Rethfeld, 2003].

Liste der Publikationen

Aufschnaiter, C. v. (1999). *Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. Fallstudien zu Bedeutungsentwicklungsprozessen von Studierenden und Schüler(innen) in einer Feld- und einer Laboruntersuchung zum Themengebiet Elektrostatik und Elektrodynamik.* Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.), Studien zum Physiklernen, Bd. 3. Berlin: Logos.

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001a). Prozessbasierte Analysen kognitiver Entwicklung. In S. von Aufschnaiter & M. Welzel (Hrsg.), *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen* (pp. 115-128). Münster: Waxmann. — Anlage 1

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001b). The use of video-documented data for analysing learning processes. In R. H. Evans, A. M. Andersen, & H. Sørensen (Eds.), *The 5th European Science Education Summerschool: Bridging research methodology and research aims* (pp. 431-440). Copenhagen: The Danish University of Education. — Anlage 2

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2002). Über den Zusammenhang von Handeln, Wahrnehmen und Denken. In R. Voss (Hrsg.), *Unterricht aus konstruktivistischer Sicht: Die Welten in den Köpfen der Kinder.* (pp. 233-246). Neuwied, Kriftel: Luchterhand. Anlage 3

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2003). Theoretical framework and empirical evidence on students' cognitive processes in three dimensions of content, complexity, and time. *Journal of Research in Science Teaching, 40(7),* 616-648. Anlage 4

Aufschnaiter, S. v. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Time structures of teaching and learning processes. *Paper presented at the conference of ESERA*, Utrecht, The Netherlands, August 2003. Anlage 5

Aufschnaiter, S. v., Aufschnaiter, C. v. & Schoster, A. (2000). Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physikaufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 6,* 37-57. Anlage 6

Aufschnaiter, C. v., Hirsch, J. & Rethfeld, J. (2003). Entwicklung von Lernerperspektiven im (Physik-)Unterricht. In H. Gropengießer, M. Gerhard & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachliches Lernen erforschen. Handbuch zur fachdidaktischen Lehr-Lernforschung – Didaktische Rekonstruktion.* Anlage 7

Rethfeld, J., Brinkmann, T., & Aufschnaiter, C. v. (2001). Lernprozesse im selbstorganisationsoffenen Elektrostatik-Unterricht. In R. Brechel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven* (pp. 357-359). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag. Anlage 8

III Conceptual Change

Stand der Forschung

Analysen der Entwicklung physikalischer Konzeptualisierungen bei Lernenden unterschiedlichen Alters sowie zu verschiedenen Inhalten der Physik stellen seit Mitte der 70er Jahre einen wesentlichen Anteil in der fachdidaktischen Forschung (u.a. Duit & Treagust, 2003; MacBeth, 2000). Auf der theoretischen Seite wird häufig explizit und implizit davon ausgegangen, dass die Konzept-Entwicklung den Kriterien von Posner et al. (1982) folgt und die Lernwege, die im Rahmen einer solchen Entwicklung stattfinden, sowohl kontinuierlich (Veränderung von bestehenden Konzeptualisierungen) als auch diskontinuierlich (Entwicklung neuer Konzeptualisierungen) erfolgen können (u.a. Carey, 1991; Chinn & Brewer, 1998). Ausgangspunkt dieser theoretischen Beschreibungen ist in allen Fällen der Begriff des „Konzeptes", der zwar immer gebraucht, aber nur selten theoretisch (und empirisch) geklärt wird (u.a. diSessa & Sherin, 1998; Linder, 1993). Rittle-Johnson, Siegler und Alibali (2001, S. 346) schlagen vor „[to] define conceptual knowledge as imlicit or explicit understanding of the principles that govern a domain […]". Auch Gropengießer (2003, S. 13) trifft eine ähnliche Zuordnung, in der er der Bezeichnung „Vorstellung (engl: conception)" die Begriffe „Theorie, Denkfigur, Konzept und Begriff (engl: concept)" zuordnet. In den genannten Arbeiten wird jedoch nicht angegeben, wie sich theoriebasiertes Wissen von anderen Formen des deklarativen (sprachlichen) Wissens theoretisch und empirisch abgrenzen lässt bzw. ob eine solche Abgrenzung überhaupt notwendig ist.

Während sich eine Reihe von theoretischen Annahmen zu Konzept-Entwicklungen auf den Prozess des Lernens beziehen, werden in den empirischen Analysen überwiegend nicht die

Lernprozesse selbst, sondern Produkte dieser Prozesse untersucht. In Interviews und Tests werden die Erfolge unterrichtlicher Bemühungen (in Hinblick auf die Veränderung von Konzeptualisierungen) bestimmt (u.a. Duschl & Gitomer, 1991; Dykstra, Boyle & Monarch, 1992; Hake, 1998; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992). Primäres Kriterium der Einschätzung von Veränderung ist dabei die fachliche Angemessenheit von Schülervorstellungen. Eine weitere Möglichkeit, Vorstellungen qualitativ zu unterscheiden, bezieht sich auf den Grad ihrer Abstraktheit. Überwiegend lässt sich dabei feststellen, dass Vorstellungen, die sich auf konkrete Sachverhalte bzw. Objekte beziehen, ein niedrigeres Niveau zugeschrieben wird als solchen, die auf abstrakte (und ggf. dynamische) Sachverhalte Bezug nehmen (u.a. Schnotz, 1996; Svensson 1989). Eine explizite, über einzelne Inhaltsbereiche der Physik hinausgehende Beschreibung, die verschiedene Aspekte der Qualität der Entwicklung von Vorstellungen berücksichtigt, findet sich jedoch nur selten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in vielen Forschungsarbeiten die Wirkung von Lehrangeboten im Wesentlichen auf der Basis sich einstellender Erfolge in Hinblick auf die Erzeugung und Nutzung „richtiger“ Konzeptualisierungen eingeschätzt wird. Diese Art der Erforschung kann jedoch nur begrenzt aufklären, welche unterrichtlichen Details die Entwicklung besonders befördert bzw. behindert haben und in welchen qualitativen Schritten jenseits oder ergänzend zu fachlicher Angemessenheit sich diese Entwicklung vollzieht. Auch die theoretischen Überlegungen zur Struktur von Konzepten und Veränderungen in dieser Struktur werden einer empirischen Prüfung mit dieser Art von Untersuchungen nur schwer zugänglich. Die Erhebung von Schülervorstellungen und die Dokumentation der Veränderung dieser Vorstellungen können also nur wenig dazu beitragen, die spezifischen Wirkungszusammenhänge von Lehren und Lernen aufzuklären.

Eigene Arbeiten

Bisherige Untersuchungen am Institut für Didaktik der Physik in Bremen haben sich explizit um eine Weiterentwicklung des eigenen theoretischen Rahmens und der empirischen Vorgehensweise bemüht. Zunehmend zeigte sich jedoch, dass nur ein systematischer Bezug dieser Untersuchungen auf fachdidaktische Conceptual-Change-Forschung die ermittelten Befunde anschlussfähig machen sowie theoretische Überlegungen erweitern. Es wurde deshalb von der Antragstellerin ein Forschungsprojekt bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft beantragt, dass die Verbindung prozessbasierter Lehr-Lernforschung mit Ansätzen des Conceptual Change zum Ziel hatte [C. v. Aufschnaiter, 2000].

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zunächst Prozesse des Conceptual-Change mit den bisher entwickelten Kriterien der inhaltlichen Breite, des Komplexitätsniveaus sowie der zeitlichen Strukturierung erfasst. Die Befunde der Analysen aus allen drei Dimensionen zeigen vor allem, dass die Binnenvarianzen innerhalb der Kohorten die Zwischenvarianz in Bezug auf Inhalt, Komplexität und Zeit zum Teil deutlich überschreiten [C. v. Aufschnaiter, 2001a/b]. Unter der theoretisch motivierten Annahme, dass konzeptuelles Wissen nur dann zugeschrieben werden kann, wenn sich Lernende auf Generalisierungen beziehen – die Bedeutungen der Lernenden also einem abstrahierenden Komplexitätsniveau zugeschrieben werden können (mindestens das Niveau der Eigenschaften) – fanden sich nur vereinzelt explizite Konzeptualisierungen. Diese zeigten zudem eine hohe Varianz, deren Änderungsrate auf einer Zeitskala von max. 30 Sekunden erfolgt und damit den bereits in Kapitel II

dokumentierten Befunden zur zeitlichen Strukturierung entspricht [C. v. Aufschnaiter, draft]. Auffällig war zudem, dass sich im breiten Feld der konkreten Auseinandersetzung mit der Lernumgebung Unterschiede in der Systematik dieser Auseinandersetzung ergaben, sich somit auf der inhaltlichen Ebene Unterschiede zeigten, die im bisherigen Auswertemodus nicht erfasst wurden. Ausgehend von diesen Befunden wurde ein Kategoriensystem entwickelt, das zwischen explorativen, intuitiv regelbasiertem sowie explizit regelbasiertem Vorgehen (insgesamt neun Kategorien) unterscheidet [C. v. Aufschnaiter, 2003a/b]. Während sich exploratives und intuitiv regelbasiertes Vorgehen auf konkrete Objekte und Phänomene bezieht, können bei explizit regelbasiertem Vorgehen verschiedene abstrahierende Komplexitätsebenen erreicht werden.

Die bereits im vorherigen Kapitel diskutierten Befunde konnten auch im Rahmen des neu entwickelten Kategoriensystems bestätigt werden:

- Ein auf Konzepten (Prinzipien) beruhendes Vorgehen konnte für Schüler der Sekundarstufen I und II überwiegend nicht nachgewiesen werden.
- Die untersuchten Schüler zeigen zu den inhaltlichen Abschnitten der Lernumgebung zunächst ein exploratives Vorgehen, aus dem nach und nach ein intuitives Verständnis von Gesetzmäßigkeiten entwickelt wird.
- Äußerungen, die Rückschlüsse auf erfolgte Konzeptualisierungen zulassen, werden vor allem im Anschluss an intuitiv regelbasiertes Vorgehen entwickelt und laufen den Handlungen der Schüler nur selten voraus.

In Hinblick auf die in Kapitel II bereits diskutierten Befunde lässt sich festhalten, dass die bisherige Datenlage vermuten lässt, dass explizite Konzeptualisierungen zumindest für Schüler der Sekundarstufe I nur schwer, d.h. nur im Zusammenhang mit intensiver und systematischer Beschäftigung mit den entsprechenden Sachverhalten, zu erreichen sind. Die im Rahmen der unterschiedlichen Projekte dokumentierten Entwicklungsverläufe beim Lernen von Physik lassen den Schluss zu, dass

- die Entwicklung zunächst eine explorative Phase umfasst, in der sehr eingeschränkte Ausschnitte der Umgebung in Hinblick auf ihre Merkmale erkundet werden.
- Im Anschluss an solche Explorationen werden aus der Varianz der Phänomene zunehmend solche Aspekte erkannt, die sich über die Varianz hinweg in einheitlicher Weise verhalten. Zu diesen Aspekten wird von den Lernenden ein intuitives Verständnis von Regeln entwickelt. Sowohl in dieser als auch in der vorhergehenden Phase beziehen die Lernenden alle sprachlichen und nicht-sprachlichen Aktivitäten auf konkrete Objekte und Phänomene, auch dann, wenn verwendete Begrifflichkeiten eine explizite Konzeptualisierung anzudeuten scheinen.
- Erst im Zusammenhang mit der sich wiederholt bewährenden Nutzung intuitiv erfasster Regeln entwickeln Schüler explizite Konzeptualisierungen. Sie müssen dabei zunächst immer wieder zuvor bereits bearbeitete Phänomene und Objekte real und gedanklich erzeugen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die hohe Variabilität an Konzeptualisierungen bzw. der inhaltlichen Bezüge von Handlungs- und Denkaktivitäten die Notwendigkeit kleinschrittiger Prozessuntersuchungen deutlich unterstreicht. Mit Hilfe der empirisch

bestätigten Begrenzung inhaltlich zusammenhängender Konzepte auf Zeitfenster von maximal 30 Sekunden sowie einer theoriegeleiteten Analyse der Prozesse der Erzeugung und Nutzung von Konzepten wurde mit dem Forschungsprojekt ein wesentlicher Beitrag zur empirischen und theoretischen Modellierung von Conceptual-Change-Prozessen geleistet. Es konnte dabei gezeigt werden, dass sich Conceptual-Change auf drei unterschiedliche Dynamiken beziehen kann. Zum Einen vollzieht sich die Entwicklung von Konzepten entlang des Überganges von explorativem zu intuitiv regelbasiertem Vorgehen bis zur expliziten Formulierung von Konzepten in einer relativ späten Phase des Entwicklungsverlaufes. Darüber hinaus kann sich auf jeder Stufe der Entwicklung die inhaltliche Breite des Verständnisses dadurch erweitern, dass Schüler mehr inhaltliche Aspekte innerhalb eines Gedankenganges zusammenbringen können. Diese Dynamik lässt sich vermutlich mit einer kontinuierlichen Erweiterung von Wissen vergleichen. Als dritte zentrale Dynamik wurde herausgefunden, dass ein Wechsel der Erfahrungsbasis zu neuen intuitiv entwickelten Regeln und darauf bezogenen Konzeptualisierungen führen kann. Diese Dynamik lässt sich vermutlich als diskontinuierlicher Zuwachs von Wissen beschreiben.

Die Ergebnisse zu Prozessen des Conceptual-Change lassen vermuten, dass die von Schülern in Interviews und Testsituationen geäußerten sprachlichen Beschreibungen häufig eher auf eine intuitiv erfasste Regelhaftigkeit denn auf ein explizit entwickeltes Konzept verweisen. Für die Unterstützung der Entwicklung physikalischer Kompetenz scheint zudem weniger ein frühes Explizieren von (zentralen) Konzepten entscheidend zu sein, sondern vielmehr eine systematische Hervorhebung von Varianz und Invarianz der in der Lernumgebung enthaltenen Phänomene (s.a. Kapitel VII).

Ausgehend von den bisher ermittelten Befunden zur konzeptuellen Entwicklung wird zur Zeit im Rahmen zweier Folgeprojekte unter anderem die Verbindung von Prozessdaten mit zusätzlichen Erhebungen erprobt. In einer Untersuchung zum Elektrostatik-Unterricht in vier 10. Klassen werden die Prozessdaten mit Leistungsmessungen am Ende und im zeitlichen Abstand zur Lerneinheit verknüpft [Rethfeld, Hirsch & C. v. Aufschnaiter, 2003]. Es zeigt sich unter anderem, dass die Schüler im zeitlichen Abstand zum Unterricht noch vergleichsweise sicher die erlebten Phänomene erneut erzeugen können, jedoch häufig nicht mehr die darauf bezogenen Erklärungen. Dieser Befund ist im Einklang mit den oben dargestellten Entwicklungsverläufen, die vermuten lassen, dass explizite Konzeptualisierungen für Schüler der Sekundarstufe I nur schwer erreichbar sind.

Im zweiten Folgeprojekt werden zur Zeit Prozesse des Gruppen-Concept-Mappings aus der Laborstudie mit Schülern der 8. Klasse ausgewertet und Veränderungen bzw. Stabilitäten bei der Herstellung der Maps mit den jeweiligen Prozessdaten verknüpft. Es zeigt sich, dass das beim Mapping entstehende Concept-Map von den Schülern nicht als zusammenhängende Darstellung entwickelt und vermutlich auch nicht gedanklich verknüpft, sondern aus Paar-Relationen erzeugt wird. Einige der von den Schülern als zentral erlebten und mehrfach thematisierten Aspekte werden bei der Auseinandersetzung mit Phänomenen und Erklärungen zur Elektrostatik nur sporadisch entwickelt. Inwieweit Concept-Maps eine zuverlässige Quelle für die Denkaktivitäten von Schülern in inhaltlich ähnlichen, aber strukturell sehr unterschiedlichen Kontexten darstellen, muss nach den bisherigen Befunden zunächst als fraglich eingestuft werden.

Liste der Publikationen

Aufschnaiter, C. v. (2000). *Prozessbasierte Untersuchungen des Conceptual-Development unterschiedlich fortgeschrittener Physik-Lernender im Themengebiet Elektrostatik und -dynamik.* Antrag auf ein Habilitandenstipendium an die Deutsche Forschungsgemeinschaft. (Antrag genehmigt, Kennzeichen AU 155/3-2)	Anlage 9 (teilweise ohne zus. Anlagen)
Aufschnaiter, C. v. (2001a). Development of physics conceptions: How can processes be described? In D. Psillos et al. (Eds.), *Proceedings of the third international conference on science education research in the knowledge based society* (pp. 282-284). Thessaloniki: Art of Text Publications.	Anlage 10
Aufschnaiter, C. v. (2001b). Selbstorganisationsoffene Aufgaben in der Elektrizitätslehre: Wie bearbeiten Schüler(innen) der Klassen 8 und 11 solche Aufgaben? In R. Brechel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven* (pp. 270-272). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag.	Anlage 11
Aufschnaiter, C. v. (2003a). Conceptual development in physics: Does conceptual knowledge precede activity? *Paper presented at the conference of ESERA*, Utrecht, The Netherlands, August 2003.	Anlage 12
Aufschnaiter, C. v. (2003b). „Ich weiß was rauskommt, aber ich kann es nicht erklären“. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (pp. 114-116). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 24. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG.	Anlage 13
Aufschnaiter, C. v. (draft). Process based investigations of conceptual development: An explorative study. (Beitrag wird z.Z. überarbeitet)	Anlage 14
Rethfeld, J., Hirsch, J. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Leistungskonstanz. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (pp. 108-110). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 23. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG.	Anlage 15

IV Interesse und situatives Erleben

Stand der Forschung

Das Forschungsfeld zu affektiven Dimensionen des Lernens ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl an theoretischen Überlegungen mit zum Teil großer Heterogenität (u.a. Boekaerts & Boscolo, 2002; Krapp, 1996, 1999b). Es lassen sich dabei als zentrale Teilbereiche vor allem die Gebiete der Interessen- und Motivationsforschung ausmachen (u.a. Krapp, 1999a/b). Vielen der darunter summierten Forschungsprojekte ist gemeinsam, dass sie zwischen Trait-Dimensionen als stabile und State-Dimensionen als situationsspezifische Anteile der jeweiligen Konstrukte unterscheiden (u.a. Ames, 1992; Krapp 1999a/b; Rheinberg 1997).

Während im Rahmen der pädagogisch-psychologischen Interessen- und Motivationsforschung theoretische Modellierungen der Trait- und der State-Komponenten sowie ihrer Wechselwirkung vorliegen, sind empirisch bisher vor allem State-Komponenten untersucht worden (u.a. Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998; Schiefele et al., 1993). Die überwiegend mittels Befragungen dokumentierten Befunde werden dabei häufig nicht nur isoliert betrachtet, sondern in einer Reihe von Untersuchungen u.a. mit Leistungsmessungen aber auch mit Befunden zu Lernstrategien korreliert (u.a. Schiefele, Krapp & Schreyer, 1993). Gerade in den letzten Jahren wird jedoch immer deutlicher, dass prozessbasierte Erhebungen

die Wirkungsmechanismen zwischen affektiven und kognitiven Komponenten sowie ihre Zusammenhänge mit dispositionalen Anteilen im Detail aufklären müssen (u.a. Krapp, 1999a; Volet & Järvelä, 2001). Es werden inzwischen vor allem prozessbasierte Erlebensqualitäten als Merkmalsausprägungen von Interessen und Motivation untersucht, die zum Teil mit Komponenten des Flows (u.a. Csikszentmihalyi & Schiefele, 1993) oder der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (u.a. 1993) übereinstimmen. Die Forschung konzentriert sich hier auf Erlebens-Stichproben-Erhebungen in unterschiedlichen Variationen oder aber Befragungen über situationsbezogene Einschätzungen (u.a. Csikszentmihalyi & Larson, 1987; Gläser-Zikuda, 2001; Wild & Krapp, 1996). Obwohl einige der Forschungsarbeiten Zusammenhänge zur kontextuellen Einbettung der Lehr-Lernsituation herstellen (u.a. Volet & Järvelä, 2001), wird eine über Leistungsmessungen hinausgehende Verbindung kognitiver und affektiver Verläufe überwiegend nicht geleistet.

Theoretische Annahmen und Befunde der hier aufgeführten Forschungsprojekte deuten vor allem darauf hin, dass situative Merkmalsausprägungen der für die Konstrukte spezifischen Erlebensqualitäten einer deutlichen Variation unterliegen (u.a. Sembill et al., 1998). Darüber hinaus wird in unterschiedlichen Zusammenhängen deutlich, dass das Erleben von Kompetenz für die positive Einschätzung der Lernsituation und damit auch für die Zuwendung zum Lerngegenstand von zentraler Bedeutung zu sein scheint (u.a. Baumert, 2003; Laukenmann et al., 2000).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich trotz zum Teil expliziter Modellierungen der Ursache und Wirkung affektiver Dynamiken empirische Detailanalysen vor allem auf die stichprobenartige Untersuchung von Erlebensqualitäten zu beschränken scheinen. Insbesondere eine sich auf die Entwicklungsverläufe beim Lernen beziehende Analyse der Verbindung von affektiven und kognitiven Prozessen scheint in der derzeitigen Forschung häufig noch zu kurz zu kommen. Ursächlich hierfür mag unter anderem die nach wie vor deutliche Dominanz pädagogisch-psychologischer Forschung in dem Bereich affektiver Größen sein. Die Verbindung solcher Erhebungen mit Entwicklungsverläufen fachbezogenen Wissens benötigt jedoch zusätzlich eine stark fachdidaktisch orientierte Komponente, die vermutlich nur eingeschränkt durch pädagogisch-psychologische Forschung geleistet werden kann.

Eigene Arbeiten

Nachdem sich die Arbeiten des Institutes für Didaktik der Physik zunächst auf die theoretische Modellierung und empirische Analyse von kognitiven Entwicklungsverläufen beim Lernen von Physik befasst haben, wurden im Rahmen der Dissertation der Antragstellerin auch affektive Parameter erstmalig systematisch untersucht. Ursächlich hierfür war zum Einen das generell in der Fachdidaktik und Pädagogik wachsende Bewusstsein der Verzahnung kognitiver und affektiver Prozesse (einschließlich darauf bezogener neurophysiologischer Befunde, u.a. Damasio, 1997). Zum Anderen zeigten die bis dahin am Institut erhobenen Daten immer wieder, dass Lernende ihre affektiven Einschätzungen der eigenen Prozesse thematisierten. In Anlehnung an theoretische Überlegungen wurde im Rahmen der Dissertation sowohl auf ein bereits erprobtes Instrument zu Erhebung von Interessen an der Physik zurückgegriffen (Schiefele et al., 1993) als auch ein prozessorientierter Kurzfragebogen in Anlehnung an die Experience-Sampling-Methode entwickelt (u.a. Csikszentmihalyi & Larson, 1987). Die Kombination der beiden Erhebungen sowie die

Triangulation mit transkriptbasierten Auswertungen der kognitiven und affektiven Prozessdynamiken wurde zunächst sowohl an Schülern als auch an Studierenden erprobt sowie in unterschiedlichen Zusammenhängen publiziert [C. v. Aufschnaiter, 1999; C. v. Aufschnaiter, 2000; C. v. Aufschnaiter, Schoster & S. v. Aufschnaiter, 1999; C. v. Aufschnaiter & S. v. Aufschnaiter, 2001]. Die Befragungsinstrumente wurden in den dann folgenden Laborstudien zur Elektrostatik und -dynamik ebenfalls eingesetzt. Die Befunde aus den ersten Erhebungen konnten dabei im Wesentlichen bestätigt werden:

- Die im Rahmen der Forschungsarbeiten am Institut für Didaktik der Physik für Schüler der 11. Klasse entwickelte selbstorganisationsoffene Lernumgebung wurde in der entsprechenden Laborerhebung positiv erlebt. Die ist um so überraschender, als dass die Mehrzahl der Schüler eine eher abwertende Einschätzung über Physik und Physik-Unterricht äußerten. Im Gegensatz dazu zeigten die laut Interessenbefragung eher positiv eingestellten Studierenden in den Prozessdynamiken tendenziell negative Einschätzungen ihrer Lernumgebung (dem physikalischen Anfängerpraktikum). Empirisch konnte somit keine deutliche Wirksamkeit von Trait-Variablen auf State-Dimensionen nachgewiesen werden.
- Sowohl für die Schüler als auch für die Studierenden konnte aufgezeigt werden, dass das Erleben von Kompetenz für die Bearbeitung von Aufgaben zentral und eng mit dem Erleben von Spaß und Interesse verknüpft ist. Dabei entsteht das Erleben von Spaß vor allem dann, wenn Lernende erfolgreich bisher entwickelte Aspekte und Handlungen inhaltlich ausdifferenzieren und auf einem vertrauten Komplexitätsniveau routinisieren können. Interesse entsteht, wenn Lernende etwas für sie Neues auf einem bisher nicht erreichten Komplexitätsniveau erschließen können.
- Ebenso wie kognitive Prozesse sind auch affektive Dynamiken zeitkritisch. In Verbindung mit der Bearbeitung von Aufgaben entsteht das Erleben von Erfolg und Misserfolg in Zeitfenstern von maximal 5 Minuten. Gelingt den Lernenden innerhalb dieses Zeitfensters keine für sie zufriedenstellende Lösung der Aufgabe, brechen sie die Bearbeitung (zunächst) ab und wenden sich anderen Aspekten zu.
- Aus Nachbefragungen im Rahmen der Laborstudien kann vermutet werden, dass das wiederholte Erleben von Erfolg die langfristige Einstellung zur Physik positiv beeinflusst und damit vermutlich auch zur Bildung von Interessen beiträgt.
- Aus dem Vergleich zweier Forschungsprojekte mit jeweils unterschiedlich gut auf die Fähigkeiten der Lernenden abgestimmten Lernumgebungen wurde deutlich, dass das Erleben von Kompetenz sensitiv auf die inhaltliche und komplexitätsabhängige Passung des Angebotes zu aktuell erzeugten Bedeutungen reagiert. Hierzu gehört auch, dass im jeweiligen Gebiet eher unerfahrene Lernende eine offen konzipierte Lernumgebung überwiegend nicht positiv erleben und ihre Entwicklungsdynamiken (deshalb) nicht optimal verlaufen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es eine enge Wechselwirkung zwischen kognitiven und affektiven Dynamiken gibt, deren Veränderungsrate innerhalb von 5 Minuten zu vermuten ist. Untersuchungen zu situationsspezifischen Erlebensdynamiken müssten sich deshalb auf diesen Zeittakt beziehen, um alle Veränderungsprozesse zu erfassen. Über die Wirkungsmechanismen auf kleineren Zeitskalen kann zunächst nur spekuliert werden. Es

kann vermutet werden, dass Misserfolge in Bezug auf die Bewährung von Gedankengängen (unbewusst) die Entwicklung alternativer Gedankengänge zur Lösung eines Problems ermöglichen. In der Abfolge verschiedener kleinskaliger Misserfolge würde die individuell wahrgenommene Erfolgsaussicht zum Lösen der jeweiligen Aufgabe langsam kleiner werden, bis nach spätestens 5 Minuten Misserfolg explizit erlebt und die Aufgabe (zunächst) abgebrochen wird. Kompetenzentwicklung wäre somit auf der einen Seite auf (unbewusste) Misserfolge angewiesen, weil sonst keine alternativen Lösungswege erprobt und damit etabliert werden können. Auf der anderen Seite würde jedoch (bewusstes) Erleben von Kompetenz nach mehreren kleinskaligen Misserfolgen benötigt werden, damit über die wiederholte Zuwendungen zu inhaltlichen Aspekten Lösungen verbessert und etabliert werden können.

Es kann ferner festgehalten werden, dass es bisher nur wenig Anlass zu der Vermutung gibt, dass Trait-Zustände auf kleinen Zeitskalen deutliche Wirkung entfalten. Vermutlich werden Dispositionen vor allem dann wirksam, wenn Lernende Perspektiven auf mittlere und längere Zeitskalen entwickeln, wie z.B. die Planung der Kurswahl in der Oberstufe oder die Wahl einer Fernsehsendung. Situationsspezifisch bestimmt vor allem das Erleben von Kompetenz in Zeitfenstern von 5 Minuten, ob Schüler die inhaltliche Beschäftigung aufrechterhalten (und somit Wissen zu diesem Inhaltsbereich entwickeln) oder ob sie sich einem anderen Sachverhalt zuwenden. Damit wird die Notwendigkeit der Herstellung von Kompetenzerleben auf kleinen Zeitskalen durch die optimale Passung von Fähigkeits- und Anforderungsniveau ein zentrales Kriterium für die Gestaltung von die Entwicklung der Lernenden optimal befördernden Lernumgebungen (s.a. Kapitel VII).

Die zunächst für das Labor und die spezielle Situation des physikalischen Praktikums konzipierten Befragungen wurden in Folgeprojekten auch im Schulunterricht der 8. und 10. Klasse eingesetzt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit Forschungsprojekten anderer Hochschulen wurde zum Teil auf den am IPN entwickelten Interessenfragebogen zurückgegriffen, um das Physik-Interesse zu messen (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998). Insbesondere das aktuell laufende Projekt mit Schülern der 10. Klasse scheint die bisherigen Befunde zur generellen Einschätzung der Lernumgebung zu bestätigen [Hirsch, Rethfeld & C. v. Aufschnaiter, 2003]. Darüber hinaus lassen die höheren Probandenzahlen (insgesamt ca. 100 Schüler) erstmalig auch quantitative Analysen zu, die die qualitativen Befunde validieren und erweitern können.

Liste der Publikationen

Aufschnaiter, C. v. (1999). *Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. Fallstudien zu Bedeutungsentwicklungsprozessen von Studierenden und Schüler(innen) in einer Feld- und einer Laboruntersuchung zum Themengebiet Elektrostatik und Elektrodynamik.* Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.), Studien zum Physiklernen, Bd. 3. Berlin: Logos.

Aufschnaiter, C. v. (2000). Wann entstehen Interessen an fachspezifischen Aufgaben? In R. Brechel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven* (pp. 250-252). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag. Anlage 16

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001). Über den Zusammenhang von kognitiver Entwicklung und situativem Erleben beim Bearbeiten physikalischer Anlage 17

Aufgaben. In C. Finkbeiner & G. W. Schnaitmann (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Kontext empirischer Forschung und Fachdidaktik* (pp. 459-478). Donauwörth, Dortmund, Leipzig, München: Auer.

Aufschnaiter, C. v., Schoster, A., & Aufschnaiter, S. v. (1999). The influence of students' individual experiences of physics learning environments on cognitive processes. In J. Leach, & A. C. Paulsen (Eds.), *Practical work in science education – Recent research studies* (pp. 281-296). Dordrecht: Kluwer. Anlage 18

Hirsch, J., Rethfeld, J. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Wenn mir der Unterricht Spaß macht, kann ich mir die Inhalte besser merken. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (pp. 111-113). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 23. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG. Anlage 19

V Interaktionen zwischen Lernenden

Stand der Forschung

Das Lernen von Physik ist - neben allen notwendigen und wichtigen nicht-sprachlichen Aktivitäten von Lernern - vor allem sprachlich vermittelt: Schüler und Lehrer reden über beobachtete Phänomene, diskutieren Gesetzmäßigkeiten und Theorien, schreiben und lesen Texte über physikalische Sachverhalte usw. Während sich die Conceptual-Change-Forschung in den letzten Jahren vor allem mit der Analyse von Inhalten der von Schülern erzeugten (sprachlichen) Aktivitäten befasst hat, hat sich dieses stark inhaltsbezogen ausgerichtete Forschungsfeld nur wenig der Struktur der Diskurse selbst zugewendet. Neben einigen Untersuchungen, die mit Hilfe von Leistungsmessungen eine positive Wirkung von auf Interaktionen basierender Lernumgebungen (meist Gruppenarbeit) nachweisen (u.a. Hake, 1998; Heller, Keith & Anderson, 1992; Zammunder, 1995), haben sich in den letzen Jahren vor allem zwei Stränge prozessbasierter Interaktionsanalysen etabliert. Aufbauend auf sozial konstruktivistischen Annahmen werden Diskurse unter dem Blickwinkel geteilter und co-konstruierter Bedeutungen sowie sich ändernder Beteiligung an wissenschaftlichen Gemeinschaften betrachtet (u.a. Cobb & Bowers, 1999; Lave, 1997; Roth, 1995; Sfard, 1998). Schwerpunkt dieser Forschungsprogramme bilden Beschreibungen ablaufender Diskurs-dynamiken und des dabei von allen Teilnehmern hervorgebrachten Wissens.

Der zweite auf interaktive Prozesse bezogene Forschungsansatz geht davon aus, dass die für Wissenschaftler identifizierten Merkmale von Diskursen nicht nur für die Entwicklung von neuen Erkenntnissen zu einer bereits bestehenden breiten Wissensbasis ertragreich, sondern auch für das Lernen der Wissensbasis selbst förderlich sind (u.a. Duschl, 1990; Driver et al., 1996; Kelly & Duschl, 2002; Kirschner, 1992; Millar & Osborne, 2002; Minstrell & Van Zee, 2000). Aufbauend auf diesen Grundannahmen versuchen die verschiedenen Forschungs-programme wissenschaftliches Argumentieren im Schulunterricht zu implementieren und den Erfolg dieser Implementation prozessbasiert zu untersuchen. Einige Arbeiten bemühen sich dabei nicht nur um die strukturelle Analyse der Diskurse, sondern versuchen auch, die konzeptuelle Entwicklung der Lernenden entweder deskriptiv oder mittels pre- und post-Verfahren zu erfassen (u.a. Zohar & Nemet, 2002). Die Befunde dieser Forschungsrichtung deuten darauf hin, dass sich mit Hilfe von epistemischen Argumentationen nicht nur das Engagement der Schüler in den spezifischen Sachverhalten verbessern lässt, sondern auch

eine positive Entwicklung von Konzeptualisierungen zum entsprechenden Sachverhalt zu erwarten ist (u.a. Zohar & Nemet, 2002). Die Ergebnisse deuten zudem an, dass mangelndes konzeptuelles Verständnis auf die Fähigkeit, fundierte Argumente zu entwickeln, zurückwirkt (Hogan & Maglienti, 2001; Kuhn, 1991; Koslowski, 1996). Es gibt somit empirische Belege über die Wechselwirkung von epistemischen Argumentationen und der Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In welcher Weise sich diese Wechselwirkung vollzieht, scheint jedoch noch nicht geklärt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bisherige Forschung überwiegend Struktur, Form und Inhalt interaktiver Verläufe untersucht und diese zum Teil auch auf Beschreibungen von Fähigkeiten bzw. Leistungsmessungen bezieht. Aus den Befunden wird jedoch häufig nicht deutlich, wie die jeweiligen interaktiven Anteile von den einzelnen Individuen für die Entwicklung eigenen Wissens genutzt werden und wie wiederum eine sich verändernde kognitive Struktur Qualität und Quantität der Diskurse beeinflusst. Für eine detaillierte Einschätzung der Gestaltung und Wirkung interaktiver Prozesse, z.B. im Zusammenhang mit der Frage der Vor- und Nachteile homogener bzw. inhomogener Lerngruppen, sind über Beschreibungen und Leistungsmessungen hinausgehende Befunde jedoch notwendig.

Eigene Arbeiten

Das von den Lernern situativ erzeugte Wissen entsteht aus der Wechselwirkung der Lerner mit der sie umgebenden sozialen und materiellen Welt. Als Folge dieser Wechselwirkung verändern Lerner die sie umgebende Welt (durch eigene verbale und materielle Beiträge) und schaffen damit Möglichkeiten für andere Individuen, neue Aspekte zu entdecken und damit selbst eine veränderte Umgebung zu schaffen, die neue Denk- und Handlungsmöglichkeiten für andere bietet. Aus dieser wechselseitigen Bezugnahme von Individuen auf sich verändernde Umgebungen kann jedes Individuum neues Wissen entdecken und erproben. Ausgehend von den theoretischen Modellierungen und empirischen Befunden individueller Wissensentwicklungsprozesse wurden in den bisherigen Forschungsarbeiten bereits zum Teil Aspekte der Wechselwirkung zwischen Lernenden und ihrer Lernumgebung explizit untersucht, dies betrifft besonders schriftliche Instruktionen und der Umgang mit Experimentiermaterial (s.a. Kapitel II und III). Unter Bezugnahme der überwiegend verbalen Interaktionen der Lernenden untereinander, wird das Forschungsprogramm um eine über eine rein individuelle Betrachtung der Dynamiken hinausgehende Perspektive erweitert und kann somit auch zu theoretischen Modellierungen über soziale Dynamiken beitragen (s.a. Welzel, 1995).

Im Rahmen der Dissertation wurden zunächst die im physikalischen Praktikum und in einer Laborstudie mit Schülern der 11. Klasse innerhalb der Lerngruppen entstehenden Interaktionen analysiert und auf die individuellen Entwicklungsverläufe bezogen [C. v. Aufschnaiter, 1999a/b; C. v. Aufschnaiter, 2003a; C. v. Aufschnaiter & S. v. Aufschnaiter, 1999]. Zentrale Befunde dieser Untersuchungen bestätigen im Kern vor allem den bereits im Zusammenhang mit schriftlichen Instruktionen ermittelten Befund, dass Lernende angebotene Konzepte (Erklärungen auf abstrahierenden Komplexitätsniveaus), für ihre eigenen Bedeutungsentwicklungen nur dann nutzen können, wenn sie bereits selbst ein abstrahierendes Niveau erreicht haben. Über diesen generellen Befund hinaus konnten Unterschiede für verschiedene Arten von Interaktionsprozessen ermittelt werden:

- Typische *Interaktionen* sind durch eine wechselseitige Beteiligung an Diskursen gekennzeichnet, in der die Beteiligten ihre eigenen Bedeutungskonstruktionen auf bereits entwickelten Niveaus routinisieren. Eine Entwicklung in höhere Niveaus findet nicht statt. Diese Art der Interaktionsprozesse kennzeichnet die Mehrzahl aller Diskurse. Auffällig ist, dass bereits kleinere Abweichungen im inhaltlichen Schwerpunkt der Bedeutungskonstruktionen der Interagierenden sowie eine Abweichung von einer Komplexitätsebene zu einem Diskursverlauf führt, der den Intentionen mindestens eines Interaktionspartners widerspricht.
- In *Erklärungen* verbessern die Lernenden die von ihnen zuvor entwickelten Bedeutungen sowohl in Hinblick auf inhaltliche Aspekte als auch in Hinblick auf Komplexitätsdynamiken. Auffällig dabei ist, dass Erklärungen vor allem zur Ausdifferenzierung des Wissens des Erklärenden beitragen, häufig jedoch vom Lernenden, an den sich die Erklärung richtet, nicht genutzt werden können, da Inhalt und Komplexität des Angebotes nicht ausreichend auf das aktuelle Fähigkeitsniveau abgestimmt sind.
- Eine erstmalige Entwicklung in höhere Komplexitätsebenen werden nach den bisherigen Befunden ausschließlich in *Selbsterklärungen* erreicht. Hier kann im eigentlichen Sinne nicht mehr von „Interaktion“ gesprochen werden, da der Lernende in Selbsterklärungen nicht mehr mit seiner Umgebung (absichtsvoll) interagiert. Die Entwicklung qualitativ neuer Aspekte kann somit durch Interaktionen nicht direkt befördert werden, sondern ist ein individueller Prozess, der jedoch von den jeweiligen Anreizbedingungen der Umgebung bei guter Passung angeregt wird.
- Bei einem Vergleich der Gewichtung von Interaktionen, Erklärungen und Selbsterklärungen zwischen Schülern und Studierenden war auffällig, dass die Frequenz der einzelnen Prozesse von der Passung der Lernumgebung zu den Fähigkeiten der Lernenden abhängig ist. In schlecht auf die Fähigkeiten abgestimmten Lernumgebungen wird deutlich mehr interagiert und deutlich weniger selbsterklärt als in gut abgestimmten Lernumgebungen. Schlecht auf die Fähigkeiten abgestimmte Lernumgebungen ermöglichen somit zwar intensive Interaktionen, behindern dabei jedoch die für die Weiterentwicklung der Fähigkeiten notwendigen Selbsterklärungsprozesse.

In einem weiteren Forschungsprojekt in Kooperation mit dem King’s College in London wurden Prozesse des wissenschaftlichen Argumentierens bei Schülern aus Junior High Schools untersucht (Osborne, Erduran & Simon, 2003). Dabei wurden sowohl die Inhalte des auf Unterstützung von wissenschaftlichem Argumentieren aufbauenden Lehrmaterials zu verschiedenen naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Themen als auch die Diskurse mit den bisher entwickelten Kriterien der inhaltlichen Breite, des Komplexitätsniveaus und der zeitlichen Strukturierung analysiert [C. v. Aufschnaiter, Erduran, Osborne, 2003]. Es zeigt sich, dass die von Forschern am King’s College ermittelten Unterschiede in Quantität und Qualität der wissenschaftlichen Argumentationen zumindest zum Teil auf die unterschiedliche Kompliziertheit der Lernumgebungen zurückzuführen sind. Obwohl insgesamt eine starke Beteiligung der Schüler an den Inhalten der Lernumgebungen nachzuweisen ist, differenzieren die Schüler ihr bisheriges Verständnis der Inhalte zwar aus, entdecken jedoch selten neue Aspekte und können somit die Qualität ihrer naturwissenschaftlichen Kompetenz kaum verbessern. Hier muss ebenfalls als eine mögliche

Ursache die zum Teil schlecht auf die Fähigkeiten der Lernenden abgestimmten Instruktionen vermutet werden. Darüber hinaus konnte in Rahmen der bisherigen Forschungsarbeiten kein systematischer Zusammenhang zwischen Ebenen des Argumentierens und Ebenen des naturwissenschaftlichen Verständnisses nachgewiesen werden. Insgesamt hat das Projekt vor allem aufgezeigt, auf welche Aspekte geachtet werden muss, wenn der Zusammenhang zwischen wissenschaftlichem Argumentieren und Kompetenz-Entwicklung systematisch untersucht werden soll. Es wurde deshalb ein Forschungsantrag an die Deutsche Forschungsgemeinschaft gestellt, der die Entwicklung und Evaluation von physikalischen Lernumgebungen zum Gegenstand hat, die sowohl in Hinblick auf ihre inhaltliche Passung als auch in Hinblick auf die Unterstützung von wissenschaftlichem Argumentieren konstruiert werden sollen [C. v. Aufschnaiter, 2003b].

Zusammenfassend zeigen die Befunde deutlich, dass der zentrale Wirkungsmechanismus von Interaktionen nicht in der direkten Wirkung interaktiver Angebote zu vermuten ist (dies gilt auch für von Lehrern initiierte Prozesse). Interaktionen ermöglichen es Lernenden vor allem, bereits entwickelte Gedankengänge in Diskursen mit anderen zu erproben und zu verbessern, so dass der Zeitbedarf für die Konstruktion einzelner Aspekte sinkt. Damit können Lernende in zunehmendem Maße zusätzliche Aspekte mit bisherigen Überlegungen in Gedankengängen zusammenbringen und/oder ein höheres Komplexitätsniveau in Selbsterklärungen erreichen. Aufbauend auf den Befunden ist zu vermuten, dass der Vorteil von insgesamt heterogenen Leistungsgruppen darin liegt, dass jedes Individuum einer Gruppe immer wieder auf ein geringfügig kompetenteres Individuum trifft und somit für sich optimale Anreizbedingungen zur Erprobung von Gedankengängen sowie zur Konstruktion neuer Aspekte und Verbindung dieser Aspekte in Gedankengängen enthält.

Liste der Publikationen

Aufschnaiter, C. v. (1999a). *Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. Fallstudien zu Bedeutungsentwicklungsprozessen von Studierenden und Schüler(innen) in einer Feld- und einer Laboruntersuchung zum Themengebiet Elektrostatik und Elektrodynamik.* Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.), Studien zum Physiklernen, Bd. 3. Berlin: Logos.

Aufschnaiter, C. v. (1999b). Analysis and description of learning processes during studying physics with special focus on the influence of interactions. In M. Méheut & G. Rebmann (Eds.), *Fourth European Science Education Summerschool. Theory, methodology and results of research in science education* (pp. 254-257). Paris: Université D. Diderot.

Aufschnaiter, C. v. (2003a). Interactive processes between university students: Structures of interactions and related cognitive development. *Research in Science Education, 33*, 341-374. — Anlage 20

Aufschnaiter, C. v. (2003b). *Prozessbasierte Untersuchungen des Zusammenhanges von epistemischen Argumentationen und konzeptueller Entwicklung in der Physik.* Antrag auf Sachbeihilfe an die Deutsche Forschungsgemeinschaft. (Antrag in der Begutachtung) — Anlage 21 (teilweise ohne zus. Anlagen)

Aufschnaiter, C. v., Erduran, S. & Osborne, J. (2003). Argumentation and cognitive processes in science education. Synopsis zur Konferenz der NARST, Vancouver, April 2004. (Zeitschriftenbeitrag in Vorbereitung) — Anlage 22

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (1999). Interactions, explanations, and self-explanations: How do these processes influence cognitive development? In M. Komorek et al. (Eds.), *Research in science education: Past, present, and future. Proceedings of the second international conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.), Vol. 1* (pp. 217-219). Kiel: IPN.

VI Lehrerverhalten

Stand der Forschung

Im Zusammenhang mit auf (radikal) konstruktivistischen Grundannahmen basierenden Lerntheorien wird häufig vermutet, dass ein Lehrer für das Lernen überflüssig ist. Tatsächlich kann ein Lehrer nicht die Verantwortung dafür übernehmen, dass bestimmte Fähigkeiten und bestimmtes Wissen von einem Schüler entwickelt werden. Eine Lehrkraft trägt jedoch Verantwortung dafür, dass die bereitgestellte Lernumgebung (alle schriftlichen und verbalen Instruktionen) von den Lernenden möglichst optimal für die Entwicklung physikalischer Kompetenz genutzt werden können (s.a. Kapitel VII sowie S. v. Aufschnaiter, 2001). Damit kommt der Lehrkraft eine zentrale Rolle im Lernprozess zu. Die Zuwendung fachdidaktischer und pädagogischer Forschung zu Lehrervariablen hat im Wesentlichen zwei Richtungen eingeschlagen. Auf der einen Seite wird untersucht, welches Lehrerverhalten welche Effekte im Zusammenhang mit Leistungsmessungen ergibt (u.a. Clausen, 2000; Seidel et al. 2002). Weinert fasst die theoretischen Überlegungen und empirischen Befunde solcher Untersuchungen wie folgt zusammen:

> [...] der Lehrer legt die Lernziele fest, er stellt Fragen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades, so dass sich möglichst alle Schüler beteiligen können, er kontrolliert permanent die Verständnisfortschritte und sorgt dafür, dass Kenntnislücken und Wissensmängel schnell und gezielt beseitigt werden. Der Stillarbeit und der dabei zu leistenden hochgradig individualisierten Unterstützung der Lernenden durch den Lehrer kommt eine besondere Bedeutung zu. Diese Form des Unterrichts ist für die Erreichung anspruchsvoller Leistungsziele durch möglichst viele Schüler die wirksamste Methode. (Weinert 1999, 31).

In welcher Weise jedoch im Detail Lernziele von den Lernenden für die eigenen Aktivitäten genutzt werden und wie sich unterschiedliche Schwierigkeitsgrade operationalisieren und mit den Wissensentwicklungsprozessen der Schüler in Verbindung bringen lassen, steht zur Zeit nicht im Zentrum der Analysen.

Untersuchungen zum Lehrerverhalten beschränken sich jedoch nicht nur auf die direkte Beobachtung des Verhaltens und dessen Beziehung zu Leistungsmessungen, sondern auch auf die vom Lehrer erzeugten Vorstellungen über Lehren und Lernen. Unter dem Begriff der „subjektiven Theorien“ versuchen verschiedene Forschungsprogramme die Vorstellungen der Lehrer zu erheben und zu prüfen, wie sich diese zu bisherigen Annahmen über erfolgreiche Gestaltung von Lernprozessen verhalten (u.a. Fischler & Schröder, 2003; Müller, 2003). Es wird dabei davon ausgegangen, dass den Konzepten der Lehrer über Lernen und Lehren eine zentrale Rolle bei der Aufklärung der Unterschiede im Instruktionsverhalten zukommt und dass es deshalb wichtig ist, auf die subjektiven Theorien der Lehrer Einfluss zu nehmen (u.a. Fennema & Loef Franke, 1992). Empirische Untersuchung geben jedoch Anlass zu der

Vermutung, dass auch ohne eine Modifikation subjektiver Theorien das unterrichtswirksame Verhalten einer Veränderung unterliegen kann (Luft, 2001).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Forschung über das Verhalten und die subjektiven Theorien von Lehrern nur selten gleichzeitig die Details der Wirkung dieses Verhaltens auf Schülerkognitionen zu erheben scheint. Untersuchungen zur Bildungsqualität von Physik-Unterricht lassen nur schwer Komponenten erkennen, die sich mit der inhaltlichen Qualität der Instruktionen und damit verbunden der Qualität von Schülerverhalten befassen. Für die Entwicklung physikalischer Kompetenz kommt es jedoch wesentlich darauf an, ob Schüler eine abgegebene Erklärung verstehen, ob sie die angebotenen Experimente in der intendierten Weise nutzen können und ob sie sich im Physik-Unterricht inhaltlich sinnvoll einbringen können.

Eigene Arbeiten

Die für die prozessbasierte Analyse von Entwicklungsverläufen beim Lernen von Physik entwickelten Parameter der inhaltlichen Breite, des Komplexitätsniveaus und der Zeit lassen sich auch für die Analyse von Lehrangeboten und damit auch des Lehrerhandelns verwenden. So können die durch einen Lehrer angebotenen Aufgaben und Erklärungen mittels eines identischen Beschreibungsrahmens auf die Entwicklungsverläufe der Lernenden bezogen und damit ihre Wirkung analysiert werden.

Das methodische Vorgehen der videobasierten Auswertung von Prozessen des Lehrens wurde zunächst mit Videoaufzeichnungen von Lehrern im Rahmen der vom IPN durchgeführten Videostudie (u.a. Prenzel et al., 2001) erprobt [C. v. Aufschnaiter, 2003]. Ziel der Studie war vor allem, neue Wege in der Analyse von Lehrerverhalten und damit verbundener Bildungsqualität von Physik-Unterricht zu explorieren. Die bisher erarbeiteten Befunde haben deshalb zunächst primär hypothetischen Charakter und müssen in weiteren Untersuchungen systematisch validiert werden.

- Die zeitliche Strukturierung kognitiver Prozesse in Zeitfenstern von maximal 30 Sekunden für Gedankengänge und maximal 5 Minuten für die Entwicklung inhaltlich eingegrenzter Sachverhalte finden sich auch für Lehrer [s.a. S. v. Aufschnaiter & C. v. Aufschnaiter, 2003]. Lehrer binden in diesen Zeitfenstern häufig mehr inhaltliche Aspekte zusammen und erreichen dabei spontan höhere Komplexitätsniveaus als ihre Schüler. Dies stellt ein hohes Risiko für gelingenden Unterricht dar.
- Fragend-entwickelnder Unterricht schafft Passungen zwischen Angebots- und Fähigkeitsniveau häufig nur in Zeitfenstern von weniger als 30 Sekunden. Dadurch können Schüler in der Regel schon (aufgabenbezogene) Ziele des Lehrers in zeitlich mittlerer Reichweite nicht mehr erfassen.
- Demonstrationen von strukturgleichen, aber oberflächlich sehr unterschiedlichen Phänomenen kann im Regelfall von Schülern in den zur Verfügung stehenden Zeitfenstern nicht für die Entwicklung der den Phänomenen zugrunde liegenden Generalisierung genutzt werden.

In einer zur Zeit laufenden Folgestudie in Kooperation mit dem King's College in London [Wilson & C. v. Aufschnaiter, 2003] werden die instruktionalen Prozesse in Unterrichtsstunden zu „Cognitive Acceleration through Science Education" (CASE) analysiert (u.a.

Adey & Shayer, 1994; Shayer & Adey, 2002). Ziel des Projektes ist vor allem eine prozessbasierte Aufklärung der Wirkungsmechanismen von auf CASE-Annahmen basierendem Unterricht. Es soll aber auch eine generelle Aufklärung der im Unterricht stattfindenden Entwicklungsverläufe erfolgen. Hier ist unter anderem zu prüfen, ob die vermutete Etablierung kontextübergreifender Fähigkeiten aufgrund der Ausbildung generell wirkenden Schemata tatsächlich zu beobachten ist. Im Rahmen bisheriger Forschungsaktivitäten wurde ein Kategoriensystem zur Analyse des Unterrichts im 10-Sekunden Takt entwickelt, dass sowohl auf CASE spezifische Annahmen Bezug nimmt, als auch Analysen in Hinblick auf Komplexität sowie der Entwicklung und Nutzung intuitiv bzw. explizit regelbasiertem Vorgehens ermöglicht. Dabei wird systematisch zwischen Lehrer- und Schüleraktivitäten getrennt, so dass diese in einem weiteren Auswerteschritt aufeinander bezogen werden können. Mittelfristig eröffnet die für CASE entwickelte Verbindung von außerschulischem Lehrertraining, Erprobungen von Unterrichtsmethoden im Klassenzimmer und darauf bezogenem Coaching zudem die Möglichkeit einer detaillierten Prüfung des Zusammenhanges dieser drei Elemente. Damit kann das Projekt auch einen Beitrag zur Konstruktion von optimal greifenden Trainings- und Coachingverfahren leisten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein konsistenter, auf inhaltlichen Aspekten basierender Beschreibungsrahmen zu Entwicklungsdynamiken beim Lernen von Physik auch genutzt werden kann, um Lehrerverhalten im Detail zu klassifizieren und hinsichtlich der Wirkung einzuschätzen. Die systematische Bezugnahme der Prozesse des Lehrens und des Lernens unter Verwendung inhaltsbezogener Kriterien kann somit grundlegende inhaltliche Aufklärung gelingender Instruktionen liefern.

Liste der Publikationen

Aufschnaiter, C. v. (2003). Prozessbasierte Detailanalysen der Bildungsqualität von Physik-Unterricht: Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 9,* 105-124. — Anlage 23

Aufschnaiter, S. v. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Time structures of teaching and learning processes. *Paper presented at the conference of ESERA*, Utrecht, The Netherlands, August 2003. — Anlage 5

Wilson, N. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Pilot Investigation of Successful Pedagogy During CASE in Year 3. Antrag auf Forschungsförderung an das King's College, London, UK. (Antrag genehmigt) — Anlage 24

VII Aufgabenkultur

Stand der Forschung

Seit den Befunden von TIMSS und PISA (u.a. Baumert et al. 1997; Baumert et al. 2001) ist der deutsche Unterricht und die damit verbundene Aufgabenkultur vermehrt in die Kritik geraten. In den letzten Jahren lassen sich zunehmend, meist theoretisch motivierte Bemühungen erkennen, über die Formulierung von Bildungsstandards und Kerncurricula zu einer veränderten Aufgabenkultur für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu gelangen (u.a. Schecker, Wiesner & Fischer, 2003). Im Kern der Überlegungen lassen sich mindestens zwei unterschiedliche Ansätze ausmachen. Eine Reihe von Argumenten zur Umstrukturierung beziehen sich im Wesentlichen auf die Sachlogik der Fächer. Schüler müssen die für die

Domäne zentralen Konzepte erwerben, damit ihr Wissen anschlussfähig ist, sie Transfer erbringen und sich somit eine Vielzahl von Phänomenen erschließen können (u.a. MNU, 2001, 2003). In eine ähnliche Richtung bewegen sich Argumente für die Notwendigkeit der Einbettung lebensweltlicher und komplexer Probleme (u.a. Häußler & Lind, 2001), wenngleich hier auch motivationale Effekte erwartet werden. Was jedoch aus Sicht von Schülern „lebensweltlich“ ist, also ihrem direkten Erleben bereits zugänglich geworden ist, und wie sich „komplexe“ von wenig komplexen Problemen unterscheiden lassen wird häufig nicht expliziert. Das zweite Argument in der Debatte um eine Neustrukturierung der Aufgabenkultur bezieht sich auf den Erwerb über die Inhalte des jeweiligen Faches hinausgehender Fähigkeiten. Hier wird besonders betont, dass Schüler wissenschaftliches Arbeiten lernen und die Natur der Naturwissenschaften erkennen müssen, dies zum Teil bereits in der Grundschule (u.a. Millar & Osborne, 2002; MNU, 2003; Sodian et al., 2002). Ob und inwieweit sich wissenschaftliches Vorgehen bei der Nutzung von Konzepten mit dem Lernen dieser Konzepte in Beziehung bringen lässt, scheint empirisch bisher jedoch nicht untersucht zu werden.

Den weitgehend unabhängig von zu erwartenden Fähigkeitsentwicklungen der Lerner formulierten Ansätze für eine neue Aufgabenkultur im naturwissenschaftlichen Unterricht stehen Forderungen gegenüber, die sich explizit auf Möglichkeiten und Grenzen beim Erwerb physikalischen Wissens beziehen. Kompetenzmodelle argumentieren, dass Faktenwissen und naive Theorien ebenso wie situationsspezifisches wissenschaftliches Vokabular niedrige Kompetenzstufen kennzeichnen, während die Kenntnis der Natur der Naturwissenschaften eine hohe Stufe darstellt und damit als vielen anderen Lernprozessen nachgeschaltetes Verständnis zu vermuten ist (u.a. Bybee, 1997). Auch in den Beschreibungen der MNU zu aktuellen Anforderungen an Physik-Unterricht und naturwissenschaftliche Bildung wird betont, dass „die curricularen Ziele vor dem Hintergrund der fachdidaktischen Forschungsergebnisse zu überprüfen und das Curriculum ein Stück weit an das Machbare, d.h. das Vermittelbare, anzupassen [sind].“ (MNU, 2001, S. VII). Diese Forderung entspricht zwar den Überlegungen zur Notwendigkeit der Passung des situativen Fähigkeitsniveaus zum Anforderungsniveau von Aufgaben (u.a. Baumert, 2003; Csikszentmihalyi & Schiefele, 1993), führt jedoch nicht aus, was das „Vermittelbare“ ist bzw. sein könnte und wie eine Anpassung des Curriculums aussehen müsste.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich bisherige Forderungen zu einer Weiterentwicklung der Aufgabenkultur nur selten an empirischen Befunden zu kognitiven und affektiven Entwicklungsverläufen beim Lernen von Physik zu orientieren scheinen. Es ist deshalb fraglich, ob die konstruierten Anforderungen und Aufgaben tatsächlich in der vermuteten Weise zur Verbesserung physikalischer Kompetenz aber auch zum positiveren Erleben von Physik-Unterricht seitens der Schüler beitragen.

Eigene Arbeiten

Aufbauend auf einer systematischen Analyse der Entwicklungsverläufe beim Lernen von Physik sowie der damit einhergehenden Erlebensqualitäten lassen sich empirisch fundierte Aussagen zur Gestaltung von Lernen optimal befördernden Lernumgebungen ableiten. Zentral ist nach den bisherigen Befunden, dass es Schülern häufig gelingen muss, (Teil-)Aufgaben – dies können auch Lehrererklärungen sein – innerhalb von 5 Minuten für sich

erfolgreich zu bearbeiten. Um die Differenz zwischen den Anforderungen der Aufgabe (bzw. der Erklärung) und dem jeweiligen Fähigkeitsniveau der Schüler so anzulegen, dass eine erfolgreiche Bearbeitung im genannten Zeitfenster gelingen kann, muss sich die Gestaltung der Lernumgebungen entlang der Parameter vollziehen, die sich für die Analyse von Kompetenzentwicklungen in der Physik bewährt haben [C. v. Aufschnaiter & S. v. Aufschnaiter, 2001].

- Die häufige Annahme, dass Schüler mit konzeptbasierten Fehlvorstellungen in den Unterricht kommen, konnten die empirischen Untersuchungen nicht bestätigen. Statt von „Fehlvorstellungen“ sollte nach den bisherigen Befunden vermutlich eher von „Fehl(enden) Erfahrungen“ gesprochen werden: Das von Schülern anhand lebensweltlicher Erfahrungen, z.B. mit reibungsbehafteten Bewegungen, entwickelte intuitive Verständnis der jeweils zugehörigen Gesetzmäßigkeit ist physikalisch meist angemessen, passt aber nicht zu der vom Physik-Unterricht intendierten Konzeptualisierung. Die für eine physikalisch erwünschte Konzeptualisierung notwendigen Erfahrungen müssen deshalb oft im Physik-Unterricht erst ermöglicht werden. Schüler müssen dabei zunächst systematisch aufeinander bezogene (Denk-)Aktivitäten zu konkreten Phänomenen und Objekten explorieren, damit sie über spezifische Varianzen hinweg das den Objekten und Phänomenen gemeinsame intuitiv erfassen können. Dabei ist es wichtig, dass sich die Phänomene jeweils nur wenig voneinander unterscheiden, da Schüler sie sonst nicht mehr aufeinander beziehen können.
- Schüler müssen sich mit solchen systematisch aufeinander bezogenen (Denk-)Aktivitäten zunächst alle Elemente einer Konzeptualisierung einzeln erfahrungsmäßig erschließen, bevor sie sie zu einem Konzept zusammenbringen können.
- Explizite Konzeptualisierungen, seien sie durch einen Lehrer oder durch Mitschüler erbracht, können erst dann die Entwicklung von konzeptuellen Wissen befördern, wenn Schüler die darauf bezogenen Gesetzmäßigkeiten bereits intuitiv erfasst haben. Dazu gehört auch, dass Schüler die für die Gesetzmäßigkeiten notwendige Fachsprache in unterschiedlichen Zusammenhängen in angemessener Weise konkreten Objekten und Phänomenen zugeschrieben haben müssen.
- Binnendifferenzierung lässt sich u.a. dadurch realisieren, dass die „guten“, und damit vermutlich auch die schnellen Schüler, am Ende von Aufgabenserien angeregt werden, explizite Konzeptualisierungen zu entwickeln oder mathematische Modellierungen anzustellen bzw. ihre bisherigen Erfahrungen auf andere Bereiche zu übertragen. Offene Aufgabenstellungen bieten sich ebenfalls für im entsprechenden Themenbereich fortgeschrittene Lerner an.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass, anders als bisher vermutet, nicht die Entwicklung zentraler Konzepte zur Erschließung einer Vielzahl von Phänomenen im Vordergrund stehen sollte, sondern die Nutzung einer Vielzahl von Phänomenen zur Erschließung von (zunächst intuitiv erfassten) Konzepten. Aufgabenkultur könnte sich entlang der formalen Schulbildung im Bereich der Grundschule vor allem auf die systematische Exploration von Objekten und Phänomenen beziehen, während in der Sekundarstufe I Phänomene erneut und in variierender kontextueller Einbettung wiederholt bzw. ergänzt und darauf aufbauend intuitiv zu erfassende Regeln im Vordergrund stehen könnten. Sowohl im Rahmen der

Grundschule als auch im Rahmen der Sekundarstufe I sollte die Physik weitgehend ohne mathematische Formalismen auskommen. Die Sekundarstufe II könnte dann ausgehend von intuitiv erfassten Regeln explizite Konzeptualisierungen entwickeln und diese in unterschiedlichen Zusammenhängen stabilisieren. Dabei können zunehmend auch mathematische Beschreibungen physikalischer Sachverhalte eine Rolle spielen.

Die im Rahmen der Forschung an Schülern gewonnen Erkenntnisse sind auch für die Lehrerausbildung an der Hochschule von Bedeutung. Gegenwärtige Hochschulausbildung bemüht sich häufig zunächst um explizite Theoriekenntnisse sowohl in Fachdidaktik als auch in Pädagogik/ Psychologie, bevor Studierende Erfahrungen in schulischen Kontexten (z.B. im Rahmen von Fachpraktika) machen können und dabei, so die Annahme, Theorien handlungswirksam werden. Im Sinne der Befunde zu Entwicklungsdynamiken beim Lernen von Physik muss statt dessen davon ausgegangen werden, dass auch Studierende zunächst eine Reihe von systematisch organisierten und aufeinander bezogene Erfahrungen benötigen, bevor sie intuitiv die Gesetzmäßigkeiten von Lernen und Lehren erfassen können. Vermutlich nur in Bezug auf intuitiv erfahrene Regelmäßigkeiten können Studierende explizite theoretische Überlegungen zur schulischen Bildung verstehen und für ihr eigenes Handeln nutzen. Wie eine Hochschulausbildung aussehen könnte, die auch für Studierende entlang zu erwartender Entwicklungsverläufe strukturiert ist, wird ab dem Wintersemester 03/04 im Rahmen der Gymnasiallehrerausbildung für Physik an der Universität Hannover erprobt [C. v. Aufschnaiter, 2004].

Liste der Publikationen

Aufschnaiter, C. v. (2004). Modellversuch Fächerübergreifender Bachelor an der Universität Hannover: Eine Chance zur inhaltlichen Reform der Gymnasiallehrer-Ausbildung? In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung.* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 23. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG –im Druck. Anlage 25

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001). Eine neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht: Was fachdidaktische Lernprozess-Forschung zu der Entwicklung von Aufgaben beitragen kann. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU), 54(7),* 409-416. Anlage 26

VIII Ausblick

Die detaillierte Auswertung von Videodaten zu physikbezogenen Lern- und Lehrprozessen mag sicherlich als mühselig beschrieben werden. Sie hat sich jedoch im Rahmen der Forschungstätigkeiten nicht nur in Bereichen der „reinen“ Lernprozessforschung, sondern auch im Zusammenhang mit Aspekten der Entstehung und Nutzung von Konzepten, der Wirkung von Interaktionen und Instruktionen sowie der Wechselwirkung von Interesse, Motivation und Erleben mit kognitiven Dynamiken bewährt. Es konnten in den bisher untersuchten Fragestellungen anhand der Detailauswertungen zwar eine Reihe von Hypothesen über Ursache-Wirkungsmechanismen entwickelt und empirisch belegt werden, dennoch sind in allen Bereichen weitere empirische Forschungsarbeiten notwendig, die sich auf unterschiedliche Lehr-Lernarrangements beziehen sollten.

Die bisherigen Forschungsarbeiten zeigen auch, dass sich die empirischen Ergebnisse für die Gestaltung von Lernumgebungen nutzen lassen, hier fehlen jedoch konkrete, über die Elektrostatik und Elektrodynamik hinausgehende Unterrichtsansätze und deren Erprobung. Um die vielfach erlebte und diskutierte Kluft zwischen Fachdidaktik und Schule überbrücken zu können, scheint insbesondere die Bereitstellung von aus theoretischen Überlegungen und empirischen Befunden abgeleiteten Instruktionen besonders geeignet, um Lehrer von der Tragfähigkeit fachdidaktischer Forschung zu überzeugen. Ganz im Sinne des bisher entwickelten Ansatzes müssen Lehrer zunächst mehrfach selbst erleben, dass spezifische (durch Fachdidaktiker entwickelte) Lehrangebote „besser" als bisherige instruktionale Bemühungen sind, bevor sie an theoretischen Überlegungen zur Gestaltung solcher Lehrangebote teilhaben und diese für ihre eigene Unterrichtsplanung nutzen können. Lehreraus- und –weiterbildungsmaßnahmen mit Bezugnahme zu Videoaufzeichnungen von Unterrichtssituationen können (gleichzeitig) Lehrer für die spezifischen Entwicklungsverläufe ihrer Schüler sensibilisieren und einen theoretisch fundierten Interpretationsrahmen liefern, der nicht nur für die Diagnosekompetenz, sondern auch für eine gezielte Förderungskompetenz notwendig ist.

Das zukünftige Forschungsprogramm der Antragstellerin wird somit zentral aus drei Aspekten bestehen:

- Videobasierte Prozessforschung zur Aufklärung grundlegender Wirkungszusammenhänge von Dynamiken des Lernens und Lehrens in Verbindung mit Prozessen des Conceptual Change, situativem Erleben und Interaktionen (Argumentationen).
- Curriculumentwicklung und prozessbasierte Evaluation entlang bisher dokumentierter Entwicklungsdynamiken beim Lernen von Physik für alle Schulstufen.
- Exemplarische Darstellung und Diskussion von (gelingendem) Physik-Unterricht zur Lehreraus- und -weiterbildung sowie zum individuellen Coaching von Lehrern.

Über das hier formulierte Forschungsprogramm hinaus kann vermutet werden, dass Detailanalysen von naturwissenschaftlichem Unterricht unter spezifisch fachdidaktischer Perspektive zur Diskussion um Kompetenzmodelle und damit verbundener Bildungsstandards beitragen kann. Es ist zu erwarten, dass die dabei offenbar werdenden Prozessdynamiken zuverlässiger als Testverfahren alleine Auskunft über die fachspezifischen Entwicklungsverläufe beim Lernen geben und damit realistische Einschätzungen von Kompetenzen in unterschiedlichen Altersstufen ermöglichen. In einer Verbindung von Leistungsmessungen, Kompetenzmodellen und Bildungsstandards mit real stattfindenden Prozessdynamiken kann somit ein weiteres Potenzial videobasierter Forschung liegen.

Zitierte Literatur

Adey, P. & Shayer, M. (1994). *Really raising standards. Cognitive intervention and academic achievement.* London, New York: Routledge.

Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, structures, and student motivation. *Journal of Educational Psychology, 84(3),* 261-271.

Aufschnaiter, S. v. (2001). Wissensentwicklung und Lernen am Beispiel Physikunterricht. In J. Meixner & K. Müller (Hrsg.), *Konstruktivistische Schulpraxis: Beispiele für den Unterricht* (pp. 249-271). Neuwied, Kriftel: Luchterhand.

Aufschnaiter, S. v. & Welzel, M. (1996). Beschreibung von Lernprozessen. In R. Duit & C. v. Rhöneck, C. (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (pp. 301-327). Kiel: IPN.

Aufschnaiter, S. v. & Welzel, M. (1997). Wissensvermittlung durch Wissensentwicklung. Das Bremer Komplexitätsmodell zur quantitativen Beschreibung von Bedeutungsentwicklung und Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3(2),* 43-58.

Aufschnaiter S. v. & Welzel, M. (Hrsg.). (2001). *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen*. Münster: Waxmann.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view.* New York: Holt, Rinehart, and Winston.

Baumert, J. (2003, September). *Naturwissenschaften im Bildungsprozess.* Plenarvortrag auf der Jahrestagung der GDCP, Berlin, September 2003.

Baumert, J. et al. (1997). *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.

Baumert, J. et al. (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich.* Opladen: Leske + Budrich.

Boekaerts, M. & Boscolo, P. (2002). Interest in learning, learning to be interested. *Learning and Instruction, 12(4),* 375-382.

Bybee, R. W. (1997). Towards an understanding of scientific literacy. In W. Gräber & C. Bolte (Eds.), *Scientific literacy* (pp. 37-68). Kiel: IPN.

Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind. Essays on biology and cognition* (pp. 257-291). Hillsdale, NY: Erlbaum.

Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1998). Theories of knowledge acquisition. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 97-113). Dordrecht, Boston, London: Kluwer.

Clausen, M. (2000). *Wahrnehmung von Unterricht. Übereinstimmung, Konstruktvalidität und Kriteriumsvalidität in der Forschung zu Unterrichtsqualität.* Dissertation am Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie der Freien Universität Berlin.

Cobb, P., & Bowers, J. (1999). Cognitive and situated learning perspectives in theory and practice. *Educational Researcher, 28(2),* 4-15.

Csikszentmihalyi, M. & Larson, R. (1987): Validity and reliability of the Experience-Sampling Method. *The Journal of Nervous and Mental Disease, 175(9),* 526-536.

Csikszentmihalyi, M. & Schiefele, U. (1993). Die Qualität des Erlebens und der Prozeß des Lernens. *Zeitschrift für Pädagogik, 39(2)*, 207-221.

Damasio, A. R. (1997). *Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn.* München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik, 39(2),* 223-238.

Ditton, H. (2002). Unterrichtsqualität – Konzeptionen, methodische Überlegungen und Perspektiven. *Unterrichtswissenschaft, 30(3),* 197-212.

diSessa, A. A. & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education, 20(10),* 1155-1192.

Driver, R.; Leach, J.; Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.

Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik, 41(6),* 905-923.

Duit, R. (2003, September). *Bibliography – STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education.* Im Internet unter http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html.

Duit, R. & Treagust, D. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education, 25(6),* 671-688.

Duschl, R. (1990). *Restructuring Science Education*. New York: Teachers College Press.

Duschl, R. A. & Gitomer, D. H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching, 28(9),* 839-858.

Dykstra, D. I.; Boyle, C. F. & Monarch, I. A. (1992). Studying conceptual change in Learning physics. *Science Education, 76(6),* 615-652.

Fennema, E. & Loef Franke, M. (1992). Teachers' knowledge and its impact. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 147-164). New York: Macmillan.

Fischer, H. E., Reyer, T., Wirz, C., Bos, W. & Höllrich, N. (2002). Unterrichtsgestaltung und Lernerfolg im Physikunterricht. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (pp. 124-138). Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft. Weinheim: Beltz.

Fischler, H. & Schröder, H.-J. (2003). Fachdidaktisches Coaching für Lehrende in der Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 9,* 43-62.

Gläser-Zikuda, M. (2001). *Emotionen und Lernstrategien in der Schule. Eine empirische Studie mit Qualitativer Inhaltsanalyse.* Weinheim und Basel: Beltz.

Gropengießer, H. (2003). *Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann.* Oldenburg: Didaktisches Zentrum.

Häußler, P. & Lind, G. (2001). „Aufgabenkultur" – Was ist das? *Praxis der Naturwissenschaften Physik, 49(4),* 2-10.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics, 66(1),* 64-74.

Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group vs. individual problem solving. *American Journal of Physics, 60(7),* 627-636.

Hestenes, D.; Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). The Force Concept Inventory. *The Physics Teacher, 33,* 502-506.

Hoffmann, L.; Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel: IPN.

Hogan, K. & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of Students' and Scientists' Reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching, 38(6),* 663-687.

Horstendahl, M. (1999). *Motivationale Orientierungen im Physikunterricht.* Dissertation am Fachbereich Physik der Universität Dortmund. In H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.), Studien zum Physiklernen, Bd. 6. Berlin: Logos.

Kattman, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3(3),* 3-18.

Kelly, G. & Duschl, R. (2002). Toward a research agenda for epistemological studies in science education. *Paper presented at the annual meeting of the National Association for Tesearch in Science Teaching*, New Orleans, LA, April 7-10, 2002.

Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science & Education, 1,* 273-299.

Klieme, E., Knoll, S. & Schümer, G. (1998). *Mathematikunterricht der Sekundarstufe I in Deutschland, Japan und den USA. Dokumente zur TIMSS-Videostudie*. [http://mpib-berlin.mpg.de/TIMSS_Video/TIMSS_homepage/index.htm]

Krapp, A. (1996). Die Bedeutung von Interesse und intrinsischer Motivation für den Erfolg und die Steuerung schulischen Lernens. In G. W. Schnaitmann (Hrsg.), *Theorie und Praxis der Unterrichtsforschung* (pp. 87-110). Donauwörth: Auer.

Krapp, A. (1999a). Interest, motivation and learning: An educational-psychological perspective. *European Journal of Psychology of Education, XIV(1),* 23-40.

Krapp, A. (1999b). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik, 45(3),* 387-406.

Kuhn, D. (1991). *The skills of argument.* Cambridge: Cambridge University Press.

Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press.

Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P. & Rhöneck, C. v. (2000). Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 6,* 139-155.

Lave, J. (1997). The culture of acquisition and the practice of understanding. In D. Kirshner, & J. A. Whitson (Eds.). *Situated cognition: social, semiotic, and psychological perspectives* (pp. 17-36). Mahwah, NJ.: Lawrence Erlbaum.

Lewis, J. & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education, 26(2),* 195-206.

Linder, C. J. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education, 77(3),* 293-300.

Luft, J. A. (2001). Changing inquiry practices and beliefs: The impact of an inquiry-based professional development programme on beginning and experienced secondary science teachers. *International Journal of Science Education, 23(5),* 517-534.

MacBeth, D. (2000). On an actual apparatus for conceptual change. *Science Education, 84,* 228-264.

Millar, R. & Osborne, J. (2002). *Beyond 2000: Science education for the future.* London: King's College.

Minstrell, J. & Van Zee, E. (Eds.). (2000). *Teaching in the inquiry-based science classroom*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.

MNU (2001). Physikunterricht und naturwissenschaftliche Bildung – aktuelle Anforderungen. *MNU, 54,* I-XVI.

MNU (2003*). Lernen und Können im naturwissenschaftlichen Unterricht. Denkanstöße und Empfehlungen zur Entwicklung von Bildungs-Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik (Sekundarstufe I).* MNU, 56(5), I-XVI.

Müller, C. T. (2003). *Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht*. Dissertation an der Philosophischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Osborne, J., Erduran, S. & Simon, S. (2003). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching* –zur Veröffentlichung angenommen.

Pintrich, P. R.; Marx, R. W. & Boyle, A. (1993). Beyond cold conceptual change: Motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research, 63(2),* 167-199.

Prenzel, M., Duit, R., Euler, M., Lehrke, M. & Seidel, T. (2001). *Erhebungs- und Auswerteverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht – eine Videostudie"*. Kiel: IPN.

Prenzel, M., Seidel, T., Lehrke, M., Rimmele, R., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Müller, C. & Widodo, A. (2002). Lehr-Lernprozesse im Physikunterricht – eine Videostudie. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (pp. 139-156). Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft. Weinheim: Beltz.

Rheinberg, F. (1997). *Motivation*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.

Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S. & Alibali, M. W. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in Mathematics: An iterative process. *Journal of Educational Psychology, 93(2),* 346-362.

Roth, W.-M. (1995). Inventors, copycats and everyone else: The emergence of shared resources as defining aspects of classroom communities. *Science Education, 79(5)*, 475-502.

Roth, W.-M. (2001). Modeling design as situated and distributed process. *Learning and Instruction, 11(3)*, 211-239.

Schecker, H., Wiesner, H. & Fischer, H. E. (2003, September). *Kerncurriculum Physik*. Vortrag auf der Tagung der GDCP, Berlin, September 2003.

Schick, A. (2000) *Der Einfluß von Interessen und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht.* Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.), Studien zum Physiklernen, Bd. 10. Berlin: Logos.

Schiefele, U., Krapp, A. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 25(2),* 120-148.

Schiefele, U.; Krapp, A.; Wild, K.-P. & Winteler, A. (1993). Der „Fragebogen zum Studieninteresse“ (FSI). *Diagnostica, 39(4)*, 335-351.

Schnotz, W. (1996). Psychologische Aspekte des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung. In R. Duit & C. v. Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (pp. 15-36). Kiel: IPN.

Seidel, T., Prenzel, P., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Lehrke, M., Müller, C. & 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.

Sembill, D.; Wolf, K. D.; Wuttke, E.; Santjer, I. & Schumacher, L. (1998). Prozeßanalysen Selbstorganisierten Lernens. In K. Beck & R. Dubs (Hrsg.), *Kompetenzentwicklung in der Berufserziehung. Kognitive, motivationale und moralische Dimensionen kaufmännischer Qualifizierungsprozesse* (pp. 57-79). Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 14. Beiheft. Weinheim: Beltz.

Sfard, A. (1998). On two metaphors for learning and the dangers of choosing just one. *Educational Researcher, 27(2),* 4-13.

Shayer, M. & Adey, P. (Eds.). (2002). *Learning intelligence: Cognitive acceleration across the curriculum from 5 to 15 years.* Buckingham, Philadelphia: Open University Press.

Sodian, B., Thoermer, C., Kircher, E., Grygier, P. & Günther, J. (2002). Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (pp. 192-206). Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft. Weinheim: Beltz

Svensson, L. (1989). The conceptualization of cases of physical motion. *European Journal of Psychology of Education, IV(4),* 529-545.

Volet, S. & Järvelä, S. (Eds.). (2001). *Motivation in learning contexts. Theoretical advances and methodological implications.* Amsterdam: Pergamon.

Weinert, F. E. (1999). Bedingungen für mathematisch-naturwissenschaftliche Leistungen in der Schule und Möglichkeiten ihrer Verbesserung. In Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.), *Weiterentwicklung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts* (pp. 21-32). Stuttgart: MKJS Baden-Württemberg.

Welzel, M. (1995). *Interaktionen und Physiklernen: Empirische Untersuchungen im Physikunterricht der Sekundarstufe I.* Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In D. Nachtigall, D. (Hrsg.), Didaktik und Naturwissenschaft, Bd. 6. Frankfurt am Main, Bern, New York, Paris: Lang.

Wild, K. P. (2003). Videoanalysen als neue Impulsgeber für eine praxisnahe prozessorientierte empirische Unterrichtsforschung. *Unterrichtswissenschaft, 31(2),* 98-102.

Wild, K.-P. & Krapp, A. (1996). Die Qualität subjektiven Erlebens in schulischen und betrieblichen Lernumwelten: Untersuchungen mit der Erlebens-Stichproben-Methode. *Unterrichtswissenschaft, 24(3),* 195-217.

Zammunder, V. L. (1995). Individual and cooperative computer-writing and revising: Who gets the best results? *Learning and Instruction, 5(2),* 101-124.

Zohar, A. & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching, 39(1),* 35-62.

Gesamtverzeichnis der wissenschaftlichen Veröffentlichungen
(im Zeitraum nach der Promotion, zeitlich geordnet)

Bücher

Aufschnaiter, C. v. (1999). *Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. Fallstudien zu Bedeutungsentwicklungsprozessen von Studierenden und Schüler(innen) in einer Feld- und einer Laboruntersuchung zum Themengebiet Elektrostatik und Elektrodynamik.* Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.), Studien zum Physiklernen, Bd. 3. Berlin: Logos.	Abschnitte II, IV, V

Beiträge in Zeitschriften

Aufschnaiter, C. v. (2003a). Interactive processes between university students: Structures of interactions and related cognitive development. *Research in Science Education, 33*, 341-374.	Abschnitt V Anlage 20
Aufschnaiter, C. v. (2003b). Prozessbasierte Detailanalysen der Bildungsqualität von Physik-Unterricht: Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 9,* 105-124.	Abschnitt VI Anlage 23
Aufschnaiter, C. v. (draft). Process based investigations of conceptual development: An explorative study. (Beitrag wird z.Z. überarbeitet)	Abschnitt III Anlage 14
Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001). Eine neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht: Was fachdidaktische Lernprozess-Forschung zu der Entwicklung von Aufgaben beitragen kann. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU), 54(7),* 409-416.	Abschnitt VII Anlage 26
Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2003). Theoretical framework and empirical evidence on students' cognitive processes in three dimensions of content, complexity, and time. *Journal of Research in Science Teaching, 40(7)*, 616-648.	Abschnitt II Anlage 4
Aufschnaiter, S. v., Aufschnaiter, C. v. & Schoster, A. (2000). Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physikaufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 6,* 37-57.	Abschnitt II Anlage 6

Beiträge in Büchern

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001a). Prozessbasierte Analysen kognitiver Entwicklung. In S. von Aufschnaiter & M. Welzel (Hrsg.), *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen* (pp. 115-128). Münster: Waxmann.	Abschnitt II Anlage 1
Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001b). Über den Zusammenhang von kognitiver Entwicklung und situativem Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. In C.	Abschnitt IV Anlage 17

Finkbeiner & G. W. Schnaitmann (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Kontext empirischer Forschung und Fachdidaktik* (pp. 459-478). Donauwörth, Dortmund, Leipzig, München: Auer.

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2002). Über den Zusammenhang von Handeln, Wahrnehmen und Denken. In R. Voss (Hrsg.), *Unterricht aus konstruktivistischer Sicht: Die Welten in den Köpfen der Kinder.* (pp. 233-246). Neuwied, Kriftel: Luchterhand. — Abschnitt II Anlage 3

Aufschnaiter, C. v., Hirsch, J. & Rethfeld, J. (2003). Entwicklung von Lernerperspektiven im (Physik-)Unterricht. In H. Gropengießer, M. Gerhard & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachliches Lernen erforschen. Handbuch zur fachdidaktischen Lehr-Lernforschung – Didaktische Rekonstruktion*. — Abschnitt II Anlage 7

Aufschnaiter, C. v., Schoster, A., & Aufschnaiter, S. v. (1999). The influence of students' individual experiences of physics learning environments on cognitive processes. In J. Leach, & A. C. Paulsen (Eds.), *Practical work in science education – Recent research studies* (pp. 281-296). Dordrecht: Kluwer. — Abschnitt IV Anlage 18

Welzel, M., Aufschnaiter, C. v., & Schoster, A. (1999). How to interact with students? The role of teachers in a learning situation. In J. Leach, & A. C. Paulsen (Eds.), *Practical work in science education – Recent research studies* (pp. 313-327). Dordrecht: Kluwer.

Beiträge auf internationalen Konferenzen

Aufschnaiter, C. v. (1999). Analysis and description of learning processes during studying physics with special focus on the influence of interactions. In M. Méheut & G. Rebmann (Eds.), *Fourth European Science Education Summerschool. Theory, methodology and results of research in science education* (pp. 254-257). Paris: Université D. Diderot. — Abschnitt V

Aufschnaiter, C. v. (2001). Development of physics conceptions: How can processes be described? In D. Psillos et al. (Eds.), *Proceedings of the third international conference on science education research in the knowledge based society* (pp. 282-284). Thessaloniki: Art of Text Publications. — Abschnitt III Anlage 10

Aufschnaiter, C. v. (2002). Commonalities and differences in the way middle and high school students develop and use conceptions while working on physics tasks. In *Proceedings of the third European symposium on conceptual change. A process approach to conceptual change* (pp. 98-107). Turku: Faculty of Education. — Abschnitt III

Aufschnaiter, C. v. (2003). Conceptual development in physics: Does conceptual knowledge precede activity? *Paper presented at the conference of ESERA*, Utrecht, The Netherlands, August 2003. — Abschnitt III Anlage 12

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (1999). Interactions, explanations, and self-explanations: How do these processes influence cognitive development? In M. Komorek et al. (Eds.), *Research in science education: Past, present, and future. Proceedings of the second international conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.), Vol. 1* (pp. 217-219). Kiel: IPN. — Abschnitt V

Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001). The use of video-documented data for analysing learning processes. In R. H. Evans, A. M. Andersen, & H. Sørensen (Eds.), *The 5th European Science Education Summerschool: Bridging research methodology and research aims* (pp. 431-440). Copenhagen: The Danish University of Education. — Abschnitt II, Anlage 2

Aufschnaiter, S. v. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Time structures of teaching and learning processes. *Paper presented at the conference of ESERA*, Utrecht, The Netherlands, August 2003. — Abschnitte II, VI, Anlage 5

Aufschnaiter, C. v., Erduran, S. & Osborne, J. (2003). Argumentation and cognitive processes in science education. Synopsis zur Konferenz der NARST, Vancouver, April 2004. (Zeitschriftenbeitrag in Vorbereitung) — Abschnitte V, VI, Anlage 22

Beiträge auf nationalen Konferenzen

Aufschnaiter, C. v. (2000). Wann entstehen Interessen an fachspezifischen Aufgaben? In R. Brechel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven* (pp. 250-252). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag. — Abschnitt IV, Anlage 16

Aufschnaiter, C. v. (2001). Selbstorganisationsoffene Aufgaben in der Elektrizitätslehre: Wie bearbeiten Schüler(innen) der Klassen 8 und 11 solche Aufgaben? In R. Brechel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven* (pp. 270-272). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag. — Abschnitt III, Anlage 11

Aufschnaiter, C. v. (2003). „Ich weiß was rauskommt, aber ich kann es nicht erklären“. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (pp. 114-116). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 24. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG. — Abschnitt III, Anlage 13

Aufschnaiter, C. v. (2004). Modellversuch Fächerübergreifender Bachelor an der Universität Hannover: Eine Chance zur inhaltlichen Reform der Gymnasiallehrer-Ausbildung? In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung.* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 23. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG im Druck. — Abschnitt VII, Anlage 25

Aufschnaiter, C. v., Welzel, M., Schoster, A., & Aufschnaiter, S. v. (1999). Interaktionen in physikalischen Lernumgebungen: Wie werden sie erlebt, wie wirken sie? In R. Brechel (Hrsg.), *Zur* — Abschnitte IV, V

Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven (pp. 337-339). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag

Hirsch, J., Rethfeld, J. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Wenn mir der Unterricht Spaß macht, kann ich mir die Inhalte besser merken. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (pp. 111-113). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 23. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG.	Abschnitt IV Anlage 19
Rethfeld, J., Brinkmann, T., & Aufschnaiter, C. v. (2001). Lernprozesse im selbstorganisationsoffenen Elektrostatik-Unterricht. In R. Brechel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven* (pp. 357-359). Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag.	Abschnitt II Anlage 8
Rethfeld, J., Hirsch, J. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Leistungskonstanz. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (pp. 108-110). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 23. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG.	Abschnitt III Anlage 15

Sonstige Beiträge

Aufschnaiter, C. v. (2001). Buchbesprechung: 'Physikdidaktik. Eine Einführung in Theorie und Praxis'. *Physikalische Blätter, 57(2),* 75-76.

Forschungsanträge

Aufschnaiter, C. v. (2000). *Prozessbasierte Untersuchungen des Conceptual-Development unterschiedlich fortgeschrittener Physik-Lernender im Themengebiet Elektrostatik und -dynamik.* Antrag auf ein Habilitandenstipendium an die Deutsche Forschungsgemeinschaft. (Antrag genehmigt, Kennzeichen AU 155/3-2)	Abschnitt III Anlage 9 (teilweise ohne zus. Anlagen)
Aufschnaiter, C. v. (2003). *Prozessbasierte Untersuchungen des Zusammenhanges von epistemischen Argumentationen und konzeptueller Entwicklung in der Physik.* Antrag auf Sachbeihilfe an die Deutsche Forschungsgemeinschaft. (Antrag in der Begutachtung)	Abschnitt V Anlage 21 (teilweise ohne zus. Anlagen)
Wilson, N. & Aufschnaiter, C. v. (2003). Pilot Investigation of Successful Pedagogy During CASE in Year 3. Antrag auf Forschungsförderung an das King's College, London, UK. (Antrag genehmigt)	Abschnitt VI Anlage 24