

CLAUDIA VON AUFSCHNAITER UND CHRISTIAN ROGGE

Wie lassen sich Verläufe der Entwicklung von Kompetenz modellieren?

How can the development of competences be described?

Zusammenfassung

Kompetenzdiagnostik und auf die Diagnose bezogene Fördermaßnahmen spielen in der derzeitigen Debatte um die Bildungsqualität von Schule eine zentrale Rolle. Forschungsbemühungen in diesem Feld richten sich vor allem auf die theoretische Klärung des Kompetenzbegriffs und die Entwicklung sowie empirische Prüfung von Kompetenz(entwicklungs)modellen. Bisher wenig im Fokus von Forschungsbemühungen steht die prozessbasierte Erfassung der *Verläufe der Entwicklung von Kompetenz*. Wie also gelangen Lernende zu den jeweils erfassten Kompetenzen? Welche Lernangebote sind im Verlauf (wann) wirkungsvoll und wann nutzlos? Untersuchungen zu Verläufen der Kompetenzentwicklung sind zwar methodisch aufwändig, liefern jedoch Erkenntnisse über Lernwege und Merkmale lernförderlicher (und lernhinderlicher) Fördermaßnahmen. Im Beitrag werden ein aus mehreren Forschungsarbeiten zu Lernprozessen von Schülern abgeleitetes Modell zu Verläufen der Kompetenzentwicklung vorgestellt und Potenziale des Modells sowie Forschungsdesiderata diskutiert.

Schlüsselwörter: Kompetenz, Kompetenzmodellierung, Kompetenzentwicklung, Physikalische Konzepte, Video.

Abstract

Theory based descriptions of students' competences of science constitute one major research area in science education. Currently, research addresses theoretical accounts of "competence" and how to measure and model competences students demonstrate at a specific stage of their learning. So far, research only rarely focuses on how in detail students *develop* their competences. How do students arrive at a particular competence? Which explanation is successful (and when) during the development of a competence, which is not? Researching the development of competence is demanding but reveals knowledge about general learning pathways and criteria of appropriate instruction. The paper presents a model for the description of the development of students' competences in physics developed from empirical investigations on students' learning processes. Potentials and desiderata of this model are discussed.

Keywords: Competence, Physics Concepts, Learning of Science, Video.

1 Kompetenzmodellierung

Fragen der Kompetenzdiagnostik und möglicher auf die Diagnose bezogene Fördermaßnahmen haben in Deutschland nicht zuletzt aufgrund des mittelmäßigen Abschneidens deutscher Schüler bei TIMSS und PISA in den letzten Jahren ein starkes Gewicht bekommen. Inzwischen liegen an Kompetenzmodellen orientierte Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss

u. a. für das Fach Physik vor (KMK, 2005; s. a. Schecker, 2007), die unterschiedliche Funktionen erfüllen sollen. Auf der Systemebene sollen die Standards die Grundlage für die Erfassung und Bewertung von Lernergebnissen liefern. Sie sollen damit (auch) ein Monitoring der schulischen Bildung in Deutschland ermöglichen (u. a. Klieme et al., 2003; Schecker & Parchmann, 2006; Walpuski et al., 2008). Auf der Ebene des Unterrichts legen die in den Standards for-

mulierten Kompetenzen und deren Umsetzungen in den Kerncurricula der Länder die Ziele fachbezogener, schulischer Bildung fest, haben also eine bindende Funktion für Fachlehrkräfte (u.a. Klieme et al., 2003; Schecker, 2007). Einhergehend mit dieser Funktion wird zumindest implizit erwartet, dass die Einführung von Bildungsstandards die Qualität schulischer Bildung und die Qualität von Fachunterricht erhöht (u.a. Neumann et al., 2007).

Die mit den Bildungsstandards einhergehenden Kompetenzmodelle sollen also zum einen die Bilanzierung der *Ergebnisse* schulischer Bildungsprozesse theoriegeleitet ermöglichen, zum anderen könnten sie aber auch – bei entsprechender empirischer Fundierung – die *Prozesse* des Lernens (und damit verbunden des Lehrens) theoriegeleitet verbessern. Einer empirisch geprüften Modellierung fachbezogener Kompetenz kommt deshalb in Bezug auf die Optimierung von Lehr-Lernprozessen eine tragende Rolle zu.

Eingrenzungen des Kompetenzbegriffs

Den gegenwärtig diskutierten Kompetenzmodellen liegt üblicherweise der von Weinert (u.a. 2001) ausgearbeitete Kompetenzbegriff zugrunde, der sich auf die verfügbaren bzw. erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten aber auch auf die damit verbundenen volitionalen und motivationalen sowie sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten zu deren Anwendung bezieht. In ihrer Definition des Kompetenzbegriffs grenzen Hartig und Klieme (2006) die motivationalen und affektiven Voraussetzungen für das Handeln aus und beschränken sich auf die kognitiven Leistungsdispositionen. Darüber hinaus betonen die Autoren die Kontextspezifität von Kompetenzen, auch, um eine Abgren-

zung zu domänenübergreifenden Schlüsselkompetenzen und dem Intelligenzkonzept zu erreichen. Die so gefasste Definition von Kompetenzen als „kontextspezifische kognitive Leistungsdisposition“ stellt aus Sicht der Autoren eine „gute Arbeitsgrundlage“ dar (Hartig & Klieme, 2006, S. 129) und hat in den Fachdidaktiken gegenwärtig einen festen Stellenwert.

Modellierung von Kompetenz – Strukturmodelle und Entwicklungsmodelle

Die kriteriengeleitete Beschreibung von Kompetenzen „erfordert eine Systematik oder mit anderen Worten ein tragfähiges und für Messung und Lernen umsetzbares Kompetenzmodell.“ (Schecker & Parchmann, 2006, S. 47). Die für die Physik bzw. Naturwissenschaften dokumentierten Kompetenzmodelle¹ zeichnen sich in der Regel durch mehrere Dimensionen aus. Typischerweise bezieht sich eine Dimension auf fachwissenschaftliche Inhalte (z.B. in Form von Basiskonzepten oder als Formulierung grundlegender fachlicher Inhalte bzw. Themengebiete). Es finden sich darüber hinaus in der Regel eine Handlungsdimension (oft auch als Kompetenzbereich bezeichnet) und eine Anforderungsdimension mit zumeist drei bis fünf Ausprägungen (u.a. KMK, 2005; Fischer, Schecker & Wiesner, 2004; Schecker & Parchmann, 2006). Obwohl üblicherweise auf diese drei Dimensionen Bezug genommen wird, lassen sich in theoretischen Überlegungen und empirischen Ansätzen Schwerpunktsetzungen ausmachen (z.B. der Fokus auf einzelne Teilbereiche von Dimensionen bzw. die Begrenzung auf zunächst nur eine oder zwei Dimensionen). Unabhängig von der forschungsspezifischen Schwerpunktsetzung bezieht die deutliche Mehrzahl der Projekte Überlegungen zur Anforderungsdimension mit ein. Diese Di-

1 Grundsätzliche Aspekte der Kompetenzmodellierung sind inzwischen vielfach publiziert und sollen hier nicht wiederholt werden (s. z.B. Hartig & Klieme, 2006; Klieme & Leutner, 2006; Koeppen et al., 2008; Neumann et al., 2007).

mension scheint besonders wesentlich, weil sich mit ihr unterschiedliche Ausprägungen der mit anderen Dimensionen beschriebenen Kompetenzen fest machen lassen, sie Unterscheidungen in Hinblick auf den Schwierigkeitsgrad von Aufgaben erlaubt und, bei passender Beschreibung, unterrichtliche Differenzierungen ermöglichen kann. In den gegenwärtigen Debatten wird häufig auf die von Bybee (1997) benannten Stufen der nominalen, funktionalen und konzeptionellen/prozeduralen naturwissenschaftlichen Grundbildung Bezug genommen, die auch als Orientierung des in PISA beschriebenen Kompetenzmodells dienen (Prenzel et al., 2001).

Insbesondere an der Dimension des Anforderungsbereichs wird zudem oft festgemacht, ob es sich bei dem betrachteten Kompetenzmodell um ein Strukturmodell oder um ein Entwicklungsmodell handelt (u.a. Hartig & Klieme, 2006; Schecker & Parchmann, 2006). Während Strukturmodelle Beschreibungen der Dimensionen geben, jedoch keine Annahmen zur Abfolge von Niveaus innerhalb von Dimensionen enthalten (Nominalskalierung), treffen Entwicklungsmodelle (auch als Niveaumodelle bezeichnet) Aussagen über Stufen (Ordinalskalierung). Tabelle 1 gibt eine Übersicht über einige der für den Kompetenzbereich Fachwissen diskutierten bzw. verwendeten

Tab. 1: Beispiele von Anforderungsstufen bzw. –ausprägungen (für den Teilbereich Fachwissen)

Anforderungsstufen nach Bybee (1997)	I nominale scientific literacy		II funktionale scientific literacy		III konzeptionelle scientific literacy		IV multi-dimensionale scientific literacy		
Anforderungsstufen in TIMSS (Klieme, 2000)	I Lösen von Routineaufgaben		II Anwendung von Faktenwissen		III Anwendung physikal. Gesetze		IV Selbstständiges fachliches Argumentieren		
Anforderungsstufen in PISA (Prenzel et al., 2001)	I nominelles naturw. Wissen		II funktionales naturw. Alltagswissen		III funktionales naturw. Wissen		IV konzeptuelles und prozedurales Verständnis		
Anforderungsstufen nach Fischer, Schecker und Wiesner (2004)	funktional			konzeptuell			meta-konzeptuell		
Anforderungsausprägung nach KMK (2005)	Wiedergabe			Anwenden			Transfer		
Anforderungsausprägung nach Schecker und Parchmann (2006)	lebensweltlich		fachlich nominell / reproduktiv		aktiv anwendend (Reorganisation / naher Transfer)		konzeptuell vertieft (ferner Transfer)		
Anforderungsausprägung im Modell ESNaS u.a. in Anlehnung an Kauertz (2008) ²	Fakt	Fakten	Zusammenhang		(un-)verbundene Zusammenhänge		übergeordnetes Konzept		

2 Im Modell können sowohl die Dimension „kognitive Prozesse“ als auch die Dimension „Komplexität“ im Sinne einer Anforderungsdimension interpretiert werden. Die Befunde aus Kauertz (2008) und folgenden Arbeiten des nwu-Essen deuten bisher allerdings vor allem an, dass die Graduierungen in der Dimension Komplexität schwierigkeits-erzeugende Merkmale darstellen, weshalb in Tabelle 1 nur diese Dimension aufgeführt wird.

Anforderungsausprägungen, die im Sinne von Stufen intendiert sind bzw. eine entsprechende Interpretation nahe legen.

Typischerweise wird bei den Anforderungsausprägungen für den Kompetenzbereich Fachwissen davon ausgegangen, dass die Probanden mit zunehmenden Kompetenzen größere inhaltliche Bereiche bearbeiten können (Übergang von Anwenden zum (fernen) Transfer) und dass die erzeugten Konzeptualisierungen einen höheren Vernetzungsgrad bzw. die Einbeziehung übergeordneter Perspektiven aufweisen (Übergang konzeptuell zu meta-konzeptuell). Nicht eindeutig geklärt scheint, wo fachlich unangemessenes Wissen zu verorten ist: Klieme (2000) weist für die Überwindung von Fehlvorstellungen das höchste Niveau V zu, während z.B. Bybee (1997) das lebensweltlich geprägte Wissen auf der untersten Stufe verortet, Fehlvorstellungen also bereits ab der darauf folgenden Stufe nicht mehr vorhanden sein sollten. Über diese Differenz hinaus lässt sich anmerken, dass sich beschriebene Übergänge von z.B. „Anwenden“ zu „Transfer“ im Rahmen von Large-Scale-Assessments als problematisch erweisen müssten, da als Transfer intendierte Aufgaben, die im Unterricht thematisiert wurden für die so unterrichteten Schüler keinen Transfer darstellen, sondern bei der Testung (höchstens) das Anforderungsniveau einer Anwendung aufweisen.

Modellierung von Kompetenz – Fehlender Fokus auf Verläufe der Kompetenzentwicklung

Im Zusammenhang mit der Kompetenzmodellierung wird in der Regel von der „Erfassung individueller Lernergebnisse“ gesprochen oder von „erworbenen Kompetenzen“ (z.B. Rupp, Leucht & Hartung, 2006, S. 196). Eine solche Ausrichtung der Erfassung von Kompetenzen ist u.a. hilfreich zur Lernstandsdiagnose oder für Vergleiche im Bildungssystem. Ein statischer Kompetenzbegriff, im Sinne einer Lei-

stungsdisposition als gewünschtes Endverhalten, kann jedoch nur eingeschränkt Auskunft darüber geben, auf welchem Wege sich Lernende diese Kompetenz erschlossen haben, welche „Zwischen-“ oder „Vorkompetenzen“ notwendig waren für das Erreichen der erwünschten Disposition, wie stabil und kontextübergreifend die Dispositionen im Lernprozess aktiviert werden können oder gar, welche Lernangebote die Entwicklung befördert oder behindert haben. Diese Einschränkung des gegenwärtigen Forschungsfokus auf Kompetenzentwicklung gilt auch für Kompetenzentwicklungsmodelle, die Veränderungen auf vergleichsweise großen Zeitskalen erfassen (Erhebungen in der Regel im Abstand von mindestens einem Jahr, u.a. Neumann et al., 2007). Schecker und Parchmann fassen diesbezüglich zusammen:

Selbst wenn man davon ausgeht, dass Stufen naturwissenschaftlicher Kompetenz sinnvoll hierarchisch zu beschreiben sind [...], bleibt es eine Hypothese, dass damit gleichzeitig eine Abfolge einhergeht. Empirisch bisher gar nicht geklärt ist, in welcher Weise und in welcher Verknüpfung sich die Ausprägungen naturwissenschaftlicher Kompetenz beim Individuum zeitlich entwickeln: Geht einem multidimensionalen Verständnis ein breites konzeptuelles Verständnis voraus? Oder entwickeln sich begriffliches und multidimensionales Verständnis in wechselseitiger Abhängigkeit? (Schecker & Parchmann, 2006, S. 56f.)

Ohne eine Kenntnis der hier angesprochenen *Verläufe der Kompetenzentwicklung* lassen sich nur schwer theoretisch begründete, auf diese Entwicklungsverläufe abgestimmte Instruktionen und Fördermaßnahmen gestalten: „Nachhaltigkeit bei Diagnose und Förderung setzt Metawissen voraus, Wissen, in welchen Bandbreiten reguläre Entwicklungsprozesse verlaufen.“ (Kretschmann, 2003, S. 19). Es ist somit gegenwärtig auch nicht möglich, die (implizit)

mit den Bildungsstandards verknüpfte Forderung nach Optimierung schulischer Bildungsprozesse kriteriengeleitet einzulösen. Insbesondere kann keine empirisch abgesicherte Auskunft darüber gegeben werden, wie Lehrkräfte die Bildungsstandards in „gute“ Curricula umsetzen sollen.

Aufgrund der zunehmenden Nutzung von Videoaufzeichnung für pädagogische und fachdidaktische Fragestellungen zu Lehr-Lernprozessen (z. B. Janík & Seidel, 2009; v. Aufschnaiter & Welzel, 2001; Welzel & Stadler, 2005) ist es zwar grundsätzlich möglich, Kompetenzentwicklungsverläufe prozessbasiert zu diagnostizieren, dies ist jedoch bisher aus zwei Gründen nur selten erfolgt. Zum einen ist die Videoanalyse sehr aufwändig (was bereits mit der Datenerhebung im Klassenzimmer beginnt) und deshalb immer auf vergleichsweise kleine Fallzahlen beschränkt. Zum anderen richtet sich der gegenwärtige Fokus vieler Arbeiten vor allem auf die unterrichtende Lehrkraft. Schüler werden in der Regel nur im gesamten Klassenverband aufgezeichnet (s. entsprechende Anleitungen zur Kameraführung z. B. in Seidel, Prenzel & Kobarg, 2005) und deren Kompetenzentwicklung mithilfe von Tests zu Beginn und Ende einer Intervention, eines Schulhalbjahres o. ä. erfasst. Videostudien, die sich dezidiert auf die Schüler richten (u. a. Wahser & Sumfleth, 2008; Walpuski & Sumfleth, 2007, 2009) sind wiederum in der Regel nicht auf die detaillierte Beschreibung individueller Verläufe der Kompetenzentwicklung ausgerichtet. Das im Folgenden vorgestellte Forschungsprogramm bemüht sich, die hier dargestellte „Lücke“ zwischen videogestützter Untersuchung der Aktivitäten von Schülern in Lehr-Lernsituationen auf der einen Seite und der eher auf die Lernergebnisse ausgerichteten Kompetenzforschung zu schließen. Langfristiges Ziel des Programms ist es, eine Kompetenzmodellierung zu entwickeln, die sich sowohl zur Beschreibung der Veränderung von Kompetenz auf längeren Zeitskalen als auch zur Beschreibung der Entwicklung

(Genese) gemessener Kompetenzen eignet und damit auch Zugänge zur kriteriengeleiteten Förderung liefert.

2 Methodisches Vorgehen bei der Analyse von Verläufen der Kompetenzentwicklung

Wir, bzw. Mitglieder in assoziierten Arbeitsgruppen, haben uns in den letzten mehr als 10 Jahren intensiv mit der Analyse von Lernprozessen von Schülern in physikalischen Lehr-Lernsituationen befasst (u. a. v. Aufschnaiter, 2006b; v. Aufschnaiter & v. Aufschnaiter, 2003). Die von uns verwendeten Ansätze und Methoden wurden auch ertragreich auf Daten anderer Arbeitsgruppen angewendet (v. Aufschnaiter, 2003; v. Aufschnaiter, Erduran, Osborne & Simon, 2008). Erst in den letzten Jahren jedoch haben wir unseren theoretischen Ansatz und unser methodisches Vorgehen auf Arbeiten aus dem Bereich der Conceptual-Change-Forschung bezogen (u. a. v. Aufschnaiter, 2006a/c, 2007) und bemühen uns gegenwärtig, die für uns klar erkennbaren Anchlüsse an Arbeiten aus dem Bereich der Kompetenzforschung herzustellen.

Ausgangspunkt aller Analysen bildet der Fokus auf Kleingruppen von Lernenden, die physikalische Aufgaben und Experimente bearbeiten bzw. an Interaktionen im Klassenverband teilnehmen (sollen). Wir fokussieren immer auf Schülergruppen und verfolgen die in der Gruppe befindlichen Schüler in der Regel über mehrere (Schul-) Stunden hinweg mittels Videoaufzeichnungen (Beispiele von Kamerapositionen für ein Klassenzimmer in den Abbildungen 1a und 1b; Mikrophone sind jeweils hängend über den im Kamerafokus befindlichen Gruppentischen angebracht). Bisher untersuchte Fallzahlen, an deren Auswertung C. v. Aufschnaiter beteiligt war, übersteigen inzwischen 150 Lernende sowohl der Sekundarstufen I und II als auch im Studium.

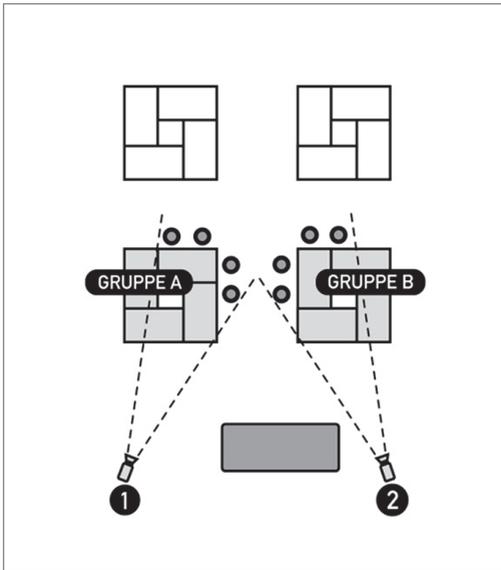


Abb. 1a: Kamerapositionen in einer 5. Klasse (Zeichnung von K. Buchmann).

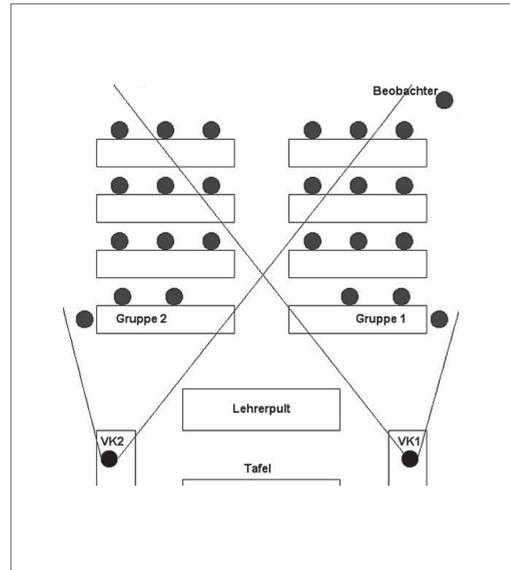


Abb. 1b: Kamerapositionen in einer 10. Klasse (aus Hirsch, 2005, S. 59).

In einem ersten Auswerteschritt werden Transkriptionen der vorhandenen Daten individuell kriteriengeleitet ausgewertet, indem die Kriterien Satz für Satz (ggf. auch auf kürzeren Einheiten) zugeschrieben werden. Wir haben dazu zunächst ein System der Zuschreibung von Komplexität verwendet (u. a. Fischer & v. Aufschnaiter, 1993; v. Aufschnaiter & v. Aufschnaiter, 2003; v. Aufschnaiter & Welzel, 1997), in den letzten Jahren jedoch aus der Analyse ergänzend neue Zuschreibungskriterien entwickelt (s. u.). Detaillierte Analysen von transkribierten Daten erfüllen im Auswerteverfahren zwei Funktionen: Sie werden zum einen genutzt, um deduktiv und induktiv entwickelte Kodierungen zu testen, und dienen zum anderen gleichzeitig als empirische Basis zur (Weiter-)Entwicklung von kategorialen Zuschreibungen (für entsprechende Verfahren s. a. Jacobs, Kawanaka & Stigler, 1999).

Um größere Fallzahlen analysieren zu können, sind kategoriengestützte Verfahren besser geeignet, die direkt (ohne Transkription bzw. ohne vollständige Transkrip-

tion) auf Videodaten angewendet werden können. In Verzahnung mit dem ersten Auswerteschritt werden in unserer Arbeitsgruppe Kodierverfahren entwickelt, die sich, u. a. auf der Basis vereinfachter oder reduzierter Kodiersätze, reliabel direkt auf Videodaten applizieren lassen. Wir kodieren dabei üblicherweise in 10-Sekunden-Intervallen, die nicht nur für videogestützte Verfahren typisch sind (u. a. Seidel, Prenzel & Kobarg, 2005), sondern auch der in anderen Arbeiten gefunden ca. mittleren Dauer eines inhaltlich zusammenhängenden Gedankenganges entsprechen (u. a. Saniter, 2003; Smolé, 2001).

Alle Befunde unserer Arbeitsgruppe ebenso wie die von uns genutzten Kodierverfahren entstanden und entstehen in der Regel aus der Zusammenführung des ersten und zweiten Auswerteschrittes. Beide Auswerteschritte lassen sich dabei relativ leicht mit der Software Videograph (Rimmele, 2008, s. a. Abb. 2) realisieren, die inzwischen bei einer Vielzahl videogestützter fachdidaktischer und pädagogisch-psychologischer Forschungsprojekte eingesetzt wird.

Die hier umrissene Art der kriteriengeleiteten Zuschreibung sowohl am Video als auch am Transkript ergibt zunächst nur singuläre Ereignisse (Satz für Satz bzw. Zeitintervall für Zeitintervall). Um *Verläufe* der Kompetenzentwicklung nachvollziehen zu können, wird die Auseinandersetzung der Lernenden mit jeweils ähnlichen inhaltlichen Aspekten (z. B. zu Fragen der Lichtausbreitung oder zum Nullten Hauptsatz der Thermodynamik) über mehrere Sequenzen hinweg verfolgt und jeweils mit gleichen Variablen kodiert. „Ähnlich“ kann sich dabei sowohl auf die Anforderung der Aufgabe beziehen als auch auf die aktuellen Konstruktionen der Lernenden. Der Schwerpunkt unserer Analysen liegt dabei auf der Zuschreibung der Konstruktionen der Lernenden, also auf der Frage, wann die Lernenden von sich aus und in welcher Weise auf die von uns verfolgten inhaltlichen Aspekte Bezug nehmen. Die

Abfolge in den kodierten Variablen (bzw. von Werten dieser Variablen) gibt dann Hinweise auf Abfolgen im Lernprozess bzw. in der Kompetenzentwicklung. Es muss dabei betont werden, dass sich nur dann ertragreiche Befunde ergeben, wenn auf der einen Seite die Lernenden selbst vor allem sprachlich aktiv sind, sonst ist die Zuschreibung deutlich erschwert bzw. unmöglich, und auf der anderen Seite der Kontext genügend häufig und über einen möglichst langen Zeitraum zu inhaltlich ähnlichen Konstruktionen führt.

3 Empirisch begründeter Entwurf eines Modells zu Verläufen der Kompetenzentwicklung

Bei der Analyse von Daten aus einem Projekt zu Lernprozessen in der Elektrostatik (u. a. v. Aufschnaiter, v. Aufschnaiter & Scho-

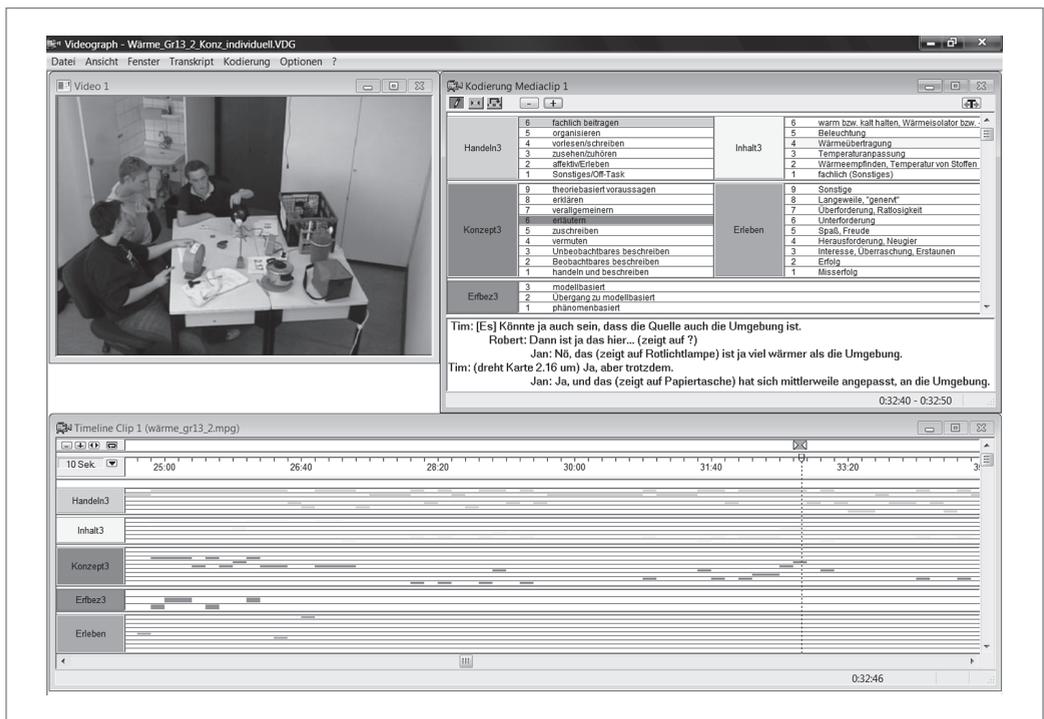


Abb. 2: Oberfläche der Software Videograph (hier mit einer Szene aus dem Labor zum Themenfeld Wärmelehre (Klasse 11)).

ster, 2000) wurde deutlich, dass sich (überraschend) viele Äußerungen der Schüler aus der 11. Klasse auf konkrete Objekte und Fälle beziehen (Komplexitätsniveau Operation). Es war von *diesem* Elektroskop (nicht von Elektroskopen im Allgemeinen), von dem *jetzt gerade geriebenen* Stab die Rede oder es wurde beschrieben, dass „*hier* die Ladungen vom Stab auf die Glimmlampe übergehen“. Es dauerte überraschend lange – und kam nur eher selten vor – bis Schüler eindeutig Regelmäßigkeiten explizierten (für alle Elektroskope; bei allen geriebenen Stäben aus Kunststoff lässt sich beobachten, dass sie...; Ladungen können unter bestimmten Bedingungen von einem Körper auf den anderen übergehen usw.). Auffällig war jedoch, dass es zwischen diesen beiden Extremen (konkrete Fälle vs. Generalisierungen) so etwas wie eine Zwischenebene gibt, auf der zwar immer noch konkrete Fälle thematisiert, diese jedoch in zielsicherer (regelmäßiger) Weise angesprochen werden. Manipulationen fallen weniger trial-and-error-artig aus, Prognosen werden zielsicher abgegeben und erklärende Sprechweisen werden an den konkreten Fall strukturiert angebunden.

Ausgehend von diesen Beobachtungen haben wir ein Kodierschema zur Beschreibung der Handlungs-, Denk- und Lernprozesse entwickelt (für die Genese s. a. v. Aufschnaiter, 2007) und dieses sowohl an unseren Daten aus der Elektrostatik als auch an neueren Daten zu den Themenfeldern Wärmelehre, Stromkreise sowie Licht und Schatten erprobt (u. a. Rogge & v. Aufschnaiter, 2008; s. a. Neumann, 2004). In mehreren Verifikationen ist dabei ein Modell entstanden, das beschreibt, in welchen Schritten sich Schüler inhaltliche Themenbereiche erschließen und dabei ein zunehmend konzeptuelles Verständnis im Sinne der Fähigkeit verallgemeinerte Beschreibungen und Erklärungen abzugeben entwickeln (Rogge, in Vorbereitung).

Obwohl das Schema ursprünglich nicht als Kompetenzmodellierung intendiert war, lassen sich die Ebenen im Sinne von Niveaus interpretieren. Sie ergeben damit eine (einfache) Modellierung steigenden Fähig-

keitsniveaus (als Anforderungsdimension) ausgehend von Explorationen über intuitiv regelbasiertes Vorgehen hin zu explizit regelbasiertem Vorgehen (s. a. die Beschreibungen in v. Aufschnaiter, 2006a; v. Aufschnaiter & Rogge, 2009). Tabelle 2 stellt die Niveaus, ihre Beschreibung und einige Beispiele dar. Die in der Tabelle aufgeführten Beispiele sind z.T. in enger Anlehnung an unsere Daten formuliert (Stromkreise, Wärmelehre), d.h. entsprechen in wesentlichen Anteilen realen Äußerungen von Schülern der Sekundarstufen I und II bei der Auseinandersetzung mit Lernmaterial. Andere Beispiele haben wir konstruiert bzw. fremden Arbeiten entnommen (Optik, Mechanik).

Im Sinne der Beschreibung von Kompetenz als kognitive Leistungs*dispositionen* bilden die Niveaus II und III aus Tabelle 2 die Fähigkeiten von Schülern ab, u. a. Ereignisse vorherzusagen, theoriebasiert Hypothesen zu bilden oder über verschiedene Fälle zu verallgemeinern. Diese Fähigkeiten zeigen sich jedoch situativ immer in „Wissensäußerungen“ (siehe die Beispiele in Tabelle 2) und werden von uns auf der Basis der Struktur und des Inhalts der Wissensäußerungen den Niveaus zugeschrieben. Eine Rekonstruktion von Fähigkeiten alleine aus den Handlungen von Probanden gemäß der Modellierung in Tabelle 2 ist nur schwer valide möglich, so dass wir darauf in der Regel verzichten bzw. die Aktivitäten überwiegend auf Niveau I einordnen. Es ist ferner aus unserer Sicht auch nicht sinnvoll, über die Aussagen der Schüler hinaus höhere Niveaus zu „unterstellen“ (z. B., weil diese zuvor geäußert worden sind und in den aktuellen Äußerungen nur scheinbar nicht gezeigt werden). Ein Stufenmodell wie unseres birgt das Risiko, dass ein Beobachter bemüht ist, den Aussagen von Schülern möglichst hohe Qualitäten zuzuweisen, weil es ja eben genau darum geht, möglichst „zügig“ im Lernfortschritt genau diese hohe Qualität zu etablieren. Das Vermeiden von über die konkreten Aussagen von Schülern hinausgehenden Zuschreibungen hat aus unserer Sicht die Funktion, den vermutlich langsam erfolgenden Kom-

Tab. 2: Modellierung der Verläufe der Kompetenzentwicklung (Fachwissen)

Niveau	I: Exploratives Vorgehen	II: Intuitiv regelbasiertes Vorgehen	IIIa: Explizit regelbasiertes Vorgehen mit phänomenologischem Bezug	IIIb: Explizit regelbasiertes Vorgehen mit modellhaftem Bezug
Beschreibung Die Schüler...	i probieren aus, wie sich Manipulationen von Objekten oder Situationen aber auch von Rechenoperationen auswirken. ii beschreiben vorliegende oder erinnerte Fälle, Situationen, Ereignisse, Objekte oder Beobachtungen. iii probieren aus, welche Sprechweisen sich in bestimmten Situationen bewähren.	i sagen Ereignisse vorher. ii stellen Vergleiche zwischen unterschiedlichen Ereignissen, Situationen, Phänomenen an. iii nutzen physikalische Begriffe zielgerichtet zur Beschreibung von Ereignissen. iv begründen ein Ereignis oder ein Phänomen mit der Zuschreibung eines physikalischen Merkmals oder eines Begriffes.	i verallgemeinern über Ereignisse, Situationen und Objekte. ii begründen einen Fall oder ein Ereignis mit einer Verallgemeinerung. iii sagen ein Ereignis aufgrund einer Verallgemeinerung vorher.	i verallgemeinern über Ereignisse und Situationen ohne direkten Erfahrungsbezug. ii begründen einen Fall/Fälle mit einer theoretischen (nicht aus der Erfahrung abgeleiteten) Erklärung iii sagen ein Ereignis oder auch Ereignisse auf der Basis theoretischer Hypothesen voraus.
Fallbezug	Handlungen und Äußerungen der Schüler (sind fallbezogen) Fühl doch mal die anderen, wie warm die sich anfühlen. (i) Wir haben eben 22°C gemessen. (ii)	Schüler beziehen sich auf konkrete Fälle , (sind fallbezogen) Du wirst bestimmt gleich wieder so 22°C messen. (i) Von dem Zimmer wird Wärme auf diesen Metallklotz übertragen. (iii)	Äußerungen der Schüler beziehen sich auf von konkreten Fällen losgelöste Generalisierungen (sind konzeptuell) Du hast gerade 22°C für Holz- und Metallklotz gemessen, weil sich alle Gegenstände der Raumtemperatur anpassen. (ii) Der Stab im Wasserbad wird die Temperatur des Wasserbades haben, weil alle Gegenstände die Temperatur ihrer Umgebung annehmen. (iii)	Wärme wird immer von Körpern höherer zu Körpern niedrigerer Temperatur übertragen. (i) Weil sich bei Erwärmung der mittlere Abstand der Atome/Moleküle erhöht, wird sich dieser/jeder Körper bei Erwärmung ausdehnen. (iii)
Beispiele	Im Kino konnte ich sehen, wie das Licht vom Projektor zur Leinwand geht. (ii) Leuchtet die Lampe auch noch, wenn du noch eine andere Lampe einbaust? (i)	Wenn wir jetzt Rauch reinblasen, dann müssten wir das Licht sehen können. (i) Der Schatten ist da, weil das Licht nicht durch den Klotz hindurch geht. (iv) Das ist genau so ein Stromkreis, wie wir ihn gestern schon mal hatten. (ii) Jetzt fließen die Elektronen so im Kreis. (iii)	Kein Wunder, dass ich dich nicht gesehen habe, man muss ja immer hingucken, damit man jemanden sehen kann. (ii)	Alle nicht selbst-leuchtenden Körper streuen das auf sie fallende Licht. (i) Die zwei Lampen leuchten weniger hell als (die) eine, weil in einem Reihenkreis immer die Spannung in Anteilen über den Lampen abfällt und damit pro Lampe weniger Leistung umgesetzt wird. (ii)
	Eine Person übt Kraft auf den Ball aus und wirft es zu einer anderen Person. Die andere Person fängt den auf ausgeübten Ball. Die andere Person übt auch Kraft aus und wirft ihn wieder zurück. Die ausgeübten Bälle werden [...] hin- und hergeschmissen. (Rincke, 2007, S. 131f.) (iii)	Der Lehrer wollte doch auch letzte Woche, dass wir da jetzt Kraft ausüben sagen. (ii) Dieses Auto ändert seine Geschwindigkeit nicht, weil sich die angreifenden Kräfte aufheben. (iv)	Wenn man die Stromstärke vor und hinter einer Lampe misst, kriegt man immer ungefähr den gleichen Wert. (i)	Es muss eine Kraft wirken, wenn sich der Bewegungszustand eines Körpers ändert. (i)

petenzaufbau (s.a. Tabelle 3 unten und die zugehörigen Erläuterungen) besser nachzuvollziehen. Ähnlich dem Kompetenzaufbau im Sport, wo z.B. ein erstmalig geglückter Tennisaufschlag nicht dazu führt, dass einem Lernenden „unterstellt“ wird, dass er die Fähigkeit des erfolgreichen Aufschlagens bereits besitzt, nur zunächst nicht oft zeigt, versuchen wir nachzuvollziehen, wie Lernende zunehmend in die Lage versetzt werden, ihre Kompetenz in entsprechenden Aktivitäten explizit zu zeigen. Uns ist dabei klar, dass nicht alle Probleme und Aufgaben erfordern, dass die Schüler ihre Fähigkeiten voll entfalten (weitere Forschungsarbeiten müssten klären, ob und wenn ja wie *bestehende* Kompetenzen auf den Niveaus IIIa/b „hervorgehoben“ werden können). Es sollte aber auch deutlich betont werden, dass das Bemühen mancher Lehrkräfte bzw. Instruktionen, Schüler mit viel Hilfe auf ein hohes Niveau zu heben nicht im Sinne von etablierter Kompetenz interpretiert werden kann. Nur eine möglichst dicht an den Aktivitäten orientierte Zuschreibung kann in solchen Fällen aufzeigen, unter welchen Bedingungen Schüler auch ohne deutliche Einhilfen das entsprechende Niveau bei der Bearbeitung von Aufgaben und Problemen generieren.

Die Unterscheidung in die Niveaus IIIa und IIIb ist für uns gegenwärtig im Sinne einer hierarchischen Unterscheidung noch problematisch. Wir beobachten insgesamt, dass ein wesentlicher Anteil der Schüleraktivitäten (mehr als 80% der fachspezifischen Auseinandersetzungen, s. u.a. Rogge, in Vorbereitung) auf die Niveaus I und II entfallen, oft auch dann, wenn das Lernmaterial explizit oder zumindest implizit Konstruktionen auf den Niveaus IIIa/b nahe legt bzw. eine Lehrkraft die Schüler auffordert, ein Konzept zu benennen. Dieser Befund entspricht unseren früheren Befunden, in denen das Niveau der Operation (jetzt untergliedert in die Ebenen I und II) vergleichsweise oft aufgetreten ist. Die dann folgenden Komplexitätsniveaus der Eigenschaften und Ereignisse entfallen im aktuellen Modell z.T. auf das Niveau II (im Sinne der Nutzung physikalischer Begriffe

zur Beschreibung/Erläuterung von konkreten Sachverhalten) oder auf die Niveaus IIIa/b. Alle darüber liegenden Komplexitätsniveaus haben wir zumindest nach leichten Revisio- nen des Komplexitätsmodells fast nie beobachtet, sie entfallen auf die Niveaus IIIa/b (vgl. v. Aufschnaiter, 2006c). Da wir nur relativ wenig explizit regelbasierte Äußerungen (Niveaus IIIa/b) bisher bei unseren Schülern und Studierenden beobachtet haben, und davon nur ein relativ kleiner Anteil auf das Niveau IIIb entfällt, können wir gegenwärtig nur die Unterscheidung feststellen und haben Hinweise auf die in Tabelle 2 angelegte Abfolge, diese ist jedoch noch nicht empirisch gut abgesichert. Die Unterscheidung in explizit regelhafte Äußerungen, die auf Phänomenen basieren, von solchen explizit regelbasierten Äußerungen, die auf modellhafte Annahmen beruhen, erscheint uns aber für die Beschreibung von Kompetenzentwicklungsverläufen fundamental. Wir beobachten, dass es Schülern (deutlich) leichter fällt, explizite Konzeptualisierungen zu erfassen bzw. selbst zu generieren, die sich auf Phänomene beziehen als solche, die sich auf modellhafte Überlegungen beziehen. Es muss dabei allerdings betont werden, dass unter „modellbasiert“ nicht im allgemeinen Sinne der Bezug auf Modelle jeder Art zu verstehen ist. Es sind damit nur solche explizit regelbasierten Äußerungen eingeschlossen, die sich auf nicht erfahrbare Erklärungen zu Regelmäßigkeiten von Phänomenen beziehen. Der konkrete Umgang mit z.B. gegenständlichen Modellen oder symbolischen Repräsentationen (auch Formeln) wird somit nicht automatisch auf diesem Niveau (IIIb) eingeordnet. Insbesondere, wenn sich Schüler z.B. Atome als kleine Kugeln (mit makroskopisch sichtbaren Eigenschaften) vorstellen, würden wir nicht von einem modellbasierten Verständnis sprechen (die Unterscheidung zwischen Niveau IIIa und IIIb ist also auch hilfreich, Fehlvorstellungen zu deuten, s. u.). Theilmann (2008, S. 87) nimmt eine ähnliche Unterscheidung vor, wenn er von Erfahrungswelt und Nebenwelt (Erklären als Zurückführen auf Modelle) spricht.

Das Modell legt einen linearen Verlauf der Entwicklung von Kompetenz zu einem spezifischen Inhaltsbereich nahe: Ausgehend von Explorationen (Ebene I) gelangen die Schüler zu intuitiv-regelbasiertem Vorgehen

(II) und dann zu expliziten Äußerungen von Konzepten (phänomen- oder modellbasiert). Der empirische Nachvollzug der Verläufe ergibt jedoch ein deutlich anderes Bild. Tabelle 3 zeigt exemplarisch am Nullten Haupt-

Tab. 3: Ausschnitt der Entwicklung des Konzepts des Temperaturangleichs (Nullter Hauptsatz) einer Schülerinnengruppe aus Klasse 8 (aus Rogge, in Vorb.; s.a. Rogge & Linxweiler, 2008)

Zeit	Kontext und wesentliche Schüleraktivitäten (gekürzt)	Niveau (s. Tab. 2)
0:00:00	Aufgabe 1: Wie warm fühlt sich die Schere an? → S beschreiben, dass sich die Schneide kalt und der Griff der Schere warm anfühlt. → „Das [genauer Bezug unklar] haben wir doch gerade in Erdkunde!“	I explorativ II intuitiv regelbasiert
0:02:10	Aufgabe 2: Beschreibung von Objekten, ob sich diese warm, kalt oder normal anfühlen. → S sortieren Objekte danach, ob sie sich warm/kalt/normal anfühlen. → Beim Suchen eines „warmen“ Objektes: „Nee [das kann nicht warm sein], das ist doch so aus Metall.“	I explorativ II intuitiv regelbasiert
0:12:20	Aufgabe 3: Temperaturen der Objekte, die sich warm, kalt oder normal anfühlen? → S schätzen: eher warm 15 Grad, eher kalt 0 Grad, normal 8-10 Grad.	II intuitiv regelbasiert
0:15:10	Aufgabe 4: Messung der Temperaturen der Gegenstände. → S messen die Temperaturen der Objekte (alle ~24°C) → „Kann nicht sein!“ – „Vielleicht, weil wir das schon angefasst haben!“	I explorativ II intuitiv regelbasiert
0:30:50	Aufgabe 5: Vergleich der gemessenen mit den geschätzten Temperaturen. → „Wir haben uns richtig verschätzt!“	II intuitiv regelbasiert ³
0:33:00	Aufgabe 7: Messung der Raumtemperatur & Vergleich mit den gemessenen Werten. → S messen Raumtemperatur von 23,5°C. → „Es [die Temperatur der Objekte] passt sich dem Raum an.“	I explorativ II intuitiv regelbasiert
0:37:00	Aufgabe 8: Temperatur von Klötzen aus verschiedenen Materialien in einer Kühlbox? → S schätzen: Klotz aus Alu, Eisen und Granit: 5°C; Holzklotz: 10°C	II intuitiv regelbasiert
0:38:20	Aufgabe 9: Messung der Lufttemperatur und der Temperaturen der Klötze. → S messen die Temperaturen (alle bei ~4-5°C) – Erstaunen bei den S → „Die [Klötze] passen sich immer so der Lufttemperatur an.“	I explorativ IIa explizit regelbasiert
0:40:50	Info 1: Was lange zusammen steht, hat die gleiche Temperatur: [...] Aufgabe: Temperatur der Gegenstände in der Materialkiste bei einer Raumtemperatur von 30°C? → „Ja, so ungefähr 30 Grad.“ – „Ein bisschen unter oder ein bisschen drüber.“	II intuitiv regelbasiert
0:41:30	Aufgabe 10/11: Verlauf der Temperatur von kaltem und heißem Wasser? → S messen die Temperatur und beobachten Erwärmung bzw. Abkühlung. → „Ich weiß warum.“ – „Ja, weil die [das Wasser] passt sich ja der Luft an.“	I explorativ II intuitiv regelbasiert
0:49:20	Aufgabe 12: Temperaturverlauf eines Messers, das aus der Kühlbox geholt wird? → S messen die Temperatur des Messers: „Die steigt immer mehr.“ → „Na klar, wird sich anpassen.“	I explorativ II intuitiv regelbasiert
0:52:00	Aufgabe 13: Welcher Temperatur werden sich die gemessenen Temperaturen nähern? → „Es passt sich immer an die Lufttemperatur an.“	IIa explizit regelbasiert
0:52:40	Aufgabe 14: Temperatur von Plätzchen, die 30 Minuten im Backofen waren? → „Wenn man sie rausgeholt hat 200°C. Und wenn sie dann da [auf dem Küchentisch] standen, dann hätte jeder Lufttemperatur.“	II intuitiv regelbasiert
0:53:30	Aufgabe 15: Temperatur eines kalten Objekts, das in warme Umgebung gebracht wird? → „Ja, der [Gegenstand] wird auch wie die Umgebung werden.“	II intuitiv regelbasiert
0:54:00	Info 2: Gegenstände passen sich der Umgebungstemperatur an: [...] Aufgabe: Prüft, ob sich die Temperatur des kalten/heißes Wassers der Raumtemperatur genähert hat. → S hält Thermometer in heißes Wassers und beobachtet Steigen der Temperatur. → „Bei dir steigt es? Sagt doch mal, wie viel ihr habt!“ → „33,4 [Grad].“ → „33, siehst du, es ist ganz schön weniger geworden! Vorher waren's noch 50 Grad, als wir zum letzten Mal gemessen haben [bei Aufgabe 10/11].“	I explorativ II intuitiv regelbasiert I explorativ II intuitiv regelbasiert
0:55:50	Aufgabe 16: Löffel kurz in heißes Wasser halten & fühlen: Woher kommt die Wärme? [Versuch zur späteren Einführung der Begriffe Wärmequelle & Wärmeempfänger] → S erwärmen den Plastiklöffel und berühren ihn mit der Hand. → „Ja, also auch Wasser. Wenn man einen Gegenstand ins Wasser hält, passt sich der auch dem Wasser an, d.h. wenn du in heißes Wasser gehst, dann wirst du auch wärmer.“	I explorativ IIa explizit regelbasiert

3 In diesem Fall ist keine eindeutige Kodierung möglich, es könnte sich auch um die Wiedergabe einer Beobachtung handeln (Niveau I explorativ). Wir entscheiden uns in solchen Zweifelsfällen in der Regel für die Zuweisung des jeweils höheren Niveaus.

satz, wie sich eine Gruppe von Schülerinnen das Konzept des Temperaturangleichs erschließt und es für eigene Aktivitäten nutzt (aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Aktivitäten der einzelnen Schülerinnen nicht aufgelöst).

Der Verlauf zeigt, dass die Schülerinnen auch nach der expliziten Benennung des Konzeptes (und des Lesens zugehöriger „konzeptueller“ Informationen) erneute Explorationen durchführen müssen, damit ihnen die (Re-)Konstruktion des Konzeptes gelingt. Wir beobachten, dass Schüler die Niveaus IIIa/b auch nach der erstmaligen Erfassung in der Regel nur im Nachgang zur Auseinandersetzung mit konkreten Phänomenen bzw. nach (deutlichen) Hinweisen erneut erreichen. Kompetenz im Sinne einer zeitlich stabilen Disposition, die sich in der sicheren und fachlich angemessenen Nutzung der Niveaus IIIa/b (ggf. auch II) spontan bei der Bearbeitung von Problemen zeigen müsste, scheint nach unseren Befunden in der Regel nicht in relativ kleinen Zeitfenstern erreichbar. Es muss dabei zudem betont werden, dass sich in unseren Fällen „Kompetenz“ immer auf relativ kleine inhaltliche Ausschnitte bezieht wie im Beispiel auf den konzeptuellen Umgang mit dem Nullten Hauptsatz. Wenn bereits die Entwicklung einer solchen, inhaltlich deutlich eingegrenzten Kompetenz ein langes Zeitfenster und relativ viele Gelegenheiten des Wieder-Entdeckens bzw. Übens benötigt, muss davon ausgegangen werden, dass die Möglichkeiten des fachlich umfassenden Kompetenzaufbaus in der Schule als sehr beschränkt einzuschätzen und vor diesem Hintergrund die Bildungsstandards in ihrem Umfang und in ihrem Anspruch als Regelstandards noch einmal deutlich kritisch zu hinterfragen sind.

Passung unseres Modells (Tabelle 2) zu anderen Modellierungen (Tabelle 1)

Es muss zunächst betont werden, dass die Ebene I (exploratives Vorgehen) im Sinne einer ergebnisorientierten Kompetenzmodel-

lierung üblicherweise nicht berücksichtigt wird. Auf diesem Niveau weisen sich Schüler ja in gewisser Hinsicht als „nicht kompetent“ aus, da sie hier für sie vergleichsweise neue Sachverhalte zunächst erkunden. Dass dabei diesen Erkundungen wiederum bereits etablierte Kompetenzen (auch z.B. im Sinne motorischer Fähigkeiten) eingesetzt werden, scheint uns immer unstrittig, betrifft aber nicht den inhaltlichen Fokus des betrachteten Sachverhaltes.

Beim Vergleich mit den in Tabelle 1 dargestellten Modellierungen ist einerseits auffällig, dass auch andere Beschreibungen davon ausgehen, dass ein konzeptuelles Verständnis erst auf höheren Ebenen angesiedelt ist (ob und inwieweit dieses multidimensional bzw. meta-konzeptuell ist wird von unserem Modell gegenwärtig noch nicht ausgesagt). Andererseits zeigt sich zumindest in Ansätzen eine Passung des von uns beschriebenen Niveaus II zu mittleren Niveaus einiger anderer Modelle. Im Bereich des funktionalen Wissens wird oft davon ausgegangen, dass Schüler Konzepte auf konkrete Phänomene beziehen oder dass sie naturwissenschaftliches Vokabular und Formeln korrekt verwenden (u.a. Darstellung in Schecker & Parchmann, 2006, S. 49). Diese Beschreibungen legen nahe, dass Schüler auf Niveau II vorgehen können, in dem sie spezifische Sprechweisen intuitiv regelbasiert den vorliegenden Problemen zuweisen oder aber auch z.B. intuitiv regelbasiert zwischen wichtigen und unwichtigen Daten unterscheiden. Die in einigen Beschreibungen vorgenommenen Überlegungen zur Unterscheidung von Wiedergabe, Anwenden und Transfer im Sinne zunehmender Anforderung ergibt sich aus unserem Modell allerdings nicht. Es ist grundsätzlich möglich, sowohl intuitiv erfasste Sachverhalte (Ebene II) als auch z.B. explizit regelbasierte modellbezogene Überlegungen „nur“ zu reproduzieren. Es muss zudem betont werden, dass die in einigen Modellen implizit und bei Klieme (2000) sowie Schecker und Parchmann (2006) explizit vorgenommene Unterscheidung lebensweltlicher und fachwissenschaftlicher

Konzeptualisierungen in unserem Modell nicht enthalten ist. Die von uns beschriebenen Anforderungsstufen gehen von einer Zunahme der Fähigkeiten bzw. der kognitiven Anforderungen von Niveau I bis Niveau IIIb aus, unabhängig davon, ob fachlich angemessene oder fachlich unangemessene Sachverhalte von den Schülern erfasst und später explizit regelbasiert formuliert werden. Es ist aber selbstverständlich möglich, die fachliche Angemessenheit als weitere Beschreibungsdimension zu ergänzen.

Es muss insgesamt betont werden, dass es sich bei den in Tabelle 1 dargestellten Modellen um normativ geprägte Zustandsbeschreibungen handelt, während das in Tabelle 2 dokumentierte Modell eine aus empirischen Untersuchungen abgeleitete Beschreibung der Verläufe der Kompetenzentwicklung darstellt. Die begrenzte Passung unseres Modells zu anderen Kompetenzmodellierungen (ebenso wie die geringe Passung gegenwärtiger Modelle untereinander) interpretieren wir deshalb vor allem als einen Hinweis darauf, dass weiterer empirischer Klärungsbedarf besteht, der zumindest langfristig zu besser zueinander passenden Kompetenzbeschreibungen sowohl in Bezug auf ergebnis- als auch auf prozessorientierte Modellierungen führen sollte (s. a. Abschnitt 5).

Nutzung unseres Modells zur Beschreibung von Lern- und Leistungsanforderungen

Bisher haben wir unser Modell aus der Beschreibung von Lernprozessen von Schülern heraus motiviert und dargestellt. Für die Gestaltung von Unterricht nutzbar wird ein solches Modell jedoch nur, wenn es Aussagen zu Anforderungsniveaus und zur situativen Passung von Fähigkeit und Anforderung generiert (für ähnliche Ansätze s. u. a. Neumann et al., 2007; Wadouh, Sandmann & Neuhaus, 2009).

Wir haben das Modell in den letzten Jahren nicht nur zur Beschreibung von Lern-

prozessen, sondern auch für eine kriterienorientierte Gestaltung von Lernmaterial eingesetzt (u. a. v. Aufschneider, 2008). Es kann für jede (geplante) Aufgabe bzw. Anforderung geprüft werden, ob sich diese mithilfe von Explorationen angemessen bearbeiten lässt, ein zumindest intuitiv regelbasiertes Verständnis erfordert (z. B. bei der Prognose von Versuchsausgängen) oder aber auf explizit regelbasierte Kenntnisse abzielt. Die Abfolge von Lernaufgaben kann dann entlang der Verläufe der Kompetenzentwicklung angelegt werden (s. a. v. Aufschneider & Rogge, 2009). Der Einsatz physikalischer Experimente im Physikunterricht zur Demonstration eines physikalischen Gesetzes (meist einer modellbasierten Erklärung) ist somit zwar konkret angelegt, zielt aber auf Ebene III ab. Schüler wiederum interpretieren solche Aufgaben oft auf Niveau I (explorieren, was der Lehrer von ihnen hören will) oder nutzen Kenntnisse von anderen Fällen, um das gerade vorliegende Experiment zu beschreiben (Niveau II). Diese hier angedeutete Differenz zwischen Intention und tatsächlichem Verhalten der Schüler weist aus unserer Sicht auch auf die generelle Problematik der Zuschreibung von Anforderungsniveaus zu Aufgaben hin. Es mag zwar möglich sein, unter verschiedenen Beobachtern geteilte Zuschreibungen zu einzelnen Aufgaben zu erhalten (bei entsprechend gut angelegtem Kodiermanual), ob sich Schüler bei der gedanklichen und realen Auseinandersetzung mit den Aufgaben zur erfolgreichen Lösung aber tatsächlich im Sinne der Zuschreibung verhalten (müssen), ist eine andere, in der Regel empirisch zu klärende Frage. Dies impliziert auch, dass für eine Einstufung von in (large-scale) Testungen eingesetzten Aufgaben möglichst im Vorfeld eine empirische Analyse der Bearbeitungsprozesse dieser Aufgaben durch Schüler der anvisierten Jahrgangsstufe erfolgen sollte. Insbesondere bei der erfolgreichen Bearbeitung von Aufgaben ist dabei zu klären, ob die durch die Aufgabe angestoßenen kognitiven Prozesse der Zuschreibung der Aufgabe entsprechen oder

angemessene Lösungen auf anderem Wege generiert werden (für die Vorgehensweise und Ergebnisse solcher Untersuchungen s. u. a. Stelter, 2007).

Das in Tabelle 2 vorgestellte Modell kann auch für die Strukturierung von Leistungsmessungen genutzt werden. Hier eignet sich aus den oben genannten Überlegungen nicht mehr das Niveau I, aber eine fundamentale Überlegung betrifft z. B. die Frage, ob Schüler Leistungsaufgaben mit intuitiven Kenntnissen lösen können und dürfen. Aufgaben, in denen zu konkreten Fällen Vorhersagen getroffen werden müssen (z. B. zur Position zweier Massen auf einer Wippe für gleichberechtigtes Wippen) oder zu denen fachliche Begriffe angemessen zugewiesen werden müssen, sind für Schüler leichter lösbar als solche, in denen fachliche Konzepte ohne konkrete Anbindung erläutert werden sollen bzw. zur Bearbeitung eines Problems (eines konkreten Falles) genutzt werden müssen. Da wir bisher die Wirkung entsprechend strukturierter Leistungsaufgaben noch nicht empirisch untersucht haben, möchten wir auf die Darstellung konkreter Beispiele an dieser Stelle verzichten. Im Sinne der obigen Überlegungen müssten wir zunächst immer mithilfe von Prozessaufzeichnungen untersuchen, ob Schüler die so formulierten Aufgaben im intendierten Sinne bearbeiten oder für die Lösung auf andere Kompetenzniveaus als beabsichtigt zurückgreifen.

4 Tragfähigkeit des Modells

Wir sind uns bewusst, dass sich das von uns vorgelegte Modell bei der Analyse weiterer Daten, insbesondere auch solcher, die nicht aus Laborsituationen stammen, erst noch bewähren muss (s. u.). Wir möchten aber schon jetzt exemplarisch an zwei für fachdidaktische Forschung relevanten Aspekten

kurz skizzieren, dass sich das Modell als Begründungsrahmen für Beobachtungen zu Lernverläufen und Lernschwierigkeiten von Schülern eignet.

4.1 Fehlende Konzeptualisierung als eine Ursache für misslingenden Transfer

Die in Tabelle 2 dokumentierten Verläufe der Kompetenzentwicklung legen nahe, dass ein explizit regelbasiertes (konzeptuelles) Verständnis eher spät im Lernprozess zu einem thematischen Aspekt entsteht (s. a. das Beispiel zur Entwicklung des Konzepts des Temperaturangleichs in Tab. 3). Die im Rahmen von Instruktionen üblicherweise anhand weniger Fälle entwickelten konzeptuellen Beschreibungen werden von Schülern gemäß des Modells oft „nur“ intuitiv regelbasiert als Sprechweise zu den bearbeiteten Beispielen erfasst. Das auf diesem Niveau II etablierte Verständnis ist jedoch noch nicht konzeptuell (Niveaus IIIa/b) und kann damit auch noch nicht auf eine Klasse von Fällen bezogen werden, der Transfer misslingt. Dass sich in der für TIMSS entwickelten Beschreibung der Kompetenzstufen das Überwinden von Fehlvorstellungen als höchste Kompetenzstufe ergibt (vgl. Tabelle 1), ist vor diesem Hintergrund gut nachvollziehbar: Die in der Schule scheinbar etablierten fachwissenschaftlichen Konzepte werden häufig „nur“ im Sinne einer Beschreibung der in der Schule thematisierten Sachverhalte verstanden, nicht jedoch als Generalisierung erfasst bzw. es werden nur wenig Fälle in die Generalisierung mit eingeschlossen. Werden in Leistungsmessungen bisher unbekannte Fälle vorgelegt, kann das nicht vorhandene bzw. kaum etablierte Konzept auch nicht „angewendet“ werden und es wird mit vielfach bewährten alltäglichen Vorstellungen argumentiert.⁴

⁴ Es sei hier angemerkt, dass auch im Falle der einmaligen expliziten Erfassung des zugrunde liegenden Konzeptes (Niveaus IIIa/b) häufig ein Transfer nicht gelingt. Wir beobachten, dass Schüler Konzepte in der Regel mehrfach zunächst „wieder entdecken“ müssen, bevor sie spontan mit diesen Konzepten argumentieren.

Die z.T. in extremen Positionen vertretene Annahme des situierten Lernens, dass alle Kompetenzen mit den Situationen verbunden sind, in denen sie gelernt wurden (Transfer also überhaupt nicht möglich ist), ist nach unserem Kompetenzmodell jedoch auch nicht haltbar. Werden die Niveaus I-III angemessen durchlaufen (mit einer vergleichsweise großen Zahl an Fällen und in zirkulärer Weise, s. z.B. Tab. 3), so ist davon auszugehen, dass Transfer gelingen kann. Möglicherweise wird aber die Zahl der notwendigen Fälle (inkl. der Fälle zum Wiederholen und Üben) gegenwärtig noch deutlich unterschätzt, so dass in der Regel in der normalen schulischen und universitären Ausbildung eine nicht genügend breite Fallbasis entsteht und der Aufbau konzeptueller Kompetenzen damit deutlich eingeschränkt erfolgt.

4.2 „Fehlerhafte“ oder fehlende Erfahrungen als Ursache für Fehlvorstellungen

Da das Kompetenzmodell zunächst nicht zwischen fachlich angemessen und fachlich unangemessenen Konzeptualisierungen unterscheidet, scheint es wenig nutzbar für die Analyse von Fehlvorstellungen. Fehlvorstellungen sind aber besonders zu solchen Konzepten dokumentiert, die für die Schüler nicht direkt aus Erfahrungen abgeleitet werden können, also dem von uns als besonders anspruchsvoll eingeschätzten und von Schülern selten erreichten Niveau IIIb zuzuordnen sind. Die Aspekte Energie, Spannung, Kraft, Druck usw. verweisen auf modellbasierte Konzepte, die z.T. auch noch erkennbar mit lebensweltlichen Erfahrungen (z.B. im Sprachgebrauch) „kollidieren“ (s. a. v. Aufschnaiter, 2005a; v. Aufschnaiter & Rogge, 2009). Der Versuch von Schülern, erfahrbare Sachverhalte auf modellbasierte

Aspekte zu „übertragen“ (wie die Annahme makroskopischer Eigenschaften für mikroskopische Objekte) führt fast zwangsläufig zu Fehlern, lässt sich aber mit dem Verlauf der Kompetenzentwicklung nachvollziehen. Gerade solche Konzepte, die auf Niveau IIIb angesiedelt sind und sich zudem nicht (gut) mit einer der Erfahrung zugänglichen Analogie in Beziehung setzen lassen (z.B. die Analogie zwischen Spannung und Druck(differenz)), werden auch nach intensiver instruktioneller Bemühung für Schüler schwer erfassbar sein. Fehlvorstellungen zu Konzepten aus dem Bereich IIIb lassen sich also damit begründen, dass die Schüler zugehörige Konzeptualisierungen noch gar nicht entwickelt haben (über noch nicht hinreichend viele Erfahrungen verfügen) bzw. vorhandene Erfahrungen fehlerhaft übertragen (typischerweise auf Niveau II).

Fehlvorstellungen lassen sich auch damit deuten, dass die Schüler „fehlerhaft“ über eigene Erfahrungen generalisieren, das Niveau IIIa also erreicht haben und nutzen. Hierzu gehört unter anderem die Annahme, dass ein Kabel für einen Stromkreis genügt (wie typischerweise im Alltag beobachtet), dass das Aufrechterhalten einer Geschwindigkeit eine konstante Kraft benötige oder dass man zum Sehen eines Gegenstandes hinschauen muss („Sehstrahltheorie“). Werden in Leistungsmessungen derart entwickelte Fehlvorstellungen den (modellbasierten) fachlich angemessenen Konzepten z.B. in Form von Multiple-Choice-Aufgaben gegenübergestellt, ist oft nicht verwunderlich, dass Schüler zu den lebensweltlich erfahrenen Generalisierungen und nicht zu den noch nicht ausreichend etablierten fachwissenschaftlichen Konzepten tendieren.⁵ Beziehen sich die von Schülern erzeugten lebensweltlichen Generalisierungen auf fachliche Konzepte, die wiederum der Erfahrung zugänglich sind (Niveau IIIa), ist deren Begegnung im Unterricht leicht(er) realisierbar.

⁵ Manchmal nutzen Schüler und Studierende nach unseren Beobachtungen aber ein anderes Konzept, um zur richtigen Lösung zu gelangen: Je komplizierter (fachsprachlicher) ein Distraktor, umso wahrscheinlicher ist dort die richtige Lösung (Niveau IIIa).

5 Forschungsdesiderata

Übertragbarkeit des Modells auf andere Lehr-Lernarrangements (in der Physik)

Das hier vorgestellte Modell (Tab. 2) wurde im Wesentlichen bei der Analyse von Labordaten entwickelt, deren Erhebung einem spezifischen Design folgte. Es mag argumentiert werden, dass das Modell ein Resultat unseres spezifischen Designs und damit artifiziell ist und sich deshalb nicht für die Analyse von Verläufen der Kompetenzentwicklung in „normalen“ unterrichtlichen Settings eignet. Wir haben auf der Basis von Beobachtungen in Feldstudien (u. a. im Rahmen von Erhebungen in Examensarbeiten, bei der Re-Analyse von publizierten Daten anderer Forschungsgruppen) den Eindruck, dass das Modell auch dann ertragreiche Beschreibungen liefert, wenn der Unterricht völlig anders als in unseren Laborsituationen verläuft. Wir haben gegenwärtig begonnen, die Validität dieser Annahme an einem Felddatensatz zu prüfen. In diesem Datensatz werden mehrere Schülergruppen aus vier 10. Klassen im regulären Physikunterricht über ein Jahr lang verfolgt (zur Struktur der Daten s. a. Hirsch, 2005; Rethfeld, 2006).

Von besonderem Interesse scheinen uns auch Fragen der Übertragbarkeit auf andere naturwissenschaftliche Fächer bzw. auf Lernprozesse zu anderen Kompetenzbereichen (insbesondere Erkenntnisgewinnung).

Differenzierte Beschreibungen der Verläufe der Kompetenzentwicklung

Aus früheren Arbeiten (u. a. v. Aufschnaiter & v. Aufschnaiter, 2003) gehen wir davon aus, dass unser Modell weiterer Ausdifferenzierung bedarf. Insbesondere müssten Fragen der zeitlichen Strukturierung (wie schnell werden spezifische Probleme bearbeitet) angemessen operationalisiert werden. Darüber hinaus sehen wir in den Daten, dass Schüler auf jeder Ebene

zunehmend in der Lage sind, unterschiedliche Aspekte miteinander in Beziehung zu setzen und zudem immer mehr Fälle unter einem Konzept „subsummieren“. Eine solche inhaltliche Verbreiterung des konzeptuellen Verständnisses setzt Schüler dann auch vermehrt in die Lage, einen Transfer zu leisten bzw. verstärkt auch solche Probleme bearbeiten zu können, die bisher nicht Gegenstand des Unterrichts waren. Es ist uns bisher nicht gelungen, für diese Veränderungen angemessene Operationalisierungen zu entwickeln, die ausreichend hohe Interkoder-Reliabilitäten erreichen. Es wäre dazu spannend zu prüfen, inwieweit eine Integration anderer Modellierungen (u. a. „Komplexität“ im Kompetenzmodell des nwu Duisburg-Essen, vgl. Kauertz, 2008; Neumann et al., 2007; Wadouh, Sandmann & Neuhaus, 2009) eine ertragreiche Erweiterung unseres Modells liefert.

Reliable Kompetenzschätzung mithilfe von Prozessdaten

Die bereits oben angesprochene offene Frage reliabler Kompetenzschätzung mithilfe von Prozessdaten benötigt ganz sicher weitere methodische Klärung. Unser eher heuristisches Vorgehen genügt aktuellen Standards nicht vollständig. Insbesondere ist zu prüfen, in welcher Weise z. B. durch die Nutzung intervall- oder ereignisbasierter Zuschreibungen hinreichend viele valide voneinander trennbare Fälle generiert werden können, so dass sich statistische Verfahren zur Beschreibung der Daten nutzen lassen. Es muss dabei betont werden, dass sich aus gegenwärtigen Verfahren der Kompetenzmessung nur eingeschränkt Aussagen über prozessbasierte Messverfahren generieren lassen. Für die Schätzung von Kompetenz zu einem bestimmten Zeitpunkt wird ja üblicherweise versucht, durch eine relativ große Zahl von Items Messfehler zu reduzieren. Die zeitlichen Verläufe der Entwicklung sind jedoch gerade dadurch gekennzeichnet, dass sich „Messfehler“ ergeben, da die

jeweilige Kompetenz noch nicht etabliert ist und die Performanz somit erkennbaren Schwankungen unterliegt (s. o.). Die Kompetenz „zeigt“ sich also nicht stabil, sondern zunehmende Stabilität ist ein Merkmal zunehmender Kompetenz.

Ebenfalls einen Beitrag zu reliablen Kompetenzschätzungen würde die Verzahnung von ergebnisorientierten und prozessbasierten Modellierungen liefern. Es ist dabei mittelfristig natürlich wünschenswert, dass sich aus beiden Perspektiven ähnliche bzw. identische Modellierungen ergeben (s. a. v. Aufschnaiter & Kauertz, 2009).

Kompetenzniveau des vorgelegten Kompetenzmodells

Nicht zuletzt muss deutlich betont werden, dass die hier vorgestellte Beschreibung der Verläufe der Kompetenzentwicklung in der Darstellung des Modells auf der Ebene IIIa angesiedelt ist. Das Modell stellt somit in unserer Sprache, „nur“ eine phänomenbasierte Generalisierung über unsere Daten dar, liefert jedoch keine modellhafte Erklärung. Wie sich die von uns beobachteten Verläufe „theoretisch“ begründen lassen, scheint uns neurobiologische Argumente zu benötigen. Entsprechende Überlegungen haben wir bereits im Zusammenhang mit früheren Arbeiten entfaltet (u.a. v. Aufschnaiter & v. Aufschnaiter, 2003, 2005). Wir argumentieren hier nicht für eine „Neurodidaktik“ (für Kritik s. v. Aufschnaiter, 2005b), sondern für fachdidaktische Beschreibungen, die mit jeweils gegenwärtigen Beschreibungen der Funktionsmechanismen des Gehirns kompatibel sind. In diesem Sinne sehen wir, wie viele andere Forscher aus dem Bereich der pädagogischen Psychologie auch (u.a. Stern et al., 2005), einen Bedarf, zukünftig auf kognitive Aspekte fokussierte Forschung mit neurobiologischer und ggf. auch physiologischer Forschung zu verschränken, um modellbasierte Erklärungen für gemachte Beobachtungen fundiert entwickeln zu können.

Danksagung

Die hier vorgestellten empirischen Belege und theoretischen Überlegungen sind wesentlich in Projekten entstanden, die durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert wurden (AU 155/3-2 und AU 155/5-3). Aktuelle Forschungsarbeiten mit dem Modell an Felddaten mit Schülern der 10. Klasse wurden von der JLU Gießen gefördert.

Wir danken Prof. Dr. Alexander Kauertz für vielfältige Diskussion zu Fragen der Kompetenzmodellierung. Wir danken zudem den beiden anonymen Gutachtern der ZfDN, die ausführlich auf den Beitrag eingegangen sind und eine Reihe sehr konstruktiver Rückmeldungen zur Verbesserung des Beitrages geliefert haben.

Literatur

- Aufschnaiter, C. v. (2003). Prozessbasierte Detailanalysen der Bildungsqualität von Physik-Unterricht: Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 105-124.
- Aufschnaiter, C. v. (2005a). Von Fehlvorstellungen und fehlenden Erfahrungen: Konzeptentwicklung im Physik-Unterricht. In Deutsche Physikalische Gesellschaft, Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.), *Didaktik der Physik: Vorträge – Physikertagung 2005 – Berlin*. Beitrag zum Plenarvortrag auf der CD-Rom zur Tagung.
- Aufschnaiter, C. v. (2005b). Sammelrezension: Lerntheorien zwischen Neurowissenschaften und pädagogischer Psychologie. *Pädagogik*, 5, 52-56.
- Aufschnaiter, C. v. (2006a). *Exploring the processes of students' development of physics concepts*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco.
- Aufschnaiter, C. v. (2006b). Prozessorientierte Vorstellungsforschung. In R. Girwidz, M. Gläser-Zikuda, M. Laukenmann & T. Rubitzko (Hrsg.), *Lernen im Physikunterricht* (S. 191-200). Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Aufschnaiter, C. v. (2006c). Process based investigations of conceptual development: An explorative study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4(4), 689-725.
- Aufschnaiter, C. v. (2007). Videobasierte Analysen von Lern- und Lehrprozessen in physikalischen Kontexten. In D. Höttecke (Ed.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich* (S. 122-135). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 27. Berlin: LIT Verlag.
- Aufschnaiter, C. v. (2008). Mithilfe von Experimenten lernen – (wie) geht das? Experimentierserien als systematischer Zugang zu physikalischen Konzepten. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 19(108), 4-9.
- 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.
- Aufschnaiter, C. v., & Aufschnaiter, S. v. (2005). Über den Zusammenhang von Handeln, Wahrnehmen und Denken. In R. Voss (Hrsg.), *Unterricht aus konstruktivistischer Sicht: Die Welten in den Köpfen der Kinder* (2. Auflage) (S. 234-248). Weinheim, Basel: Beltz.
- Aufschnaiter, C. v., Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 101-131.
- Aufschnaiter, C. v., & Kauertz, A. (2009). *Verläufe der Kompetenzentwicklung in der Physik*. Antrag auf Gewährung einer Sachbeihilfe im DFG-Schwerpunktprogramm 1293.
- Aufschnaiter, C. v., & Rogge, C. (2009). Im Physikunterricht wird zu viel erklärt! *Lernbancan*, 12(69/70), 54-59.
- Aufschnaiter, S. v., Aufschnaiter, C. v., & Schoster, A. (2000). Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physik-Aufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 37-57.
- 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.
- Bybee, R. (1997). Toward an understanding of scientific literacy. In W. Gräber & C. Bolte (Hrsg.), *Scientific literacy* (S. 37-68). Kiel: IPN.
- Fischer, H., & Aufschnaiter, S. v. (1993). Development of meaning during physics instruction: Case studies in view of the paradigm of constructivism. *Science Education*, 77(2), 153-168.
- Fischer, H.E., Schecker, H., & Wiesner, H. (2004). Kerncurriculum Physik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57(3), 147-154.
- Hartig, J., & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Ed.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (S. 127-143). Berlin: Springer.
- Hirsch, J. (2005). *Interesse, Handlungen und situations Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben*. Berlin: Logos.
- Jacobs, J. K., Kawanaka, T., & Stigler, J. W. (1999). Integrating qualitative and quantitative approaches to the analysis of video data on classroom teaching. *International Journal of Educational Research*, 31, 717-724.
- Janík, T., & Seidel, T. (2009). *The power of video studies in investigating teaching and learning in the classroom*. Münster: Waxmann.
- Kauertz, A. (2008). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben*. Berlin: Logos.

- Klieme, E. (2000). Fachleistungen im voruniversitären Mathematik- und Physikunterricht: Theoretische Grundlagen, Kompetenzstufen und Untersuchungsschwerpunkte. In J. Baumert et al. (Hrsg.), *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Sekundarstufe II* (S. 57-128). Opladen: Leske + Budrich.
- Klieme, E. et al. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise*. Berlin: BMBF.
- Klieme, E., & Leutner, D. (2006). *Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen*. Überarbeitete Fassung des Antrags an die DFG auf Einrichtung eines Schwerpunktprogramms. http://www.kompetenzdiagnostik.de/images/Dokumente/antrag_spp_kompetenzdiagnostik_ueberarbeitet.pdf [letzter Zugriff: 21.03.2007]
- KMK (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München, Neuwied: Luchterhand.
- Koepfen, K., Hartig, H., Klieme, E., & Leutner, D. (2008). Current issues in competence modeling and assessment. *Zeitschrift für Psychologie / Journal of Psychology*, 216(2), 61-73.
- Kretschmann, R. (2003). Erfordernisse und Elemente einer Diagnostik-Ausbildung für Lehrerinnen und Lehrer. *Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 2, 9-19.
- Neumann, K. (2004). *Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker*. Berlin: Logos.
- Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H., & Fischer, H.E. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 103-123.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P., & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert et al. (Hrsg.), *PISA 2000 – Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 191-248). Opladen: Leske + Budrich.
- Rethfeld, J. (2006). *Aufgabenbasierte Lernprozesse in selbstorganisationsoffenem Unterricht der Sekundarstufe I zum Themengebiet ELEKTROSTATIK – Eine Feldstudie in vier 10. Klassen zu einer kartenbasierten Lernumgebung mit Aufgaben aus der Elektrostatik*. Berlin: Logos.
- Rimmele, R. (2008). *Video graph. Multimedia-Player zur Kodierung von Videos*. Kiel: IPN.
- Rincke, K. (2007). *Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*. Berlin: Logos.
- Rogge, C. (in Vorbereitung). *Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen*. Dissertation am Fachbereich 07 der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Rogge, C., & Aufschnaiter, C. v. (2008). Konzeptentwicklung in ihrer Dynamik erfassen: Vorgehen und Befunde. In D. Höttecke (Hrsg.), *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung* (S. 311-313). Berlin: LIT VERLAG.
- Rupp, A.A., Leucht, M. & Hartung, M. (2006). ‚Die Kompetenzbrille aufsetzen‘ – Verfahren zur multiplen Klassifikation von Lernenden für Kompetenzdiagnostik in Unterricht und Testung. *Unterrichtswissenschaft*, 34(3), 195-219.
- Saniter, A. (2003). *Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik*. Berlin: Logos.
- Schecker, H. (2007). Die Bildungsstandards Physik. Orientierungsrahmen für den Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 18(97), 4-11.
- Schecker, H., & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45-66.
- Seidel, T., Prenzel, M., & Kobarg, M. (2005). *How to run a video study. Technical report of the IPN Video Study*. Münster: Waxmann.
- Smolé, A. (2001). *Kognitive Entwicklung von Studierenden in den Dimensionen Inhalt, Komplexität und Zeit*. Dissertation am Fachbereich 1 (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen.
- Stelter, F. (2007). *Untersuchung der Vorstellungen von Studierenden mit Fach Physik zum Kraftbegriff*. Unveröffentlichte Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien im Land Niedersachsen. Universität Hannover.
- Stern, E., Grabner, R., Schumacher, R., Neuper, C. & Saalbach, H. (2005). *Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven*. Bonn, Berlin: BMBF.
- Theilmann, F. (2008). Physikalisches Verstehen als fachbezogene Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 85-97.
- Wadouh, J., Sandmann, A., & Neuhaus, B. (2009). Vernetzung im Biologieunterricht – deskriptive Befunde einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 69-87.
- Wahser, I., & Sumfleth, E. (2008). Training experimenteller Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 219-241.

- Walpuski, M., Kampa, N., Kauertz, A., & Wellnitz, N. (2008). Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 61(6), 323-326.
- Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2007). Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 13, 181-198.
- Walpuski, M., & Sumfleth, E. (2009). The use of video data to evaluate inquiry situations in chemistry education. In T. Janík & T. Seidel (eds.), *The power of video studies in investigating teaching and learning in the classroom* (S. 121-133). Münster: Waxmann.
- Weinert, F.E. (2001). Vergleichende Leistungsmessungen in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F.E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17-31). Weinheim, Basel: Beltz.
- Welzel, M., & Stadler, H. (Hrsg.) (2005). „Nimm doch mal die Kamera!“ Zur Nutzung von Videos in der Lehrerbildung – Beispiele und Empfehlungen aus den Naturwissenschaften. Münster: Waxmann.

Kontakt

Prof. Dr. Claudia v. Aufschnaiter
Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Didaktik der Physik
Karl-Glöckner-Straße 21C
35394 Gießen
cvauf@cvauf.de

Autoreninformation

Claudia von Aufschnaiter ist Professorin für Physikdidaktik. Sie untersucht seit mehr als 10 Jahren die Lern-, Diskurs-, Erlebens- und Argumentationsprozesse von Schülern und Studierenden zu physikalischen Sachverhalten. Aktuelle Forschungsarbeiten befassen sich darüber hinaus mit Lernprozessen von Studierenden des Lehramtes Physik zu Aspekten der Diagnose und Förderung im Fachunterricht.

Christian Rogge war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Didaktik der Physik der JLU Gießen. Er hat sich mit Prozessen der Konzeptentwicklung von Schülern und deren Argumentationsprozessen befasst. Ab dem 01.08.2010 ist er als Lehrkraft im Vorbereitungsdienst für die Fächer Physik und Mathematik in Niedersachsen tätig.