

HORST SCHECKER UND ILKA PARCHMANN *

Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Einführung nationaler Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer erlangt die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz zunehmende Bedeutung für die fachdidaktische Forschung. Wir schlagen eine Differenzierung zwischen normativen Modellen und deskriptiven Modellen sowie zwischen Strukturmodellen und Entwicklungsmodellen vor. Vorliegende Beispiele werden skizziert. Wichtige Fragen sind die Dimensionierung von Kompetenzmodellen und die Graduierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. Viele Modelle gehen von einer hierarchischen Stufung aus. Dies wird jedoch von empirischen Studien zur Schwierigkeit von Testitems nicht immer gestützt. Die Aufgabenentwicklung steht dabei in einem Spannungsfeld zwischen psychometrischen Qualitätsanforderungen von Testaufgaben und den Kriterien einer neuen Aufgabenkultur bei Lernaufgaben. Abschließend wird ein Rahmenmodell für empirische Studien über die Struktur naturwissenschaftlicher Kompetenz vorgestellt und mit Forschungsfragen für fachdidaktische Studien verbunden.

Abstract

With the introduction of national educational standards for the sciences, the modelling of scientific competence has become an important research topic in Germany. This paper differentiates between norm-oriented and descriptive, evidence-based models on the one hand and between structure models and developmental models on the other. Examples are given. An important issue of structure models is how many and which dimensions are to be included. The quality of scientific competence is usually graded on hierarchical levels, where multi-dimensional knowledge has a higher status than functional knowledge. This assumption is not unanimously supported by data about item difficulties. Research about the structure and the development of students' expertise depends on the development of items that meet psychometric standards. Learning tasks which are necessary for the development of competence have to meet different criteria. The demands on test items are critically reflected. Consequently, a set of topics for science education research are finally presented in connection with a framework model for the structure of students' scientific competence.

1 Fachbezogene Kompetenz

Modelle für die Beschreibung fachbezogener Kompetenz gewinnen in Deutschland im Zusammenhang mit der Verabschiedung der nationalen Bildungsstandards (NBS) zunehmend an Bedeutung. Für Mathematik, Deutsch und Englisch ist die Entwicklung von darauf abgestimmten Verfahren zur Messung von Schülerleistungen bzw. der Leistungen des Bildungssystems (System Monitoring; Klieme et al. 2003, 82) angelaufen. Im Hintergrund stehen bei den Naturwissenschaften die Ergebnisse internationaler Schulleistungsstudien TIMSS (Third International Mathematics and Science Study,

Beaton et al. 1996; Mullis et al. 1998) und PISA (Programme for International Student Assessment; z. B. Baumert et al. 2001). Während bei TIMSS die curriculare Validität das wesentliche Kriterium für die Konstruktion und Auswahl der Testaufgaben darstellte, orientierten sich die internationalen Tests von PISA zur naturwissenschaftlichen Grundbildung an einem übergeordneten Modell naturwissenschaftlicher Grundbildung („Scientific Literacy“, Baumert et al. 2000). Die Testitems wurden jedoch noch nicht systematisch modellbasiert generiert, sondern nachträglich unterschiedlichen Niveaustufen zugewiesen.

* In Zusammenarbeit mit Ingo Eilks (Universität Bremen, Didaktik der Chemie) und Barbara Moschner (Universität Oldenburg, Institut für Pädagogik)

Im Zusammenhang mit der Formulierung von Bildungsstandards weisen Klieme et al. (2003) Kompetenzmodellen die Funktion der Vermittlung zwischen abstrakten Bildungszielen und konkreten Aufgabenstellungen zu. Zugrunde gelegt wird das von Weinert (2001) ausgearbeitete umfassende Verständnis von Kompetenz als die „bei Individuen verfügbaren oder von ihnen erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen, motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (s. a. OECD 2003). Es umfasst sieben „Facetten“: Fähigkeit, Wissen, Verstehen, Können, Handeln, Erfahrung und Motivation. Weinert (2001) plädiert für eine pragmatische Konzentration auf erlernbare, anforderungsspezifische Kompetenzen und für eine Ausklammerung allgemeiner kognitiver Fähigkeiten (z.B. Fähigkeiten zum Memorieren oder allgemeine Problemlösefähigkeiten).

Wichtig ist die Abgrenzung des Kompetenzbegriffs sensu Weinert vom Ansatz der überfachlichen Kompetenzen oder auch „Schlüsselqualifikationen“, der über die Berufsbildung in den achtziger und neunziger Jahren großen Einfluss auf die Debatte über Bildungsziele hatte und mit den Kategorien der sozialen, personalen, Methoden- und Sachkompetenz zum einleitenden Strukturierungsmerkmal vieler Lehrpläne geworden ist (z.B. Thillm 1998). Als nach den Ergebnissen internationaler Vergleichsstudien der Bedarf nach einem systematischen Erfassen von Leistungen zunehmend deutlicher wurde und durch empirische Untersuchungen gezeigt werden konnte, dass etwa die Problemlösefähigkeit in einem bestimmten Gegenstandsbereich wesentlich vom gegenstandsbezogenen Wissen abhängt (s. z. B. Friege & Lind 2003), verschob sich der Akzent wieder stärker auf den fachbezogenen Kompetenzerwerb.

Die oben angeführte Weinertsche Definition von Kompetenz wird bei der Umschreibung dieses Konstrukts sehr häufig zitiert. Während die Eingrenzung auf anforderungsspezifische Kompetenzen Beachtung findet, hat Weinerts

Forderung nach der handlungsorientierten Einbeziehung motivationaler und volitionaler Komponenten der Kompetenz („A competence is not reducible to its cognitive dimension“; OECD 2003, 2) zumindest in der Praxis der Entwicklung von Testverfahren für Kompetenzen kaum Berücksichtigung gefunden. Ein Grund liegt sicherlich in der schwierigen Frage, wie man mit vertretbarem Aufwand Motivation und Handlungsbereitschaft in quantitativen Studien mit großen Probandengruppen in bestimmten Anforderungssituationen zusammen mit den erforderlichen kognitiven Komponenten standardisiert erfasst. Solche Tests werden zudem nicht in realen Anforderungssituationen durchgeführt, sondern in fiktiven Situationen. Ein Schüler, der eine Aufgabe zum elektrischen Stromkreis bearbeitet, tut dies in der Testsituation nicht, um einem realen Fehler seiner Fahrradbeleuchtung nachzuspüren, sondern um die Testaufgabe zu lösen. Es bleibt also offen, ob er in einer entsprechenden realen Anforderungssituation motiviert und willens sein wird, sein Wissen über Stromkreise anzuwenden, um das Problem zu lösen, auch wenn er über die entsprechenden Fähigkeiten verfügt. Für empirische Studien sollte daher genau ausgewiesen werden, welche Aspekte der Weinertschen Definition erfasst werden sollen und können.

Schließlich müsste zur Erfassung des gesamten Spektrums naturwissenschaftlicher Denk- und Handlungsweisen die Frage gestellt werden, ob nicht die Einschränkung auf „kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten“ ebenfalls einen bedeutsamen Aspekt vernachlässigt, nämlich das tatsächliche praktische, manuelle Ausführen von überwiegend experimentellen Untersuchungen. Diese Fertigkeiten sind nicht mit einfachen Paper und Pencil Tests zu erfassen. Anregungen für entsprechende Aufgaben finden sich z.B. beim TIMSS Performance Assessment Text (Harmon et al. 1997) und bei Mie (2002).

2 Kompetenzmodelle

Die Beschreibung von anforderungs- bzw. domänenbezogenen Kompetenzen, deren Erlangung durch Lernsituationen unterstützt werden

soll, erfordert eine Systematik oder mit anderen Worten ein tragfähiges und für Messung und Lernen umsetzbares Kompetenzmodell.

2.1 Begriffliche Differenzierungen

Für eine Beschäftigung mit Kompetenzmodellen sind die beiden folgenden Unterscheidungen hilfreich (vgl. Abb. 1):

1. Kompetenzstrukturmodelle versus Kompetenzentwicklungsmodelle (Klieme et al. 2003 sprechen von „Komponentenmodellen“ und „Stufenmodellen“, s.a. Hammann 2004);
2. *normative* Modelle versus *deskriptive* Modelle.

Unter Einbeziehung der zweiten Unterscheidung definieren wir Kompetenzstrukturmodelle folgendermaßen:

- 1) Ein *normatives* Kompetenzstrukturmodell ist das Gefüge einer nach Dimensionen (z.B. Kompetenzbereiche, Kompetenzausprägungen) gegliederten Beschreibung der (kognitiven) Voraussetzungen, über die ein Lernender verfügen soll, um Aufgaben und Probleme in einem bestimmten Gegenstands- oder Anforderungsbereich lösen zu können. (vgl. Klieme et al. 2003, 74)
- 2) Ein *deskriptives* Kompetenzstrukturmodell ist das Gefüge einer nach Dimensionen gegliederten Beschreibung eines „typischen“ Musters (kognitiver) Voraussetzungen, mit dem man das Verhalten von Lernenden beim Lösen von Aufgaben und Problemen in einem bestimmten Gegenstands- oder Anforderungsbereich rekonstruieren bzw. beschreiben kann.

Normative Modelle dürfen nicht allein aus fachlichen Bildungszielen abgeleitet werden. Sie sollen vielmehr eine theoretische Fundierung aus der Lernpsychologie aufweisen. Ein deskriptives Modell bedarf der Absicherung durch empirische fachdidaktische und lernpsychologische Forschung. Derzeit werden normative Modelle häufig allein aus der Sach-

struktur des Gegenstands- oder Anforderungsbereiches begründet. Dass diese nicht mit tatsächlichen Befunden, beispielsweise von Konzeptentwicklungen, korrelieren, haben zahlreiche Untersuchungen aus der Conceptual Change Forschung gezeigt. Empirisch untermauerte deskriptive Modelle liegen jedoch kaum vor. Helmke und Hosenfeld (2004, 57) sehen den Stand von Forschung und Entwicklung noch weit entfernt von den in der Klieme-Expertise (2003) formulierten Gütekriterien für Standards: „Weder sind die zur Zeit verfügbaren Versionen der Bildungsstandards aus umfassenden und fachdidaktisch akzeptierten Kompetenzmodellen abgeleitet (...) noch gibt es bereits in allen relevanten Inhaltsbereichen Kompetenzmodelle, die den o.g. Anforderungen – insbesondere theoretisch stimmige entwicklungs- und lernpsychologisch fundierte Stufenkonzepte – genügen.“

In Ermangelung theoretisch begründeter und empirisch abgesicherter Kompetenzmodelle ist man bei der Testentwicklung auf das Sichten und nachträgliche Kategorisieren von Items angewiesen. Es besteht also großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf. In einer Langzeit-Forschungsperspektive, die sicherlich mehr als fünf Jahre umfasst, ist anzustreben, dass deskriptive und normative Modelle zur Struktur naturwissenschaftlicher Kompetenz zunehmend zusammenwachsen. Normative Modelle, wie sie in den nationalen Bildungsstandards vorliegen, sind mit den Befunden empirischer Studien abzugleichen. Das betrifft in erster Linie die Angemessenheit ihrer Strukturen. Aber auch die damit verbundenen Leistungserwartungen müssen empirisch geprüft werden.

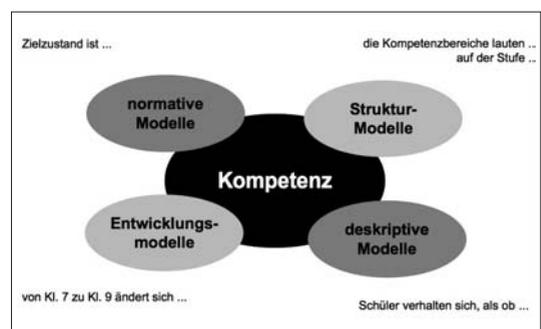


Abb. 1: Typen von Kompetenzmodellen

Dies ist kein Plädoyer für eine Orientierung von Standards an vorhandenen Kompetenzen. Normen behalten als Zielformulierungen auch bei Diskrepanzen zu den tatsächlichen Fähigkeiten der Lernenden ihre Bedeutung. Standards können ihre Orientierungsfunktion dann erhalten, wenn sie *erreichbare* Teilziele als Bestandteile übergeordneter, normativ und empirisch begründeter Zieldimensionen ausweisen.

Kompetenzentwicklungsmodelle machen Annahmen darüber, in welcher Weise sich Kompetenzstrukturen herausbilden. In einer zeitlichen Perspektive werden oftmals Erwartungen über das Erreichen bestimmter Kompetenzen nach Altersstufen bzw. Schulstufen formuliert (z. B. wann sich ein Verständnis naturwissenschaftlicher Modelle entwickeln kann). In einer strukturellen Perspektive wird die innere Dynamik der Kompetenzentwicklung in den Blick genommen. Auch bei Entwicklungsmodellen lassen sich präskriptiv-normative Modelle und empirisch-deskriptive Modelle unterscheiden. So geht es bei hierarchischen Modellen, die von einer gestuften Kompetenz ausgehen, z. B. um die Frage, unter welchen sachlogischen Bedingungen (Lernumgebung, Lernerfahrungen) der Übergang auf eine höhere Stufe möglich wird. Auch Lehrplänen liegt ein implizites Entwicklungsmodell zugrunde. Dieses begründet sich jedoch überwiegend bis ausschließlich aus der historischen Entwicklung einer Wissenschaftsdisziplin. Um tatsächliche Entwicklungen beschreiben und gezielt planen und fördern zu können, muss die fachliche Perspektive jedoch mit Voraussetzungen der Lernenden und weiteren Einflussfaktoren auf das Lernen (z. B. situative Bedingungen) verknüpft werden.

2.2 Kompetenzstrukturmodelle

Das Kategoriengerüst, mithilfe dessen die zu erreichenden Kompetenzen (normativ) bzw. die erworbenen Kompetenzen (deskriptiv) geordnet und dargestellt werden, kann explizit ausformuliert sein oder lediglich implizit vorliegen. Typische ausformulierte Kategorien in Fachlehrplänen sind z.B. Fachwissen und Fachmethoden. Das Fachwissen wird in

der Regel nach Inhaltsbereichen gegliedert (Mechanik, Elektrizitätslehre, Wärmelehre in der Physik, Redoxreaktionen, Säuren und Basen etc. in der Chemie usw.). Diese werden jedoch in den vorliegenden Lehrplänen als zu unterrichtende Themen formuliert, nicht als im Sinne eines Kompetenzmodells systematisch messbare, aufeinander aufbauende Kompetenzen.

Nationale Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss

Die nationalen Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer, die im Auftrag der Kultusministerkonferenz erstellt wurden (Mittlerer Schulabschluss, KMK 2005), arbeiten mit einem normativen Kompetenzstrukturmodell (vgl. Abb. 2). Es geht von vier *Kompetenzbereichen* (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung) mit jeweils drei *Anforderungsbereichen* (die man als Stufen interpretieren kann) aus. Bezogen auf den Kompetenzbereich Fachwissen sind das a) wiedergeben, b) anwenden und c) transferieren/verknüpfen.

Das Fachwissen wird nach zentralen Konzep-

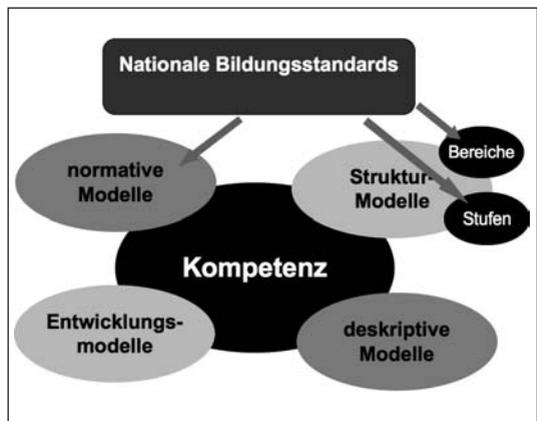


Abb. 2: Die nationalen Bildungsstandards als normatives Strukturmodell

ten der jeweiligen Fächer aufgeschlüsselt. Für das Fach Physik lauten die vier *Basiskonzepte* Energie, Wechselwirkung, System und Materie. Auch die Einheitlichen Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung (EPA; KMK 2004) sind nach Kompetenzbereichen und Kompetenz-

stufen aufgebaut. Während für die Chemie die gleichen Basiskonzepte lediglich weiter differenziert werden (Stoff-Teilchen, Struktur-Eigenschaft, Energie und chemische Reaktionen als Donator-Akzeptor, chemisches Gleichgewicht und Reaktionsgeschwindigkeit), unterscheidet sich die Inhaltsstruktur in der Physik zwischen den Bildungsstandards und den Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (Leisen 2004): In den EPA werden als obligatorische *Sachgebiete* Felder, Wellen, Quanten und Materie ausgewiesen. Ursachen sind andere fachliche Strukturierungen des Unterrichts, vermutlich aber auch unterschiedliche Annahmen über sinnvolle fachliche Grobstrukturierungen zwischen den jeweiligen Autorengruppen.

Auch in vielen anderen Ländern gibt es systematische Aufstellungen dessen „what students should know, understand, and be able to do in the natural sciences“ (Science Content Standards i. R. der amerikanischen National Science Education Standards, NRC 1996, S. 6; s. a. Project 2061, Rutherford & Ahlgren 1990). Teilweise werden die Elemente unterschiedlichen Altersstufen zugeordnet, damit wird bereits ein implizites Kompetenzentwicklungsmodell verwendet (z. B. National Curriculum for England).

Scientific Literacy

Das der aktuellen Bildungsdiskussion zugrunde gelegte Modell der Scientific Literacy (Naturwissenschaftliche Grundbildung, s. z. B. Gräber et al. 2002) von Bybee (1997) differenziert keine Inhalts- oder Kompetenzbereiche, es benennt jedoch vier Stufen einer „naturwissenschaftlicher Grundbildung“ (Abb. 3):

- *nominale* Scientific Literacy (SL): Kenntnis naturwissenschaftlicher Themenstellungen und Begriffe, die jedoch im wissenschaftlichen Sinne falsch verstanden werden
- *funktionale* SL: Faktenwissen, korrekte Verwendung von naturwissenschaftlichem Vokabular und von Formalismen
- *konzeptionelle und prozedurale* SL: Verständnis zentraler naturwissenschaftlicher Ideen und Verfahren, Herstellung von Beziehungen zwischen Fakten, Begriffen und Prinzipien

- *multidimensionale* SL: Verständnis der Besonderheiten naturwissenschaftlichen Denkens; Fähigkeit zur Einordnung in soziale und kulturelle Zusammenhänge.

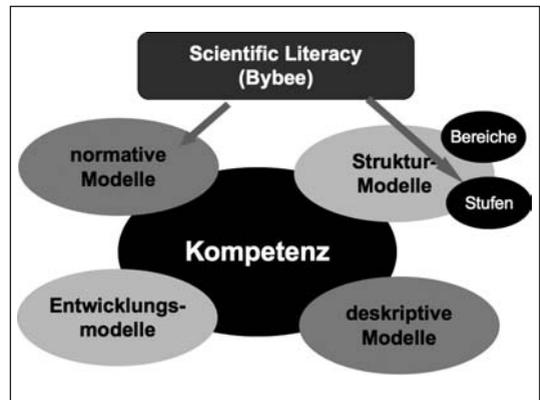


Abb. 3: Einordnung des Modells „Scientific Literacy“ von Bybee (1997) als normatives Stufenmodell

Das post hoc gewonnene Kompetenzmodell bei PISA (vgl. Prenzel et al. 2001, 204) orientiert sich an den Arbeiten von Bybee. Es verwendet jedoch fünf Stufen. Gegenüber dem ursprünglichen Grundbildungs-Modell von Bybee (1997) fehlt beim PISA-Modell am oberen Ende die Stufe der „multidimensionalen Grundbildung“, mit der auf einer Meta-Ebene Beziehungen zwischen den Naturwissenschaften und anderen Disziplinen hergestellt werden können. Dafür werden die Graduierungen „funktional“ und „konzeptuell und prozedural“ in jeweils zwei Bereiche unterteilt. Die Gründe liegen bei PISA in der Anpassung des Modells an die grundlegende naturwissenschaftliche Bildung der Sekundarstufe I und das empirisch ermittelte Kompetenzspektrum, bei dem multidimensionale Kompetenz praktisch nicht vorkommt.

Die fünf Stufen werden auf vier Komponenten (so genannte „Prozesse“ bzw. mentale Aktivitäten) naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens bezogen.

- naturwissenschaftliche Fragestellungen und Untersuchungsmethoden erkennen und anwenden
- mit Evidenz (Daten) umgehen

- naturwissenschaftliche Erkenntnisse kommunizieren
- naturwissenschaftliche Konzepte anwenden.

In dieser Strukturierung wurde aus den PISA-Daten das normative Bybee-Modell in Richtung auf ein deskriptiv-empirisches Modell weiter entwickelt.

2.3 Passung normativer Kompetenzstrukturmodelle auf empirische Daten

Normative Kompetenzstrukturmodelle sind, wie dargestellt, häufig fachsystematisch geprägt. Es bleibt offen, ob eine solche Struktur geeignet ist, um das tatsächlich vorfindbare Fähigkeitsmuster von Schülern zu erfassen. Wie fachsystematisch sind die Struktur und der Auflösungsgrad des Fähigkeitsmusters aufseiten der Schüler? Bilden sich naturwissenschaftliche Kompetenzen bei Schülern fachspezifisch heraus – und dann auch noch fachgebietsspezifisch? Belege hierfür gibt es kaum. In den internationalen PISA-Studien zur naturwissenschaftlichen Kompetenz haben eindimensionale Beschreibungsmodelle eine überraschend gute Passung zu den erhobenen Daten gezeigt.

Das an Bybee (1997) angelehnte präskriptive Modell der Scientific Literacy spannt bei PISA die Bandbreite des erwarteten Kompetenzspektrums auf. Allerdings waren die internationalen PISA-Tests nicht konsequent hinsichtlich einer Variation von Inhaltsbereichen und kognitiven Prozessen konstruiert. Um über eine systematische Variation von Aufgabenmerkmalen und Inhaltsbereichen genaueren Aufschluss über naturwissenschaftliche Teilkompetenzen zu gewinnen, wurden in den nationalen deutschen Ergänzungen zu PISA 2000 und PISA 2003 eigene Tests entwickelt (Senkbeil et al. 2005; Rost et al. 2005). Zu neun Inhaltsbereichen, von Energieumwandlung (Physik) über chemische Verbindungen bis zur Fotosynthese (Biologie) wurden jeweils Items aus sieben Prozesskategorien entwickelt: a) Umgang mit

Zahlen, b) Umgang mit Graphen, c) Umgang mit mentalen Modellen, d) konvergentes Denken, e) divergentes Denken, f) Bewerten und g) Sachverhalte verbalisieren. Das Lösungsverhalten wurde mit mehrdimensionalen Rasch-Modellen unterschiedlicher Komplexität zu erfassen versucht. Die beste Annäherung ergaben Modelle mit sieben Dimensionen (entsprechend den kognitiven Teilkompetenzen), oder noch besser mit 10 Dimensionen (7 Teilkompetenzen plus 3 Fächer). Ein einfaches Modell mit einer Zusammenfassung von a) bis d) sowie e) bis g) zu zwei Dimensionen war erklärungsreicher als ein auf drei Fach-Dimensionen beruhendes Modell. Die Autoren schließen daraus, dass im Vergleich von grundlegenden kognitiven Prozessen mit fachlichen Wissensbeständen die kognitiven Anforderungen für die Struktur naturwissenschaftlicher Kompetenz bedeutsamer sind als die Inhaltsbereiche oder Fächer. Kritisch anzumerken ist dazu jedoch, dass die Anzahl an Items bislang nicht wirklich umfassend und differenziert unterschiedliche Inhaltsbereiche erfassen konnte. Hier wird PISA 2006 u. U. umfassendere Auskünfte geben.

Die Übertragbarkeit der Struktur normativer Modelle auf die Beschreibung empirisch ermittelter Fähigkeitsgefüge muss in der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung noch eingehend untersucht werden. Normative Modelle können den Ausgangspunkt für empirische Studien darstellen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass deskriptive Modelle sich in ihrer Struktur von normativen Modellen unterscheiden. Darauf weisen z.B. die oben genannten Befunde zur Bedeutung kognitiver Anforderungen für das Antwortverhalten hin. Auch die Frage, ob Schülerinnen und Schüler ein nach Basiskonzepten strukturiertes Wissen entwickeln, wie in den Nationalen Bildungsstandards Physik explizit gefordert (Standard F1), bleibt zu untersuchen. Dadurch würden normative Modelle keineswegs entwertet. Zur Strukturierung des Lernangebots und zur Erlangung von Zielklarheit behalten sie ihre Funktion (vgl. das Rahmenmodell von Helmke und Hosenfeld 2004, 62).

3 Kompetenzstufen – Graduierung von Kompetenz

Die Forderung nach Modellen mit gestufter Kompetenz ergibt sich in der Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards erkennbar aus dem von normativen Überlegungen gespeisten Wunsch nach Leistungsbewertung und Überprüfung:

„Kompetenzstufen werden ... in Form von unterschiedlich anspruchsvollen kognitiven Prozessen und Wissensanforderungen definiert, deren Beherrschung mit bestimmten Niveaus einer Kompetenzdimension korrespondiert. Sie sind der Schlüssel zur Konstruktion und Auswertung kriteriumsorientierter Tests, indem sie eine Alternative zur willkürlichen Setzung von Leistungsmarken auf einem Kontinuum bieten.“ (Klieme et al. 2003, 81)

Wenn in der Expertise von „Überprüfung“ die Rede ist, bezieht sich das zum einen – im Sinne von Konstruktvalidierung – auf die Überprüfung von Modellen und zum anderen auf die Überprüfung des Erreichens der Bildungsstandards durch die Lernenden. Letzteres setzt ein abgesichertes Konstrukt voraus:

„Empirische Untersuchungen mithilfe von Tests sind erforderlich, um zu prüfen, ob diese Modelle tatsächlich die Aspekte der Kompetenzen von Lernenden, ihre Niveaustufung und ggf. ihre Entwicklung angemessen widerspiegeln. Derartige Untersuchungen stellen die Voraussetzung für einen Einsatz der Testinstrumente in einem der drei folgenden Bereiche (System Monitoring, Schullevaluation, Individualdiagnostik, d. Verf.) dar und können daher auch der Phase der Testentwicklung zugerechnet werden.“ (Klieme et al. 2003, 82).

Es bleibt abzuwarten, wie sorgfältig die Modelle tatsächlich empirisch erforscht werden, bevor ein darauf basierendes Monitoring beginnt.

3.1 Zur Problematik des Stufen-Ansatzes

Beide unter Punkt 2.1 vorgestellten Definitionen vermeiden den Begriff „Kompetenzstufe“ und verwenden stattdessen „Kompetenzaus-

prägung“. „Stufe“ impliziert a) eine Wertigkeit und b) eine Schrittfolge auf dem Wege zu einer höherwertigen Kompetenz. Die NBS sprechen zwar von „Anforderungsbereichen“, greifen dann aber in der Konkretisierung der Anforderungsbereiche zum Kompetenzbereich „Fachwissen“ wieder auf die klassische, bereits seit langem aus den Einheitlichen Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung bekannten Stufen Reproduktion/Wiedergeben, Reorganisation/Anwendung und Transfer zurück (KMK 2004). Auch die Arbeiten in der Gruppe von Aufschnaiter unterstellen ein Stufenkonzept (s. u.).

Der Begriff „Kompetenzausprägung“ erlaubt dem gegenüber qualitative Beschreibungen der korrespondierenden Fähigkeiten, die nicht zwangsläufig in eine Ordinalskala eingereiht sind. Das Niveau und die Wertigkeit der erreichten Kompetenzen können somit von der Qualität (der Ausprägung) und der darin erreichten Expertise festgelegt werden.

Wir veranschaulichen das an einem Beispiel: Fachlich-funktionales Wissen in Form des Faktenwissens, der Beherrschung sicherer formaler Routinen zur Lösung quantitativer Probleme oder in der Anwendung experimenteller Verfahren hat in bestimmten naturwissenschaftlichen Anwendungssituationen – etwa bei der Fehlersuche, bei komplizierten mathematischen Kalkülen oder der exakten Bestimmung von chemischen Zusammensetzungen – eine hohe Wertigkeit. Das Fehlen solcher Fähigkeiten kann durch die Fähigkeit zu konzeptuellen Überlegungen und Transferfähigkeit nicht kompensiert werden, vielmehr könnte letzteres sogar eine Voraussetzung für den erfolgreichen Erwerb komplexeren fachlich-funktionalen Wissens sein. Fachlich-funktionales Wissen wird in einem Stufenmodell jedoch in der Regel als niederwertig gekennzeichnet.

Stufenmodelle beruhen meist auf Rasch-Skalierungen von Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten. Eine Rechtfertigung für eine „Ab-Stufung“ der sicheren Anwendung von Routinen in komplizierten Fällen gegenüber begrifflichem Verständnis ist dann sinnvoll, wenn sich empirische Befunde wie der von

Klieme (2000) verdichten, nach denen man aufgrund eines diagnostizierten begrifflichen Verständnisses auf ebenfalls vorliegende formale Fähigkeiten schließen kann – umgekehrt jedoch nicht. Anderenfalls handelt es sich beim Primat der Reflexionsfähigkeit um eine aus dem Bildungsbegriff stammende Setzung, „dass die Verfügung über die intendierten Fähigkeiten erst vollständig ist, wenn sie die Fähigkeit zum Umlernen und Neulernen, systematisch gesehen die Fähigkeit zur kritischen Beobachtung der Welt und des eigenen Lernens einschließt“ (Klieme et al. 2003, 66).

3.2 Empirische Ergebnisse zu Kompetenzstufen

Klieme (2000) hat aus den TIMSS-Testergebnisse zur „voruniversitären Physik“ post hoc ein fünfstufiges Kompetenzmodell konstruiert. Ausgehend von einem Basiswert von 450 Fähigkeitspunkten wurden im Abstand von einer Standardabweichung (100 Punkte) vier weitere Stufen formuliert und jeweils anhand charakteristischer Aufgaben beschrieben, die von den Schülern mit diesem Fähigkeitsgrad hinreichend sicher gelöst werden konnten. Die Aufgabenstellungen an den Übergängen zwischen den zunächst quantitativ eingezogenen Grenzen ließen sich inhaltlich sinnvoll charakterisieren. So entstanden folgende fünf Stufen („Proficiency Levels“; Klieme 2000, 17 f.):

- I Lösen von Routineaufgaben mit Mittelstufenwissen
- II Anwendung von Faktenwissen zur Erklärung einfacher Phänomene der Oberstufenphysik
- III Anwendung physikalischer Gesetze (Größengleichungen) zur Erklärung experimenteller Effekte auf Oberstufenniveau
- IV Selbständiges fachliches Argumentieren und Problemlösen
- V Überwinden von Fehlvorstellungen.

Das Überwinden von Fehlvorstellungen stellt somit das höchste Niveau einer Rasch-skalierten Kompetenz in voruniversitärer Physik dar. Schüler, die Aufgaben des korrespondierenden Schwierigkeitsniveaus lösen können, verfügen

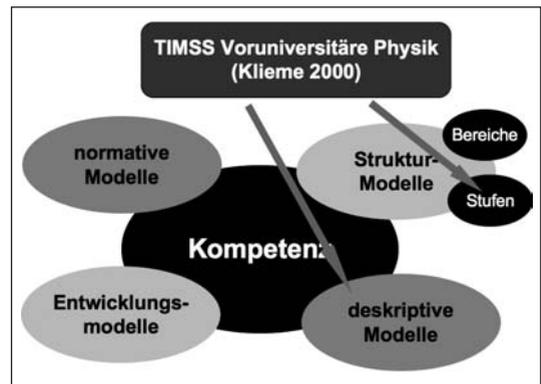


Abb. 4: Interpretation der TIMSS-Daten zur voruniversitären Physik als Beispiel für ein deskriptives Kompetenzstufenmodell (Klieme 2000).

somit gleichzeitig auch über formales Routinewissen.

Im Unterschied zum Bybee- bzw. PISA-Modell beruht dieses Modell nicht auf einer Grundbildungskonzeption, sondern ist allein aus den empirischen Daten und den vorhandenen Aufgabentypen extrahiert. Demgemäß können Kompetenzausprägungen, die nicht in Aufgaben enthalten waren, auch nicht im Modell erscheinen. Andererseits konnte die Stufe „Überwinden von Fehlvorstellungen“ nur deshalb ermittelt werden, weil eine ausreichende Anzahl entsprechend konstruierter Aufgaben im Test enthalten waren.

Die Frage nach der *Anzahl* von Stufen oder Ausprägungen ist weder empirisch eindeutig zu klären – Kliemes (2000) Methode des *Proficiency Scaling* ist zwar psychometrisch fundiert, jedoch hinsichtlich der Zahl der generierten Stufen offen – noch stringent aus Grundbildungskonzeptionen ableitbar (vgl. Bybee vier Stufen, PISA fünf Stufen). Es bedarf einer auf den Zweck bezogenen Entscheidung. Für ein Modell, das in die Debatte um Bildungsstandards mit der Unterscheidung nach Mindeststandard, Regelstandard und erweitertem Standard eingreifen soll und neben seiner theoretischen Ableitbarkeit in erster Linie praktikabel sein muss (z.B. für Lehrkräfte), haben Schecker, Fischer und Wiesner (2004) für die gymnasiale Oberstufe ein dreistufiges Modell entwickelt. Vergleichbare Niveaus werden in den Empfehlungen des Deutschen Vereins

zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU 2001) zur Gestaltung von Physik-Lehrplänen vorgeschlagen.

Empirisch gesehen bleibt es also eine zentrale Frage, ob es gelingt, auf Grundlage eines Stufenmodells Aufgaben so zu konstruieren, dass die Fähigkeit zur Lösung von Aufgaben eines modellbasiert höheren Niveaus mit genügender Sicherheit auf eine entsprechend höhere Leistungsfähigkeit schließen lässt (so genannte „kriteriumsorientierte Tests“). Klieme (2000) konnte die TIMSS-Aufgaben in der nachgelagerten Analyse entsprechend gruppieren und die Gruppen inhaltlich schlüssig kennzeichnen. Beim Naturwissenschaftstest von PISA 2000 ließen sich die den postulierten Kompetenzstufen zugeordneten Itemcluster hingegen nicht mit den tatsächlich ermittelten Schwierigkeitsclustern in Übereinstimmung bringen (s. Rost 2005, 665).

Friege und Lind (2003) haben die Bedeutung allgemeiner, fachübergreifender und fachspezifischer Kompetenzen für erfolgreiches Problemlösen im Fach Physik empirisch untersucht. Probanden waren Schülerinnen und Schüler aus Physik-Leistungskursen. Es zeigte sich, dass die Problemlöseleistung i. W. durch das domänenspezifische Faktenwissen bestimmt wird. Auch deklaratives Wissen aus anderen physikalischen Inhaltsbereichen als dem des Problems war ein guter Prädiktor für Problemlösefähigkeit. Dies betont einmal mehr die Wertigkeit des fachlich-funktionalen Wissens.

4 Dimensionierung von Kompetenzmodellen

Die Frage nach der Anzahl der Dimensionen eines Kompetenzmodells kann man – analog zur Unterscheidung von normativen und empirischen Modellen – zum einen präskriptiv und zum anderen psychometrisch beantworten. Präskriptiv dienen die Dimensionen als Kategorien zur Strukturierung des Lehrangebots und zur Einordnung des erwarteten Lernergebnisses. Psychometrisch dienen Dimensionen der Aufklärung von Varianz in den Ergebnissen von Schülerleistungen.

Der Terminus „Dimension“ wird im Zusammenhang mit Kompetenzmodellen recht unterschiedlich verwendet. Wir verstehen unter Dimensionen die übergeordneten Strukturelemente eines Kompetenzmodells. Dimensionen werden nach „Komponenten“ untergliedert, aus denen sich gewissermaßen die „Koordinaten“ einer Kompetenz im n-dimensionalen Kompetenzraum ergeben. Wie in Abbildung 6 dargestellt, können zum Beispiel die Basiskonzepte als eine Dimension (Inhaltsdimension) und die auszuführenden Handlungen und Tätigkeiten in den Kompetenzbereichen als eine weitere (Handlungs-) Dimension betrachtet werden. Die Basiskonzepte stellen dabei die Komponenten der Inhaltsdimension dar. Die resultierenden Koordinaten können zur Präzisierung der Kompetenzen verwendet werden, die mit den Items eines Tests geprüft werden sollen.

4.1 Beispiele für Dimensionierungen

Eine Übersicht über vorliegende Kompetenzmodelle zeigt recht unterschiedliche Ansätze bei der Anzahl und inhaltlichen Kennzeichnung von Dimensionen naturwissenschaftlicher Kompetenz:

- Die Nationalen Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer fordern explizit, dass Kompetenzen neben einer Inhalts- auch eine Handlungsdimension aufweisen müssen. Die einzelnen Standards kombinieren daher (weitestgehend) diese beiden Dimensionen. Als Strukturmerkmale für die Einordnung der Standards werden vier Kompetenzbereiche verwendet, die von ihrer Bezeichnung her unter Umständen dahingehend irreführend wirken können, dass der erste Bereich mit „Fachwissen“ bezeichnet worden ist. Dieses Fachwissen ist weiter in Basiskonzepte als Komponenten unterteilt. Bezüglich der geforderten Handlungsdimension liegt für diesen Bereich aber noch Klärungsbedarf vor. Als dritte Dimension verwenden die NBS die Dimensionen „Anforderungsbereiche“. Die in den NBS angeführten Beispielaufgaben nennen jeweils Bezüge zu den Kompetenzbereichen, den Basiskonzepten und den Anforderungsbereichen.

- Die Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (KMK 2004) verwenden die gleichen Komponenten wie die NBS auf der Dimension „Kompetenzbereiche“ und ebenfalls eine dreistufige Dimension „Anforderungsbereiche“. An Stelle von Basiskonzepten werden „grundlegende fachliche Inhalte“ benannt: Feld, Welle, Quant und Materie.
- Die KMK-Expertise für ein Kerncurriculum „Physik in der gymnasialen Oberstufe“ (Schecker, Fischer & Wiesner 2004) arbeitet mit den beiden Dimensionen „Themenbereiche“ und „Kompetenzstufen“.
- Lehrpläne sind in der Regel nach der zentralen Dimension „Inhalte“ bzw. „Themen“ strukturiert. Beim Hamburger Rahmenplan Physik für die Gymnasiale Oberstufe (Hamburg 2004) kommt die Dimension „Anforderungen“ hinzu, die sich an der Bildungsstandards-Dimension „Kompetenzbereich“ orientiert. Die nordrhein-westfälischen Richtlinien von 1999 fügen zu den „Sachbereichen“ (Inhalte) die Dimensionen „Fachmethoden“ und „Kontexte“ hinzu. Die aktuellen Kernlehrpläne unterscheiden konzeptbezogene und prozessbezogene Kompetenzen.
- Bei PISA (s.o.) wird differenziert nach den Dimensionen „Prozesse“ (mit vier Komponenten naturwissenschaftlichen Arbeitens),

„Konzepte“ (vgl. „Basiskonzepte“ der NBS), „Anwendungsbereiche“ (Kontexte) und „Kompetenzstufen“ (fünfstufig).

- Das englische National Curriculum arbeitet mit den Dimensionen „programmes of study“ (Inhalte) und „levels“ (Kompetenzstufen).

4.2 Anzahl und Untergliederung der Dimensionen

Die Anzahl der Dimensionen und deren Untergliederung in Komponenten (auch Teildimensionen genannt) ist unter präskriptiven Aspekten pragmatisch zu entscheiden. Das Modell dient vorrangig zur Gliederung eines Lehrangebots als Orientierung für die Entwicklung von Lehrwerken oder der Gestaltung von Prüfungen. Im Hinblick auf die Adressatengruppe Lehrkräfte plädieren Schecker, Fischer und Wiesner (2004) bei der Formulierung von Bildungsstandards für eine Beschränkung auf drei Kompetenzstufen. Genauere Differenzierungen seien für die Zielgruppe Lehrkräfte nicht handhabbar. Verfolgt man jedoch den Anspruch, das aus Dimensionen und Komponenten aufgespannte Modell empirisch zu überprüfen oder in Surveys anzuwenden, dann erlangt die Komplexität des Modells große Bedeutung für die Anzahl der zu entwickelnden und in Tests einzusetzenden Aufgaben. Das Modell der NBS mit vier Kompetenzbereichen, vier Basiskonzepten und drei Kompetenzstufen (Anforderungsbereichen)

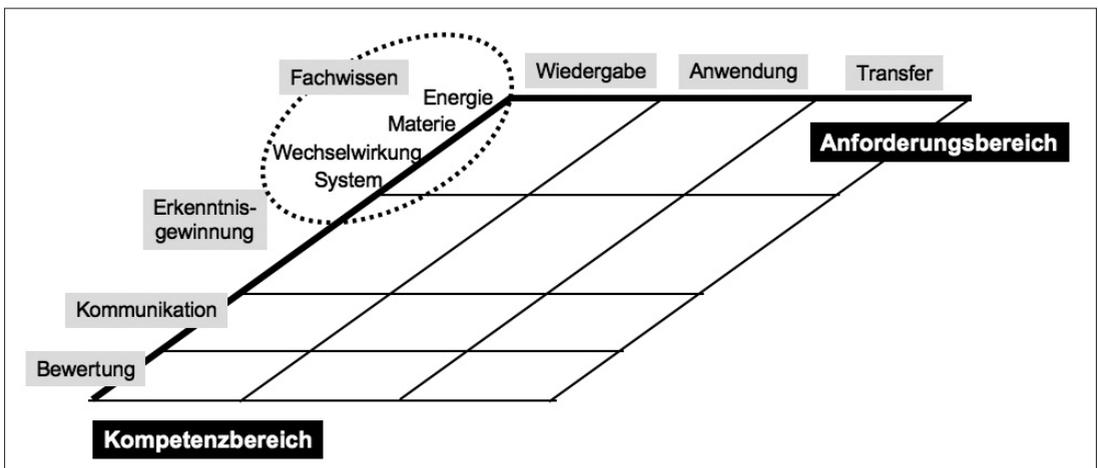


Abb. 5: Kompetenzmodell der Nationalen Bildungsstandards Physik (KMK 2005) mit zwei Dimensionen. (Die Graduierung Wiedergabe - Anwendung - Transfer gilt für die Komponente Fachwissen.)

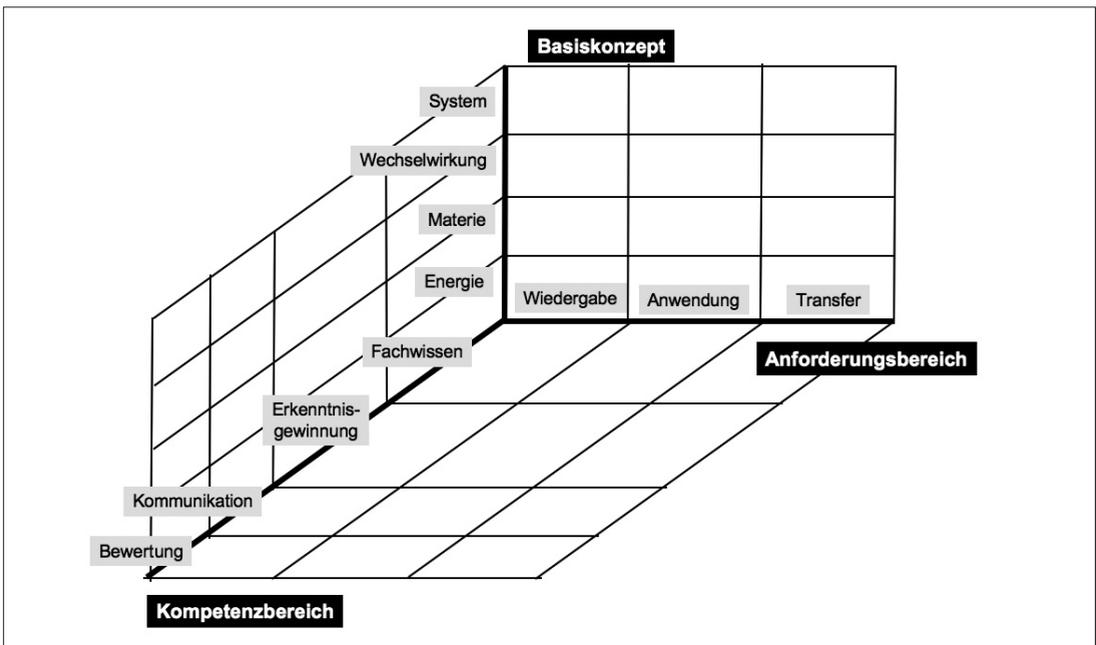


Abb. 6: Kompetenzmodell der Nationalen Bildungsstandards Physik (KMK 2005) mit Hervorhebung der Basiskonzepte als eigene, dritte Dimension.

umfasst – unter der Annahme, dass es inhaltlich Sinn macht, alle Kompetenzbereiche mit allen Basiskonzepten zu kreuzen – 48 Zellen einer dreidimensionalen Matrix. Jede weitere Dimension wie „Anwendungsbereiche/Kontexte“ erhöht dieses Produkt um einen weiteren Faktor.

Bisher gibt es keine empirischen Belege, dass ein solch komplexes Modell aus psychometrischer Sicht erforderlich ist. Friege und Lind (2003) sprechen von der Herausbildung einer „generellen physikalischen Kompetenz“. Spezialisten mit besonderen Interessen und Kompetenzen in bestimmten Gebieten der Physik seien untypisch. Operative Fähigkeiten (Intelligenz, Gedächtnisleistung, Verarbeitungsgeschwindigkeit) spielten für das Problemlösen eine untergeordnete Rolle (Friege & Lind 2003, 70). Eindimensionale Rasch-Skalierungen ergeben bei der psychometrischen Modellierung der Ergebnisse von Leistungstests oftmals schon gute Anpassungen an die Daten. Die Stufen physikalischer bzw. naturwissenschaftlicher Kompetenz beziehen sich bei eindimensionalen Modellen auf eine Skala, die aus einem Test mit Items aus

ganz unterschiedlichen Themenbereichen gewonnen wurde.

Auch Rost et al. (2005) fanden, dass bei PISA-E 2003 die Inhalte eine untergeordnete Rolle für die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz spielen. Dafür kommt nach Rost et al. den „kognitiven Teilkompetenzen“ deutlich größere Bedeutung zu. In unserer Systematik handelt es sich bei kognitiven Teilkompetenzen um Komponenten einer weiteren Dimension „kognitive Anforderungen“.

Klieme (2000, 66) fand in der Auswertung der TIMSS-Daten zur voruniversitären Physik allerdings, dass ein Rasch-Modell, in dem die fünf Themengebiete der Oberstufenphysik als eigene Dimensionen geführt werden, gegenüber einem eindimensionalen Modell (globale Physik-Fähigkeit) eine signifikant bessere Anpassung ergab. Aber auch hier liegen die Interkorrelationen – klammert man die Thermodynamik aus, für die es in der Oberstufe in Deutschland keinen inhaltlichen Konsens gibt – zwischen 0,59 und 0,78. Für die Analyse von Anforderungsmerkmalen und Kompetenzstufen verwendete Klieme trotz der schlechteren Passung ein eindimensionales Modell, da es für den

Zweck der Charakterisierung von Stufen physikalischer Kompetenz ausreichte.

Zu den drei Dimensionen „Kompetenzbereiche“ (Handlungsdimension), „Kompetenzstufen/Ausprägungen“ und „Basiskonzepte/Themenbereiche“ (Inhaltsdimension) kann aus fachdidaktischer Sicht als vierte Dimension eines Kompetenzmodells „Kontexte/Anwendungsbereiche“ hinzugenommen werden. Die Kontexte liefern Fragestellungen, die Basiskonzepte eine Deutungsmöglichkeit („naturwissenschaftliche Brille der Weltbetrachtung und –erklärung“). Die Abhängigkeit der Schülererklärungen vom jeweiligen Kontext wird u.a. in den Arbeiten zum Conceptual Change (z.B. Caravita & Hallden 1994) oder zum Urteilen und Bewerten beschrieben. Verbunden damit müssen sicherlich auch affektive Komponenten mit in die Betrachtung einfließen.

5 Kompetenzentwicklungsmodelle

Die Aufklärung der zeitlichen Entwicklung und der inneren Dynamik der Herausbildung naturwissenschaftlicher Kompetenz kann im Detail nur in Längsschnittstudien erforscht werden. Studien dazu liegen bisher kaum vor (z.B. Hammann 2004). Andererseits gibt es implizite Modelle der langfristigen Kompetenzentwicklung, die in Curricula normativ zugrunde gelegt werden. Im Folgenden werden ein präskriptiv-normatives und ein deskriptives Modell vorgestellt.

Beim englischen National Curriculum (QCA 2000) werden die Anforderungen und Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler von der Einschulung bis zum Ende der Schulpflicht vier Entwicklungsstadien zugeordnet („key stages“). Das letzte Stadium entspricht in etwa dem deutschen Mittleren Bildungsabschluss. In jedem Stadium werden vier Komponenten der Kompetenz in den Blick genommen („programmes of study“):

- naturwissenschaftliches Arbeiten („scientific enquiry“)
- Leben („life processes and living things“)
- Materie und ihre Eigenschaften („materials and their properties“)
- Physikalische Vorgänge („physical processes“)

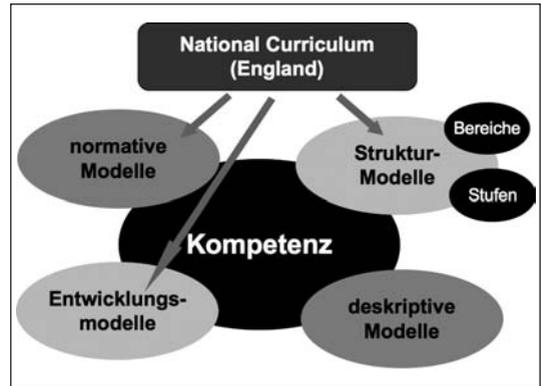


Abb. 7: Einordnung des National Curriculum for England als normatives Struktur- und Entwicklungsmodell

„Scientific enquiry“ deckt die drei Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewerten der KMK Bildungsstandards ab. Die anderen drei Programme – Leben, Materie und physikalische Prozesse – können der Komponente „Fachwissen“ der in Deutschland jeweils fachbezogenen Bildungsstandards zugeordnet werden. Da in England bis zum Mittleren Schulabschluss überwiegend das integrierte Fach „Science“ unterrichtet wird, gibt es keine getrennten Standards für die drei Naturwissenschaften. Eine fachstrukturelle Ebene ist in den drei letzten Spiegelstrichen dennoch erkennbar.

Für jedes Stadium und jede Komponente werden die zu erwerbenden Kompetenzen im Zusammenhang mit Inhalten bzw. Methoden detailliert ausformuliert. Es gibt insgesamt neun Stufen („levels“). Das Spektrum erstreckt sich von einfachen Erklärungen von Phänomenen (Stufe 1 bis 3) über quantitative Betrachtungen (Stufe 6/7) bis zum Verständnis des Nutzens von Modellen (Stufe 8+). Über Zielvorgaben („attainment targets“) gibt das National Curriculum an, welche Stufen am Ende bestimmter Entwicklungsstadien erreicht werden sollen.

Selbst wenn man davon ausgeht, dass Stufen naturwissenschaftlicher Kompetenz sinnvoll hierarchisch zu beschreiben sind, wie es etwa Hammann (2004) und andere für den Bereich des Vergleichens und Experimentierens gezeigt haben, 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? Ein Beispiel: Kann man den physikalischen Kraftbegriff wirklich verstehen, ohne ihn explizit vom Energiekonzept abgrenzen zu können? Auch für fachlich-funktionales und konzeptuelles Wissen sind Abhängigkeiten denkbar – etwa der Art, dass ein erfolgreiches Anwenden von Routinen ein gewisses Maß von Verständnis von Wirkungszusammenhängen voraussetzt. Studien aus der Conceptual Change Forschung weisen zudem darauf hin, dass eine Anwendung von Erklärungskonzepten stark situativ ist und von Aufgabe zu Aufgabe unterschiedlich sein kann (Nieswandt 2001), so dass sich die Frage stellt, ob entsprechende Kompetenzen überhaupt linear entwickelt werden oder es vielmehr fließende zeitliche Übergänge zwischen verschiedenen Kompetenzausprägungen gibt (siehe auch Punkt 3.1).

In der Gruppe von Aufschnaiter (Universität Bremen; Zusammenfassung in Aufschnaiter 2003) wurden empirische Detailstudien des Verhaltens von Lernenden bei der Bearbeitung theoretischer und experimenteller physikalischer Aufgabenstellungen durchgeführt. Die Perspektive der Kompetenzentwicklung entfaltet sich zum einen in der Untersuchung der zeitlichen Dynamik von Lehr-Lernprozessen in einzelnen Unterrichts- oder Lernlaborsituationen und zum anderen im Vergleich unterschiedlicher Probandengruppen, von Schülern der Sekundarstufe I bis zu fortgeschrittenen Studierenden der Physik in einem bestimmten physikalischen Themenbereich (Elektrostatik).

Die Arbeiten münden in ein Modell der Dynamik von Lehr-Lern-Prozessen, in dem Bedeutungsentwicklungszüge bis zu Stufen unterschiedlicher Komplexität des Handelns und Denkens durchlaufen werden (von der Kon-

struktion von Objekten bis zur Prinzip- und Systemebene). Die Ergebnisse zeigen, dass

- das Erreichen einer höheren Komplexitätsstufe (z.B. das Erkennen von regelhaften Zusammenhängen zwischen physikalischen Sachverhalten) eine breite Erfahrungsbasis auf der darunter liegenden Stufe voraussetzt (hier des Operierens mit einzelnen Sachverhalten in vielfältigen Kontexten);
- Lernprozesse in einem neuen inhaltlichen Teilgebiet stets das Durchlaufen hierarchisch geordneter Komplexitätsniveaus des Handelns und Denkens erfordern.

Die Entwicklung begrifflichen Verständnisses physikalischer Sachverhalte entwickelt sich anhand dreier Dynamiken (vgl. Aufschnaiter 2003, 9):

- Übergang von explorativem über intuitiv regelbasiertes Vorgehen bis zur expliziten Formulierung von Konzepten.
- Erweiterung der inhaltlichen Breite des Verständnisses: Es werden mehr inhaltliche Aspekte innerhalb eines Gedankenganges zusammen gebracht.
- Wechsel der Erfahrungsbasis zu neuen Regeln und darauf bezogenen Konzeptualisierungen.

Zuwachs an Kompetenz lässt sich in dem Modell der Gruppe von Aufschnaiter durch die Konsequenz und Sicherheit beschreiben, mit der die Bottom-Up-Prozesse der Bedeutungs-

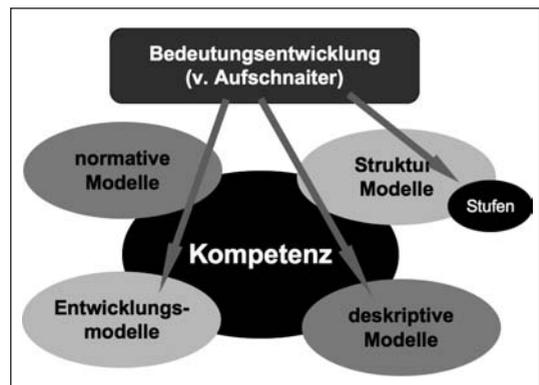


Abb. 8: Einordnung des Lernmodells der Gruppe von Aufschnaiter als deskriptives Struktur- und Entwicklungsmodell

entwicklung durchlaufen werden (Zügigkeit und Systematik des Wechsels zwischen Inhaltssegmenten, Erreichen höherer Stufen der Komplexität; vgl. Saniter 2003, 286).

6 Rahmenmodell für Kompetenzstrukturen

Als Planungsgrundlage für empirische Studien zur Struktur naturwissenschaftlicher Kompetenz wurde in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe der Autoren mit Ingo Eilks (Chemiedidaktik, Universität Bremen) und Barbara Moschner (Pädagogik, Universität Oldenburg) ein Kompetenzmodell mit zunächst fünf Dimensionen erarbeitet (s. Tab. 1). Sie lauten: „Inhaltsbereich/Basiskonzept“, „Prozess/Handlung“, „Kontext“, „Ausprägung“ und „kognitive Anforderung“. Ein Bezugspunkt für die Dimensionierung des Modells sind die Nationalen Bildungsstandards für die drei Naturwissenschaften (KMK 2005), das wir allerdings in einigen Bereichen erweitert haben (s. u.). Das Modell soll hieran anschlussfähig sein und zu einer kritischen Überprüfung der Nationalen Bildungsstandards beitragen können. In unserer

Systematik von Kompetenzmodellen (s. Punkt 2.1) handelt es sich um die erste Näherung eines deskriptiven Modells, das einerseits noch von normativen Modellen geprägt ist, andererseits jedoch empirische Befunde über Schülerkompetenzen berücksichtigt.

Im Unterschied zu den Nationalen Bildungsstandards stellen wir damit die Dimension ‚Inhaltsbereich/Basiskonzept‘ explizit der Handlungsdimension gegenüber. Wir gehen weiter davon aus, dass die in den Bildungsstandards genannten Basiskonzepte nicht ausreichen, um die Dimension ausreichend abzudecken, sondern dass weitere grundlegende Konzepte als Komponenten der Inhaltsdimension zu berücksichtigen sind, etwa ein konzeptuelles Verständnis von der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung oder der ‚Nature of Science‘, das wesentlich dem Kompetenzbereich ‚Erkenntnisgewinnung‘ zugrunde liegt, oder von der naturwissenschaftlichen Sprache und Darstellungsweise als Basis für den Bereich ‚Kommunikation‘.

Zur Prüfung des möglichen Einflusses verschiedener Inhaltsbereiche auf die gefunde-

		Komponenten				
Dimensionen	Inhaltsbereich/ Basiskonzept	I	<i>Energie</i>	<i>Materie</i>	<i>Nature of Science</i>	...
	Handlung/ Prozess	P	<i>Fachwissen nutzen</i>	<i>Erkenntnisse gewinnen/ Fachmethoden anwenden</i>	<i>Kommunizieren</i>	<i>Bewerten</i>
	Kontext	K	<i>innerfachlich</i>	<i>persönlich- gesellschaftliches Umfeld</i>	<i>professionelle Anwendungen (Technik, Wiss.)</i>	
	Ausprägung	A	<i>lebensweltlich</i>	<i>fachlich nominell/ reproduktiv</i>	<i>aktiv anwendend (Reorganisation/ naber Transfer)</i>	<i>konzeptuell vertieft (ferner Transfer)</i>
	Kognitive Anforderung	F	<i>Divergentes Denken</i>	<i>Konvergentes Denken</i>	<i>Umgang mit mentalenen Modellen</i>	<i>Umgang mit Zahlen</i>

Tab. 1: Dimensionen und Komponenten des Kompetenzmodells

ne Kompetenzausprägung erscheint es sinnvoll, bezüglich der fachlichen Denk- und Handlungsweisen möglichst unterschiedliche Bereiche für eine Untersuchung zu wählen: So erfordert der Inhaltsbereich ‚Materie‘ überwiegend ein qualitatives Modellieren von Phänomenen und Abläufen, der Bereich ‚Energie‘ dagegen ergänzend quantitativ-mathematische Betrachtungen. Ein Verständnis der Nature of Science verbindet schließlich methodische Aspekte mit prinzipiellen Annahmen über Erkenntnisgewinnung, setzt also wiederum ein ganz anderes Verständnis voraus als die beiden ersten Bereiche.

Die Dimension ‚Handlung/Prozess‘ enthält als Komponenten die „Kompetenzbereiche“ der Bildungsstandards. Die Bezeichnung ‚Prozess‘ verdeutlicht den Gegenpol zur Dimension ‚Inhaltsbereich‘. Dabei müssen wiederum die Sub-Prozesse identifiziert werden, die verknüpft mit inhaltlichen Konzepten (und affektiven Dimensionen) eine Kompetenz ergeben, also etwa das Modellieren von Vorgängen in Natur und Technik oder das Durchführen

naturwissenschaftlicher Untersuchungen im Prozess ‚Erkenntnisse gewinnen‘.

Die Dimension ‚Ausprägung‘ hat gegenüber den „Anforderungsbereichen“ der Bildungsstandards vier statt drei Komponenten. Eine Komponente ‚lebensweltlich‘ fehlt in den Bildungsstandards verständlicherweise, weil das dortige normative Modell auf die unterrichtlich angestrebten Kompetenzen abhebt. Die anderen Ausprägungen stehen in Beziehung zu den drei Anforderungsbereichen der Bildungsstandards bzw. der Einheitlichen Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung. Als weitere Orientierung diene das vierstufige Modell der Literacy-Ausprägungen von Bybee (1997).

Die Dimension ‚Kontext‘ wurde zusätzlich aufgenommen. Die Abhängigkeit der Schülererklärungen vom jeweiligen Kontext wird u.a. in den Arbeiten zum Conceptual Change (z.B. Caravita & Hallden 1994) oder zum Urteilen und Bewerten beschrieben. Eine Möglichkeit zur Unterscheidung von Komponenten der Dimension ‚Kontexte‘ sind die drei Bereiche a) innerunterrichtliche Kontexte (z.B. ein sicherer Umgang mit Chemikalien), b) persön-

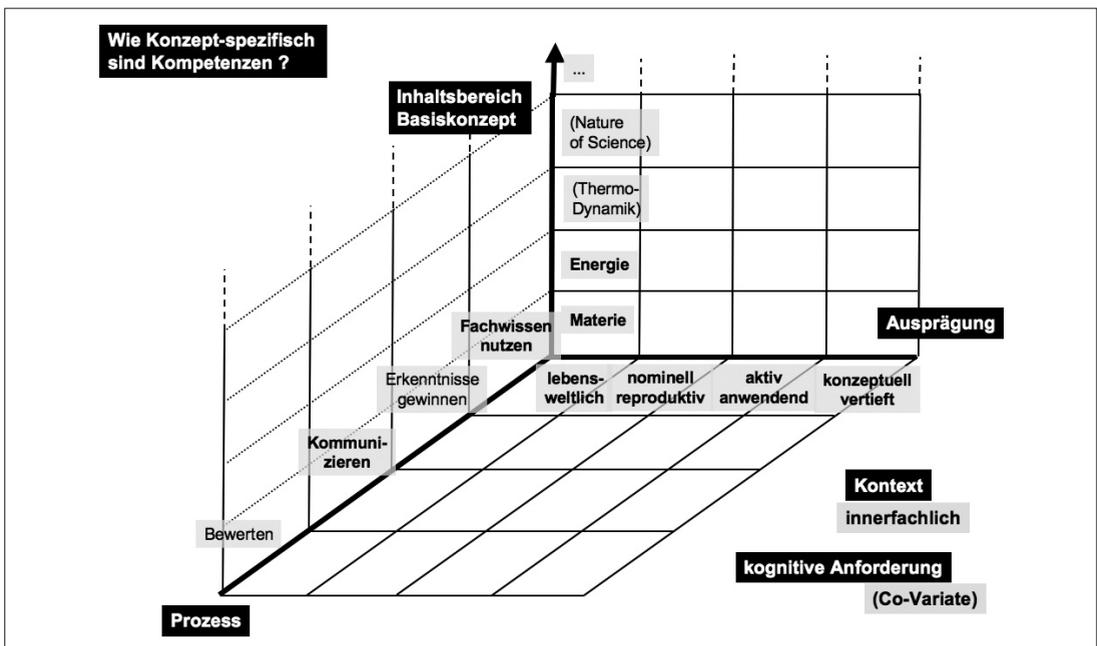


Abb. 9: Szenario für eine Studie zur Ausprägung der Prozesse ‚Fachwissen nutzen‘ und ‚Kommunizieren‘ in Abhängigkeit von den Basiskonzepten ‚Energie‘ und ‚Materie‘.

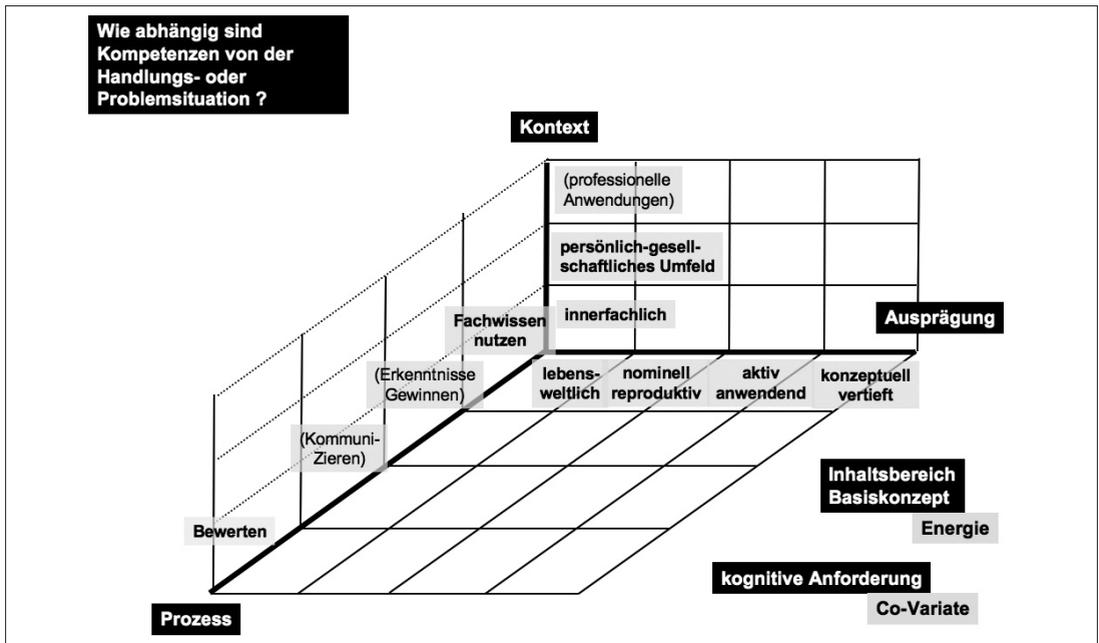


Abb. 10: Szenario für eine Studie zur Ausprägung der Prozesse ‚Fachwissen nutzen‘ und ‚Bewerten‘ im Inhaltsbereich ‚Energie‘ in Abhängigkeit von den Kontexten ‚innerfachlich‘ und ‚persönlich-gesellschaftliches Umfeld‘.

lich-alltägliche Situationen und gesellschaftliche Problemstellungen sowie c) professionelle Anforderungssituationen. Zudem beeinflusst die Dimension Kontext neben Inhalt und Prozess die affektive Komponente von Kompetenz, wie u. a. Interessenstudien zeigen konnten (Hoffmann, Häußler, & Lehrke 1998; Gräber 1995).

Die Dimension ‚kognitive Anforderung‘ geht auf die Arbeiten von Rost et al. zum nationalen Naturwissenschaftstest PISA 2003 (2 Dimensionen: Inhaltsbereiche und „kognitive Teilkompetenzen“) zurück. Allerdings werden nicht alle sieben Anforderungen des dort verwendeten „Facettendesigns“ aufgenommen. „Bewerten“, „Sachverhalte verbalisieren“ und „Umgang mit Graphen“ sind in bestimmten Komponenten unserer Dimension ‚Prozesse‘ enthalten.

Aus der Komplexität eines solchermaßen differenzierten Modells folgt, dass in empirischen Studien nur jeweils Ausschnitte der Struktur untersucht werden können und dabei andere Bereiche des Gesamtmodells zu kontrollieren

sind (s. Abb. 9 und 10). Empirische Studien erfordern nicht zwangsläufig die Entwicklung von $N \cdot n_1 \cdot n_p \cdot n_K \cdot n_A \cdot n_F$ Items, um alle Zellen der fünfdimensionalen Matrix mit jeweils N Items zu füllen. Ein Beispiel ist die Untersuchung der Ausprägung der Prozess-Komponente ‚Fachwissen nutzen‘ bei unterschiedlichen Basiskonzepten in einem festen (z. B. innerfachlichen) Kontext. Wenn die Verfügung über ein Repertoire von Kommunikationsmitteln im Vordergrund einer Untersuchung steht, dienen die Inhaltsbereiche lediglich als inhaltliche Orientierung für Items der Prozess-Komponente ‚Kommunizieren‘. Implizite Annahme ist dann, dass sich die Kompetenz einer adressatengemäßen Wahl von Veranschaulichungen (Prozess-Komponente ‚Kommunizieren‘) wenig danach unterscheidet, ob ein Schüler sich mit Materie oder Energie auseinandersetzt – abgesehen davon, dass natürlich Fachwissen als eine Grundlage der domänenspezifischen Kommunikationsfähigkeit vorausgesetzt werden muss. Ähnliches gilt für Untersuchungen im Zusammenhang mit der Komponente ‚Bewerten‘.

7 Fachdidaktische Forschung an und mit Kompetenzmodellen

7.1 Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenz

Die Frage der Binnenstruktur naturwissenschaftlicher Kompetenz ist von hohem fachdidaktischem Interesse. Bisher konnten nur wenige Ergebnisse Hinweise darauf geben, dass die Fähigkeit, Aufgaben und Probleme zu lösen, von dem jeweiligen Inhaltsbereich abhängt (vgl. Lind & Friege 2005). Tatsächlich zeigen auch Ergebnisse von Physik- oder Chemieunterricht, dass man im naturwissenschaftlichen Unterricht kaum eine Chance hat, in einem neuen Inhaltsbereich einen neuen Zugang zum Fach und zu seinen Inhalten und Arbeitsformen zu finden, bzw. dass fachdidaktische Konzeptionen für die Behandlung bestimmter Themengebiete nicht spezifisch wirksam werden. Es gibt dafür mehrere denkbare Erklärungsansätze:

- a) Das Lernen in Physik und Chemie ist hoch kumulativ: Die Grundlagen für erfolgreiche Kompetenzentwicklung werden in einer frühen Phase des Unterrichtszyklus gelegt. Wer diesen Anfang verpasst, hat wenig Chancen, in späteren Phasen zumindest in bestimmten Themengebieten erfolgreich zu sein. Den Gegenpol bilden Schüler, die ihre Kompetenzen sukzessive weiterentwickeln.
- b) Das Lernen in Physik und Chemie ist hoch (selbst-) selektiv: Das fach- und sachbezogene Selbstkonzept sowie die damit verbundene Interessensausprägung stabilisiert sich schnell und beeinflusst wesentlich die weiteren Lernaktivitäten. Die Grundhaltung wird durch bestimmte Themengebiete kaum modifiziert.
- c) Der Physik- und Chemieunterricht ist didaktisch-methodisch wenig variantenreich: Sein Aufbau ist weitgehend unabhängig von der Behandlung bestimmter Themengebiete. Er bietet daher wenig Anlässe für nach Themengebieten differenzierte Lernaktivitäten der Schülerinnen und Schüler.

Für den Ansatz a) gibt es hinsichtlich des inhaltlichen Aufbaus des naturwissenschaftlichen Unterrichts kaum Belege. Es wird im Gegenteil dessen fehlende Kumulativität bemängelt (z.B. BLK 1997). Kaum erforscht ist jedoch, ob auf einer allgemeineren Ebene (Umgang mit Daten, formales Herangehen an Aufgaben) oder im affektiv-motivationalen Bereich frühzeitig Grundlagen gelegt (bzw. Chancen verpasst) werden, die sich zunehmend positiv auswirken bzw. deren Fehlen zu sich verstärkenden Schwierigkeiten führt.

Ansatz b) wird durch eine Reihe von Studien gestützt, die einen engen Zusammenhang zwischen Selbstkonzept und Lernaktivitäten belegen (z.B. Schick 2000). Hirsch (2004, 124) fand bei Schülerinnen und Schülern der 10. Klasse eine positive Korrelation zwischen Sachinteresse an Physik und dem situativen Erleben von Physikunterricht beim Bearbeiten physikalischer Fragestellungen: Interessierte Schüler empfinden mehr Spaß, haben mehr Selbstsicherheit, setzen eigene Ideen um und finden die Tätigkeiten interessant.

Zum Erklärungsansatz c) finden sich in den Videostudien zum Physikunterricht im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramm BIQUA (Bildungsqualität von Schule) Belege für eine Monokultur in den Handlungsmustern des Physikunterrichts (z.B. Seidel 2003). Der im Auftrag der Kultusministerkonferenz erstellte Bildungsbericht 2003 (Avenarius et al. 2003, 150) spricht von der Monokultur des Unterrichts in Mathematik und Naturwissenschaften.

Die Frage der Unabhängigkeit naturwissenschaftlicher Kompetenz von einer Dimension „Themenbereiche“ oder „Basiskonzepte“ ist daher noch nicht abschließend geklärt. Der empirische Aufwand für eine entsprechende Erfassung ist jedoch beträchtlich. Selbst der Aufgabenpool von 63 Items bzw. 1 Item pro Inhaltskomponente und kognitiver Anforderung bei PISA-E 2003 (s. Rost et al. 2005) erscheint recht begrenzt. Eine vergleichende Studie mit der Konzentration auf wenige Inhaltsbereiche und Anforderungen mit entsprechend vielen Items pro Paarung könnte hier weitere Erkenntnisse zur Frage der Inhalts(un)abhängigkeit naturwissenschaftlicher Kompetenz erbringen.

7.2 Basiskonzepte

Ein Problem der Strukturierung der Inhaltsdimension nach „Basiskonzepten“ besteht bei den Bildungsstandards für Physik darin, dass es sich bei den Basiskonzepten „Wechselwirkung“ und „System“ um Oberbegriffe handelt, die inhaltlich sehr heterogen gefüllt sind. Diese beiden so genannten „Basiskonzepte“ erscheinen als Versuch von Physikexperten, all die Gebiete der Mittelstufenphysik zu subsumieren, die nicht zu „Energie“ und „Materie“ passen. Das Basiskonzept „Wechselwirkung“ soll Sachverhalte aus so unterschiedlichen Themengebieten wie Mechanik und Optik abdecken (mechanische Wechselwirkung und Wechselwirkung von Strahlung und Materie). Ob das aus Schülersicht hilfreich oder gar mit ihren Vorstellungen über die Inhaltsstruktur der Physik kompatibel ist, kann bezweifelt werden. An diesem Beispiel wird augenfällig, wo z.B. Diskrepanzen zwischen normativen Kompetenzmodellen und deskriptiven Modellen zu erwarten sind.

Für die Chemie stellen die ausgewählten vier Basiskonzepte charakteristische Betrachtungsweisen dar: Die Chemie beschreibt und untersucht die stoffliche Welt (Stoff-Teilchen-Konzept als Basis der Modellbildung, Struktureigenschafts-Konzept als differenzierte Deutung) sowie die darin ablaufenden Prozesse (Konzepte der chemischen Reaktion und Energiekonzept). Ob eine Strukturierung in dieser Form, die für die Strukturierung „chemischer Denkweisen“ sinnvoll erscheint, auch für das Lernen von Schülern hilfreich ist, bleibt empirisch zu prüfen.

7.3 Aufgabenentwicklung

Das wesentliche Instrument für die Überprüfung von Kompetenzmodellen oder die Überprüfung des Erreichens von Bildungsstandards ist ein Satz von modellbezogenen Aufgaben. Ein psychometrisch optimales Item lässt sich einer ganz bestimmten Zelle der Kompetenzmatrix zuordnen, d.h. einer bestimmten Inhaltsdimension, einem Prozess, einer Kompetenzstufe, bzw. Ausprägung und ggf. bestimmten Komponenten weiterer Dimensionen, wie in Tabelle 1 dargestellt. In der realen Aufgaben-

entwicklung ist das eine hohe Anforderung. Drei Schwierigkeiten sollen hier benannt werden:

- Solche Items erfordern i.d.R. eine enge Formulierung. Offene Aufgaben, die mehrere Lösungswege zulassen (z.B. rechnerisch-formal und qualitativ-begrifflich) und für Lernprozesse sinnvoll sind, scheiden aus.
- Items zu einer bestimmten Kompetenzstufe bzw. -ausprägung dürfen nicht mit Anforderungen anderer Stufen/Ausprägungen konfundiert sein. So dürfen Items, die spezifisch eine Transferfähigkeit testen sollen, kein bestimmtes Faktenwissen voraussetzen bzw. das erforderliche Faktenwissen muss im Aufgabentext mitgeliefert werden.
- Die Einordnung eines Items in die Kompetenzmatrix muss selbst empirisch abgesichert werden. Die Intention des Aufgabenentwicklers ist mit Einschätzungen von Experten abzugleichen, die sich sowohl mit dem Modell als auch mit der unterrichtlichen Praxis auskennen. Diese Übereinstimmung ist oftmals begrenzt (s. Einhaus & Schecker, 2006). So unterliegt z.B. die Einstufung eines Items nach den Ausprägungen „reproduzieren“ oder „aktiv anwenden“ unterschiedlichen erfahrungsbasierten Annahmen darüber, ob die einzuschätzende Aufgabe im Unterricht in der Regel behandelt wird oder nur durch Anwendung konzeptuellen Wissens auf einen neuen Sachverhalt zu lösen ist. Als Ergebnis einer Experteneinschätzung können stärker objektivierbare und stärker subjektive Aufgabenmerkmale identifiziert werden.

Die psychometrische Qualität von Testaufgaben ist folglich nach anderen Kriterien zu messen als die Qualität von Lernaufgaben. Dies zeigt sich besonders deutlich am zuerst genannten Aspekt, der im Gegensatz zur „Neuen Aufgabenkultur“ für den Unterricht steht (s. z.B. Häußler & Lind 2000). Eine provokante These könnte lauten, dass psychometrisch gute Aufgaben fachdidaktisch für die Entwicklung von Unterrichtsqualität uninteressant sind. Tatsächlich muss aber eher gezeigt werden, wie die Rückmeldungen aus psychometrisch vali-

den Tests als Diagnostik für die Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen genutzt werden können. Dies erfordert eine stärkere Verknüpfung von quantitativen Untersuchungen zu Kompetenzausprägungen und qualitativen Analysen möglicher Ursachen und Fördermöglichkeiten für eine Kompetenzentwicklung. Darauf basierend kann die Entwicklung von Testaufgaben und Lernaufgaben wirksam miteinander verknüpft werden (s. dazu Fischer & Draxler 2002).

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Unterscheidung zwischen Kompetenzstruktur- und Kompetenzentwicklungsmodellen sowie normativen und deskriptiven Modellen ermöglicht eine Charakterisierung der vorliegenden Ansätze zur Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In der Literatur überwiegen bislang Strukturmodelle. Entwicklungsmodelle sind eher implizit gegeben. Strukturmodelle lassen sich in der Regel auf eine Matrix aus zwei bis vier Dimensionen (mit jeweils mindestens drei Komponenten) übertragen. Komplexere Modelle ermöglichen differenziertere Analysen, erhöhen jedoch den empirischen Aufwand ihrer Überprüfung erheblich.

Die Arbeit an deskriptiven, empirisch gewonnenen Modellen hat erst begonnen, dies gilt insbesondere für Entwicklungsmodelle. Vorliegende Modelle beschreiben Kompetenzentwicklungen vorwiegend präskriptiv bzw. anhand von fachlogischen und professionellen Erfahrungswerten über das in bestimmten Entwicklungsstadien erlernbare Wissen. Längsschnittstudien über mehrere Schuljahre zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen wurden bisher nicht durchgeführt.

Für die fachdidaktische Forschung an und mit Kompetenzmodellen ergeben sich daher folgende Aufgaben:

- Formulierung von Kompetenzstrukturmodellen als Ausgangspunkt für die Frage, inwieweit präskriptive Modelle geeignet sind, das Gefüge der Fähigkeiten von Schülerinnen und Schülern zu erfassen. Präskriptive Ausgangsmodelle sollten Bezüge zu den nationalen Bildungsstandards aufweisen. Die empirischen Ergebnisse können dann zu deren kritischer Revision beitragen.
- Erforschung der Frage, welche Rolle Inhaltsbereiche, Prozesse, kognitive Anforderungen und Kontexte für die Struktur naturwissenschaftlicher Kompetenz spielen. Die Ergebnisse sollen zu einer empirisch abgesicherten Dimensionierung eines Kompetenzmodells führen.
- Durchführung von Längsschnittstudien für die Erforschung eines Kompetenzentwicklungsmodells. Die Messzeitpunkte sollen sich über mehrere Schuljahre erstrecken. Punktuelle Erhebungen sollten mit kontinuierlich angelegten, qualitativen Fallstudien verbunden werden.
- Untersuchung sinnvoller Graduierungen naturwissenschaftlicher Kompetenz; Gegenüberstellung von Stufen-Modellen zu Ausprägungs-Modellen anhand der zeitlichen und der inneren Dynamik von Kompetenzentwicklungen.

Das so beschriebene Forschungsprogramm kann nur in Forschungsverbänden und mit langer zeitlicher Perspektive betrieben werden. In einer Kooperation der Universitäten Bremen und Oldenburg sind entsprechende Arbeiten angelaufen.

Literatur

- Aufschnaiter, C.v. (2003). Videobasierte Analysen von Lern- und Lehrprozessen in physikalischen Kontexten. Kumulative Habilitationsschrift. Universität Hannover 2003.
- Avenarius, H. et al. (2003). Bildungsbericht für Deutschland – Erste Befunde. Opladen: Leske und Budrich.
- Baumert, J. et al. (2000). Internationales und nationales Rahmenkonzept für die Erfassung von mathematischer Grundbildung in PISA. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J. et al. (2001). PISA 2000 - Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske und Budrich 2001.
- Beaton, A.E. et al. (1996). Science Achievement in the Middle School Years. IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS). Boston College: Center for the Study of Testing, Evaluation, and Educational Policy.
- Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung (1997). Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Bonn: BLK, Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung Heft 60.
- Bybee, R. (1997). Toward an Understanding of Scientific Literacy. In W. Gräber & C. Bolte (Hrsg.), *Scientific Literacy*. Kiel: IPN, 37-68.
- Caravita, S. & Hallden, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, vol. 4 (1), 89-111.
- Einhaus, E. & Schecker, H. (2006). Item-Merkmale im Expertenrating. In A. Pitton (Hrsg.). *Lehren und Lernen mit neuen Medien*. Münster: LIT, 111-113.
- Fischer, H. E. & Draxler, D. (2002). Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben. In E. Kircher, & W. B. Schneider (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis*. Berlin: Springer. 300-322.
- Freie Hansestadt Hamburg, Behörde für Bildung und Sport (2004). Rahmenplan Physik, Bildungsplan Gymnasiale Oberstufe.
- Friege, G. & Lind, G. (2003). Allgemeine und fachspezifische Problemlösekompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 9 (2003), 63-74.
- Gräber, W. (1995). Schülerinteressen und deren Berücksichtigung im STS-Unterricht. *Empirische Pädagogik*, 9, Nr. 2, 221-238.
- Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T. & Evans, R. (Hrsg.) (2002). *Scientific Literacy - Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen: Leske + Budrich.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht* 57, Nr. 4, 196-203.
- Harmon, M., Smyth, T.A., Martin, M.O., Kelly, D.L., Beaton, A.E., Mullis, I.V.S., Gonzales, E.J., & Orpwood, G. (1997). *Performance Assessment in IEA's Third International Mathematics and Science Study*. Chestnut Hill, MA: Boston College.
- Häußler, P. & Lind, G. (2000). „Aufgabenkultur“ – Was ist das? In *Praxis der Naturwissenschaften Physik* 49 (2000) Nr. 4, 2-10.
- Helmke, A. & Hosenfeld, I. (2004). Vergleichsarbeiten – Standards – Kompetenzstufen: Begriffliche Klärung und Perspektiven. In M. Wosnitza, A. Frey & R.S. Jäger (Hrsg.), *Lernprozess, Lernumgebung und Lerndiagnostik*. Landau: Verlag Empirische Pädagogik, 56-75.
- Hirsch, J. (2005). Interesse, Handlungen und situatives Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. Berlin: Logos.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. Kiel: IPN.
- Klieme, E. (2000). Fachleistungen im voruniversitären Mathematik- und Physikunterricht: Theoretische Grundlagen, Kompetenzstufen und Unterrichtsschwerpunkte. In J. Baumert et al., *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Sekundarstufe II*. Opladen: Leske & Budrich, 57-128.
- Klieme, E. et al. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards*. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2004). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (/Chemie)*. München: Luchterhand
- KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik (Chemie / Biologie) für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Leisen, J. (2004). Einheitliche Prüfungsanforderungen Physik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 67, 3, 155-159.
- Lind, G. & Friege, G. (2005). Selbsterklären und Vorwissen. *Empirische Pädagogik*, 19, Nr. 1, 1-27.
- Mie, K. (2002). Black-Box-Aufgaben mit elektrischen Widerständen. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* 13 (2002), 71/72, 36-40.

- MNU, Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (2001). Physikunterricht und naturwissenschaftliche Bildung – aktuelle Herausforderungen. Empfehlungen zur Gestaltung von Lehrplänen bzw. Richtlinien für den Physikunterricht. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 54 (2001), Nr. 3 (Beihefter).
- Mullis, V.S. et al. (1998). Mathematics and Science Achievement in the Final Year of Secondary School. IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS). Boston College: Center for the Study of Testing, Evaluation, and Educational Policy.
- National Research Council, National Committee on Science Education Standards and Assessment (1996). National Science Education Standards (NSES). Washington, DC.
- Nieswandt, M. (2001). Von Alltagsvorstellungen zu wissenschaftlichen Konzepten: Lernwege von Schülerinnen und Schülern im einführenden Chemieunterricht. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 7, 33-52.
- OECD, Directorate for Education, Employment, Labour and Social Affairs, Education Committee (2003). Definition and selection of competencies (DeSeCo). Theoretical and conceptual foundations (Summary of the final report "Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society". Neuchâtel: DeSeCo Secretariat.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P. & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert et al., PISA 2000 – Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich, 191-248.
- QCA, Department for Education and Employment (DfEE) - Qualifications and Curriculum Authority (QCA) (2000). Science: The National Curriculum for England: Key Stages 1-4.
- Rost, J., Walter, O., Carstensen C.H., Senkbeil, M. & Prenzel, M. (2005). Der nationale Naturwissenschaftstest PISA 2003. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 58 (2005) Nr. 4, 196-204.
- Rutherford, F.J. & Ahlgren, A. (1990). Science for all Americans. New York: Oxford University Press.
- Saniter, A. (2003). Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik. Berlin: Logos.
- Schecker, H., Fischer, H.E. & Wiesner, H. (2004). Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In H.-E. Tenorth, Kerncurriculum Oberstufe II. Weinheim: Beltz, 148-234.
- Schick, A. (2000). Der Einfluss von Interesse und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht. Berlin: Logos.
- Seidel, T. (2003). Lehr-Lernskripts im Unterricht. Freiräume und Einschränkungen für kognitive und motivationale Prozesse beim Lernen – eine Videostudie im Physikunterricht. Münster: Waxmann.
- Senkbeil, M., Rost, J. Carstensen, C.H. & Walter, O. (2005). Der nationale Naturwissenschaftstest PISA 2003. Entwicklung und empirische Überprüfung eines zweidimensionalen Facetten-Designs. Empirische Pädagogik, 19 (2005), Nr. 2, 166-189.
- Thüringer Institut für Lehrerfortbildung, Lehrplanentwicklung und Medien (1998). Was ist neu an den Thüringer Lehrplänen? Bad Berka: Thillm.
- Weinert, F.E. (2001). Concept of competence – A conceptual Clarification. In D.S. Rychen & L.H. Salyanik (eds.). Defining and Selecting Key Competencies. Göttingen: Hogrefe & Huber, 45-65.

Prof. Dr. Horst Schecker
 Universität Bremen, Institut für Didaktik der
 Naturwissenschaften, Abt. Physikdidaktik,
 Fachbereich 1 Physik/Elektrotechnik
 Postfach 330440
 D-28334 Bremen
 schecker@physik.uni-bremen.de

Horst Schecker arbeitet zurzeit an der Modellierung physikalischer Kompetenzstrukturen bei Schülern sowie daran orientierten Lernaufgaben und Leistungstests. Ein weiterer aktueller Arbeitsbereich ist die Reform der Physiklehrerbildung. Langfristige Forschungsgebiete sind Schülervorstellungen und Lernprozesse im Physikunterricht sowie Studien zur Lernwirksamkeit virtueller Lehr- und Lernmedien. Horst Schecker ist Sprecher des Vorstands der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP).

Prof. Dr. Ilka Parchmann
 Carl von Ossietzky Universität Oldenburg,
 Fakultät V, Institut für Reine und Angewandte
 Chemie, Didaktik der Chemie
 Postfach 2503, D-26111 Oldenburg
 ilka.parchmann@uni-oldenburg.de

Die Forschungs- und Entwicklungsgebiete von Ilka Parchmann liegen zum einen im Bereich der Verknüpfung von Kontext basierendem,

situiertem Lernen mit einer strukturierten Entwicklung von Basiskonzepten und Kompetenzen, zum anderen in der Untersuchung und Optimierung von Konzepten zur Lehreraus- und -weiterbildung. Ilka Parchmann ist Mitglied im Vorstand der Fachgruppe Chemieunterricht der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und in diesem Rahmen Vertreterin der Fachgruppe in dem Europäischen Dachverband EChemS (European Association for Chemical and Molecular Sciences).