

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle – Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz

Eva Terzer und Annette Upmeier zu Belzen¹

Kurzfassung

Das Modellverständnis als Element von Modellkompetenz wird durch folgende Aspekte strukturiert: die Definition des Begriffs „Modell“, Kriterien für Modelle, Zweck von Modellen, Veränderbarkeit von Modellen und multiple Modelle. Schüleraussagen zu diesen Kriterien werden in Anlehnung an CAREY et al. (1989), DRIVER et al. (1996) und GÜNTHER et al. (2004) qualitativ drei Levels zugeordnet.

70 Schülern der neunten Jahrgangsstufe an zwei Berliner Gymnasien wurden im Biologieunterricht offene Fragen zu ihrem Modellverständnis zur schriftlichen Bearbeitung vorgelegt. Die Antworten wurden nach der qualitativen Inhaltsanalyse (MAYRING 2003) ausgewertet.

Ein Schwerpunkt in den erfassten Schülervorstellungen sind die deskriptiven Aspekte von Modellen, das heißt sie werden vorwiegend in ihrer Anschauungsfunktion wahrgenommen. Die Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess wurde in der Regel nicht erkannt. Darüber hinaus waren die Vorstellungen der Schüler bezogen auf die theoretischen Aspekte von Modellen häufig inkonsistent. Im Rahmen der vorliegenden

Untersuchung stellt sich demnach die Struktur des Modellverständnisses der Schüler eher mosaikartig dar und weist auf ein kompartimentalisiertes Wissen über Modelle hin.

Keywords

Modellverständnis, Modellkompetenz, Schülervorstellungen zu Modellen

1 Einleitung

Wissenschaft ist ohne Modelle weder lehr- noch lernbar (HARRISON & TREGUST 2000). GILBERT (1991) definiert die Wissenschaft selbst als Konstruktion von Modellen, welche Konzepte der realen Welt repräsentieren. Modelle sind demnach sowohl Produkt als auch Methode der Wissenschaft. GILBERT und BOULTER (2000) betonen darüber hinaus die Relevanz von mentalen Modellen als universelle Denkweise, die Kommunikation und Konsensbildung in der Wissenschaft ermöglicht.

¹ Eingereicht am 27.12.07, angenommen am 29.12.07, überarbeitet zum 22.02.08

Für Lernende sind Modelle für den Erwerb flexiblen, transferfähigen und anwendbaren Wissens essenziell (CLEMENT 2000), weil Konzepte durch Modelle sowohl in ihren Details erfasst als auch auf abstrakter Ebene miteinander verglichen werden können. Die Konstruiertheit von Wissen ist für Schüler im Zusammenhang mit Modellen leichter zugänglich als allgemein in Bezug auf Wissenschaft (GROSSLIGHT et al. 1991). Die reflektierte Anwendung von Modellen fungiert als „Tür-Öffner“ zum Wissenschaftsverständnis (LEISNER 2005), da sie zu einem differenzierten Verständnis einer (natur-) wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise führt. Modellkompetenz erfüllt deshalb eine Schlüsselfunktion für das Wissenschaftsverständnis (GILBERT 1991) und gehört zu einer *scientific literacy* (GILBERT & BOULTER 2000, DRIVER et al. 1996). Für deutsche Schüler wird die Fähigkeit zur Modellbildung sowie der reflektierte Umgang mit Modellen verbindlich in den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz für den Mittleren Schulabschluss im Unterrichtsfach Biologie als Element des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung gefordert (KMK 2005).

PISA 2000 und PISA 2003 zeigen, dass fast alle deutschen Schüler Aufgaben in diesem Bereich nicht lösen können und ihnen die Grundlage für ein Denken mit Modellen fehlt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch andere Studien. Sie zeigen, dass die Konzepte der Schüler zu Modellen von wissenschaftlichen Konzepten deutlich abweichen (CAREY et al. 1989, GROSSLIGHT et al. 1991, HARRISON & TREAGUST 2000).

Die Befunde zeigen, dass die Förderung von Modellkompetenz notwendig ist. Der Ansatz der vorliegenden Untersuchung sieht den Schlüssel zu einer differenzierten Förderung in der Erfassung der individuellen Konzepte im Bereich des Modellverständnisses. Auf dieser Grundlage können konkrete Fördermaßnahmen zur Entwicklung von Modellkompetenz an die Lernvoraussetzungen der Schüler anknüpfen.

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, ein Diagnoseinstrument für die Erfassung der qualitativen Konzepte von Schülern im Bereich des Modellverständnisses zu entwickeln und anhand erster Daten zu evaluieren. Nach den angeführten Studien ist davon auszugehen, dass nur wenige Schüler über einen konsistenten, adäquaten Modellbegriff sowie ein ausreichendes Wissen über konkrete Modelle verfügen und zielführend mit Modellen umgehen können.

2 Theoretischer Rahmen

2.1 Wissenschaftliche Modelle

Modelle werden zwei Kategorien zugeordnet (HARRISON & TREGUST 2000):

- Persönliche, modellhafte Vorstellungen von der Realität, von Theorien und von Prozessen;
- Wissenschaftliche Modelle.

Modellhafte Vorstellungen bilden die Grundlage für wissenschaftliche Modelle und einen Zwischenschritt bei der wissenschaftlichen Modellbildung (HARRISON & TREGUST 2000). Wenn im weiteren Verlauf des Textes von Modellen die Rede ist, geht es um die Modellkompetenz der Schüler in Bezug auf **wissenschaftliche Modelle**.

Modelle im Biologieunterricht sind theoretische Rekonstruktionen von Realität und dienen der Erkenntnisgewinnung und -vermittlung (Eschenhagen et al. 2006). Sie werden häufig dann gebildet, wenn ein realer Gegenstand oder ein reales Phänomen nicht verfügbar (beispielsweise ein menschliches Herz) oder nicht zugänglich sind (beispielsweise DNA). Modellbildung beinhaltet die Formulierung eines Denkmodells, das heißt ausgehend von einem Original mit zahllosen Eigenschaften wird unter Bezugnahme auf eine Theorie eine modellhafte Vorstellung des Originals gebildet. Diese Vorstellung enthält wesentliche Eigenschaften in Bezug auf eine bestimmte Fragestellung oder Funktion und kann in eine zweidimensionale Darstellung oder in ein gegenständliches Modell umgesetzt werden, das als materieller Gegenstand wie das Original zahllose wesentliche und unwesentliche Eigenschaften hat. Sie kann aber auch ein theoriegeleitetes gedachtes Gefüge bleiben und wird dann als Konstruktmodell bezeichnet (ESCHENHAGEN et al. 2006).

Modelle dienen nach ESCHENHAGEN et al. (2006) zum einen der Veranschaulichung von Strukturen, Prozessen und theoretischen Konstrukten (**Anschauungsfunktion**) und vereinfachen den Zugang zu Sachverhalten und Problemlösungen (**denkökonomische Funktion**), zum anderen ermöglichen sie durch ihren tentativen, hypothetischen Charakter die Problemfindung und -eingrenzung (**heuristische Funktion**).

Ein funktionales Modell muss dem Original in den wesentlichen Eigenschaften entsprechen (Kriterium der **Ähnlichkeit und Entsprechung**), diese Eigenschaften adäquat und auf das Wesentliche reduziert abbilden (Kriterium der

Einfachheit und Adäquatheit) und exakt genug sein, um in einem definierten Bereich Vorhersagen über das Original zuzulassen (Kriterium der **Exaktheit und Effektivität**²). Es ist jedoch keine Kopie des Originals, da nicht alle Modelleigenschaften mit denen des Originals übereinstimmen (ESCHENHAGEN et al. 2006).

2.2 Modellkompetenz

Der Kompetenzbegriff nach WEINERT (2001) liegt den Bildungsstandards der KMK (2005) zugrunde und lässt sich auf die dort geforderte Modellkompetenz anwenden: Sie ist ein System aus Kenntnissen und Fähigkeiten, das zu der Disposition des Lerners führt, Anforderungen im Umgang mit naturwissenschaftlichen Modellen auf schulischem Niveau zu bewältigen (LEISNER 2005). Zur Modellkompetenz gehören sowohl Modell- und somit Wissenschaftsverständnis als auch Kompetenz in Bezug auf konkrete Modelle (Abb. 1).

Das Modellverständnis (abgekürzt als MV; Abb. 1) umfasst nach LEISNER-BODENTHIN (2006) Wissen über

- die Definition des Begriffs „Modell“ (MV1),
- die Unterschiede zwischen Erfahrungs- und Modellwelt (MV2),
- unterschiedliche Modelltypen – implizite Kenntnis von Struktur-, Funktions- und Konstruktmodellen und deren Eigenschaften (ESCHENHAGEN et al. 2006) (MV3),
- die Unterschiede zwischen Alltags- und naturwissenschaftlichen Modellen (MV4),
- den Zweck von Modellen (MV5),
- Modellbildung (MV6) und
- die Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess - Veränderbarkeit und multiple Modelle (MV7).

Diese Auflistung (vgl. S. 12) erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist als Arbeitshypothese anzusehen, die einer empirischen Überprüfung bedarf.

² Eschenhagen et al. (2006) verwenden für dieses Kriterium die Begriffe „Exaktheit“ und „Fruchtbarkeit“.

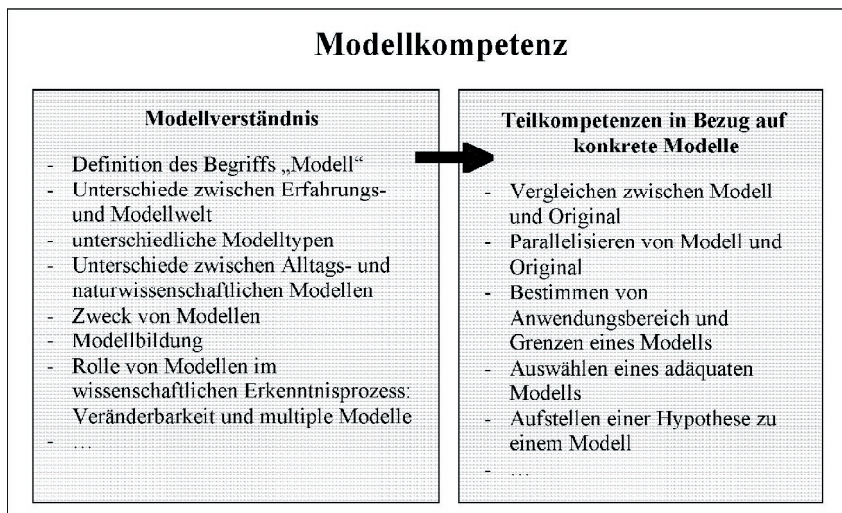


Abb. 1: Komponenten der Modellkompetenz (verändert nach LEISNER-BODENTHIN 2006).

Auf Modellen basierendes Denken verbindet intuitives Wissen und Wissenschaft (LEHRER et al. 1994). Somit spielt das Vorwissen eine wichtige Rolle: Wenn intuitive Denkmodelle („naive Konzepte“), die im Alltag gute Erklärungen liefern, nicht durch gezielte Entwicklung von Modellkompetenz in Richtung der wissenschaftlichen Denkmodelle zum jeweiligen Konzept verändert werden, wird Wissen kompartimentalisiert und nicht genutzt (RENKL 1996). Deshalb geht die Entwicklung von Modellkompetenz mit einem *Conceptual Change* (STRIKE & POSNER 1992) einher und ist ein gradueller Prozess (CLEMENT 2000).

Hinsichtlich der Differenziertheit und Ausprägung des Wissenschaftsverständnisses bei Schülern können nach CAREY et al. (1989), DRIVER et al. (1996) und GÜNTHER et al. (2004) drei Levels unterschieden werden. Da Modellbildung ein wissenschaftsmethodisches Verfahren ist und somit Modellverständnis ein Bestandteil des Wissenschaftsverständnisses ist, kann diese Strukturierung als Grundlage für die Formulierung von Levels in Bezug auf das Modellverständnis dienen:

- Level 1: naiv-realistisches Verständnis der Wissenschaft als kumulatives Faktensammeln,
- Level 2: relativistisches Wissenschaftsverständnis, (modellierte) Realität im Mittelpunkt,

- Level 3: konstruktivistisches Verständnis der Wissenschaft als Konstruktion von Modellen.

2.3 Stand der Forschung zum Modellverständnis

Schüler im Alter von 12 bis 16 Jahren sehen Modelle in der Regel als naturgetreue Kopie und Miniatur bzw. Vergrößerung der Realität (GROSSLIGHT et al. 1991, INGHAM & GILBERT 1991, TREAGUST et al. 2002). Der deskriptive Aspekt von Modellen (Anschauungsfunktion) steht für sie somit im Vordergrund, während die Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess nicht erkannt wird. Vielen Schülern bleibt unklar, dass Modelle genutzt werden, um Hypothesen zu bilden und zu testen sowie Ideen und Theorien zu formulieren (TREAGUST et al. 2002). Auch die Interaktion von Modellen verschiedener wissenschaftlicher Bereiche wird selbst von durchschnittlich 20 Jahre alten Lernenden in der Regel nicht wahrgenommen (GILBERT 1991). Diese Befunde lassen darauf schließen, dass Schüler eine enge, stereotype Vorstellung von Modellen als Strukturmodelle haben, die der Visualisierung von Objekten dienen und das Verständnis und das Lernen unbekannter Sachverhalte erleichtern (GILBERT 1991, INGHAM & GILBERT 1991, GROSSLIGHT et al. 1991).

Modelle werden entsprechend dann für veränderbar gehalten, wenn das Modell Fehler aufweist (GROSSLIGHT et al. 1991) oder, innerhalb eines komplexeren Verständnisses (GROSSLIGHT et al. 1991), neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden (TREAGUST et al. 2002). Multiple Modelle werden in der Regel deshalb als sinnvoll gesehen, weil sie verschiedene räumliche Perspektiven eines Objekts zeigen (GROSSLIGHT et al. 1991).

2.4 Problemstellung

Aufbauend auf die theoretischen Grundlagen lässt sich folgende Anforderung an die vorliegende Untersuchung formulieren: Ausgehend von LEISNER-BODENTHIN (2006) wird ein Diagnoseinstrument für die individuelle Erfassung von Modellverständnis entwickelt, das die dort formulierten Teilkompetenzen abdeckt. Es soll aber so offen sein, dass es die Erfassung weiterer Teilkompetenzen zulässt.

Zur Modellkompetenz von Schülern im Fach Biologie liegen in Deutschland bislang keine Studien vor. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und Evaluierung eines Instrumentes zur Diagnose von Modellkompetenz sowie die

Beschreibung zentraler Schülervorstellungen in diesem Bereich in hierarchisierten Levels.

Folgende Fragen werden in Anlehnung an die Strukturierung des Modellverständnisses (S. 37 , Abb. 1) von LEISNER-BODENTHIN (2006) bearbeitet:

- Über welchen Modellbegriff verfügen die Schüler (MV1)?
- Unterscheiden sie zwischen Modell und Original (MV2) sowie zwischen den Eigenschaften der verschiedenen Modelltypen (MV3) und zwischen Modellen aus Alltag und Wissenschaft (MV4)?
- Welchen Zweck sprechen sie Modellen zu (MV5)?
- Welche Kriterien legen sie der Bewertung von Modellen zugrunde (MV1, MV6)?
- Wie stellen sie sich die Rolle von Modellen im Erkenntnisprozess vor (MV7)?
- Lassen sich wiederkehrende Vorstellungen oder Antwort-Profile ausmachen?

Aus der Beantwortung dieser Fragestellungen ergeben sich Anknüpfungspunkte für konkrete Fördermaßnahmen im Bereich der Modellkompetenz.

3 Methode

Offene Fragen zum Modellverständnis der Schüler bilden verschiedene Aspekte des Modellverständnisses ab (Tab. 1). Dabei dienen objektive Operatoren dazu, das Ziel der Fragestellung, die schriftlich zu bearbeiten ist, möglichst transparent zu machen. Um die Verständlichkeit der Fragen zu gewährleisten, wurden Vortests mit Probanden der zu untersuchenden Zielgruppe durchgeführt (vgl. BORTZ 2005).

Als Kontrollvariablen wurden Alter und Geschlecht erhoben.

Tab. 1: Offene Fragen zur Erfassung des Modellverständnisses mit Theoriebezügen (MV = Modellverständnis).

Frage	Theoriebezug
1. Was ist ein Modell? Erkläre dies für jemanden, der das nicht weiß.	MV1
2. In welchen Bereichen kennst du Modelle? Nenne Beispiele für Modelle aus diesen Bereichen. [Antworten durch zweisepaltige Tabelle vorstrukturiert]	[MV3, MV4]
3. Unterscheiden sich Modelle aus den verschiedenen Bereichen? Begründe deine Meinung.	MV3, MV4
4. Nenne Unterschiede zwischen einem Modell und dem, was es darstellen soll.	MV2
5. Erkläre, wozu es Modelle gibt, und beschreibe, was man mit Modellen alles machen kann.	MV5, MV7
6. Erläutere, was man beachten muss, wenn man ein Modell herstellt.	MV6
7. Erkläre, wie nah ein Modell dem sein muss, was es darstellt.	MV1, MV3, MV4
8. Nenne Bedingungen, unter denen ein Wissenschaftler ein Modell ändern würde.	MV1, MV5, MV7
9. Begründe, ob es sinnvoll ist, wenn Wissenschaftler für ein und dieselbe Sache mehr als ein Modell haben.	MV1, MV7

3.1 Durchführung der Untersuchung

An der Befragung nahmen 41 Schülerinnen und 29 Schüler im Alter von 14 bis 17 Jahren aus drei neunten Klassen zweier Berliner Gymnasien während des regulären Biologieunterrichts teil. Die Befragung von Probanden dieser Altersgruppe ermöglicht einen Vergleich der Ergebnisse mit denen der beschriebenen Studien. Aufgrund der hohen Komplexität der Modellkompetenz wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zunächst nur Schüler des Gymnasiums einbezogen.

3.2 Auswertung

Der Fragebogen wurde nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse (MAYRING 2003) ausgewertet. Auf Basis der zugrunde liegenden Theorie und der Antworten der Schüler wurden qualitative Auswertungskategorien gebildet (Tab. 1), denen Textteile zugeordnet wurden. Als Analyseeinheit dienten Ideen, die sowohl Satz- als auch Stichwortcharakter haben können. Für die Auswertung der Häufigkeiten von Ideen pro Kategorie wurde das Programm MAXQDA genutzt (Version MAXQDA 2007).

Insgesamt war auffällig, dass häufig nicht ausschließlich in Bezug auf die Frage geantwortet wurde, sondern Aspekte zu einer Kategorie in Antworten zu verschiedenen Fragen vorkamen. Bis auf Frage 8 (76%) und Frage 4 (87%) wurden die Fragen von nahezu allen Schülern beantwortet.

Darüber hinaus wurden die Aussagen jeder Person drei Levels zugeordnet, die in Anlehnung an die Levels zum Wissenschaftsverständnis von CAREY et al. (1989), DRIVER et al. (1996) sowie GÜNTHER et al. (2004) (Tab. 2) formuliert wurden. Diese schließen sich nicht gegenseitig aus, sondern sollen verschiedene qualitative Ausprägungen von Vorstellungen in Hinblick auf Wissenschafts- und Modellverständnis abbilden. Grundlegende Annahme für die Hierarchisierung ist, dass Vorstellungen, die die Verwendung von Modellen zu Forschungszwecken beinhalten, komplexer sind als solche, die der Veranschaulichung oder der denk-ökonomischen Funktion dienen.

4 Ergebnisse

4.1 Kategorisierte Schülervorstellungen

Die schriftlichen Dokumente der Schüler enthielten 1321 auswertbare Aussagen, welche dem Kategoriensystem zugeordnet wurden (Tab. 3).

Charakter von Modellen: Modellbegriff (MV1)

Nahezu alle Schüler verstanden Modelle theoriekonform. Als nicht theoriekonformer Modellbegriff wurden etwa ausgestopfte Tiere (Präparate), die als Beispiel für Modelle genannt wurden, kategorisiert.

Tab. 2: Beschreibung der Levels des Modellverständnisses je untersuchter Teilkompetenz des Modellverständnisses in Anlehnung an die Levels für das Wissenschaftsverständnis nach CAREY et al. (1989), DRIVER et al. (1996) und GÜNTHER et al. (2004). MV3 und MV4 wurden nicht für die Zuordnung zu Levels herangezogen, da sie rein deskriptiv sind.

	Level 1	Level 2	Level 3
MV1	- Definition von Modellen als 3D-Kopien eines Originals	- Modellbegriff schließt zweidimensionale Abbildungen ein	- Modelle als theoretische Rekonstruktion von Realität auf der Grundlage der Vorstellung einer Struktur, Funktion bzw. Theorie
MV2	- Unterschied zum Original: Größe	- Annahme weiterer Unterschiede zum Original neben einem anderen Maßstab (Farbe, Funktion etc.)	- epistemischer Unterschied zwischen Modell und Original
MV5	- Anschauungsfunktion	- denkökonomische Funktion	- heuristische Funktion
MV6	- Kriterium der Ähnlichkeit und Entsprechung	- Kriterium der Einfachheit und Adäquatheit	- Kriterium der Exaktheit und Effektivität
MV7	- Veränderung des Modells bei fachlicher Fehlerhaftigkeit oder Veränderung des Originals - multiple Modelle nicht sinnvoll	- Änderung des Modells bei neuen Erkenntnissen - multiple Modelle zur Darstellung verschiedener Aspekte oder Ansichten	- Veränderung eines Modells und Bildung multipler Modelle, um Hypothesen zu testen bzw. im weiteren Sinne um zu forschen

Die Mehrheit der Schüler beschrieb einen Gegenstand als Grundlage von Modellen, etwa ein Viertel dagegen eine Vorstellung. Eine Analyse der Antworten bzw. Antwortkombinationen zeigt, dass 9% der Probanden beide Bereiche als Grundlage für Modelle nannten. Einige Schüler differenzierten zwischen Modelltypen und bezogen Beispiele für Konstruktmodelle auf Vorstellungen und Beispiele für Strukturmodelle auf Gegenstände; andere dachten an die Präsentation einer Idee in Form eines Modells. Eine Schülerin formulierte, dass Modelle auf einer „Grundvorstellung“ basierten.

Charakter von Modellen: Unterschiede zwischen Modell und Original (MV2)

Der Unterschied zwischen Modell und Original wurde in erster Linie in der Größe gesehen. Von gut einem Viertel der Schüler wurden andere unterscheidende Eigenschaften wie Farbe, Form, Material, Gewicht, Funktionsfähigkeit, Zerlegbarkeit und Struktur genannt.

Einige Schüler wiesen darauf hin, dass Modelle Grenzen haben. Als Modellgrenze wurde etwa beschrieben, dass ein Torso nicht als Entsprechung des menschlichen Körpers vorstellbar sei, Miniaturautos nicht fahren könnten oder Bakterienmodelle nicht lebten. Darüber hinaus wurde allgemeiner formuliert, dass Modelle „nicht echt“ seien und nicht dieselben Eigenschaften wie das Original besäßen.

Verschiedene Modelle: Alltags- und wissenschaftliche Modelle (MV4)

Sowohl Alltagsmodelle aus Kunst und Modellbau als auch wissenschaftliche Modelle aus den Naturwissenschaften waren den Schülern präsent. Ein Fünftel der Schüler unterschied in Bezug auf Modelle zwischen den Bereichen Alltag und Wissenschaft. Dabei stellten sie häufig wissenschaftliche Modelle Spielzeugmodellen, Kunstmodellen und architektonischen Modellen gegenüber und definierten den Unterschied dadurch, dass wissenschaftliche Modelle der Veranschaulichung dienen bzw. das Lernen eines Sachverhaltes erleichterten, während Alltagsmodelle zum Spielen, als Vorlage für Bilder oder zur Präsentation von Ideen genutzt würden. Außerdem wiesen einige Schüler darauf hin, dass verschiedene Beispiele für Alltagsmodelle, etwa in der Kunst, auch Lebewesen sein könnten oder, in der Architektur, „einmal im Original entstehen“ sollten.

Tab. 3: Absolute Anzahl der Aussagen pro Kategorie (n = 1321) sowie Anzahl der Probanden, die Aussagen zur Kategorie getroffen haben in Prozent (n = 70). Mehrfachnennungen waren möglich. Angaben zum Antwortverhalten der Probanden siehe Seite 10.

Kategorie/Subkategorie	absolute Anzahl der Aussagen (n = 1321)	Anzahl der Schüler, die Aussagen zur Kategorie getroffen haben (n = 70)
Charakter von Modellen - Modellbegriff (MV1) <ul style="list-style-type: none"> o kein theoriekonformes Modellverständnis o Modell bezieht sich auf einen Gegenstand o Modell bezieht sich auf eine Vorstellung o Modell ist von Zweck beeinflusst o Modellgrenzen - Unterschiede zwischen Modell und Original (MV2) <ul style="list-style-type: none"> o Unterschied zwischen Modell und Original: Größe o Unterschied zwischen Modell und Original: andere 	5 66 23 10 7 83 26	4 % 70 % 24 % 11 % 9 % 74 % 27 %
Verschiedene Modelle - verschiedene Modellarten (MV4) <ul style="list-style-type: none"> o Alltagsmodelle o wissenschaftliche Modelle - verschiedene Modelltypen (MV3) <ul style="list-style-type: none"> o klassifiziert als Strukturmodell o klassifiziert als Funktionsmodell o klassifiziert als Konstruktmodell - Unterschiede zwischen Modellen bzw. Modellbereichen (MV3, MV4) <ul style="list-style-type: none"> o Unterscheidung Alltag/Wissenschaft o Unterscheidung Modelltypen 	146 169 143 2 78 15 23	73 % 90 % 81 % 3 % 59 % 21 % 23 %

Zweck von Modellen (MV5)		
○ Veranschaulichung	85	87 %
○ ... und bessere Kommunizierbarkeit	23	29 %
○ Förderung/Erleichterung von Verständnis	20	29 %
○ ...und bessere Kommunizierbarkeit	6	7 %
○ besseres/leichteres Verständnis durch Veranschaulichung	31	33 %
○ Forschen, Experimentieren, Ausprobieren, Planen	27	30 %
○ Zugänglichkeit, Verfügbarkeit	26	30 %
Kriterien für Modelle (MV1, MV6)		
○ Anschaulichkeit	12	17 %
○ Exaktheit und Effektivität	4	3 %
○ Ähnlichkeit und Entsprechung	107	87 %
○ Einfachheit und Adäquatheit	48	34 %
○ praktische Handhabbarkeit	4	6 %
Veränderbarkeit von Modellen (MV7)		
○ Weiterentwicklung	19	26 %
○ fachliche Fehlerhaftigkeit	15	21 %
○ Veränderung des Originals	10	14 %
○ neue Erkenntnisse über das Original	24	34 %
Multiple Modelle (MV7)		
○ nicht sinnvoll	7	10 %
○ verschiedene Aspekte/Perspektiven	42	59 %
○ verschiedene Theorien	9	13 %
○ praktische Erwägungen	6	9 %

Verschiedene Modelle: Verschiedene Modelltypen

Die Mehrheit der Schüleraussagen auf die Frage nach verschiedenen Modelltypen enthielten sowohl Beispiele für Struktur- als auch für Konstruktmodelle (Tab. 4). Bei der Anzahl der genannten Beispiele dominieren die Strukturmodelle deutlich. Häufig wurden Planetenmodell, Torso, Skelett- sowie Organmodelle und Globen genannt. Unter den 78 Beispielen, die den Konstruktmodellen zugeordnet wurden, waren häufig Modellschulen, geometrische Körper und Atommodelle. Funktionsmodelle wie ein Speiseröhrenmodell (Funktion: Peristaltik) und ein Gebäudemodell (Funktion: Stabilität) wurden lediglich vereinzelt genannt.

Tab. 4: Anzahl der Schüler, deren genannte Beispiele verschiedenen Modelltypen zugeordnet wurden (n = 70, Angaben in Prozent, SM = Strukturmodell, FM = Funktionsmodell, KM = Konstruktmodell). Nicht alle Probanden nannten wissenschaftliche Modelle.

Modelltyp	nur SM	nur FM	nur KM	SM & FM	SM & KM	FM & KM	SM, FM & KM
Anzahl der Schüler	27 %	-	7 %	1 %	51 %	-	1 %

Zwischen verschiedenen Modelltypen differenzierte implizit etwa ein Drittel der Schüler in ihren Antworten in Bezug auf die Kriterien, denen Struktur- bzw. Funktionsmodelle genügen müssen. Eine Schülerin schrieb zum Beispiel: „Beim Zeigen der Funktion kann es [das Modell] stark vereinfacht werden, beim Zeigen des Aussehens sollte man die wichtigsten Teile hervorheben.“

Insgesamt zeigt sich, dass es in den Vorstellungen der Probanden jeweils einen individuellen Schwerpunkt gab, der die Aussagen dominierte, aber von verschiedenen, nicht immer dazu und zueinander passenden Ideen ergänzt wurde. Beispielsweise bildeten Alltagsmodelle (insbesondere Schaufensterpuppen) und deren Anschauungsfunktion einen Schwerpunkt der formulierten Vorstellungen einer Schülerin, sie gehörte aber zu den wenigen, die die Existenz von Modellgrenzen erwähnten.

Zweck von Modellen (MV5)

Die Anschauungsfunktion als Zweck von Modellen stand für die Schüler klar im Vordergrund. Mit dieser Funktion verband jeder dritte Schüler eine bessere Kommunizierbarkeit von Inhalten. So formulierte beispielsweise eine Schülerin: „Also in der Biologie beschreibt man etwas am Modell oder man versucht, etwas besser darzustellen, zu veranschaulichen.“

Die denkökonomische Funktion wurde von einem Drittel der Schüler als Zweck von Modellen genannt. Auch diese Funktion wurde mit der Erleichterung von Kommunikation verbunden, denn „Modelle gibt es, damit man an denen z. B. Sachen erklären kann, die sonst viel zu anstrengend wären, Menschen zu erklären“.

Ein Drittel der Schüler sah die Anschauungsfunktion in enger Verbindung mit der denkökonomischen Funktion, da eine größere Anschaulichkeit sich verständnisfördernd auswirke. Dabei bezogen sie sich häufig darauf, dass Modelle in Präsentationen von Ideen bzw. in Vorträgen eingesetzt werden könnten. Eine Schülerin formulierte zum Beispiel: „Ein Modell stellt etwas dreidimensional dar, das sich dadurch besser erklären lässt.“

An dritter Stelle in der Häufigkeit der Aussagen stand die heuristische Funktion, die für die Kategorisierung relativ weit gefasst wurde. Auch das „Ausprobieren“ von Kleidung an Schaufensterpuppen, um zu sehen, wie die Kleidung an einem Menschen wirken könnte, wurde etwa unter diese Kategorie subsumiert. Die Aussagen, dass Modelle zu Forschungszwecken eingesetzt werden könnten, blieben in der Regel sehr vage, etwa im Sinne von „um Studien zu betreiben“ oder „um irgendetwas damit herauszufinden“.

Als allgemeine Funktion von Modellen beschrieb etwa ein Drittel der Schüler, dass Modelle Dinge verfügbar oder zugänglich machten.

Kriterien für Modelle (MV1, MV6)

Am häufigsten wurde als Hauptkriterium für Modelle Ähnlichkeit und Entsprechung genannt, gefolgt von Einfachheit und Adäquatheit. Der Anspruch der Exaktheit und Effektivität wurde nur vereinzelt erhoben, und zwar in dem Sinne, dass ein Modell sich „in den Bereichen, die anhand des Modells erklärt werden, wie das Original verhalten“ müsse, „damit man möglichst richtige und zuverlässige Ergebnisse erhält“.

Neben den in der Theorie genannten Kriterien wurden von einigen Schülern Anschaulichkeit und vereinzelt praktische Handhabbarkeit als Kriterien genannt, denen Modelle genügen sollten. Die praktische Handhabbarkeit umfasste die Überlegungen, dass Modelle „die Arbeit erleichtern“ sollten und man „gut damit arbeiten können“ müsse, sie stabil sein und eine sinnvolle Größe haben müssten.

Veränderbarkeit von Modellen (MV7)

Die Tatsache, dass Modelle veränderbar sind, war den Schülern bewusst. Als Anlass für eine Veränderung wurden neue Erkenntnisse, die Weiterentwicklung des Modells, dessen fachliche Fehlerhaftigkeit und die Veränderung des Originals genannt.

Multiple Modelle (MV7)

Nur wenige Schüler hielten multiple Modelle nicht für sinnvoll. Die übrigen begründeten den Sinn multipler Modelle unterschiedlich: Mehr als die Hälfte sahen die Repräsentation verschiedener Aspekte als Vorteil multipler Modelle, einige die Repräsentation verschiedener Theorien.

Etwa jeder zehnte Schüler nahm nicht auf multiple, sondern auf mehrfach vorhandene Modelle Bezug und hielt diese aus praktischen Erwägungen für zweckmäßig. Unter letztgenannte Kategorie fallen etwa Aussagen, die sich darauf beziehen, dass Modelle beschädigt werden könnten, so dass es sinnvoll sei, sie in mehreren Ausführungen zu besitzen.

Auch vage Aussagen, die sich auf die Rolle von Modellen im Erkenntnisprozess beziehen – z. B. darauf, dass multiple Modelle die Arbeit des Wissenschaftlers vereinfachen, mit ihnen mehrere Experimente durchführbar seien oder multiple Modelle die Weiterentwicklung von Modellen ermöglichen – wurden dieser Kategorie zugeordnet.

Die Auswertung zeigt, dass nur einzelne Schüler Bedingungen nannten, unter denen multiple Modelle sinnvoll bzw. nicht sinnvoll seien. Dabei nannten sie in der Regel als Argument gegen multiple Modelle, dass sie zu Verwirrung führen könnten, weil man nicht wisse, welches Modell richtig sei. Als Argument für multiple Modelle führten sie an, dass so verschiedene Aspekte gezeigt werden könnten.

5 Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung weisen viele Gemeinsamkeiten mit denen von GROSSLIGHT et al. (1991), INGHAM und GILBERT (1991), GILBERT (1991) sowie TREAGUST et al. (2002) auf, so dass sie als typische Schülervorstellungen zu Modellen bezeichnet werden können: Für Schüler steht deutlich der deskriptive Aspekt von Modellen im Vordergrund, die Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess wird von ihnen in der Regel nicht wahrgenommen. Sie haben mehrheitlich eine enge, stereotype Vorstellung von Modellen als Strukturmodelle, die zur Visualisierung von Objekten dienen und als naturgetreue Kopie von Realität (mit eventuell anderem Maßstab) das Verständnis und das Lernen unbekannter Sachverhalte sowie die Kommunikation erleichtern. Die von den Schülern genannten Beispiele für Modelle wurden besonders im Bereich der Biologie fast ausschließlich Strukturmodellen zugeordnet. Die Vorstellungen im Bereich der denkökonomischen und insbesondere der heuristischen Funktion bleiben sehr vage und nah an der Anschauungsfunktion, etwa im Sinne von „Modelle helfen, ein mentales Bild von etwas zu entwickeln“ bzw. testen als „gucken, ob das Modell funktioniert“ (GROSSLIGHT et al. 1991). Als Hauptkriterium nennen sie das der Ähnlichkeit und Entsprechung, andere Kriterien spielen in ihren Vorstellungen eine untergeordnete Rolle. Die Sinnhaftigkeit multipler Modelle wird von Schülern in der Regel mit der Darstellung verschiedener Aspekte und Perspektiven durch ein Modell begründet.

Für das Niveau des Modellverständnisses ergab sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung auch bezogen auf einzelne Personen kein kohärentes Bild, was auf kompartimentalisiertes Wissen hinweist (RENKL 1996). Die Vorstellungen bewegten sich mehrheitlich im Bereich von Level 2, waren jedoch lückenhaft und nur in Einzelfällen zusammenhängend.

Die meisten Schüler verfügten über eher allgemeine Vorstellungen zu Modellen und verstanden Modelle mehrheitlich theoriekonform, jedoch in der Regel nicht als theoretische Rekonstruktionen von Realität. Als „Vorlage“ für ein Modell gaben die meisten befragten Schüler einen Gegenstand, etwa ein Drittel eine Vorstellung an; einige nannten beides in Abhängigkeit vom Modelltyp. Demnach wies etwa ein Drittel der Schüler einen Modellbegriff im Sinne der Definition von ESCHENHAGEN et al. (2006) als theoretische Rekonstruktion von Realität auf.

Die meisten Schüler nannten allgemein oder konkret Modellgrenzen. Ihnen ist bewusst, dass Unterschiede zwischen Erfahrungs- und Modellwelt bestehen (LEISNER 2005), weil nicht alle Modelleigenschaften mit denen des Originals übereinstimmen (ESCHENHAGEN et al. 2006). Den Aussagen der befragten Schüler lässt sich aber nicht entnehmen, ob diesen Unterschieden ein epistemischer Charakter zukommt. Jeweils etwa ein Viertel der Schüler differenzierte in ihren Antworten zu verschiedenen Fragen zwischen Alltags- und wissenschaftlichen Modellen bzw. zwischen verschiedenen Modelltypen.

Die Probanden verbanden mit Modellen relativ häufig eine leichtere Kommunizierbarkeit von Inhalten, da diese durch Modelle veranschaulicht und so für Dritte leichter verständlich werden. Die Relevanz von Modellen für Kommunikation und Konsensbildung in der Wissenschaft (GILBERT & BOULTER 2000) ist ihnen demnach latent bewusst. Dass wissenschaftliches Denken aufgrund der Modellhaftigkeit von Vorstellungen notwendig auf Modellen basiert (HOLMAN 1975) und Wissenschaft als Konstruktion von Modellen verstanden werden kann, die Zielkonzepte der realen Welt repräsentieren sollen (GILBERT 1991), scheint in ihren Vorstellungen jedoch nicht enthalten zu sein.

In Bezug auf die Rolle von Modellen im Erkenntnisprozess wurde konkret nach deren Veränderbarkeit und dem Sinn multipler Modelle gefragt. Ein überwiegender Teil der Schüler verfügt über eine eher komplexe Vorstellung zur Veränderbarkeit von Modellen, gut ein Drittel über eine eher einfache nach GROSSLIGHT et al. (1991, siehe Seite 38).

Die Ergebnisse in Bezug auf den Zweck von Modellen und die Kriterien für Modelle sind durch den Modellbegriff erklärbar, den die Schüler sowohl in der vorliegenden Untersuchung als auch in den genannten anderen Untersuchungen – GROSSLIGHT et al. (1991), INGHAM und GILBERT (1991), GILBERT (1991) und TREGUST et al. (2002) – mehrheitlich formulierten. Die Antworten der Schüler lassen nicht darauf schließen, dass diese wahrnehmen, dass Modelle der Erkenntnisgewinnung dienen (ESCHENHAGEN et al. 2006) und somit eine Rolle im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess einnehmen. So wurden im Vergleich zu den Bereichen ‚Definition des Begriffs „Modell“‘, ‚Zweck von Modellen‘ und ‚Kriterien für Modelle‘ nur etwa halb so oft Vorstellungen zur Rolle von Modellen im Erkenntnisprozess formuliert. Da die Vorstellungen offenbar in der Regel nicht

beinhalten, dass Wissenschaft wesentlich auf der Entwicklung und Anwendung von Modellen basiert, wäre nicht zu erwarten, dass Schüler Modellzweck und -kriterien in Bezug auf diesen Gesichtspunkt formulieren.

Methodenkritik

Viele Schüler fühlten sich mit der Thematik überfordert und waren bei der Beantwortung der Fragen unsicher, worauf sowohl ihre mündlichen sowie schriftlichen Kommentare („Woher soll ich das wissen?“) als auch fehlende bzw. kurze Antworten hinweisen. Sechs Bögen waren nicht auswertbar, da gar nicht oder nur die ersten Fragen sinnvoll beantwortet wurden.

Es erscheint sinnvoll, ältere Schüler, etwa am Ende der zehnten Jahrgangsstufe oder in der Oberstufe, zu befragen, zumal diese nach den Bildungsstandards (E 9 - E 13) der KMK (2005) bereits über Modellkompetenz verfügen sollten, so dass differenziertere Konzepte sowie ein größeres Spektrum an Konzepten erwartet werden können.

Die fehlenden Antworten sind eventuell auch dadurch erklärbar, dass Modell und Original gleichgesetzt werden und deshalb die Fragen nach der Veränderbarkeit von Modellen und den Unterschieden zwischen Modell und Original für die Schüler nicht sinnvoll erschienen und aus diesem Grund am häufigsten nicht beantwortet wurden. Da aber 9 % der Schüler keinerlei Beispiele zu Modellen bzw. Modellbereichen nannten, scheinen die Schüler in Bezug auf mehrere Aspekte dieses Themas unsicher zu sein.

Die Frage nach der Definition von Modellen wurde als einzige Frage von allen Schülern beantwortet, was entweder dafür spricht, dass sie über ein relativ allgemeines Alltagskonzept zu Modellen verfügen, bei Details aber unsicher sind, oder aber, dass die Länge und Komplexität des Fragebogens zu groß waren und die Motivation schnell sank. Die mündlichen Kommentare der Schüler, etwa, dass die Fragen sich wiederholten, sprechen eher dafür, dass ihre Vorstellungen nicht in Bezug auf sämtliche theoretische Aspekte des Modellverständnisses ausdifferenziert waren.

Die Frage nach dem Unterschied zwischen Alltags- und wissenschaftlichen Modellen sowie verschiedenen Modelltypen wurde von den Schülern mehrheitlich nicht im Sinne der Fragestellung beantwortet, was darauf schließen lässt, dass die Probanden die Frage anders oder nicht verstanden haben oder ihnen der Unterschied nicht bewusst ist.

Auf die Frage nach Kriterien, die man bei der Modellbildung beachten sollte, wurden nur Antworten zu Kriterien für Modelle gegeben. Deshalb sollte in weiteren Untersuchungen zu diesem Thema explizit nach Schritten bei der Modellbildung gefragt werden, etwa „Erläutere die einzelnen Schritte, die deines Erachtens zur Bildung eines Modells notwendig sind“. Eine solche Frage würde den Vergleich der bei den Schülern vorhandenen Konzepte mit der Theorie von JUSTI und GILBERT (2002) und ESCHENHAGEN et al. (2006) erlauben, welche besagt, dass die Modellbildung über ein Denkmodell erfolgt und verschiedene Evaluationsschritte beinhaltet.

Um dem Gefühl der Überforderung zu begegnen und durch Nachfragen Lücken in den Antworten schließen zu können, bietet sich als Methode für weitere Untersuchungen das Interview an, um ein komplexes, vollständiges Bild der individuellen Vorstellungen von Schülern zu zeichnen. Das Ergebnis, dass Inkonsistenzen zwischen den Vorstellungen der Schüler bestehen und Modellverständnis deshalb möglicherweise „mosaikartig“ strukturiert ist, muss daher als vorläufig angesehen werden.

Obwohl sich die Antworten der Schüler häufig nicht eindeutig auf eine Frage bezogen, sind die Fragen zur Erfassung des Modellverständnisses ergänzt um eine Frage zur Modellbildung als Basis für einen Interviewleitfaden geeignet, da sie Ergebnisse gebracht haben, die sich auf die intendierten Aspekte bezogen und somit den Vergleich mit anderen Studien ermöglichen (etwa CAREY et al. 1989, GROSSLIGHT et al. 1991, HARRISON & TREAGUST 2000).

Die Charakterisierung der Levels sollte in weiteren Untersuchungen empirisch überprüft werden. Die Levelbildung in Bezug auf multiple Modelle ist den Ergebnissen folgend in der vorliegenden Untersuchung noch nicht sinnvoll charakterisiert und muss in weiteren Untersuchungen empirisch überprüft werden. Die Daten weisen darauf hin, dass Level 1 nicht relevant ist und Level 2 als Level 1 zu fassen ist. Level 3 ist theoretisch weiter zu differenzieren in Level 2 und 3.

6 Ausblick

Ziel weiterer Untersuchungen muss die Entwicklung eines Kompetenzstrukturmodells mit verschiedenen Teildimensionen auf Basis theoretischer Überlegungen sowie dessen empirische Überprüfung sein (KLIEME 2003). Erste Hinweise ergeben sich aus der vorliegenden Untersuchung: Anscheinend liegt

eine „mosaikartige“ Struktur des Modellverständnisses vor, da bei den einzelnen Schülern Inkonsistenzen in den Vorstellungen zum Modellbegriff und lückenhafte Vorstellungen in den anderen Kategorien auffielen. Für die Klärung dieses Aspektes sollten qualitative Interviews durchgeführt werden.

An die Erhebung des Modellverständnisses von Schülern schließt sich die Frage an, wie man dieses effektiv vermittelt, um Kompetenzen in diesem Bereich zu fördern. Forderungen nach einem Unterricht über Modelle als explizite Vermittlung finden sich bei HOLMAN (1975), MIKELSKIS-SEIFERT (2006) sowie bei LEISNER-BODENTHIN (2006). In der Kombination von impliziter und expliziter Vermittlung, das heißt im Unterricht sowohl mit Modellen als auch über Modelle, könnte ein sinnvoller Ansatzpunkt gefunden sein, der im Rahmen von Interventionen zu evaluieren ist.

Aus der vorliegenden Untersuchung ergeben sich folgende konkrete Anknüpfungspunkte für eine Förderung: Berücksichtigung der Vorstellungen zum Modellverständnis, Einbeziehung und Diskussion der konkreten Vorstellungen der Schüler zur Vermeidung kompartimentalisierten Wissens, Betonung der Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess sowie Einsatz von insbesondere Funktions- und Konstruktmodellen.

Literatur

- ARTELT, C., J. BAUMERT, E. KLIEME, M. NEUBRAND, M. PRENZEL, U. SCHIEFELE, W. SCHNEIDER, G. SCHÜMER, P. STANAT, K.-J. TILLMANN & M. WEIß [Hrsg.] (2001): PISA 2000. Zusammenfassung zentraler Befunde. Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin. Online in Internet: <<http://www.mpibberlin.mpg.de/pisa/ergebnisse.pdf>> [Stand: 29.08.2007]
- BORTZ, J. (2005): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer, Berlin
- CAREY, S., R. EVANS, M. HONDA, E. JAY & C. UNGER (1989): “An experiment is when you try it and see if it works”: a study of grade 7 students’ understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education* **11** (Special Issue), 514-529
- CLEMENT, J. (2000): Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education* **22** (9), 1041-1053

- DRIVER, R., J. LEACH, R. MILLAR & P. SCOTT (1996): Young people's images of science. Open University Press, Buckingham Philadelphia
- ESCHENHAGEN, D., U. KATTMANN & D. RODI (2006): Fachdidaktik Biologie. 7. Aufl., Aulis, Köln. 330-338
- GILBERT, S. W. (1991): Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching* **28** (1), 73-78
- GILBERT, J. K. & C. J. BOULTER [Hrsg.] (2000): *Developing Models in Science Education*. Kluwer, Dordrecht
- GROSSLIGHT, L., C. UNGER & E. JAY (1991): Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching* **28** (9), 799-822
- HARRISON, A. G. & D. F. TREAGUST (2000): A typology of school science models. *International Journal of Science Education* **22** (9), 1011-1026
- HOLMAN, J. (1975): The use of abstract models in science teaching. *School Science Review* **57**, 391-392
- INGHAM, A. M. & J. K. GILBERT (1991): The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education* **13** (2), 193-202
- JUSTI, R. S. & J. K. GILBERT (2002): Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education* **24** (4), 369-387
- KLIEME, E. (2004): Was sind Kompetenzen und wie lassen sie sich messen? *Pädagogik* **9** (6), 10-13
- KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND [Hrsg.] (2005): *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. Wolters Kluwer, München Neuwied
- LEHRER, R., J. HORVATH & L. SCHAUBLE (1994): Developing model-based reasoning. *Interactive Learning Environments* **4** (3), 218-232
- LEISNER, A. (2005): Modellkompetenz im Physikunterricht. In: GIEST, H. [Hrsg.]: *Lern- und Lehr-Forschung: LLF-Berichte* **20**. Universitätsverlag Potsdam, Potsdam. 35-50
- LEISNER-BODENTHIN, A. (2006): Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *ZfD* **12**, 91-109
- MAYRING, P. (2003): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 8. Aufl., Beltz, Weinheim Basel
- MIKELSKIS-SEIFERT, S. (2006): Modellmethode als epistemologisches und didaktisches Konzept. In: MIKELSKIS, H. F. [Hrsg.]: *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Cornelsen, Berlin. 120-138
- PRENZEL, M., J. BAUMERT, W. BLUM, R. LEHMANN, D. LEUTNER, M. NEUBRAND, R. PEKRUN, H.-G. ROLFF, J. ROST & U. SCHIEFELE [Hrsg.] (2004) PISA 2003. Ergebnisse des internationalen Vergleichs. Zusammenfassung. Online in Internet: <http://www.pisa.ipn.unikiel.de/Ergebnisse_PISA_2003.pdf> [Stand: 29.08.2007]

- RENKL, A. (1996): Vorwissen und Schulleistung. In: MÖLLER, J. & O. KÖLLER [Hrsg.]: Emotionen, Kognitionen und Schulleistung. Beltz, Weinheim. 175-187
- SENATSVERWALTUNG FÜR BILDUNG, JUGEND UND SPORT (2006): Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I. Klasse 7-10. Hauptschule, Realschule, Gesamtschule, Gymnasium. Biologie. Online in Internet: < http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1_biologie.pdf > [Stand: 29.08.2007]
- STRIKE, K. A. & G. J. POSNER (1992): A revisionist theory of conceptual change. In: DUSCHL, R. & R. HAMILTON [Hrsg.]: Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice. State University of New York Press, New York. 147-176
- TREAGUST, D. F., G. CHITTLEBOROUGH, T. L. MAMIALA (2002): Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education* **24** (4), 357-368
- WEINERT, F. E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen. Beltz, Weinheim Basel. 17-31

Verfasser

Eva Terzer, eva.terzer@web.de

Annette Upmeier zu Belzen, Institut für Biologie, Invalidenstr. 42, 10115 Berlin.
annette.upmeier@biologie.hu-berlin.de