

ANKE MEISERT

## Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen

From knowing models to an understanding of models  
– elements of comprehensive model competence and its well founded  
learner-based development criteria to identify models

### Zusammenfassung

Ausgehend von einer Modellkompetenz, die sich aus Modellwissen, Modellarbeit und einem übergeordneten Modellverständnis zusammensetzt, werden positive Effekte der Teilkompetenzen Modellarbeit und Modellwissen auf das übergeordnete Modellverständnis im Sinne implizit angeregter Lernprozesse angenommen. Mit Hilfe eines Untersuchungsdesigns, das das Verständnis des Modellcharakters konkreter Modelle aus den Biowissenschaften erhebt und sich nicht auf Vorstellungen zum Modellbegriff bezieht, kann gezeigt werden, dass Lernende der 9. Jahrgangsstufe mit großer Sicherheit Modelle und Nicht-Modelle unterscheiden können. Aus den hierzu erhobenen Begründungen lässt sich zudem ableiten, dass das von den Lernenden durch implizite Vermittlungswege entwickelte Modellverständnis eine fruchtbare Basis für eine weiterführende Differenzierung dieser Teilkompetenz bietet. Es werden von den Lernenden überwiegend Kriterien gewählt, die sich auf das Modell-Original-Verhältnis beziehen und somit einen Schlüsselaspekt des Modellverständnisses in den Blick nehmen. Darüber hinaus werden diese tragfähigen Kriterien mit einer hohen Konstanz zu verschiedenen Modellen als Klassifikationsargument genutzt, während Kriterien, die eher einem reduzierten Modellverständnis entsprechen, nur vereinzelt herangezogen werden. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass Lernende in Auseinandersetzung mit konkreten Modellen über zentrale Elemente eines fundierten Modellverständnisses verfügen, und geben somit wichtige Hinweise für die Entwicklung indirekt instruierender Lernumgebungen zur Modellkompetenz.

Schlüsselwörter: Modellverständnis, Modellkompetenz, indirekte Instruktion

### Abstract

Starting from a model competence including knowing models, understanding models and working with models, it is assumed that knowing models and working with models have positive effects on corresponding learning processes stimulated implicitly. Analysing the understanding of concrete models from the biological sciences without focussing on the concept "model", learners in 9th grade can differentiate capably between models and non-models. The corresponding rationales analysed demonstrate a productive basis for further differentiations of the understanding of models. The learners mostly use criteria with reference to the model-original-relation which represents a key aspect for an understanding of models. Furthermore, these well-founded criteria are applied constantly to different models. Criteria revealing a naive understanding of models are consulted sporadically. The results show, that in view of concrete models learners are well grounded in central elements of a sophisticated understanding of models. This gives some important indication on the development of indirectly instructing learning environments to foster model competence.

keywords: understanding models, model competence, indirect instruction

## 1 Einleitung

Die Praxis des Biologieunterrichts weist einen umfangreichen Einsatz von Modellen auf: von den einfachen Blütenmodellen zu Beginn der Sekundarstufe I bis hin zu komplexen Populationsmodellen der Sekundarstufe II. Die fachdidaktische Systematik entwickelt den Umgang mit Modellen aus zwei Perspektiven, indem Modelle einerseits als Medien verstanden (Kattmann, 2006; Köhler, 2004a) und andererseits im Kontext von Modellarbeit dem Bereich naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen (Duit, Gropengießer & Stäudel, 2007; Köhler, 2004b) zugeordnet werden. In der biologiepädagogischen Literatur dominierte in der Vergangenheit die Perspektive auf Modelle als Medien im Unterricht; hierbei standen im Fokus der Überlegungen vor allem Lehrmodelle, die für bestimmte Vermittlungskontexte entwickelt werden und deren lernfördernder Wert z.B. durch haptische Zugänge bei gegenständlichen Modellen im Vergleich zu anderen Medien geschätzt wird (z.B. Leibold & Klautke, 1999). Im Zuge der stärkeren Fokussierung auf prozedurale Kompetenzen hat das Verständnis für Modellarbeit als Arbeitsweise stärkere Beachtung gefunden und wird entsprechend in den nationalen Bildungsstandards im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung explizit ausgewiesen (KMK, 2004, 12ff). Im engen Zusammenhang mit der Bedeutung von Modellen in Erkenntnisprozessen steht zudem das übergeordnete Ziel eines adäquaten Modellverständnisses, das als Schlüsselaspekt eines generellen Wissenschaftsverständnisses gilt (Gilbert, 1991; Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991; Treagust, Chittleborough & Mamiela, 2002; Develaki, 2007).

Die hier vorgelegte Studie widmet sich möglichen Ressourcen eines Modellverständnisses, über das Lernende – so die Hypothese – durch selbstständiges Einordnen der ihnen im Unterricht präsentierten Objekt- bzw. Wissensrepräsentationen verfügen. Der Darstellung der Untersuchung (3) gehen Vorüberlegungen zur Modellkompetenz (2.1), zu aktuellen Ansätzen der Wissenschaftsthe-

orie (2.2), zur besonderen Bedeutung von Modellen im Biologieunterricht (2.3) und zu bisherigen Untersuchungen zum lernerseitigen Modellverständnis (2.4) voraus.

## 2 Vorüberlegungen

### 2.1 Modellkompetenz

Als Grundlage der Überlegungen zur Förderung des Modellverständnisses durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen werden im Folgenden die Grundzüge einer Modellkompetenz vorgestellt, die als theoretisches Konstrukt die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Teilkompetenzen entwirft und entsprechend positive Effekte in Lernprozessen skizziert. In diese Überlegungen werden sowohl bestehende Ansätze zur Modellkompetenz als auch empirische Befunde einbezogen.

Zur Strukturierung der Modellkompetenz bieten die drei von Hodson (1992) vorgeschlagenen Zielebenen naturwissenschaftlichen Unterrichts eine fruchtbare Basis. Er unterscheidet zwischen „learning science“ als Aneignung naturwissenschaftlichen Wissens, „doing science“ als Umsetzung fachspezifischer Strategien und Methoden der Erkenntnisgewinnung und „learning about science“ als Einblick in das Wesen und die Bedeutung der Naturwissenschaften (Hodson, 1992, 548f). Dieser Ansatz kann für eine präskriptive Strukturierung der Modellkompetenz genutzt werden, denn „the contribution of models and modelling to science education concerns all three purposes of science education identified by Hodson“ (van Driel & Verloop, 2002, 1257). Hieraus kann somit analog eine Differenzierung in Modellwissen, Modellarbeit und Modellverständnis (analog zu „learning of scientific models“, „act of modelling“, „role and nature of models in science“, vgl. Henze, van Driel & Verloop, 2007) abgeleitet werden.

Unter dem Begriff „Modellwissen“ lässt sich die Kenntnis grundlegender Modelle der Biowissenschaften wie Regelkreise, Stammbäume u.ä. zusammenfassen, die

den Lernenden im Sinne eines fundierten Fachwissens Zugänge zu den entsprechend modellbasierten Konzepten der Biologie eröffnen. Bezogen auf die nationalen Bildungsstandards im Fach Biologie ist diese Teilkompetenz der Dimension Fachwissen zuzuordnen (KMK, 2004, 10f.).

Um Modelle in Erkenntnisprozessen nutzen zu können, bedarf es spezifischer Kompetenzen, welche „Modellarbeit“ als Arbeitsweise verfügbar machen und der Dimension Erkenntnisgewinnung zuzuordnen sind (KMK, 2004, 12f.). Im Gegensatz zu Leisner-Bodenthin (2006), die als prozedurale Kompetenz das Anwenden des Inhalts eines Modells („Modellmethode“) charakterisiert, wird hier in Anlehnung an Henze et al. (2007) als prozedurale Kompetenz nicht nur das Nutzen von Modellen (vgl. KMK, 2004, 12), sondern auch die Fähigkeit zur eigenen Entwicklung und Weiterentwicklung von Modellen verstanden. Das besondere Potenzial eigenständiger Modellentwicklung liegt zunächst darin, den Lern- bzw. Erkenntnisprozess der Lernenden direkt zu thematisieren, da Ler-

nen und Erkenntnis nach Giere (1988) und dessen Adaption in fachdidaktischen Konzepten (Alzate & Puig, 2007) als Entwicklung mentaler Modelle verstanden werden kann. Darüber hinaus bietet eigenständige Modellentwicklung einen konkreten Einblick in diese zentrale Aktivität wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (2.2).

Zu den beiden basal ausgerichteten Teilkompetenzen Modellwissen und Modellarbeit tritt mit dem Modellverständnis in Form des Verstehens der Bedeutung von Modellen und Modellarbeit eine übergeordnete Dimension hinzu, die als Teil eines adäquaten Nature of Science-Konzepts verstanden wird (Gilbert, 1991).

Diese drei Schwerpunkte der Arbeit mit Modellen sind im Lernprozess nicht als separate Lernfelder, sondern als sich fundierende, gegenseitig differenzierende und erweiternde Teilkompetenzen zu verstehen, so dass „learning of scientific models and the act of modelling should go together with a critical reflection on the role and nature of models in science“ (Henze et al., 2007, 105). Da insbesondere dem Modellverständnis eine übergeordnete Bedeutung zukommt, werden die drei skizzierten Teilkompetenzen hier hierarchisch mit entsprechenden Interdependenzen und nicht als Paralleldimensionen konstruiert (siehe Abb. 1).

Für die positiven Effekte einer lernerseitigen Modellentwicklung auf das Modellverständnis der Lernenden liegen diverse empirische Belege vor (Penner, Giles, Lehrer & Schauble, 1997; Meisert, 2006). Von einem differenzierten Modellverständnis sind umgekehrt wiederum positive Auswirkungen auf die Fähigkeiten zur Entwicklung von Modellen zu erwarten; so zeigen die Lernenden erfolgreiche Problemlösestrategien

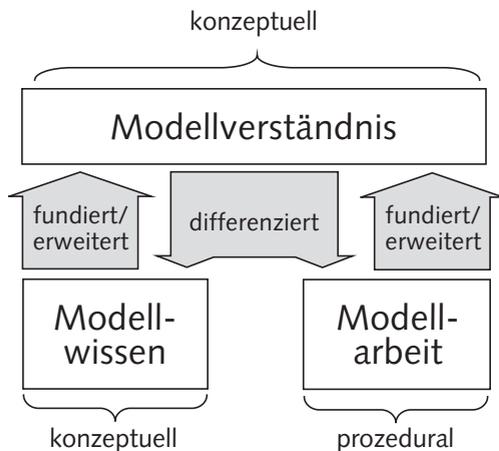


Abb. 1: Dimensionen der Modellkompetenz und entsprechende Wechselwirkungen. Modellwissen stellt ein Repertoire konkretisierter Beispiele zur Verfügung, um die übergeordneten Konzepte des Modellverständnisses anwendend verstehen und angesichts der Vielfalt von Modellen erweitern zu können. Modellarbeit liefert hingegen Konkretisierungen zum Entwicklungs- und Interpretations-, bzw. Kontingenzcharakter von Modellen. Von einem weit entwickelten Modellverständnis sind differenzierende Effekte auf die Qualität des Modellwissens und die Fähigkeiten zur Modellarbeit zu erwarten.

im Umgang mit Modellen, die auf der Basis eines Grundverständnisses von dem (Weiter-)Entwicklungscharakter von Modellen einfache Modelle als Basis für die Entwicklung komplexerer Modelle nutzen (Johnson & Stewart, 2001).

Keine konkreten Untersuchungen liegen zur Interdependenz zwischen Modellwissen und Modellverständnis vor, obwohl hierin vermutlich ein Schlüsselaspekt gelingenden Umgangs mit Modellen liegt. Ein natives Modellverständnis kann inadäquate Rückschlüsse von Modellen auf die Realität fördern, bzw. nicht verhindern; ein vielfältiges Modellwissen hingegen kann u.U. als fruchtbare Grundlage für ein differenziertes Modellverständnis dienen. Obgleich bereits verschiedene Untersuchungen zum Verständnis des Modellbegriffs von Lernenden, der stark durch Alltagsvorstellungen geprägt ist, vorliegen, ist bisher ungeklärt, welches Modellverständnis sich die Lernenden zu den im Unterricht kennen gelernten Modellen im Sinne einer implizit angeregten Konzeptentwicklung angeeignet haben. Es ist zwar davon auszugehen, dass die Lernenden nicht an expliziten Reflexionen über das Wesen von Modellen partizipiert haben (Leisner-Bodenthin, 2006), wie auch verschiedene Untersuchungen entsprechender Konzepte der Lehrenden zeigen (van Driel & Verloop, 1999; Justi & Gilbert, 2002; Justi & Gilbert, 2003). Dennoch ist zu erwarten, dass Lernende die Modelle, die ihnen im Unterricht begegnen, auf irgendeine (oder mehrere) Art und Weise(n) einordnen und gegen andere „Objekte“ abgrenzen und damit über selbst entwickelte oder übernommene Kriterien zur Unterscheidung zwischen Modellen und Nicht-Modellen verfügen. Diese lernerseitigen Kriterien stellen u.U. ein großes Potenzial zur Förderung eines generellen Modellverständnisses dar, denn die Unterscheidung zwischen Modellen und Nicht-Modellen repräsentiert einen Schlüsselaspekt des Modellverständnisses, so dass auch Leisner-Bodenthin die Fragen „Was ist ein Modell?“ und „Was ist kein Modell?“ zu den essentiellen Fragen der wissenschaftstheoretisch re-

levanten Aspekte des Modellverständnisses zählt (Leisner-Bodenthin, 2006, 92). Schon das Kennenlernen von Modellen im Unterricht ginge dann einher mit einem impliziten lernerseitigen Konzeptaufbau, der für einen weiter führenden expliziten Kompetenzaufbau fruchtbar gemacht werden könnte. Eine genauere Analyse dieser potenziell verfügbaren Ressourcen zum Modellverständnis ist auf zwei Ebenen von Interesse: Erstens bildet es durch ein Anknüpfen an vorunterrichtliche Vorstellungen im Sinne einer Konzepterweiterung bzw. eines Konzeptwechsels eine lernpsychologisch wertvolle Basis für weiter führende Lernprozesse (vorunterrichtliche Vorstellungen sind hier primär als Ergebnis des vorangegangenen Unterrichts zu verstehen, siehe Weitzel, 2004); zweitens gibt es Aufschluss über die Konzepte, die Lernende durch eigenständiges Nachdenken über Modelle selbstständig entwickeln und die damit für indirekt instruierende Lehrkonzepte zum Kompetenzaufbau genutzt werden können.

## 2.2 Modelle und ihre Bedeutung im wissenschaftlichen Kontext

Stachowiak prägte auf dem Hintergrund eines wissenschaftlichen Pragmatismus das Verständnis, Modelle seien „zwar immer Modelle von etwas, Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale (die selbst wieder Modelle sein können). Aber sie erfassen im Allgemeinen nicht alle Originalattribute, sondern stets nur solche, die für die Modellbildner relevant sind“ (Stachowiak, 1980, 29). Damit weist Stachowiak im Rahmen seiner „Allgemeinen Modelltheorie“ dem Modellierer die Schlüsselrolle des intentionsgeleiteten Selektierers zu und charakterisiert Modelle als pragmatische Entitäten im Sinne der Realisation eines mindestens fünfstelligen Prädikats: „X ist ein Modell des Originals Y für den Verwender v in der Zeitspanne t bezüglich der Intention Z“ (ebd.). Hieraus leitet er folgerichtig ab, dass ein Modell erst dann ein

Modell von etwas ist, wenn es durch ein Subjekt als Ersatz für das Original genutzt wird, um Operationsergebnisse am Modell auf das Original zu übertragen (ebd.). Diese Überlegungen sind trotz der differenzierten Analyse des Modellierers bezüglich der Relation zwischen Original und Modell einem Abbildcharakter von Modellen verhaftet; entsprechende Vorstellungen liegen in vereinfachter Form der durch Steinbuch (1977) in die Didaktik eingeführten und bis heute gängigen Formel zugrunde, Modellierung sei eine „theoriebezogene Reduktion auf das Wesentliche“ (Kattmann, 2006, 331). Insbesondere der Reduktionsbegriff in dieser Definition markiert die Annahme einer realen Ähnlichkeit zwischen Modell und Original bezüglich der selektierten Eigenschaften. Zentral in diesem Modellverständnis ist die Annahme, dass Modelle den Theorien als abgeleitete Konstrukte nachgeordnet sind, indem sich der Modellierungsprozess als Reduktion von Realität an der/en entsprechende/n Theorie/n orientiert. Dieses Verhältnis zwischen Modell und Theorie bzw. theoriekonstituierenden Gesetzen und Prinzipien wurde in der neueren Diskussion revidiert. Hierbei hat der in der Debatte um realistische vs. konstruktivistische Ansätze in der Wissenschaftstheorie seit den 1970er Jahren entwickelte Ansatz des „model-based“ oder „semantic view“ (Suppe, 1977) an Bedeutung gewonnen (Delaki, 2007), der Modelle als „main vehicle of scientific knowledge“ (Suppe, 2000, 109) und als „primary representational entities in science“ (Giere, 1999, 5) versteht. Demnach bestehen wissenschaftliche Erkenntnisse im Kern nicht aus Gesetzen oder Prinzipien, sondern aus Modellvorstellungen, in denen Gesetze und Prinzipien Gültigkeit erlangen. Modelle werden entsprechend verstanden „as a basic structural element of the theories and as a mediator between theory and reality. [...] The semantic view [...] understands the theories as sets of models, where model is defined as any structure in which the axioms of a theory are true“ (Develaki, 2007, 728). Dieses Verständnis von Modellen führt auch

zu veränderten Vorstellungen von den Prozessen der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, die schließlich mit umfassenden Neu-Definitionen von Wissenschaft einhergehen: “It is one possibility to define science as a process of constructing predictive conceptual models” (Gilbert, 1991, 73).

Erkenntnisprozesse generieren demzufolge primär keine direkten Aussagen über die Realität, sondern konstituieren sich durch eine modellierte Repräsentation derselben. Das von den Vertretern des „model-based view“ entworfene Verhältnis von Realität, Modell und Gesetzmäßigkeiten löst hierbei das viel diskutierte Problem der Wissenschaftstheorie, dass Gesetze niemals exakte Vorhersagen bzw. Beschreibungen realer Ereignisse bieten (vgl. Portides, 2007). Ihre uneingeschränkte Gültigkeit erfüllt sich nach dem „model-based view“ nur im Kontext entsprechender Modellvorstellungen und somit sind es Modelle und nicht Gesetze im traditionellen Sinne, „that do the important representational work in science“ (Giere, 1999, 7). Die Frage nach der Gültigkeit eines Gesetzes entscheidet sich folglich nicht direkt an der Übereinstimmung seiner Vorhersagen mit empirischen Daten, sondern daran, ob dieses Gesetz innerhalb eines Modells gültig ist, das eine adäquate Repräsentation der Realität darstellt. Modelle “might or might not be similar to aspects of objects and processes in the real world. Scientists themselves are more likely to talk about the fit between their models and the world” (ebd., 5). Die zentrale Frage nach dem Wahrheitsgehalt wissenschaftlicher Aussagen entscheidet sich demzufolge am Verhältnis zwischen Modell und Realität im Sinne seiner Repräsentationsfunktion. Das Verhältnis zwischen Modell und Realität ist hierbei nach Giere nicht als logische Relation wie bei Stachowiak (s.o.) zu verstehen, sondern als Ähnlichkeit im Sinne einer personalen Entscheidung: “*judging the fit of a model to the world is a matter of decision, not logical inference*“ (ebd., 7). Giere postuliert somit, dass es nicht das Modell selbst ist, das eine Verweisfunktion erfüllt, sondern der Modellierer und/oder Modellbetrachter,

der dem Modell dies zuweist. Damit ist die Relation zwischen Original und Modell also keine, die sich aus den Eigenschaften dieser beiden Entitäten ergibt, sondern das Ergebnis eines Interpretationsprozesses, der von der Perspektive des Betrachters abhängt. Giere akzentuiert dies treffend wie folgt:

*„What is special about models is that they are designed so that elements of the model can be identified with features of the real world. [...] Note that I am not saying that the model itself represents an aspect of the world because it is similar to that aspect. There is no such representational relationship. Anything is similar to anything else in countless respects, but not anything represents anything else. It is not the model that is doing the representing; it is the scientist using the model who is doing the representing. [...] I wish to emphasize that representing aspects of real systems in this way does not require the existence of an objective measure of similarity between the model and the real system.“* (Giere, 2004, 747).

Die zentrale Repräsentationsfunktion des Modells beruht demnach auf einem Modell-Original-Ähnlichkeitskonstrukt durch den Modellierer (Abb. 2). Der „model-based view“ nimmt damit eine Aufwertung des interpretierenden Individuums vor, das sich die Realität durch Konstruktion von Modellvorstellungen erschließt, die eine perspektivisch begrenzte Ähnlichkeit zur Realität aufweisen (Giere, 2006). Damit gelingt dem „model-based view“ eine Auflösung des Konflikts zwischen Realisten und Konstruktivisten, da die Konstruktionsleistung des Individuums durch das Modell als Relation zwischen Theorie und Realität mit der Wirklichkeit verbunden bleibt. Die Relation zwischen Modell und Realität beruht auf einer perspektivisch bedingten Ähnlichkeitsrelation und verhindert die durch Konstruktivisten postulierte Entkopplung von Theorie und Wirklichkeit.

Darüber hinaus basieren die Vorstellungen der model-based theory u.a. auf kognitionswissenschaftlichen Ansätzen, nach denen Denkprozesse als ein Konstruieren

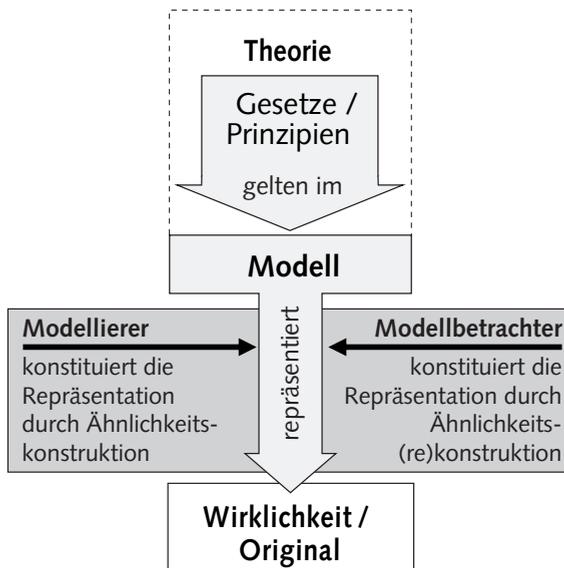


Abb. 2: Das wissenschaftstheoretische Konzept des „model-based view“

Modelle verbinden Gesetze und Prinzipien einer Theorie mit der Wirklichkeit, da sie in den Modellen wahr sind und diese Modelle durch einen Modellierer (oder einen Modellbetrachter) die Realität repräsentieren.

mentaler Modelle verstanden werden; dies wurde von Giere in seinen Überlegungen explizit aufgenommen (Giere, 1988), so dass die „model-based theory“ neben dem Brückenschlag zwischen Realismus und Konstruktivismus auch eine Annäherung zwischen kognitions- und erkenntnistheoretischen Ansätzen darstellt.

Die hier vorgestellten Ansätze der modernen Wissenschaftstheorie dokumentieren die zentrale Rolle von Modellen in der wissenschaftlichen Theorieentwicklung und verdeutlichen, dass das Modell-Realitäts-Verhältnis eine Schlüsselrolle bei der Rekonstruktion wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung einnimmt.

### 2.3 Modelle im Biologieunterricht

Generell gelten Konzepte zu Modellen und Modellarbeit für alle drei naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer in gleicher Weise, so dass sich z.B. Erhebungen zu entsprechenden Lehrerkonzepten meist auch auf Lehrkräfte aller drei Fächer beziehen (van Driel & Verloop, 1999; Justi & Gilbert, 2003). Dennoch bedingen die spezifischen Bezugsfelder der naturwissenschaftlichen Disziplinen unterschiedliche Modelltypen und hierbei zeigen sich vor allem Besonderheiten des Faches Biologie. Aufgrund der erschwerten Verfügbarkeit lebender Organismen und der strukturellen Vielfalt biologischer Systeme besteht im Biologieunterricht ein großer Bedarf an Modellen, die durch einfache Nachahmung biologischer Originale diese im Unterricht ersetzen können. Vom ganzen Torso über originalgroße Herzmodelle bis hin zu Nachbildungen eines Froschkörpers oder zerlegbaren Blütenmodellen dominieren in den Biologiefachräumen Modelle, die jeweils eine möglichst originalgetreue Nachahmung des Originals ohne spezifischen Erklärungsansatz intendieren. Dem gegenüber stehen Modelle, die im Kontext eines Erkenntnisinteresses bestimmte biologische Strukturen und/oder Relationen zwischen diesen entwerfen, welche einer direkten

Erschließung nicht zugänglich sind; hierzu gehören die vielzähligen Varianten der Regelkreismodelle, Stammbäume als rekonstruierte Entwicklungslinien sowie Modelle im submikroskopischen Bereich wie das Fluid-Mosaik-Modell der Zellmembran. Eine dichotome Klassifikation in „Nachahmungsmodelle“ und „Erkenntnismodelle“ ist jedoch nicht trennscharf, denn auch Modelle, die primär gemäß einem Nachahmungsinteresse hergestellt wurden, werden teilweise durch Aspekte ergänzt, die theoriegeleitet eine Erklärungsinstanz hinzufügen, wie z.B. die farbliche Unterscheidung in venöse und arterielle Gefäße am Herzmodell. Ebenso werden Erkenntnismodelle immer wieder auch mit originalähnlichen oder -analogen Attributen versehen, um das Verständnis zu erleichtern. Eine Systematisierung von Modellen sollte daher nicht eng definierten Klassen folgen, sondern eine Einordnung zwischen den Polen von Nachahmungs- und Erkenntnisfunktion vornehmen. Dieser funktions- und nicht merkmalsbezogene Zugang entspricht zudem auch dem lange etablierten Verständnis, dass ein Modell erst ein Modell von etwas ist, wenn es durch ein Subjekt als Repräsentation des Originals genutzt wird (s.o.). Bereits die wenig spezifizierende Modell-Definition von Stachowiak (1980, 29) markiert die Schwierigkeit einer einheitlichen Begriffsbestimmung. Ein Ausweg aus diesem Dilemma weist die Untersuchung von Van der Valk, Van Driel & de Vos (2007), die eine Spezifikation des Modellbegriffs auf der Grundlage einer Expertenbefragung vornimmt, und damit zentrale Merkmale von Modellen systematisiert. Das Problem der großen Vielfalt von Modellen lässt Giere schließlich konstatieren, „there can be no unified ontology of models“ (Giere, in press, 1). Die entsprechenden Abgrenzungsprobleme treten auch in Form unterschiedlicher Vorstellungen zur Unterscheidung zwischen Modellen und Nicht-Modellen zutage, so dass z.B. die Typologie von Harrison & Treagust (2000) keine Achsendiagramme umfasst, während diese von Giere (Giere, in press) als „data models“ eingestuft werden.

Wenn schließlich im Unterricht häufig Modelle mit einer primären Nachahmungsfunktion eingesetzt werden, so prägt dies ein Modellverständnis im Sinne des Kopiecharakters, das zudem auch durch den Modellbegriff in Alltagskontexten bestätigt wird. Dem Biologieunterricht kommt demzufolge die zentrale Aufgabe zu, diese Vorstellungsbildung zu differenzieren und damit die Erkenntnisdimension wissenschaftlicher Modelle zugänglich zu machen. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass die vielen Modelle der Biologie mit einer Mischung aus Nachahmungs- und Erkenntnisfunktion, die noch direkt zu verfügbaren Originalen in Bezug gesetzt werden können, auch eine Chance für Lernprozesse darstellen, da die Möglichkeiten eines konkreten Original-Modell-Vergleichs die generellen Differenzen zwischen Modell und Original als Beispiel für die grundlegende Differenz zwischen Theorien und der Wirklichkeit zugänglicher machen. Gerade in diesem Aspekt sehen Grosslight et al. (1991) folgerichtig auch das besondere Potenzial der Modellkonzepte für das generelle Wissenschaftsverständnis: „It seems easier for students to make a distinction between models and the thing modeled than for them to grasp the distinction between scientists' ideas and the reality those ideas are about“ (Grosslight et al., 1991, 820).

Zur Förderung eines umfassenden Modellverständnisses werden sowohl implizite (z.B. durch Modellarbeit) als auch explizite (z.B. Reflexion der entsprechenden Metakonzepte) Vermittlungsstrategien diskutiert (Mikelskis-Seifert, 2002; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2007; Meisert, 2006). Grundlegend für beide Wege ist die Analyse entsprechender Lernervorstellungen als Basis für daran anknüpfende bzw. kontrastierende Lehrkonzepte.

## 2.4 Lernervorstellungen zu Modellen

Da das Modellverständnis als zentrale Dimension eines generellen Wissenschaftsver-

ständnisses gilt, wurden schon in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts Erhebungen zu den entsprechenden Lernerkonzepten durchgeführt. Als wegweisend ist hier die Studie von Grosslight et al. (1991) einzustufen, die auf der Grundlage von Lerner- und Experteninterviews drei Niveaustufen des Modellverständnisses abgeleitet hat. Die Mehrzahl der Lerner zeigt hierbei ein naives Modellverständnis, das von einer 1:1-Relation zwischen Modell und Original ausgeht und über keine konkrete Vorstellung vom Einfluss des Modellierers auf den Modellierungsprozess verfügt: „The typical 7th graders exhibits a viewpoint that is consistent with a simple copy theory epistemology“ (Grosslight et al., 1991, 891). Das Modellverständnis auf Level 2 ist charakterisiert durch ein Bewusstsein über die Zweckausrichtung von Modellen, so dass diese nur bestimmte Aspekte der Realität zeigen. Dennoch weisen Lerner auf diesem Niveau noch ein Grundverständnis auf, in dem Modelle die Realität wiedergeben und nicht die Idee eines Modellierers: „Our level 2 students still fundamentally see models as representations of real-world objects or events and not as representations of ideas of real-world objects or events“ (ebd.). Die Einschränkung des reinen Kopie-Charakters durch explizites Einbeziehen einer Intentionalität des Modellierers wird auf Level 2 zudem dadurch begrenzt, dass die Modelle wesentlich auf ihre Kommunikationsfunktion reduziert bleiben. Erst auf Level 3, der ausschließlich von ebenfalls untersuchten Experten erreicht wird, besteht ein Verständnis von Modellen als Instrument der Erkenntnisgewinnung im Sinne ihrer Funktion als Ideenentwickler und –tester; „they believe, that the model can be manipulated and subjected to tests that provide information about how the model may need to be revised“ (ebd.). Insgesamt lässt sich mit Van Driel und Verloop zusammenfassen: „The functions of models in explaining and predicting observable phenomena were only rarely acknowledged by the(se) students“ (Van Driel & Verloop, 1999, 1143). Obwohl die grundlegenden

Charakterisierungen der Lerner-Konzepte zu Modellen und Modellarbeit, die Grosslight et al. (1991) vorgenommen haben, in anderen Studien aufgenommen und bestätigt werden (Penner et al., 1997), sind bezüglich der Untersuchungsmethodik weiterführende Überlegungen angebracht. Die Erhebung der Modellkonzepte erfolgt bei Grosslight et al. (1991) und auch bei Penner et al. (1997) durch Interviews, in denen die Lernenden vor allem auf der Grundlage ihres Begriffsverständnisses zu Modellen befragt werden (z.B. durch das Erfragen von Modellbeispielen oder -typen). Die Antworten der Lernenden beziehen sich entsprechend häufig auf Alltagskontexte (z.B. fashion models, toy models, role models, u.ä.; Grosslight et al., 1991, 805), aus denen der Begriff Modell bekannt ist. In diesen Alltagskontexten dominieren aber gerade so genannte „scale models“ wie Spielzeugautos etc., die sich deutlich von wissenschaftlichen Modellen unterscheiden (vgl. van Driel & Verloop, 1999; Harrison & Treagust, 2000). Entsprechend erzielen auch Terzer und Upmeier (2007) vergleichbare Ergebnisse, die im Rahmen eines offenen Fragebogens freie Antworten der Lernenden zum Modellbegriff auswerten.

Damit bleibt durch die bisherigen Studien ungeklärt, ob die Lernenden zu konkreten wissenschaftlichen Modellen, die ihnen im Unterricht wiederholt begegnen, u.U. über differenziertere Konzepte verfügen, die sie bei begriffsbasierten Fragestellungen nicht explizieren. Eine Weiterentwicklung der bisherigen Untersuchungsansätze ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da die lernerseitige Verfügbarkeit bzw. Entwicklungsfähigkeit entsprechender Kognitionen speziell für indirekt instruierende Lehrkonzepte, wie sie auch zu Aspekten der Erkenntnisgewinnung gefordert werden (Dean & Kuhn, 2007), eine zentrale Grundlage bildet. Für weitere Untersuchungen ist entsprechend der vorangegangenen Überlegungen eine differenzierte begriffliche Abgrenzung gegen das Verständnis von Modellen im Alltag vorzunehmen.

### 3 Untersuchung

#### 3.1 Fragestellung

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, über welches Verständnis von Modellen in den Biowissenschaften Lernende verfügen. Im Gegensatz zu der Studie von Grosslight et al. (1991) fokussiert die Erhebung nicht auf das begriffsbezogene „Modell“-Verständnis, sondern auf das Verständnis der Schülerinnen und Schülern, das sie mit konkreten Modellen verbinden. Die übergeordnete Fragestellung untergliedert sich in folgende Teilfragen:

1. Inwieweit können Lernende Modelle und Nicht-Modelle unterscheiden?
2. Über welche Klassifikationsbegründungen als Ausdruck ihres Modellverständnisses verfügen die Lernenden?
3. Inwieweit variiert die Fähigkeit zur Klassifikation von Modellen mit der Art der Modelle?
4. Werden diese Klassifikationsbegründungen konstant als Kriterien herangezogen?

#### 3.2 Methodik

##### 3.2.1 Datenerhebung

Die Erhebung erfolgt mit Hilfe eines Fragebogens, der Abbildungen sieben verschiedener Modelle und dreier Nicht-Modelle zeigt, die über geschlossene Items (Modell? Ja/Nein) als solche klassifiziert werden sollen. Zu jedem Modell/Nicht-Modell folgt eine offene Frage, in der die vorgenommene Klassifikation begründet werden soll. Die Stichprobe umfasst insgesamt 181 Schülerinnen und Schüler des 9. Jahrgangs von drei verschiedenen Gymnasien in Niedersachsen.

##### 3.2.2 Datenauswertung

Das Klassifikationsverhalten der Probanden zu den unterschiedlichen Modellen wird über die relative Häufigkeit der Positivklassifikationen aufgeschlüsselt (→ 1. Teilfrage).

Die Klassifikationsbegründungen werden im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2003) ausgewertet, um ein entsprechendes Kategoriensystem abzuleiten. Zwei Personen entwickeln hierbei zunächst unabhängig voneinander die Kategorien, die dann abgleichend festgelegt werden. Die Auswertung des Datensatzes mit Hilfe der Kategorien erfolgt durch eine weitere Person. Unsichere Kodierungsfälle werden gemeinsam mit den Kategorientwicklern diskutiert und entsprechend eingeordnet; die erfolgten Kodierungen werden von einem der Kategorientwickler überprüft, indem zehn Fragebögen per Zufall ausgewählt und nochmals kodiert werden, um das Übereinstimmungsmaß (Interkoderreliabilität) zu bestimmen.

Die Auswertung der kategorisierten Klassifikationsbegründungen erfolgt kriterien-, modell-, und probandenbezogen. Für die kriterienbezogene Analyse wird die Nutzungshäufigkeit der jeweiligen Klassifikationsbegründungen über die gesamte Stichprobe ausgewertet (→ 2. Teilfrage). Eine entsprechende Aufschlüsselung dieser Nutzungshäufigkeiten bezogen auf die einzelnen Modelle bildet die Datenbasis für die modellbezogene Analyse (→ 3. Teilfrage). Die probandenbezogene Analyse (→ 4. Teilfrage) erfolgt in zwei Schritten: Um die generelle Konstanz der Probanden beim Heranziehen von Klassifikationskriterien zu bestimmen, wird die relative Nutzungshäufigkeit des Kriteriums bestimmt, das von den jeweiligen Probanden am häufigsten genannt wird (favorisiertes Kriterium); die Frequenz ( $F_{FK}$ ), mit der dieses favorisierte Kriterium genutzt wird, wird berechnet, indem die Anzahl der Nennungen des Kriteriums ( $N_{fav}$ ), das von einem Probanden am häufigsten genutzt wird (favorisiertes Kriterium), in Relation zur Gesamtzahl erfolgter Klassifikationsbegründungen des jeweiligen Probanden ( $N_{gesamt}$ ) gesetzt wird ( $F_{FK} = N_{fav} \times 100 \times N_{gesamt}^{-1}$ ). Die probandenbezogene Nutzungsfrequenz wird in einem zweiten Schritt zudem kriterienspezifisch durch einfache Häufigkeitsanalyse aufgeschlüsselt ( $F_{KS}$ ). Für die beiden

Analysen der Nutzungsfrequenzen werden nur jene Fälle herangezogen, die mindestens drei Klassifikationsbegründungen aufweisen, da bei Fällen mit nur ein oder zwei Klassifikationsbegründungen die jeweilige Nutzungshäufigkeit des Kriteriums bzw. der Kriterien im Sinne der Fragestellung wenig aufschlussreich ist. Die Streuungsanalysen zu den probandenbezogenen Datenauswertungen erfolgen mit Hilfe von SPSS. Obwohl bezüglich der Frequenzanalysen vor allem die Maximalwerte von Interesse sind, werden Streuungsanalysen vorgenommen, da die oberen und unteren Quartile und Whisker durch Ausschluss von „Ausreißern“ eine differenziertere Analyse der Datenverteilung zulassen.

### 3.3 Ergebnisse

Alle drei im Fragebogen gezeigten Nicht-Modelle werden durch unter 5% der Antworten als Modelle klassifiziert (Abb. 3). Die Häufigkeit positiver Modellklassifikationen zu den sieben gezeigten Modellen variiert zwischen 23,76 und 91,16%. Fünf der sieben Modelle werden jeweils durch mehr als 75% der Klassifikationen korrekt eingestuft. Deutlich weniger zutreffende Klassifikationen erfolgen bezüglich des Stammbaums mit nur 54,14% und des Liniendiagramms mit nur 23,76%.

Von 181 eingesetzten Fragebögen konnten 160 mit auswertbaren Bearbeitungen der offenen Items für die Analyse der Klassifikationsbegründungen herangezogen werden. Mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse wurden elf unterschiedliche Klassifikationskriterien ermittelt (Tab. 1). Hierbei lassen sich drei Bezugsdimensionen unterscheiden: Klassifikationskriterien wie die „Art der Darstellung“ oder „Raumdimension“ nehmen ausschließlich Merkmale des Modells in den Blick; Kriterien, die sich auf den Nachbildungs-, Darstellungs- oder Vereinfachungscharakter der Modelle beziehen, berücksichtigen das Verhältnis der Modelle zu den Originalen als Bezugsrahmen; ein ex-

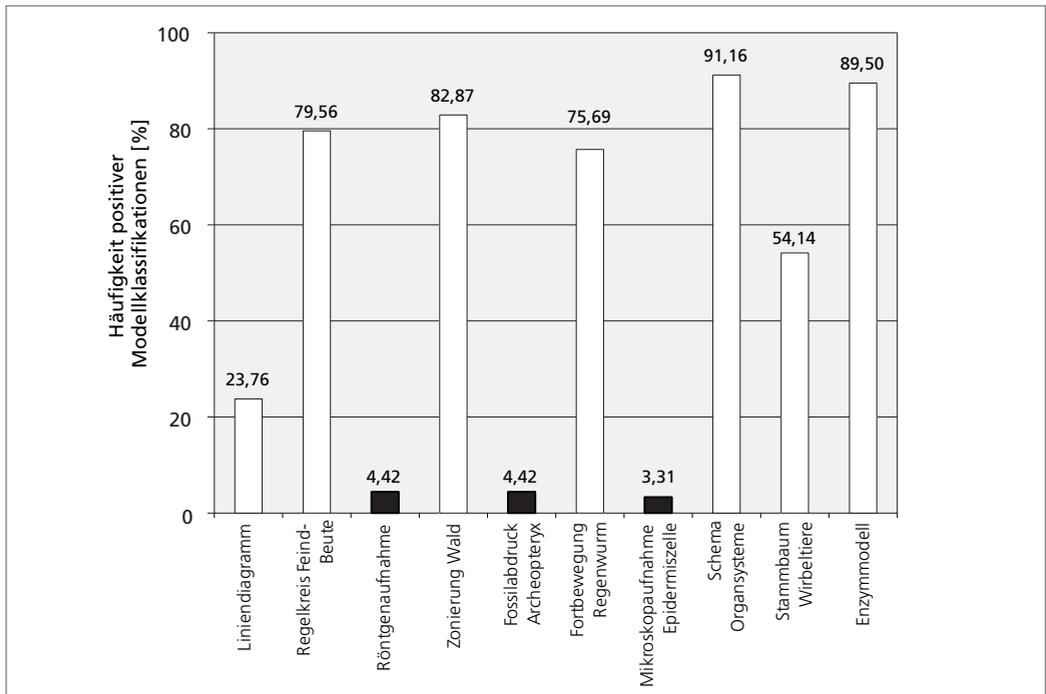


Abb. 3: Häufigkeit [%] positiver Modellklassifikationen zu den Nicht-Modellen (■) und den Modellen (□) des geschlossenen Teils der Fragebogenerhebung. N = 181

Tab. 1: Nach Bezugsdimensionen geordnete Klassifikationskriterien mit entsprechenden Ankerzitate

Bezugsdimensionen	Klassifikationskriterien	Ankerzitate
Merkmale des Modells	Darstellungsform	„ist eine bildliche Darstellung“
	Raumdimension	„ist nur zweidimensional“
Verhältnis Modell-Original	Vergrößerung/Verkleinerung des Originals	„Enzyme werden vergrößert dargestellt“
	Vereinfachung	„menschlicher Körper wird vereinfacht dargestellt“
	Differenz zum Original	„keine echten Organe“
	Nachbildung	„soll so aussehen wie ein richtiger Regenwurm“
	dargestellter Sachverhalt	„Kreislauf wird dargestellt“
Erkenntnisfunktion	Sichtbarmachen	„zeigt, was eigentlich zu klein ist, um es zu sehen“
	Erklärungsfunktion	„gibt wieder, wie der Kreislauf funktioniert“
	Fokussierung	„zeigt nicht den ganzen Wald, sondern nur die Stufen“
	Hypothese	„Enzyme werden vorgestellt, wie sie aussehen könnten“

pliziter Bezug zur Erkenntnisfunktion liegt schließlich den Klassifikationskriterien zur Erklärungsfunktion und zum Fokussierungs- bzw. Hypothesencharakter zugrunde.

Die Interkoderreliabilitätsanalyse zur Kodierung der offenen Items mit Hilfe des Kategoriensystems anhand der zufälligen Auswahl von zehn doppelt kodierten Fällen zeigt eine Übereinstimmungsmaß von 97,8%.

Die Häufigkeitsanalyse der Kriterien, die mindestens mit 1% als Klassifikationsbegründung repräsentiert sind (Abb. 4), zeigt, dass das Klassifikationskriterium „dargestellter Sachverhalt“ mit 40% am häufigsten herangezogen wurde. Nahezu ein Viertel aller Begründungen ist dem Kriterium „Sichtbarmachen“ zuzuordnen. Die Kriterien „Sichtbarmachen“ und „Differenz zum Original“ sind mit je 9% vertreten, während Begründungen zur Erklärungsfunktion der Modelle in 11% der Antworten auftreten. Klassifikationskriterien zum Nachbildungscharakter der Modelle kommen mit 1% nur selten vor; Bezüge zur Darstellungsform sind mit 6% repräsentiert. Über die Hälfte der Kriterien zur Modellklassifikation beziehen sich damit auf das Modell-Original-Verhältnis und

weitere 35% auf die Erkenntnisfunktion des Modells.

Die modellbezogene Analyse zeigt, dass die Frequenzen der Klassifikationskriterien nur geringfügig mit den Modellen variieren (Abb. 5); so gilt z.B. für alle Modelle, dass am häufigsten das Kriterium „dargestellter Sachverhalt“ herangezogen wird und dass auch das Kriterium „Sichtbarmachen“ für alle Modelle als zweithäufigste Begründung genutzt wird.

Analysiert man die probandenbezogene Nutzungsfrequenz des am stärksten favorisierten Klassifikationskriteriums, so zeigt der Median bei  $F_{PK} = 66,67\%$  (Abb. 6, Median), dass die Hälfte der Lernenden mindestens zwei Drittel ihrer Modellklassifikationen mit dem selben Klassifikationskriterium begründet haben; 25% der Probanden ziehen in mehr als 80% ihrer Begründungen konstant ein bestimmtes Kriterium heran (Abb. 6, oberer Whisker). Die Summe aus dem unteren und oberen Quartil sowie dem oberen Whisker markiert, dass 75% der Probanden für 50-100% ihrer vorgenommenen Klassifikationsbegründungen ein favorisiertes Kriterium nutzen.

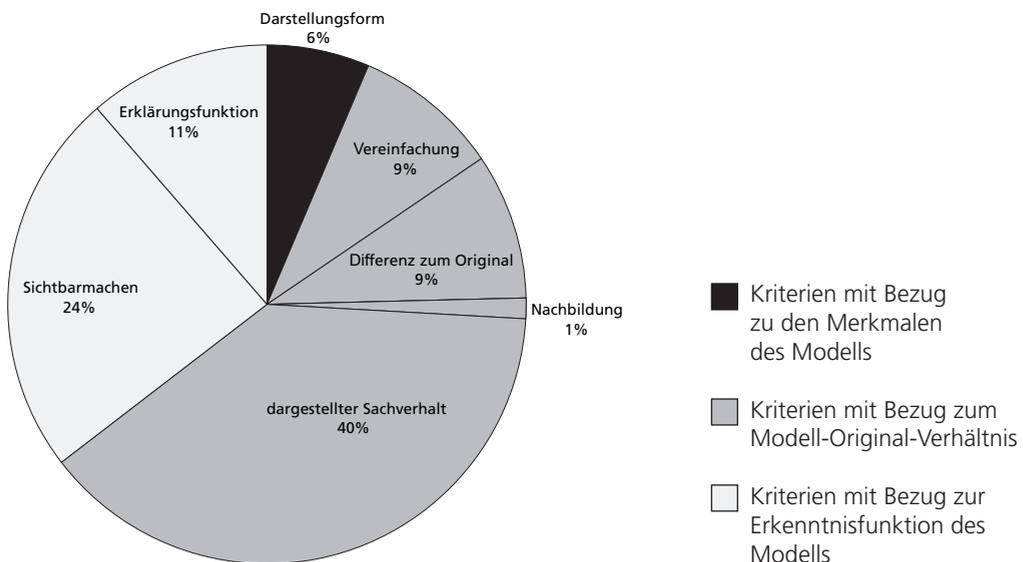


Abb. 4: Häufigkeit [%] der kategorisierten Klassifikationskriterien. N = 160

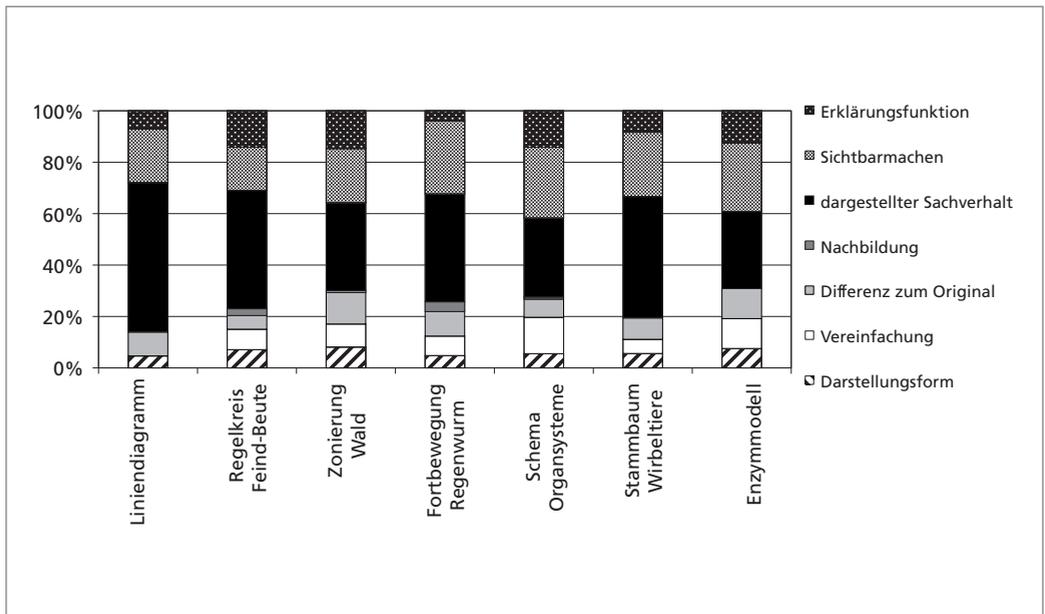
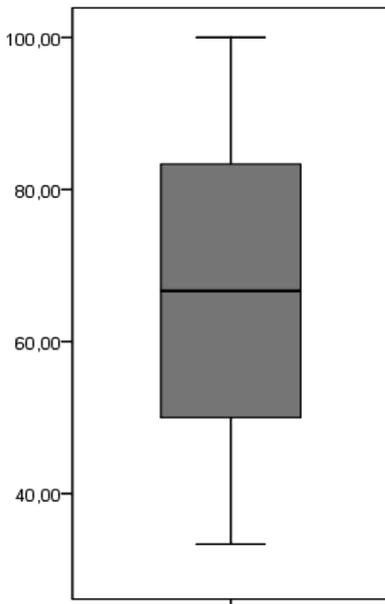


Abb. 5: Modellbezogene Häufigkeit [%] der kategorisierten Klassifikationskriterien. N = 160



Die Maximalwerte einer entsprechenden Aufschlüsselung der kriterienspezifischen Nutzungsfrequenzen liegen für die Kriterien „Vereinfachung“, „Differenz zwischen Original und Modell“, „dargestellter Sachverhalt“, „Sichtbarmachen“ und „Erklärungsfunktion“ bei  $F_{fK} = 6$ , während die Maximalwerte der Kriterien „Darstellungsform“ nur  $F_{fK} = 5$  und „Nachbildung“ nur  $F_{fK} = 2$  erreichen. Die Streuungsanalyse über Boxplots, die „Ausreißer“ nicht berücksichtigt, liefert ein differenzierteres Bild (Abb. 7). Der jeweils obere Whisker der Boxplots, der die Streuung des oberen Viertels der Stichprobe zeigt, erreicht hiernach die maximale Ausdehnung bis  $F_{fK} = 6$  nur bei den Kriterien „dargestellter Sachverhalt“, „Sichtbarmachen“, „Vereinfachung“ und „Differenz zwischen Original und Modell“, d.h. diese Klassifikationskriterien

Abb. 6: Prozentuale probandenbezogene Frequenzen  $F_{fK}$  [%] des Klassifikationskriteriums, das jeweils am häufigsten genannt wurde (favorisiertes Kriterium), in Relation zu der Gesamtzahl (ohne Liniendiagramm) der von den einzelnen Probanden vorgenommenen Klassifikationsbegründungen; einbezogenen wurden Fälle mit mindestens fünf erfolgten Klassifikationsbegründungen. N = 138

wurden durch entsprechende Probanden konstant für alle sechs hier ausgewerteten Modellklassifikationen herangezogen (Abb. 7). Die dennoch niedrigen Mediane zu diesen Kriterien gehen darauf zurück, dass in diese Auswertung alle vorgenommenen Klassifikationen der Probanden einbezogen wurden, und nicht nur jene Klassifikationen mit dem jeweils favorisierten Kriterium wie bei der Berechnung der  $F_{\text{IK}}$ -Werte (Abbildung 6).

Das Kriterium „Erklärungsfunktion“ erreicht eine obere Ausdehnung des oberen Whiskers von  $F_{\text{Ks}} = 4$ , so dass im Zuge der Streuungsanalyse die Konstanz der Nutzung dieses Kriteriums deutlich niedriger eingestuft werden kann, als es die Maximalwertanalyse nahe legt. Die entsprechende Grenze des Kriteriums „Darstellungsform“ liegt bei  $F_{\text{Ks}} = 3$  und bezüglich des Kriteriums „Nachbildung“ tritt ausschließlich der Wert  $F_{\text{Ks}} = 1$  auf, so dass dieses Kriterium von den jeweiligen Probanden – abgesehen von „Ausreißern“ – ausschließlich einmalig genutzt wird.

#### 4 Diskussion

Die Modellklassifikationen der Schülerinnen und Schüler zeigen eine sichere Differenzierungsfähigkeit zwischen Modellen und Nicht-Modellen; diese Sicherheit bezieht sich in gleicher Weise auf Struktur- (z.B. Zonierung Wald) und Funktionsmodelle (Regelkreis). Besonders bemerkenswert sind die abweichenden Ergebnisse zum Stammbaum, da dieser zu den charakteristischen Modellen der Biowissenschaften gehört. Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, dass es den Schüler/-innen schwer fällt, den Originalbezug zu diesen Modellen zu erfassen, da Stammbäumen keine zeitliche und räumliche Einheit zugrunde liegt. Selbst zu abstrakten Modellen wie dem Regelkreis oder dem Enzymmodell kann gedanklich ein konkreter Bezug zu einer zeitlich und räumlich kohärenten Wirklichkeit hergestellt werden. Stammbäume stellen jedoch Abstammungsrelationen gerade durch Auflösung zeitlicher

und räumlicher Einheiten her, so dass auch der Original- bzw. Realitätsbezug über zeitliche und räumliche Grenzen hinweg rekonstruiert werden muss. In diesen Schwierigkeiten der Rückübertragung des Modells auf die Wirklichkeit könnten auch die Probleme begründet liegen, die Schüler/-innen mit der Interpretation von Stammbäumen haben.

Ebenfalls auffällig, aber durchaus erwartet, ist die deutliche Klassifikationsunsicherheit zum Liniendiagramm: Diagramme werden von Lernenden u.U. als eigene Darstellungsform identifiziert. Hierin liegt ein wichtiger Hinweis auf eine stärkere Vernetzung der aktuellen Anstrengungen zur Diagramm- (Lachmayer, Nerdel & Prechtel, 2007) und Modellkompetenz.

So lässt sich insgesamt zusammenfassen, dass die Lernenden einen weitgehend sicheren Zugang zur Klassifikation von Modellen und deren Abgrenzung von Nicht-Modellen haben, so dass hierin ein tragfähiges Fundament für den Aufbau von Modellkompetenz zu sehen ist. Angesichts konkreter Modelle aus der Biowissenschaften zeigen sich nicht die Unschärfen der Modellvorstellungen, wie sie durch Grosslight et al. (1991) oder auch Penner et al. (1997) im Rahmen begriffsbezogener Erhebungen beschrieben wurden. Auf die Frage, was ihnen zum Begriff „Modell“ einfällt, haben Lernende in der Untersuchung von Grosslight et al. vielfach konkrete Gegenstände wie Flugzeuge oder Gebäude sowie deren Nachbildungen genannt (Grosslight et al., 1991, 804) und damit ein naives Modellverständnis zum Ausdruck gebracht. Die in der hier durchgeführten Studie ermittelten Ergebnisse geben Hinweise auf ein differenzierteres Modellverständnis. Diese Differenzen können vielfältige Ursachen haben; schon die unterschiedlichen Erhebungsstrategien könnten hierbei wirksam sein und bieten damit einen wichtigen Hinweis auf die Notwendigkeit eines vorsichtigen Umgangs mit dem Modellbegriff in wissenschaftlichen Erhebungen sowie eine gezielte Reflexion des Modellbegriffs im Unterricht, um entsprechende Alltags-

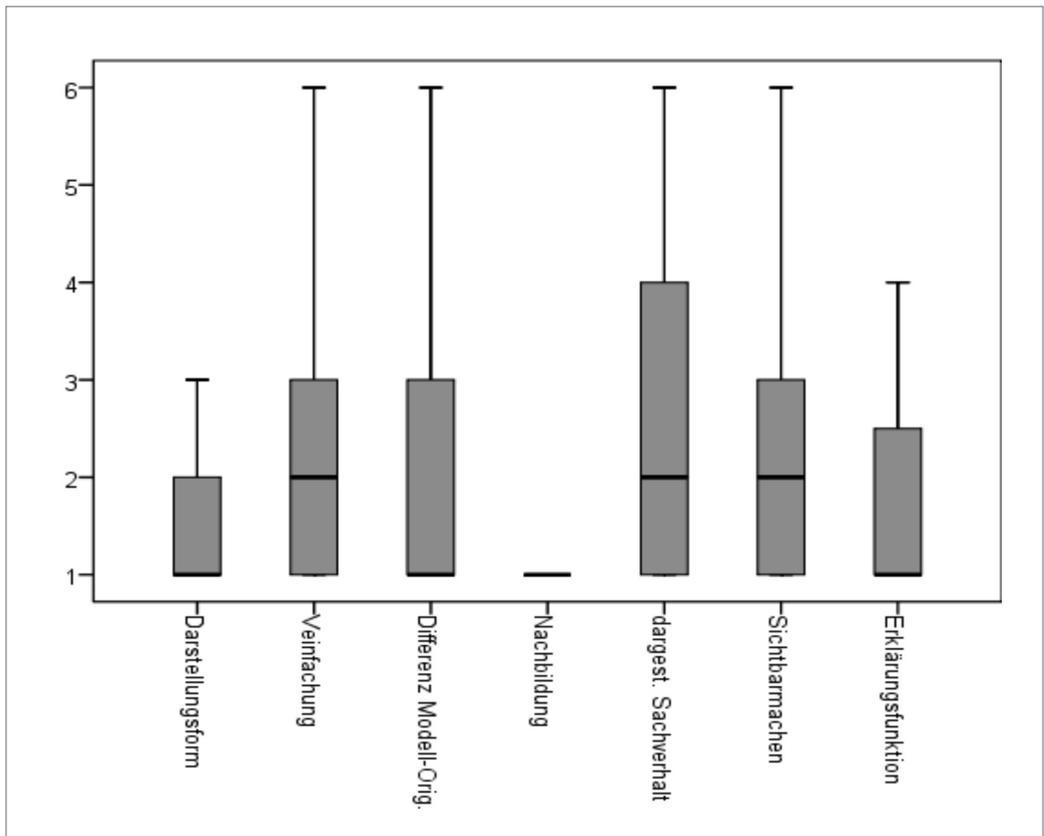


Abb. 7: Kriterienspezifische Nutzungsfrequenzen  $F_{KS}$ ; einbezogenen wurden Fälle mit mindestens drei erfolgten Klassifikationsbegründungen.  $N = 138$

konzepte und wissenschaftliche Konzepte besser differenzieren zu können.

Die Begründungen für die Modellklassifikationen geben weiteren Aufschluss über das Modellverständnis der Lernenden, da sich in den identifizierten Klassifikationskriterien ein breites Spektrum an Zugängen und Qualitäten offenbart. Bemerkenswert ist zunächst, dass Klassifikationskriterien, die von einem deutlich naiven Modellverständnis zeugen (z.B. „Nachbildung“ oder „Darstellungsform“), wenig herangezogen werden. Zu beachten ist hierbei nicht nur die geringe Gesamthäufigkeit dieser Klassifikationskriterien, sondern auch die geringe Konstanz, mit der diese von einzelnen Probanden genutzt werden. Trotz Verfügbarkeit des Kriteriums „Nachbildung“ erweist sich dies für keinen

Probanden als so tragfähig, als dass es mehrfach als Klassifikationsbegründung Anwendung findet; dies zeugt von einer Einsicht der Lernenden in die geringe Tragfähigkeit dieses Begründungsansatzes. Eine entsprechend hohe Konsistenz attestieren die Probanden hingegen Klassifikationskriterien wie der Original-Modell-Differenz, der Vereinfachung, dem Sichtbarmachen und dem dargestellten Sachverhalt, da diese von einigen Probanden mit hoher Konstanz als Begründungsansatz genutzt werden. Erfreulich ist hierbei, dass diese Klassifikationskriterien konstituierende Eigenschaften von Modellen in den Blick nehmen, indem sie die grundlegende Dimension der Modell-Original-Relation heranziehen. Sie zeigen damit ein Grundverständnis für das fundamenta-

le Charakteristikum von Modellen: Modelle sind Modelle von etwas. Da die Lernenden demzufolge über vielfältige Zugänge zur Bezugsdimension Modell-Original-Verhältnis verfügen, stellt diese Dimension einen fruchtbaren Ansatzpunkt für die Förderung des Modellverständnisses dar, der gleichzeitig wie oben beschrieben einen zentralen Aspekt aktueller Wissenschaftstheorien repräsentiert, so dass weiterführende Überlegungen z.B. zum Verhältnis von Gesetzen bzw. Prinzipien zu Modellen hierauf aufgebaut werden können. Das grundlegende Verständnis, dass Modelle stets Modelle von etwas sind, muss somit nicht durch direkte Instruktionen in Form theoretischer Inputs grundlegend aufgebaut werden, sondern kann durch indirekte Instruktionen (z.B. das Klassifizieren von Modellen und Nichtmodellen oder eine Charakterisierung der Modell-Original-Differenz durch die Lernenden selbst) aufgegriffen und dann weiterführend konkretisiert werden. Damit bilden die hier präsentierten Untersuchungsergebnisse eine Basis für die Planung (und Planbarkeit) indirekter Instruktionen zum Modellverständnis, um Lernenden ein eigenständiges Nachdenken über Modelle zu ermöglichen und ein lernerseitiges Konstruieren adäquater Wissenschaftskonzepte zu fördern.

Bezüglich des Verständnisses von Modellen als Mittel der Erkenntnisgewinnung sind hingegen deutliche Defizite festzustellen: Einen übergeordneten Bezug zur Erkenntnisfunktion enthalten zwar viele Klassifikationsbegründungen, so dass etwa ein Drittel der Antworten dieser Dimension zuzuordnen ist. Die jeweiligen Kriterien zeigen jedoch, dass hier ein Verständnis von Modellen als Informationsquelle dominiert. Die Kriterien „Sichtbarmachen“ und „Erklärungsfunktion“ markieren zwar Bezüge zu einem lernerseitigen Erkenntnisprozess durch Modelle, zeigen hierin aber Vorstellungen der Lernenden in Form eines Zur-Verfügung-Stellen von Informationen oder ein Liefern von Erklärungen im Sinne von Lehrmodellen. Eine Spezifizierung von Modellen als prozessbegleitende

Instrumente originärer Erkenntnisprozesse erfolgt hierbei nicht. Hier zeigen sich Übereinstimmungen mit den Erhebungen von Terzer und Upmeyer (2007) sowie Grosslight et al. (1991).

Dieses Ergebnis lässt im Sinne des entworfenen Kompetenzmodells (Abb. 1) vermuten, dass die Schüler/-innen erstens über wenige Erfahrungen mit Modellen in originären Erkenntnisprozessen verfügen (Penner et al., 1997; Meisert, 2006) und zweitens an keinen expliziten Reflexionen hierzu partizipiert haben (Mikelskis-Seifert, 2002), so dass sich ihr Modellverständnis bezüglich dieser nicht ausreichend entwickeln konnte. Die diagnostizierten Defizite zur Bedeutung von Modellen in Erkenntnisprozessen unterstützen somit die Forderung von Johnson und Stewart: “[...] *students are presented with a view of scientific knowledge in its final, fully polished form. Such a view creates few opportunities for students to develop insight into what realistically is involved in the production of scientific knowledge. Because a primary enterprise of science is the development, use, revision, and assessment of explanatory models, we believe that science students should have similar experiences with models*” (Johnson & Stewart, 2001, 463f).

Die hier vorgelegten Ergebnisse liefern einen Beitrag zur generellen Diskussion zu impliziten vs. expliziten Ansätzen der Förderung wissenschaftstheoretischer Konzepte. Offensichtlich können Lernende durch die konkrete Auseinandersetzung mit Modellen und Modellarbeit erste Ansätze eines adäquaten Modellverständnisses selbstständig entwickeln; analog zu positiven Effekten der Modellarbeit auf das Modellverständnis werden demnach auch durch Modellwissen entsprechende Grundlagen gelegt. Konkrete Erfahrungen im Bereich Modellarbeit und Modellwissen können demzufolge eine wichtige Basis für die Aneignung abstrakterer wissenschaftstheoretischer Konzepte schaffen. Implizite Erschließungswege und die durch sie erreichbaren Modellkonzepte sind hierbei nicht als Alternative zu ex-

pliziten Lehrkonzepten zu verstehen, sondern bieten die Möglichkeit der Initiierung konkreter Modell-Konzepte, auf die die Lernenden dann durch explizites Reflektieren der wissenschaftlichen Bedeutung von Modellen erfahrungsbasiert aufbauen können. Die vielfältigen Forderungen nach konkreten Erfahrungen im Umgang mit Modellen (Johnson & Stewart, 2001; Henze et al., 2007) sind somit nicht als Gegenentwurf zu explizit wissenschaftstheoretisch ausgerichteten Unterrichtsgängen zu verstehen, sondern als deren vorausgehende Ergänzung. Weitere Untersuchungen sollten entsprechend zeigen, welchen Einfluss die durch Modellarbeit und Modellwissen erlangten Konzepte auf eine Vertiefung des Modellverständnisses durch explizite Exkurse haben.

## Literatur

- Alzate, O.E.T. & Puig, N.S. (2007). High-school students' conceptual evolution of the respiration concept from the perspective of Giere's Cognitive Science Model. *International Journal of Science Education*, 29, 215-248.
- Dean, D. & Kuhn, D. (2007). Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education*, 91, 384-397.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16, 725-749.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Stäudel, L. (2007). Naturwissenschaftliches Arbeiten. In Duit, R., Gropengießer, H. & Stäudel, L. (Eds.), *Naturwissenschaftliches Arbeiten* (pp. 4-8). Seelze-Velber: Friedrich.
- Giere, R.N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (1999). *Science without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Giere, R.N. (2006). *Scientific Perspectivism*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (in press). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*. URL: <http://www.tc.umn.edu/~giere/pubs.html>
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73-79.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- Henze, I., van Driel, J. & Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37, 99-122.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562.
- Johnson, S.K. & Stewart, J. (2001). Revising and assessing explanatory models in a high school genetics class: A comparison of unsuccessful and successful performance. *Science Education*, 86, 463 - 480.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 1273-1292.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' view on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25, 1369-1386.
- Kattmann, U. (2006). Unterrichtsmedien. In H. Gropengießer & U. Kattmann (Eds.), *Fachdidaktik Biologie*. Begründet von Dieter Eschenhagen, Ulrich Kattmann und Dieter Rodi (pp. 291-391). Köln: Aulis.
- KMK (2004). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss*. URL: [http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Biologie\\_MSA\\_16-12-04.pdf](http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Biologie_MSA_16-12-04.pdf)
- Köhler, K. (2004a). Welche Medien werden im Biologieunterricht genutzt? In Spoerhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Eds.), *Biologiedidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (pp. 160-182). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Köhler, K. (2004b). Welche fachgemäßen Arbeitsweisen werden im Biologieunterricht eingesetzt? In Spoerhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Eds.), *Biologiedidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (pp. 146-159). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Lachmayer, S., Nerdel, C. & Prechtel, H. (2007). Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 145-160.
- Leibold, K. & Klautke, S. (1999). Lerneffektivität des Einsatzes gegenständlicher Modelle in Biologieleistungskursen des Gymnasiums. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5, 3-23.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91-109.
- Mayring, P. (2003). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Meisert, A. (2006). Working with models and its effects on students' conception on models' epistemology. Posterpräsentation auf der Internationalen Tagung der ERIDOB vom 11.-15.9.2006 in London.

- Mikelskis-Seifert, S. (2002). *Die Entwicklung von Metakonzepien zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Ein Unterricht über Modelle*. Berlin: Logos Verlag.
- Penner, D. E., Giles, N.D., Lehrer, L. & Schauble, L. (1997). Building functional models: Designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 125-143.
- Portides, D. (2007). The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. *Science & Education*, 16, 699-724.
- Stachowiak, H. (1980). Der Weg zum Systematischen Neopragmatismus und das Konzept der Allgemeinen Modelltheorie. In: Stachowiak, H. (Eds.) *Modelle und Modelldenken im Unterricht*. Heilbrunn: Klinkhardt, 9-49.
- Steinbuch, K. (1977). Denken in Modellen. In Schaefer, G., Trommer, G. & Wenk, K. (Eds.) *Denken in Modellen*. Braunschweig: Westermann, 10-17.
- Suppe, F. (1977). *The Structure of Scientific Theories*. Urbana and Chicago: University of Illinois Press.
- Suppe, F. (2000). Understanding scientific theories: An assessment of developments, 1969-1998. *Philosophy of Science*, 67, Proceedings, 102-115.
- Terzer, E. & Upmeier zu Belzen, A. (2007). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle – Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz. *Berichte des Instituts für Didaktik der Biologie der Universität Münster (IDB)*, 16, 33-56.
- Treagust, D.F., Chittleborough, G. & Mamiala, T.L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357-368.
- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2007). Förderung der Modellkompetenz im Biologieunterricht. Posterpräsentation auf der Internationalen Tagung der Sektion Biologiedidaktik im VBio vom 16.-20.9.2007 in Essen.
- Van der Valk, T., H. Van Driel, J. & De Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present-day scientific practice. *Research in Science Education*, 37, 469-488
- Van Driel, J. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141-1153.
- Van Driel, J. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24, 1255-1272.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141-1153.
- Weitzel, H. (2004). Welche Bedeutung haben vorunterrichtliche Vorstellungen für das Lernen? (pp. 75-96). In Spoerhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Eds.), *Biologiedidaktik. Praxis-handbuch für die Sekundarstufe I und II* (pp. 75-96). Berlin: Cornelsen-Scriptor.

### Kontakt

apl. Prof. Dr. rer. nat. Anke Meisert  
 Universität Hildesheim  
 Institut für Biologie und Chemie  
 Marienburger Platz 22  
 31141 Hildesheim  
[meisert@uni-hildesheim.de](mailto:meisert@uni-hildesheim.de)

### Autoreninformation

Die Autorin ist seit 2002 Fachleiterin für Biologie am Studienseminar Hildesheim und war im Rahmen einer Beurlaubung von 2005-2008 als Juniorprofessorin für Biologiedidaktik an der Universität Osnabrück tätig; den Forschungsschwerpunkt bilden empirische Voraussetzungs- und Wirksamkeitsstudien zu indirekten Instruktionen in den Bereichen Modellarbeit und Bioethik sowie die erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fundierung indirekt instruierender Lehr-/Lernkonzepte. Seit 2008 ist die Autorin in Elternzeit und als Lehrbeauftragte an den Universitäten Osnabrück und Hildesheim tätig.