

ANNETTE UPMEIER ZU BELZEN UND DIRK KRÜGER

Modellkompetenz im Biologieunterricht

Model competence in biology teaching

Zusammenfassung

Modellkompetenz im Biologieunterricht zeigt sich darin, Modelle als Mittel zur Erkenntnisgewinnung anzuwenden. Sie geht damit über eine mediale Perspektive hinaus, in der Modelle als Erfahrungs- und Informationsmittel angesehen werden. Der vorliegende Beitrag stellt eine Struktur der fachbezogenen Modellkompetenz vor, in der Modelle als Mittel zur Erkenntnisgewinnung verstanden werden. Auf der Basis des internationalen Forschungsstandes wird Modellkompetenz in die Dimension *Kenntnisse über Modelle* mit den Teilkompetenzen *Eigenschaften* und *Alternativen* und die Dimension *Modellbildung* mit den Teilkompetenzen *Zweck*, *Testen* und *Ändern* strukturiert. Die Felder des Kompetenzrasters unterscheiden sich darin, welche Aspekte von Modellen maßgeblich in den Blick genommen werden: Betrachtungen bezüglich des Modellobjektes selbst, Herstellung einer Beziehung zwischen Ausgangs- und Modellobjekt (Modell von etwas) und Anwendung des Modells für Voraussagen und das Gewinnen neuer Erkenntnisse (Modell für etwas). Diese Kategorien werden zunächst nicht als Entwicklungsstufen aufgefasst. Schlüsselwörter: Modell, Modellkompetenz, Modellobjekt, Herstellungsperspektive, Anwendungsperspektive

Abstract

In biology education a person has model competence if he/she is able to use models as tools for scientific inquiry, rather than just using them as a medium for transmitting information or making experiences. This article presents a structure for model competence. In this respect, the concept *model* is characterised by the perspective of forming and building a model as well as using it. Based on recent international research, model competence is divided into two dimensions. The first dimension, *knowledge about models*, embeds the competences *nature of models* and *multiple models*. The second dimension is called *modelling*, in which the competences *purpose of models*, *testing models*, and *changing models* are included. Each cell of the structure is represented in three qualitatively different categories of reflection: Examination of the model object itself, relationship between source and model object (model of something) and implementation of the model for hypotheses and new findings (model for something). These categories probably do not describe developmental levels.

Keywords: Model, model competence, model object, perspective of building models, perspective of using models

1 Einleitung

In den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss im Unterrichtsfach Biologie schlägt sich die Bedeutung von Modellen im Bereich der Erkenntnisgewinnung in fünf Standards nieder (KMK, 2005). Dort wird das Ziel formuliert, dass Schülerinnen und Schü-

ler Modelle zum Bearbeiten, Veranschaulichen, Erklären und Beurteilen komplexer Phänomene nutzen, die Modellbildung als grundlegendes wissenschaftsmethodisches Verfahren kennen sowie über Modelle kritisch reflektieren (KMK, 2005).

Dieser Bildungsanspruch spiegelt die Bedeutung von Modellen in den Naturwissen-

schaften wider: Modelle sind wesentlicher Bestandteil wissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen. Die Naturwissenschaften sind ohne Modelle weder lehr- noch lernbar (Harrison & Treagust, 2000). Das Denken in Modellen ermöglicht Kommunikation und Konsensbildung in der Wissenschaft und ist für den Erwerb flexiblen, transferfähigen und anwendbaren Wissens essenziell (Clement, 2000; Gilbert & Boulter, 2000). Modellkompetenz wurde von Leisner (2005) für den Physikunterricht als Disposition des Lerners, prozedurale und deklarative Anforderungen im Umgang mit Modellen im schulischen Kontext zu bewältigen, definiert. Leisner (2005) bezeichnet Modellkompetenz als „Tür-Öffner“ zum Wissenschaftsverständnis, da sie zum Verständnis der (natur-)wissenschaftlichen Denkweise (epistemological beliefs – scientific reasoning) einerseits und der Arbeitsweise (scientific reasoning – practical skills) andererseits führt (Mayer 2007). Sie gehört deshalb zur Scientific Literacy (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996; Gilbert & Boulter, 2000).

Nach Mittelstraß (2004) lassen sich Modelle einerseits als Medien auffassen, die die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Kenntnissen unterstützen sollen, oder andererseits als Denk- und Arbeitsmethoden nutzen, um im Prozess der Erkenntnisgewinnung eingesetzt zu werden. Das Modell als Medium fokussiert in erster Linie auf die gegenständliche Repräsentation des Modells als Ergebnis einer Modellierung. Dabei werden Strukturen oder Funktionen einer gedanklichen oder gegenständlichen, vermeintlich objektiven Realität veranschaulicht, und das Erfassen von Sachverhalten sowie das Lösen von Problemen werden erleichtert. Unter dieser Perspektive sind Modelle Objekte, die als Erlebnis-, Erfahrungs- und Informationsmittel eingesetzt werden (vgl. Kattmann, 2006). Für die im Folgenden zu definierende Modellkompetenz spielt diese primär mediale Perspektive auf die Modellobjekte eine untergeordnete Rolle. Zentral für die Charakterisierung der Modellkompetenz ist dagegen die Bedeutung von Modellen im wissen-

schaftlichen Prozess. Dabei geht es um den Einsatz von Modellen zur Generierung von Erkenntnissen und Theorien in der Biologie. Modelle ermöglichen unter dieser Perspektive die Konzentration auf eine überschaubare Anzahl von Variablen, die Ableitung von Hypothesen über die modellierte Realität sowie deren Überprüfung. Dabei wird das eingesetzte Modellobjekt in seiner Rolle als Modell von einem Ausgangsobjekt hinterfragt und seine Tauglichkeit als Modell für eine Anwendung bewertet.

Für die Beschreibung von Modellkompetenz als Grundlage für die Förderung von Lernprozessen im Biologieunterricht muss konkretisiert werden, wie der Begriff Modell verstanden wird und welche Struktur die entsprechende Kompetenz hat. Damit wird ein Beitrag zur Präzisierung der in den Bildungsstandards (KMK, 2005) geforderten Kompetenz beim Umgang mit Modellen geleistet. Schließlich ist eine strukturierte Förderung dieser Kompetenz im Biologieunterricht erst auf der Basis eines validierten Kompetenzmodells möglich.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Begriffsbestimmung nach Stachowiak

Stachowiak (1973) charakterisiert den Inhalt des Modellbegriffs in seiner allgemeinen Modelltheorie durch drei Hauptmerkmale: das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal. Nach dem Abbildungsmerkmal ist ein Modell stets die Repräsentation eines Originals und damit ein Modell von etwas. Dieses Original kann sowohl natürlichen als auch künstlichen Ursprungs sein. Dabei kann ein Modell selbst als Original bzw. Ausgangsobjekt für ein weiteres Modell dienen.

Das Verkürzungsmerkmal (Stachowiak, 1973) beschreibt, dass ein Modell die Realität des Originals nicht in endgültiger Art und Weise darstellt. Das heißt, mit dem Modell werden im Allgemeinen nicht alle Attribute des Originals abgebildet, sondern nur

solche, die der Modellierer des Modells im Hinblick auf den Zweck des Modells als relevant erachtet. Zudem können umgekehrt Elemente am Modell keine Entsprechung im Original besitzen.

Als pragmatisches Merkmal versteht Stachowiak (1973), dass Modelle nicht allein darüber definiert sind, was sie abbilden. Ein Modell von einem Original kann, je nachdem für wen (Aspekt Subjekt), wann (Aspekt Zeit) und wozu (Aspekt Zweck) es erschaffen wurde, ganz unterschiedliche Gestalt annehmen. Zu einem Objekt oder Phänomen können daher unterschiedliche Modelle existieren. Diese alternativen Modelle repräsentieren unterschiedliche theoretische Zugänge zu einem Phänomen, sie lassen die Ableitung verschiedener Hypothesen zu und sind somit unverzichtbare Elemente wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung.

2.2 Urteil über das Modellsein nach Mahr

Der Informatiker Mahr kommt im Zusammenhang mit seinen Arbeiten zur „Aufklärung des Modellbegriffs“ zu dem Schluss, dass die Frage „Was ist ein Modell?“ so nicht beantwortet werden kann (vgl. Mahr, 2003; 2004; 2008; 2009). Vielmehr ist alles, was ein Subjekt (Mensch, Gruppe, wissenschaftliche Disziplin, Kultur) zum Modell erklärt, ein Modell. Der Modellbegriff ist dahingehend mehrdeutig, dass eine Schnittmenge dessen, was Modell genannt werden kann, nicht existiert. Die Probleme bei der einheitlichen Erklärbarkeit von Modellen führen dazu, dass Erklärungen zum Begriff Modell die Grenzen einer Disziplin häufig nicht verlassen (vgl. Mittelstraß, 2004).

Die Frage danach, was ein Modell ist, suggeriert, dass Merkmale existieren, an denen etwas zweifelsfrei als Modell erkannt werden kann. Diese modelltypischen Merkmale lassen sich aber nicht finden, wenn man betrachtet, was alles Modell sein kann: eine schöne Frau, ein System von Differenzialgleichungen oder ein Spielzeugauto (Mahr, 2008). Mahr nähert sich einer allgemeinen

Begriffsdefinition, indem er nicht definiert, was ein Modell ist, sondern vielmehr beschreibt, unter welchen Bedingungen etwas als Modell aufgefasst wird. *Modellsein* wird nach Mahr demnach als der Inhalt eines Urteils durch ein Subjekt definiert. Dieses Urteil beinhaltet drei Modi der Identität. Modelle besitzen als Modellobjekte erstens für sich eine Erscheinungsform, beispielsweise als räumliche Miniatur, Text oder als Grafik. Sie werden zweitens als Modelle von etwas aufgefasst. Dabei sind sie als das Ergebnis einer Induktion zu verstehen, bei der Erkenntnisse oder Merkmale auf sie übertragen werden und dadurch ihren Inhalt bilden. Sie werden drittens als Modelle für etwas aufgefasst. Dabei wird wie bei einer Deduktion der Inhalt in der Anwendung wieder herauslöst oder auf etwas anderes übertragen (Mahr, 2004b, 162).

Dieses implizite Definieren von Begriffen findet sich auch bei axiomatischen Begründungen in der Mathematik. In der euklidischen Geometrie wird beispielsweise davon abgesehen, Begriffe wie Punkt oder Gerade explizit zu definieren (Hilbert, 1999). Punkt und Gerade erklären sich durch ihre formalen Beziehungen zueinander. Überträgt man dies auf den Begriff Modell, dann bedeutet das, dass formale Eigenschaften, die etwas ein Modell sein lassen, beschrieben werden müssen. Gegenüber einer expliziten Definition, die bei einem entsprechenden Objekt die Charaktereigenschaft Modell festlegen würde, hat dieses Vorgehen nach Mahr den Vorteil, dass durch die Zuweisung von Eigenschaften auf ein beliebiges Objekt darüber entschieden werden kann, ob etwas als Modell aufgefasst wird oder nicht.

Modell und Modellobjekt

Nach Mahr (2008) meint Modellsein, dass etwas erst durch einen zweckgerichteten Auswahl- oder Konstruktionsprozess eines Subjekts zu einem Modell wird. Da sich das Konstruierte mit der Zeit, beispielsweise durch Beschädigung, verändern kann, ohne

dass sich die Idee des Modells ändern muss, ist es notwendig, zwischen dem als Modell aufgefassten Gegenstand, dem Modellobjekt, und der zugrunde liegenden Idee, dem Modell, zu unterscheiden. Damit lässt sich das Urteil über das Modellsein auch bei einer Änderung des Modellobjekts aufrechterhalten. Die Unterscheidung zwischen Modell und Modellobjekt findet sich auch in der Modellierung vom Original über ein Denkmodell (dem Modell) zu einem Anschauungsmodell (dem Modellobjekt) in der fachdidaktischen Diskussion wieder (Kattmann, 2006).

Die Identität des Modellobjektes als Modell hängt nach Mahr (2008) von zwei, wie er sagt, „konstruktiven Beziehungen“ ab. Die erste Beziehung besteht in der Herstellung des Modells von einem Ausgangsobjekt (Modell von etwas), die zweite Beziehung vollzieht sich in der zweckgerichteten Anwendung des Modellobjektes (Modell für etwas).

Herstellungsperspektive – Modell von etwas

Die erste konstruktive Beziehung besteht in dem Ergebnis einer von einer Beobachtung oder Vorstellung ausgehenden Induktion. Dabei werden Anschauungen, Erfahrungen, Messungen, Merkmale, Erkenntnisse oder Regelinhalte durch Auswahl und Verallgemeinerung an eine neue Form und Repräsentation gebunden. Sie werden in der Weise zum Inhalt des Modells gemacht, dass es gerechtfertigt ist, im Modellobjekt ein Modell von etwas zu sehen (Mahr, 2008). Bei diesem Prozess wird von einem oder mehreren Ausgangsobjekten bzw. Phänomenen – in der Biologie oft als Originale bezeichnet – durch einen Akt der Fertigung, Auswahl, Rollenzuweisung oder Abstraktion ein Ergebnisobjekt entwickelt (Abb. 1). Im Akt der Entwicklung des Modells ist das Modellobjekt M das Ergebnisobjekt eines Ausgangsobjekts A.

Mit dieser Entwicklung eines Modells ist im Allgemeinen die Annahme verbunden, dass dabei ein Ergebnisobjekt geschaffen wird, das, zeitlich oder logisch später, Ausgangs-

objekt einer Modellanwendung ist. Hierin steckt die allgemeine Funktion von Modellen: Das Modellobjekt soll als Ausgangsobjekt bei der Modellanwendung die Übertragung bestimmter Qualitäten garantieren, mit denen es als Modell aufgeladen ist. Den in Form und Repräsentation gefassten Inhalt, der mit dem Modellobjekt übertragen wird, nennt Mahr (2008) den *Cargo* des Modells.

Anwendungsperspektive – Modell für etwas

Die zweite konstruktive Beziehung betrifft das Modellobjekt als Bezugsgröße einer so aufgefassten Deduktion, mit der sich der Cargo bei der Anwendung des Modells wieder herauslösen und auf ein anderes Objekt übertragen lässt. Damit ist es gerechtfertigt, im Modellobjekt ein Modell für etwas zu sehen (Mahr, 2008). Dabei ist der Cargo bei einem Modell, das in Vermittlungssituationen eingesetzt wird, das zu Vermittelnde, also das, was beim Einsatz mit dem Modellobjekt erfahren werden soll. Im Falle der Nutzung des Modells zur Erkenntnisgewinnung beschreibt der Cargo die zu testenden Ideen, die in Hypothesen formuliert sind und im Erkenntnisprozess entweder widerlegt oder bestätigt werden. Im Akt der Modellanwendung ist das Modellobjekt M das Ausgangsobjekt für eine zweckgemäße Nutzung des Modells (Abb. 1).

Die beiden Beziehungen ermöglichen die Teilung in eine zeitlich oder logisch vorausgehende Phase der Gestaltung (Herstellungsperspektive) und eine nachfolgende Phase der Verwirklichung oder Auswertung (Anwendungsperspektive), auch wenn, wie oben bereits angedeutet, bei der Modellentwicklung die Herstellung durch Annahmen über die spätere Anwendung mitbestimmt werden kann.

Das Modellobjekt M steht damit als Modell sowohl in Beziehung zu etwas, von dem es ein Modell ist (Objekt A), als auch in Beziehung zu etwas, für das es ein Modell ist (Objekt B). Wenn aus der Anwendung heraus Rückschlüsse auf das Modell gezogen werden,

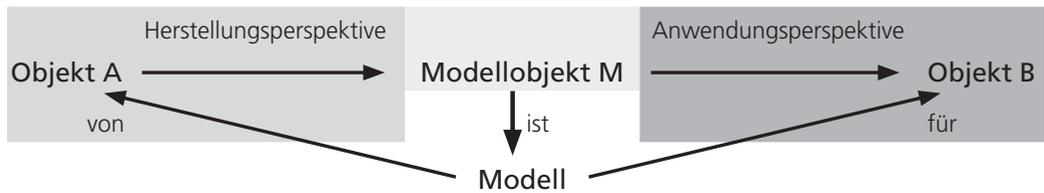


Abb. 1: Urteil über das Modellsein (verändert nach Mahr, 2008; 2009). Die Graustufen differenzieren die Perspektiven auf das Objekt (hellgrau), die Herstellung (mittelgrau) und die Anwendung (dunkelgrau). Sie korrespondieren mit der Darstellung in Tabelle 4.

können die daraus folgenden Konsequenzen wieder in einem Herstellungsprozess abgebildet werden. In diesem Fall wird das Ergebnisobjekt B zu einem Ausgangsobjekt A. Die Sichtweise von Mahr (Abb. 1) hilft bei der Strukturierung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. Die Herstellungsperspektive beschreibt den Prozess der Modellierung und Optimierung des Modellobjektes und ggf. des Modells selbst, während die Anwendungsperspektive die Nutzung zur Erkenntnisvermittlung, aber darüber hinaus auch die Nutzung zur Erkenntnisgewinnung einbezieht. Das bedeutet, dass in der Anwendungsperspektive aus dem Modell Hypothesen über das Verhalten des Modellobjektes unter der systematischen Variation bestimmter Faktoren abgeleitet, untersucht und dadurch verifiziert oder falsifiziert werden. Im Falle der Falsifizierung wird der zyklische Modellbildungsprozess in der Herstellungsperspektive wieder aufgenommen. Diese zyklischen Abläufe werden auch bei Justi und Gilbert (2002) im „model of modelling“ entsprechend beschrieben.

2.3 Modelle in der Wissenschaft

Es wird eine breite Diskussion über die Bedeutung wissenschaftlicher Modelle unter

wissenschafts- und erkenntnistheoretischer Perspektive als Mediator zwischen Theorien und „Realität“ geführt (beispielsweise von Fraassen, 1980; Bailer-Jones, 2002; Develaki, 2007; Giere, 1999; 2010). Ein Aspekt dieses Diskurses ist für die hier zu entwickelnde Modellkompetenz von besonderer Bedeutung: die Beziehung zwischen Modellen und der Realität. Zwei Positionen sind dabei relevant: Unter der Perspektive des wissenschaftlichen Realismus¹ (vgl. von Fraassen, 1980; Günther, 2006) werden Modelle als partielle oder idealisierte Repräsentation kleiner Ausschnitte der Realität, „so wie sie ist“ (Moulines, 2008), angesehen. So verstanden helfen Modelle, Wahrheit zu entdecken und stehen im besten Fall in isomorpher Beziehung zur Realität (Giere, 2010).

Im Unterschied dazu werden Modelle unter der Perspektive des konstruktiven Empirismus² als empirisch adäquat zur menschlichen Erfahrung mit beobachtbaren Phänomenen aufgefasst (van Fraassen, 1980; Giere, 2010). Zum Verhältnis von Modellen zur Realität wird dabei – wegen der fehlenden wissenschaftlichen Relevanz für eine Entscheidung – keine Haltung eingenommen.

Diese beiden Positionen haben Konsequenzen für die Interpretation der Beziehung zwischen Original und Modell in der

1 Im wissenschaftlichen Realismus wird postuliert, durch den wissenschaftlichen Diskurs eine realistische Interpretation einer von uns unabhängig existierenden Welt zu ermöglichen. Nicht beobachtbare Entitäten, die von bewährten Theorien gefordert werden, existieren wirklich, und die Aussagen, die die bewährten Theorien treffen, sind wahr (Devitt, 2006).

2 Der konstruktive Empirismus basiert auf der Konstruktion von Modellen, die gegenüber den beobachtbaren Phänomenen adäquat sein müssen, und nicht auf der Entdeckung der Wahrheit von Dingen, die nicht beobachtbar sind (van Fraassen, 1980).

Herstellungs- und Anwendungsperspektive sowie bei der Interpretation der Passung eines Modells mit empirischen Daten. Nach dem wissenschaftlichen Realismus wird von einer Vergleichbarkeit von Original und Modell ausgegangen (Tab. 1, Kriterium *Vergleichbarkeit*; vgl. Fischer, Grube & Reisin, 1995). Dabei wird das Modell gegenüber einem objektiv gegebenen Original, vergleichbar mit einer Tatsache oder letzten Instanz, als mehr oder weniger gut gelungen bewertet. Unter dieser Perspektive existiert das reale Original unabhängig von der Beziehung zwischen Original und Modell (Tab. 1, Kriterium *Unabhängigkeit*), wodurch ein Vergleich von Modell und Original sinnvoll wird. Das Modell beschreibt das Original weitgehend so, wie es in Wirklichkeit ist. In Bezug auf die Kriterien *Korrektheit* und *Vollständigkeit* ist es das Modell, das gegebenenfalls nicht korrekt und unvollständig ist (Tab. 1, Fischer et al., 1995). Falls es zur Revision des Modells kommt, bleibt dies ohne Folgen für die Vorstellung vom Original. Ferner kann ohne Berücksichtigung des Zwecks des Modells unter dieser Perspektive entschieden werden, ob das Modell das Original korrekt und vollständig abbildet. Diese realistische Perspektive ist erkenntnistheoretisch problematisch. Daher verwirft Giere (2004) die generelle objektive Ähnlichkeitsfunktion, weil sie eine symmetrische Relation darstellt. An ihre Stelle setzt er das subjektive Ähnlichkeitskonstrukt als Resultat bzw. Repräsentation eines Interpretationsprozesses des urteilenden Subjektes. Wenn unter einer solchen Perspektive die Kriterien *Vergleichbarkeit* und *Unabhängigkeit* nicht vorausgesetzt werden können, dann sind die Vorstellung vom Original und das Modell abhängig voneinander und konstituieren sich gegenseitig³ (van Fraassen, 1980; Fischer et al., 1995). Damit geht es nicht mehr um eine angemessene Modellierung als Konstruktion eines gedanklichen Modells zu einem Original. Stattdessen muss

unter Modellierung gleichermaßen die Konstruktion einer Vorstellung über das Original verstanden werden (Fischer et al., 1995; van Fraassen, 2004; Giere, 2010). Die Kriterien *Unabhängigkeit* und *Vergleichbarkeit* sind unter dieser Perspektive irrelevant, weil sich Modell und Original wechselseitig bedingen. Zum Kriterium wird nun, ob das Modell seinen Zweck angemessen erfüllt (Tab. 1, Kriterium *Angemessenheit*). In dieser Betrachtungsweise erfüllt auch das Original einen bestimmten Zweck, z.B. dient es als Ausgangsobjekt oder erlaubt, Daten zu generieren. Diese Betrachtungsweise bedeutet konsequenterweise, das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal (Stachowiak, 1973) auch auf das vorgestellte Original zu beziehen, die Angemessenheit der Vorstellungen über das Original in Frage zu stellen und diese ggf. zu revidieren (Fischer et al., 1995). Unter dieser Perspektive wird der Einfluss von Modellen auf die Konstruktion von Wirklichkeit deutlich. Modelle bilden keine objektive Wirklichkeit ab, sondern helfen, erfolgreich in der Realität zu operieren oder, noch radikaler, die subjektive Realität zu erschaffen.

Schließlich nimmt die konstruktiv-empiristische Position die Bedeutung der mit den Modellen für einen bestimmten Zweck handelnden Personen in den Blick. Dies gilt sowohl für den Modellierer als auch für den Anwender der Modelle. So formuliert Giere (2010): "Agents (S) intend to use models (M) to represent a part of the world (W) for some purpose (P)".

Für die Entwicklung einer Modellkompetenz ist es hilfreich, über die Möglichkeit zu reflektieren, inwieweit im Herstellungsprozess die Qualität von Modellen zu beurteilen ist und inwieweit bereits bei diesem Prozess das Ausgangsobjekt als vorgestelltes Original konstituiert wird. So hilft es bei der hier definierten Modellkompetenz indirekt, wenn das Kriterium Angemessenheit auf beide Objekte (Original und Modell) an-

3 Original und Modell können unabhängig voneinander existieren, aber nicht als Original und als Modell.

Tab. 1: Kriterien und Konsequenzen zur Beziehung zwischen Original und Modell (vgl. Fischer et al., 1995)

	Wissenschaftsphilosophische Position	
Kriterium	Wissenschaftlicher Realismus	Konstruktiver Empirismus
Vergleichbarkeit	vorausgesetzt	nicht vorausgesetzt, irrelevant
Unabhängigkeit	vorausgesetzt	nicht vorausgesetzt, potenziell abhängig
Korrektheit	entscheidbar	nicht entscheidbar
Vollständigkeit	entscheidbar	nicht entscheidbar
Angemessenheit	nur auf Modell bezogen	auf Modell und vorgestelltes Original bezogen
	Konsequenzen	
Konstruktion	Modell wird verändert, bis Güte erreicht ist	Modell und Original verändern sich beide im Urteil des Modellierers
Güte des Modells	Güte ist festgelegt und orientiert sich am Original	Interessen, Ziele und Vorstellungen des Modellierenden entscheiden über Qualität des Modells, nicht das Original
Bedeutung	Status des Originals	Status des Modellierenden

gewendet und durch diese eine reflektierte Betrachtung des eigenen Verständnisses der Außenwelt entwickelt wird. Dies führt zu einer Kompetenzentwicklung im Bereich des Wissenschaftsverständnisses (vgl. Tab. 3, Kenntnisse über Modelle) und drückt sich in einer mehr oder weniger niveaullastigen Beschreibung der Beziehung zwischen Original und Modell aus.

Der Einsatz von Modellen als Medien im Biologieunterricht und die im Umgang mit Modellen in der didaktischen Literatur (vgl. Kattmann, 2006) empfohlene Modellkritik verstärken sicherlich die Ansicht, dass Modell und Original vergleichbar sind und dass ein Modell möglichst korrekt und vollständig das Original repräsentieren sollte. Erst bei der Nutzung von Modellen zur Erkenntnisgewinnung, also beim Ableiten und Überprüfen von Hypothesen aus Modellen, kann die wechselseitige Beziehung im Konstruktionsprozess von Modell und der Vorstellung des Originals erkannt und verstanden werden (vgl. Tab. 3, Modellbildung).

3 Stand der Forschung

In einer Reihe von Studien wird sowohl bei Schülerinnen und Schülern (Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991; Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004; Meisert, 2008; Trier & Upmeier zu Belzen, 2009) als auch bei angehenden Lehrkräften (van Driel & Verloop, 2002; Justi & Gilbert, 2002; Crawford & Cullin, 2004; 2005) eine begrenzte Sichtweise der Rolle von Modellen als Erkenntnismethode in der Wissenschaft festgestellt. Justi und Gilbert (2003) stellen in ihrer Interviewstudie fest, dass Biologielehrer im Vergleich zu Chemie- und Physiklehrern eine eher weniger reflektierte Sicht auf Modelle haben. Nur 30% der befragten Biologielehrkräfte erkannten beispielsweise an, dass Modelle Ideen repräsentieren. 75% gaben an, dass Modelle nicht geändert werden. Der deskriptive Aspekt von Modellen als Medien für die Anschauung (Arbeiten mit Modellen) steht beim schulischen Lehren und Lernen von Naturwissenschaften im Vordergrund,

während die Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess als Denk- und Forschungswerkzeuge (Erkennen in Modellen) nicht erfasst wird (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2002). Unterrichtsrelevanz besitzen Modelle demnach bei der Bearbeitung ihrer fachwissenschaftlichen Inhalte, während Modelle als Instrumente zum Gewinnen naturwissenschaftlicher Erkenntnis kaum reflektiert werden (van Driel & Verloop, 2002).

Dieser Befund deckt sich mit den Erhebungen von PISA 2000 (Artelt et al., 2001) und PISA 2003 (Prenzel et al., 2004), die für den naturwissenschaftlichen Bereich zeigen, dass deutsche Schülerinnen und Schüler nur vereinzelt in Modellen denken können.

Die Mehrzahl der Forschungsarbeiten zur Reflexion über Modelle mit Schülerinnen und Schülern oder Lehrkräften fallen in den Bereich der Chemie und Physik (u. a. Grosslight et al., 1991; Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004; Leisner-Bodenthin, 2006; Chittleborough & Treagust, 2007). Erste Ansätze einer empirischen Untersuchung der Modellkompetenz im Biologieunterricht finden sich bei Meisert (2008; 2009), die dem Status von Objekten als Modelle bzw. Nicht-Modelle eine zentrale forschungs- sowie vermittlungsrelevante Bedeutung zuschreibt.

Die ersten konkret auf ein Denken über Modelle zielenden Untersuchungen gehen auf Grosslight et al. (1991) zurück. Mit offenen Fragen ermittelten sie die Vorstellungen über Modelle von Schülerinnen und Schülern der siebten und elften Jahrgangsstufe im Vergleich zur Vorstellung von Experten. Sie zeigten, dass Schülerinnen und Schüler beim Modellieren weder die Ideen noch die zugrunde liegenden Zwecke von Modellen wahrnehmen, nicht zwischen den konkret-strukturellen und den experimentell-vorausagenden Aspekten von Modellen unterscheiden, noch die Gültigkeit von Modellen untersuchen oder die Grenzen von Modellen erkennen. Dies bestätigte sich auch in einer Untersuchung von Ingham und Gilbert (1991), in der nach Ansicht der meisten Schülerinnen und Schüler Modelle wie

Spielzeuge Miniaturen realer Gegenstände sind. Nur wenige verstehen, wie Modelle in der Wissenschaft genutzt werden.

Arbeiten zu Perspektiven von Lehrkräften über Modelle (Justi & van Driel, 2005) oder bei der Befragung von Wissenschaftlern (van der Valk, van Driel & de Vos, 2007) liefern Anhaltspunkte für unterschiedliche Qualitäten der Modellkompetenz. Dabei geht es um die Frage, welche Aspekte und Kriterien eine mehr oder weniger ausgeprägte Fähigkeit beschreiben, über Modelle zu reflektieren.

Die vorgestellten Untersuchungen liefern in ihrer Summe eine Vielzahl von Hinweisen auf unterschiedliche Fähigkeiten und Kenntnisse zu verschiedenen Aspekten beim Arbeiten mit und Denken in Modellen sowie beim Reflektieren über Modelle. Daraus lassen sich Kriterien ableiten, die in Teilkompetenzen der folgend beschriebenen Modellkompetenz strukturiert werden.

4 Modellkompetenz

Der hier verwendete Kompetenzbegriff lehnt sich an Weinert (2001) an. Neben der kognitiven Komponente beinhaltet Kompetenz auch die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und die Fähigkeiten, diese in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll zum Lösen von Problemen nutzen zu können. Diese variablen Situationen können beispielsweise Aufgaben mit offenem oder geschlossenem Antwortformat sein (kognitive Facette, vgl. Hartig & Klieme, 2006), aber auch praktische Aufgaben (praktische Facette, vgl. Schecker & Parchmann, 2006).

Kompetenz zu modellieren bedeutet, die Merkmale einer Kompetenz theoretisch zu präzisieren. Sie wird dabei in relevante Dimensionen mit entsprechenden Teilkompetenzen strukturiert und innerhalb dieser graduiert (Hartig & Klieme, 2006; Klieme & Leutner, 2006). Die Struktur des Kompetenzmodells ist so konkret zu fassen, dass

Tab. 2: Positionierung der Dimensionen von Modellkompetenz (vgl. Tab. 4) in Bezug auf science education und Erkenntnisgewinnung

<i>science education</i>			Quellen
learning science	learning about science	doing science	Hodson (1992)
learn scientific models	nature of models	act of modelling	Henze et al. (2007)
Modellwissen	Modellverständnis	Modellarbeit	Meisert (2008)
<i>Erkenntnisgewinnung</i>			
Wissenschaftsverständnis	Wissenschaftliches Denken	Manuelle Fertigkeiten	Mayer (2007)
Kenntnisse über Modelle	Modellbildung		Upmeier zu Belzen & Krüger

sie Ausgangspunkt für eine valide Operationalisierung sein kann. Kompetenzmodelle bieten die notwendigen Grundlagen für die Entwicklung von Messinstrumenten zum Zweck der Diagnose sowie für die Entwicklung von Interventionsmaßnahmen zur Förderung im Unterricht.

Bezüglich der Domänenspezifität formuliert Hodson (1992) Ziele naturwissenschaftlicher Bildung, indem er sowohl Fachwissen (*learning science* – Konzepte, Modelle, Theorien), als auch Wissenschaftsverständnis (*learning about science* – Verständnis der Philosophie, Geschichte und Methodologie) sowie Erkenntnisgewinnung (*doing science* – Aktivitäten zum Erwerb naturwissenschaftlichen Wissens) einfordert. Auf diesen Ansatz beziehen sich sowohl Henze, van Driel und Verloop (2007) als auch Meisert (2008) in ihren Arbeiten (Tab. 2).

Modellkompetenz im hier vorgetragenen Verständnis lässt sich in das Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen nach Mayer (2007) eingliedern. Dabei wird das biologische Fachwissen als eine von der Modellkompetenz getrennte Inhaltsdimension verstanden. Modellkompetenz beschreibt eine Metaebene der Reflexion über Modelle innerhalb der Handlungsdimension Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005). Das Mayersche Rahmenkonzept (2007) bezieht sich auf den

Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung und besitzt drei zentrale Dimensionen mit den entsprechenden Kompetenzkonzepten: praktische Arbeitstechniken (manuelle Fertigkeiten), wissenschaftliche Erkenntnismethoden (wissenschaftliches Denken) und Charakteristika der Naturwissenschaften (Wissenschaftsverständnis). Modellkompetenz im hier vertretenen Sinn lässt sich mit der Dimension Kenntnisse über Modelle in den Bereich Wissenschaftsverständnis und mit der Dimension Modellbildung in den Bereich Wissenschaftliches Denken einordnen (Tab. 2).

Modellkompetenz im Biologieunterricht ist wie folgt definiert:

Modellkompetenz umfasst die Fähigkeiten, mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen in der Biologie zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden.

4.1 Struktur von Modellkompetenz

Modellkompetenz lässt sich demnach in die zwei Dimensionen Kenntnisse über Modelle und Modellbildung gliedern (Tab. 3; vgl. Hartig & Klieme, 2006; Klieme & Leutner, 2006). Die Dimension Kenntnisse über Modelle gründet im Wissenschaftsverständnis und drückt sich in epistemologischen und ontologischen Positionen zu Modellen aus. Sie beinhaltet individuelle Konzepte, die unter kognitionspsychologischer Perspektive als konzeptuelles Wissen bezeichnet werden können (Steiner, 2001; vgl. Leisner, 2005). Die Dimension Modellbildung beschreibt den Umgang mit Modellen im Modellbildungsprozess (Justi & Gilbert, 2002) mit Bezug zum wissenschaftlichen Denken (Mayer, 2007; vgl. Tab. 2). Im kognitionspsychologischen Sinne berührt die Modellbildung das prozedurale Wissen (Steiner, 2001; Leisner, 2005).

Grundlegende Untersuchungen zu Sichtweisen auf Modelle wurden von Grosslight et al. (1991) sowie von Justi und Gilbert (2003) und Crawford und Cullin (2005) aufbauend auf einer Untersuchung zum Experimentieren von Carey, Evans, Honda, Jay & Unger (1989) durchgeführt. In diesen Arbeiten werden Kategorien verschiedener Perspektiven auf Modelle vorgestellt, die eine Basis für die Bestimmung der Teilkompetenzen im hier vorgestellten Modell liefern (Tab. 3). Außerdem werden in den Artikeln Niveaustufen (Levels) innerhalb der jeweiligen Kategorien (Dimensions bei Crawford & Cullin, 2005) oder zusammengefasst über mehrere Kategorien (Grosslight et al., 1991) beschrieben, die sich jedoch nicht ohne eine empirische Fundierung als Entwicklungsstufen einer Modellkompetenz auffassen lassen. Grosslight et al. (1991) kategorisierten die Antworten der Schülerinnen und Schüler in fünf Gruppen: *kinds of models*, *purpose of models*, *designing and creating models*, *changing a model*, *multiple models* (Tab. 3). In einer Interviewstudie mit 39 Lehrkräften der naturwissenschaftlichen Fächer ordneten Justi und Gilbert (2003) die Vorstellungen

über Modelle den folgenden Aspekten zu: *nature*, *use*, *entities*, *uniqueness*, *time*, *prediction*, *accreditation* (Tab. 3). Crawford und Cullin (2005) verwendeten später in einer vergleichbaren Studie mit Lehramtsstudierenden bzw. Referendarinnen und Referendaren die Aspekte: *purpose of models*, *designing and creating models*, *changing a model*, *multiple models for the same thing*, *validating/testing models* (Tab. 3). Der Bereich *kinds of models* hat sich als eher medialer Aspekt zu einem eigenen Bereich entwickelt, der vertiefend von Harrison und Treagust (2000) oder Boulter und Buckley (2000) bearbeitet wurde, während durch den Aspekt *validating/testing models* die Anwendung von Modellen als Erkenntnismethode in den Fokus der Untersuchungen rückt.

4.2 Dimension Kenntnisse über Modelle

Teilkompetenzen in der Dimension *Kenntnisse über Modelle* gründen im Wissenschaftsverständnis (Mayer, 2007), das sich in unterschiedlichen epistemologischen und ontologischen Positionen (vgl. Günther, 2006) ausdrückt. So unterscheiden sich Personen in der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* in ihrer Einschätzung bezüglich verschiedener Ähnlichkeits- bzw. Abstraktionsgrade zwischen Modell und Ausgangsobjekt (vgl. Grosslight et al., 1991; Justi & Gilbert, 2003; Crawford & Cullin, 2005). Diese Teilkompetenz umfasst Abschätzungen, ob ein Modell eine naturgetreue Replikation, eine idealisierte Repräsentation oder eine theoretische Rekonstruktion ist. Im Fokus steht die Beziehung zwischen Modell und Ausgangsobjekt (bzw. Ereignis, Prozess oder Idee; Justi & Gilbert, 2003), unabhängig vom Modelltyp (konkreter Gegenstand bis zu mathematischen oder systemischen Modellen; Boulter & Buckley, 2000). Die Teilkompetenz *Alternative Modelle* subsumiert Vorstellungen zu der Frage, warum es verschiedene Modelle zu einem Ausgangsobjekt geben kann. Dabei können Perspektiven eingenommen werden,

Tab. 3: Ableitung der Teilkompetenzen der Modellkompetenz aus den Kategorien bei Grosslight et al. (1991), Justi & Gilbert (2003) und Crawford & Cullin (2005) sowie Zuordnung zu den zwei Dimensionen der Modellkompetenz

Quellen	Grosslight et al. (1991); Crawford & Cullin (2005)	Justi & Gilbert (2003)
Dimensionen mit Teilkompetenzen		
Kenntnisse über Modelle		
Eigenschaften von Modellen	<i>kinds of models</i> ⁴	<i>entities, nature</i>
Alternative Modelle	<i>multiple models</i>	<i>uniqueness</i>
Modellbildung		
Zweck von Modellen ⁵	<i>purpose of models, designing and creating models</i>	<i>use, prediction</i>
Testen von Modellen ⁵	<i>testing models</i> ⁶	<i>prediction, accreditation</i>
Ändern von Modellen ⁵	<i>changing a model</i>	<i>time</i>

bei denen lediglich die verschiedenen Modellobjekte miteinander verglichen werden. Weiter gehende Kompetenzen zeigen sich, wenn bei der Beurteilung alternativer Modelle Bezüge zum Herstellungsprozess (Modell von etwas) oder zur Anwendungssituation (Modell für etwas) hergestellt werden. Modellkompetenz drückt sich in der Dimension Kenntnisse über Modelle (Tab. 4) in den Fähigkeiten aus,

- Modelle als gegenständliche oder gedankliche Rekonstruktionen von etwas in einem von einem Subjekt bestimmten Herstellungsprozess zu verstehen,
- Modelle als Möglichkeitsformen zu verstehen, die deshalb zu alternativen Rekonstruktionen führen, weil der Herstellungsprozess oder die besondere Anwendungssituation vom Subjekt individuell bestimmt wird.

4.3 Dimension Modellbildung

Teilkompetenzen in der Dimension *Modellbildung* drücken sich in Fähigkeiten zum wissenschaftlichen Denken (Mayer, 2007) im Prozess der Erkenntnisgewinnung mit Modellen aus. Sie schließen die Reflexion der Schritte im Modellbildungsprozess sowie das Urteil über Modelle mit ein und führen zu einem allgemeinen Wissenschaftsverständnis (vgl. Treagust et al., 2002).

Modellbildung lässt sich in die Teilkompetenzen *Zweck von Modellen*, *Testen von Modellen* sowie *Ändern von Modellen* strukturieren (vgl. Grosslight et al., 1991; Justi & Gilbert, 2003; Crawford & Cullin, 2005). Die Teilkompetenzen drücken sich als Schritte in dem zyklischen Prozess der Modellbildung bzw. Modellierung aus (model of modelling; Justi & Gilbert, 2002; 2006). Kompetenzen zum Aspekt Zweck beziehen sich sowohl auf

⁴ Nicht bei Crawford und Cullin (2005).

⁵ Nach dem model of modelling von Justi und Gilbert (2002).

⁶ Bei Grosslight et al. (1991) unter purpose beschrieben.

das Modellobjekt, auf Erklärungen der Beziehungen zwischen Modell und Ausgangsobjekt bei der Herstellung des Modells als auch auf den Zweck des Modells bei seiner Anwendung. Bei der Anwendung des Modells geht es um das Testen der dem Modell zugrunde liegenden Theorie durch die Beschreibung und Aufarbeitung empirischer Daten (models of data; Suppes, 1962), durch die Konstruktion und Auswertung von Experimenten sowie durch die Begründung von Kausalzusammenhängen zwischen Ereignissen (vgl. Hartmann, 2010).

Kompetenzen beim Testen von Modellen zeigen sich in verschiedenen Perspektiven, Modelle zu untersuchen. Beim Blick auf das Modellobjekt wird dieses selbst zum Gegenstand der Testung. Beim Parallelisieren von Modellobjekt und Ausgangsobjekt wird unter der Herstellungsperspektive die Passung mit der modellierten Realität geprüft. Bei der Überprüfung von Hypothesen (Grosslight et al., 1991; Crawford & Cullin, 2005) werden unter der Anwendungsperspektive neue Erkenntnisse über das Ausgangsobjekt gewonnen. Konsequenzen dieses Testens können zum Ändern von Modellen führen. Die Fähigkeiten in diesem Aspekt zeigen sich in verschiedenen Argumentationen – pragmatische Gründe, Unzulänglichkeiten im Modell, neue Erkenntnisse über das Original oder experimentell falsifizierte Hypothesen –, mit denen die Revision des Modells begründet wird.

Modellkompetenz drückt sich in der Dimension Modellbildung (Tab. 4) in der Fähigkeit aus,

- Modelle als eine von einem Subjekt für einen bestimmten Zweck angelegte Rekonstruktion und damit als Ausgangsobjekte für eine Anwendung zu verstehen,
- Modelle in den zwei Perspektiven als Modell von etwas oder als Modell für etwas zu testen,
- Modelle wegen fehlender Güte aus der Herstellungsperspektive als Modell von etwas und aus der Anwendungsperspektive als Modell für etwas zu revidieren.

4.4 Niveaus von Modellkompetenz

Grosslight et al. (1991) ordnen die Aussagen der Probanden drei Niveaus (Levels) zu. Hierbei steht Niveau 1 für die Vorstellung, Modelle seien Miniaturen der realen Welt. Auf Niveau 2 wird der Zweck der Modellierung erkannt, allerdings nicht darauf bezogen, dass Modelle dem Testen von Hypothesen in Forschungszusammenhängen dienen. Niveau 3 beschreibt die Expertensicht, nach der Modelle Repräsentationen von Ideen sind und als Grundlage für das Entwickeln und Testen von Ideen dienen. Die Levels unterscheiden sich in der Beschreibung der Beziehung zwischen Modell und Realität und hinsichtlich der Rolle von Ideen im Umgang mit Modellen. Crawford und Cullin (2005) differenzieren bezüglich ihrer Kategorien in vier Niveaustufen: *limited*, *pre-scientific*, *emerging scientific* und *scientific*.

Die Teilkompetenzen des Kompetenzmodells (Tab. 4) können jeweils unterschiedlich nach Mahr (2008) in drei Qualitäten aufgegliedert werden: Reflexionen auf der Ebene des Modellobjektes, Reflexionen über die Beziehung zwischen Ausgangsobjekt und Modell (Modell von etwas) und Reflexionen über die Anwendung des Modells zur Gewinnung von Erkenntnissen (Modell für etwas). Bei dieser Operationalisierung kann zurzeit nicht davon ausgegangen werden, dass es sich um hierarchisch angeordnete und aufeinander aufbauende Entwicklungsstufen handelt. Vielmehr werden drei theoretisch zu erwartende Qualitäten, hier Niveaus genannt, beschrieben. Ihre Ordnung sowie eine potenzielle Entwicklung gilt es empirisch zu überprüfen.

Die drei Niveaus der Teilkompetenz Eigenschaften von Modellen beziehen sich auf die Herstellungsperspektive (Modell von etwas), weil grundsätzlich über die Beziehung zwischen dem Modell und dem Ausgangsobjekt nachgedacht wird (Tab. 4, mittelgrau). Die Qualitäten zeigen sich dabei in der zunehmenden Abstraktion und Loslösung der Modelle vom wie auch immer gearteten Ausgangsobjekt als Kopie, als

idealisierte, meist maßstabsgetreue Repräsentation oder als theoretische Rekonstruktion. Bei der Teilkompetenz Eigenschaften kommt die Rolle des Modellierers zum Ausdruck, der im Herstellungsprozess die entsprechenden Qualitäten in das Modell einbringt, die später von anderen Subjekten als Modellsein reflektiert werden können. Für die Teilkompetenzen Alternative Modelle sowie Testen und Ändern von Modellen lassen sich die Niveaus mit Bezug auf Mahr (2008) im Urteil über das Modellsein beschreiben. Niveau I drückt sich durch ein Argumentieren auf der Ebene des Modellobjektes aus (Tab. 4, hellgrau). Niveau II stellt die Beziehung zwischen Ausgangsobjekt und Modell her, womit die Herstellung des Modellobjektes in den Blick genommen wird und das Modellobjekt als Modell von etwas erkannt wird (Tab. 4, mittelgrau). Ni-

veau III rückt jeweils die Anwendung des Modellobjektes als Modell für etwas in den Fokus (Tab. 4, dunkelgrau).

Der Zweck des Modells beschreibt in Niveaus I und II (Tab. 1, mittelgrau) den vom Subjekt definierten Anspruch an das Modell in einer Herstellungsperspektive und in Niveau III in einer Anwendungsperspektive (Tab. 4, dunkelgrau). Eine ausschließlich auf das Modellobjekt bezogene Reflexionsebene gibt es hier nicht. Niveau I erfasst die mediale Perspektive auf Modelle und betrachtet die Herstellung eines Anschauungsmodells. In Niveau II wird der Zweck des Modells für die Erklärung von bereits bekannten Zusammenhängen beschrieben (beide in der Bedeutung als Modell von etwas), während der Zweck des Modells in Niveau III durch die prognostische Bedeutung in die Zukunft weist (Modell für etwas).

Tab. 4: Struktur und Niveaus der Modellkompetenz im Biologieunterricht. Hellgrau – Perspektive auf das Modellobjekt; mittelgrau – Herstellungsperspektive; dunkelgrau – Anwendungsperspektive (vgl. Abb. 1)

Komplexität Teilkompetenz	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Kenntnisse über Modelle			
Eigenschaften von Modellen	Modelle sind Kopien von etwas	Modelle sind idealisierte Repräsentationen von etwas	Modelle sind theoretische Rekonstruktionen von etwas
Alternative Modelle	Unterschiede zwischen den Modellobjekten	Ausgangsobjekt ermöglicht Herstellung verschiedener Modelle von etwas	Modelle für verschiedene Hypothesen
Modellbildung			
Zweck von Modellen	Modellobjekt zur Beschreibung von etwas einsetzen	Bekannte Zusammenhänge und Korrelationen von Variablen im Ausgangsobjekt erklären	Zusammenhänge von Variablen für zukünftige neue Erkenntnisse voraussagen
Testen von Modellen	Modellobjekt überprüfen	Parallelisieren mit dem Ausgangsobjekt, Modell von etwas testen	Überprüfen von Hypothesen bei der Anwendung, Modell für etwas testen
Ändern von Modellen	Mängel am Modellobjekt beheben	Modell als Modell von etwas durch neue Erkenntnisse oder zusätzliche Perspektiven revidieren	Modell für etwas aufgrund falsifizierter Hypothesen revidieren

Elaborierte Modellkompetenz unter Einbeziehung der erkenntnistheoretischen Sicht führt zur Reflexion des Modells in Bezug auf den zugrunde liegenden Zweck. Erst das Niveau III drückt Verständnis einer Anwendung des Modells im erkenntnistheoretischen Sinne aus. Nach Mahr (2008) werden damit die zwei konstruktiven Beziehungen, Herstellungs- und Anwendungsperspektive, in ihrer vollen Bedeutung für das Modellobjekt erfasst.

Das theoretisch fundierte Kompetenzmodell (Tab. 4) zeigt über die Dimensionen und Teilkompetenzen die Struktur der Modellkompetenz mit ihren verschiedenen inhaltlichen Facetten. Sie drücken sich jeweils in verschiedenen Qualitäten aus, die ein unterschiedliches Maß an Reflexions- und Abstraktionsvermögen beinhalten.

5 Ausblick

Zurzeit wird intensiv an und mit diesem Kompetenzmodell der Modellkompetenz geforscht. In einem ersten qualitativen Ansatz wurden Interviews geführt und ausgewertet, die eine Zuordnung der Aussagen zu verschiedenen Zellen erlaubten und keinen Widerspruch mit dem Kompetenzmodell erzeugten (Trier & Upmeier zu Belzen, 2009). Auf dieser Basis folgt die empirische Validierung über große Stichproben mit Aufgaben im geschlossenen (Terzer et al., 2009; Terzer & Upmeier zu Belzen, 2009)⁷ und offenen Format (Grünkorn et al., 2009). Das Kompetenzmodell dient dabei als Grundlage, Aufgabenstellungen in offenen und geschlossenen Formaten zu operationalisieren (Krüger & Upmeier zu Belzen, 2009).

Mit dem Fortschreiten der empirischen Validierung stehen diagnostische Instrumente zur Verfügung, die experimentelle Interventionsstudien im Pre-Post-Test-Design zur

Entwicklung von Modellkompetenz sowohl für Lehrkräfte als auch für Schülerinnen und Schüler ermöglichen. In einer Interventionsstudie mit Lehrkräften im Referendariat zur Förderung der Modellkompetenz im Unterrichtsfach Biologie⁸ wird auch auf bereits erprobte Unterrichtsstrategien in den naturwissenschaftlichen Fächern zurückgegriffen, die darauf abzielen, das Verständnis der Schülerinnen und Schüler für Modelle zu entwickeln (Gilbert & Boulter, 2000; Leisner, 2004; 2005; Leisner-Bodenthin, 2006; Meisert, 2009). Besonders interessant sind dabei Versuche, über historische Modellbildungen in Verbindung zu den zeitgenössischen Kontexten die Reflexionsfähigkeit zu fördern (Justi, 2000), Schülerinnen und Schülern eine gemeinschaftliche Erarbeitung eigener Modelle zur Erklärung von Phänomenen zu ermöglichen (Penner, Giles, Lehrer & Schauble, 1997) oder beim Modellbildungsprozess den Computer hinzuzuziehen (Mikelskis-Seifert, Thiele & Wünsch, 2005).

Die hier vorgestellte theoretische Struktur der Modellkompetenz dient als Grundlage für die Entwicklung von Diagnoseinstrumenten, um mit diesen die besondere Wirkung entsprechender Interventionen auf bestimmte Teilkompetenzen effektiv festzustellen. Damit wird ein Beitrag zur Förderung von Modellkompetenz im Biologieunterricht geleistet.

7 Gefördert im Rahmenprogramm der Empirischen Bildungsforschung zur Nachwuchsförderung (BMBF 2009-2012).

8 Gefördert im Rahmen der Entwicklung von Professionalität des pädagogischen Personals in Bildungseinrichtungen (BMBF 2010-2013).

Literatur

- Artelt, C. et al. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung. In C. Artelt et al. (Hrsg.), PISA 2000. Zusammenfassung zentraler Befunde (pp. 26-32). Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Bailer-Jones, D. M. (2002). Naturwissenschaftliche Modelle: Von Epistemologie zu Ontologie. In A. Beckermann & C. Nitz (Hrsg.), *Argument und Analyse – Sektionsvorträge* (pp. 1-11). Paderborn: Mentis Verlag.
- Boulter, C. J. & Buckley, B. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41-57). Dordrecht: Kluwer.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. & Unger, C. (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.
- Chittleborough, G. & Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274-292.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Crawford, B. A. & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.
- Crawford, B. A. & Cullin, M. J. (2005). Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modelling. In K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the Quality of Education* (pp. 309-323). Dordrecht: Springer.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school programmes. *Science Education*, 16, 725-749.
- Devitt, M. (2006). Scientific Realism. In F. Jackson & M. Smith (Eds.), *The Oxford Handbook of Contemporary Philosophy* (pp. 767-791). Oxford: Oxford University Press.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham Philadelphia: Open University Press.
- Fischer, M., Grube, G. & Reisin, F.-M. (Hrsg.) (1995). *Abbild oder Konstruktion – Modellierungsperspektiven in der Informatik*. KIT Report 125. Berlin: Technische Universität.
- Giere, R.N. (1999). Modelle und Theorien. In V. Gadenne & A. Visintin (Hrsg.), *Wissenschaftsphilosophie* (pp. 147-165). Freiburg u.a.: Karl Alber.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742-752.
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172(2), 269-281.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (Hrsg.) (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. L. (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.
- Grünkorn, J., Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2009). *Diagnose von Modellkompetenz im Biologieunterricht – Validierung eines Kompetenzmodells mit offenen und halboffenen Aufgaben*. Referierter Tagungsband der Internationalen Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO (pp. 172-174). IPN Universität Kiel.
- Günther, J. (2006). *Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften – Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*. Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 52. Berlin: Logos.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hartig, J. & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (pp. 128-143). Heidelberg: Springer Medizin.
- Hartmann, S. (2010). Modelle. In H.-J. Sandkühler (Eds.), *Enzyklopädie Philosophie* (pp. 1-15). Hamburg: Meiner. Online im Internet: <http://stephanhartmann.org/Hartmann_Modelle.pdf [Stand: 18.05.2010].
- Henze, I., van Driel, J. H. & Verloop, N. (2007). Science teachers' Knowledge about teaching models and modelling in the context of new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37(2), 99-122.
- Hilbert, G. (1999). *Grundlagen der Geometrie. Mit Supplementen von Paul Bernays*. Stuttgart und Leipzig: Teubner.
- 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(5), 541-562.

- Ingham, A. M. & Gilbert, J. K. (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. (2000). Teaching with historical models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 209-226). Dordrecht: Kluwer.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (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.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' view on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and analogy in science education* (pp. 119-130). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Justi, R. S. & Van Driel, J. H. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promotion, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- Kattmann, U. (2006). Modelle. In H. Gropengießer & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (pp. 330-339). Köln: Aulis Deubner.
- Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 6, 876-903.
- Krüger, D. & Upmeier zu Belzen, A. (2009). Modellkompetenz im Biologieunterricht – Struktur und Entwicklung. In U. Harms et al. (Hrsg.), *Heterogenität erfassen – individuell fördern im Biologieunterricht*. Internationale Tagung der Sektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio (pp. 48-49). IPN Universität Kiel.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (Hrsg.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München und Neuwied: Wolters Kluwer.
- Leisner, A. (2004). Modellkompetenz im Physikunterricht. *Journal zur Lehrerbildung*, 21-25.
- Leisner, A. (2005). Modellkompetenz im Physikunterricht. In H. Giest (Hrsg.), *Lern- und Lehr-Forschung: LLF-Berichte 20* (pp. 35-50). Potsdam: Universitätsverlag Potsdam.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *ZfDN*, 12, 91-109.
- Mahr, B. (2003). Modellieren. Beobachtungen und Gedanken zur Geschichte des Modellbegriffs. In S. Krämer & H. Bredekamp (Hrsg.), *Bild, Schrift, Zahl* (pp. 59-86). München: Wilhelm Fink.
- Mahr, B. (2004). Das Wissen im Modell. KIT-Report Nr. 150. Berlin: Technische Universität, 1-21.
- Mahr, B. (2004b). Das Mögliche im Modell und die Vermeidung der Fiktion. In T. Macho & A. Wunschel (Hrsg.), *Science & Fiction* (pp. 161-182). Frankfurt am Main: Fischer.
- Mahr, B. (2008). Ein Modell des Modellseins. Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In U. Dirks & E. Knobloch (Hrsg.), *Modelle* (pp. 187-218). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Mahr, B. (2009). Die Informatik und die Logik der Modelle. *Informatik Spektrum*, 32(3), 228-249.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biogiedidaktischen Forschung* (pp. 177-186). Berlin und Heidelberg: Springer.
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *ZfDN*, 12, 243-261.
- Meisert, A. (2009). Modelle in der Biologie. Wie lässt sich im Unterricht ein Verständnis für ihre Bedeutung fördern? *MNU*, 62(7), 424-430.
- Mikelskis-Seifert, S. & Leisner, A. (2004). Systematisches und bewusstes Lernen über Modelle. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (pp. 130-147). Baltmannsweiler: Schneider.
- Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M. & Wünscher, T. (2005). Modellieren – Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 4(1), 30-46.
- Mittelstraß, J. (2004). *Modell; Modelltheorie*. Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Bd. 2 (pp. 911-913, 913-914). Ulm und Stuttgart: Metzler.
- Moulines, C. U. (2008). *Die Entwicklung der modernen Wissenschaftstheorie (1890-2000) – Eine historische Einführung*. Münster: LIT-Verlag.
- Penner, D. E., Giles, N. D., Lehrer, R. & Schauble, L. (1997). Building functional models: Designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125-143.

- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H.-G., Rost, J. & Schiefele, U. (Hrsg.) (2004). *Pisa 2003. Ergebnisse des internationalen Vergleichs. Zusammenfassung*. Online im Internet: <http://pisa.ipn.uni-kiel.de/Zusammenfassung_2003.pdf [Stand: 18.05.2010].
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *ZfDN*, 12, 45-66.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien und New York: Springer.
- Steiner, G. (2001). Lernen und Wissenserwerb. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (4., vollständig überarbeitete Auflage) (pp. 137-205). Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Suppes, P. (1962). Models of data. In E. Nagel, P. Suppes & A. Tarski (Eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science* (pp. 252-261). Stanford: University Press.
- Terzer, E., Krüger, D. & Upmeier zu Belzen, A. (2009). *Diagnose von Modellkompetenz im Biologieunterricht – Validierung eines Kompetenzmodells mit Multiple Choice-Aufgaben*. Referierter Tagungsband der Internationalen Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO (pp.140-141). IPN Universität Kiel.
- Terzer, E. & Upmeier zu Belzen, A. (2009). *Model competence in biology education – Validating a theoretical model of model competence*. Poster presented at the European Association for Research on Learning and Instruction (Earli), Amsterdam.
- 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(4), 357-368.
- Trier, U. & Upmeier zu Belzen, A. (2009). „Die Wissenschaftler nutzen Modelle, um etwas Neues zu entdecken, und in der Schule lernt man einfach nur, dass es so ist.“ Schülervorstellungen zu Modellen. In D. Krüger, A. Upmeier zu Belzen, S. Hof, K. Kremer & J. Mayer (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* 8 (pp. 23-37). Kassel: Universitätsdruckerei.
- Van der Valk, T., Van Driel, J. H. & de Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present-day scientific practice. *Research in Science Education*, 37(4), 469-488.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.
- Van Fraassen, B. C. (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Clarendon Press.
- Van Fraassen, B. C. (2004). Science as Representation: Flouting the Criteria. *Critical Philosophy of Science*, 71, 794-804.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (pp. 17-31). Weinheim: Beltz

Kontakt

Prof. Dr. Annette Upmeier zu Belzen
Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für Biologie
Didaktik der Biologie
Invalidenstr. 42
10115 Berlin
annette.upmeier@biologie.hu-berlin.de

Autoreninformation

Dr. Annette Upmeier zu Belzen ist Professorin für Didaktik der Biologie an der Humboldt-Universität zu Berlin. Forschungsschwerpunkte sind die Modellkompetenz im Biologieunterricht sowie biologieorientierte Interessen und Einstellungen.

Dr. Dirk Krüger ist Professor für Didaktik der Biologie an der Freien Universität Berlin. Forschungsschwerpunkte sind die Modellkompetenz im Biologieunterricht und Untersuchungen von Vorstellungen zu verschiedenen biologischen Themenbereichen.

