

36 Unterrichten mit Modellen

Annette Upmeyer zu Belzen

- Modelle haben große Bedeutung in der Biologie und im Biologieunterricht.
- Bei der Modellierung wird ausgehend von einem Original ein Modell hergestellt.
- Erkenntnisse aus der Anwendung eines Modells werden auf das Original übertragen.
- Modelle werden als Medien und als Mittel zur Erkenntnisgewinnung genutzt.
- Modelle lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifizieren.
- Der Umgang mit Modellen wird schrittweise erlernt.

36.1 Modelle haben große Bedeutung in der Biologie und im Biologieunterricht

Biologen befassen sich mit Phänomenen des Lebens. Dabei untersuchen sie Organismen, deren Teilsysteme sowie die übergreifenden Biosysteme (► 15.3). Sowohl die Biosysteme wie auch ihre Elemente und die Beziehungen zwischen den Elementen werden als Realobjekt oder *Original* bezeichnet.

Neben dem direkten Umgang mit solchen Originalen arbeiten Biologen mit Modellen. Dabei sind Aspekte des Originals die Grundlage für die Herstellung eines Modells. Das Modell einer Blüte basiert auf Informationen über die Blütenbestandteile und deren Anordnung. Modelle von Räuber-Beute-Beziehungen beruhen auf dynamischen Eigenschaften von Systembeziehungen. In beiden Beispielen repräsentieren Modelle ihnen zugrundeliegende Originale. Modelle bilden somit originale (materielle und gedankliche) Realität ab (Nachtigall 1978; Stachowiak 1980; Meyer 1990).

Als Repräsentanten von Originalen werden Modelle für unterschiedliche Zwecke angewendet. Im Biologieunterricht dienen Modelle primär als Lern- und Lehrmittel. Der Lernprozess wird durch die Beschreibung der Blütenstruktur oder durch die Erklärung von dynamischen Räuber-Beute-Beziehungen unter Verwendung des jeweiligen Modells unterstützt. Bei dieser Nutzung von Modellen steht oft der Erwerb von Fachwissen im Vordergrund.

In der Wissenschaft werden Modelle ebenfalls zur Vermittlung von wissenschaftlichen Erkenntnissen eingesetzt. Im Rahmen des Forschungsprozesses dienen sie jedoch im Wesentlichen zur Klärung noch offener Fragen über das Original (Simon 1980; Mahr 2009). So ermöglichen sie die Ableitung von Hypothesen über Systembeziehungen und deren Testung unter systematisch variierten und kontrollierten Bedingungen.

Das Einbeziehen dieser Forschungsperspektive in den Biologieunterricht ermöglicht über fachliches Lernen hinaus auch den Erwerb von Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung mit Modellen (► 10) und damit den Aufbau von Wissenschaftsverständnis.

36.2 Bei der Modellierung wird ausgehend von einem Original ein Modell hergestellt

Als Grundlage aller Modelle können die *Denkmodelle* angesehen werden, die wir aus denköonomischen Gründen entwickeln: „So behilft sich das menschliche Bewusstsein damit, Teilbereiche der Wirklichkeit durch Denkmodelle abzubilden, um wenigstens in Teilbereichen erfolgreich denken zu können“ (Steinbuch 1977, 10).

Der Ausgangspunkt einer Modellierung in der Biologie ist häufig ein gegenständliches Original (z. B. Blüte) bzw. die Vorstellung von diesem Original (z. B. die Vorstellung von dem Aufbau der Biomembran). Originale bzw. die Vorstellungen davon haben unendlich viele Eigenschaften. Das Denkmodell enthält nur diejenigen Eigenschaften, die ein Modellierer für einen bestimmten Zweck als *wesentlich* erachtet (► Abb. 36-1). Welche Eigenschaften als wesentlich betrachtet werden, entscheiden die Annahmen (Theorien, Hypothesen), nach denen der Modellierer die originale Wirklichkeit deutet und nach denen er das Denkmodell bildet. Das Denkmodell entsteht also durch theoriebezogene Auswahl bestimmter Merkmale des Originals (Simon 1980; Mahr 2009). Der Endpunkt der Modellierung ist das nach dem Denkmodell konstruierte (für den Biologieunterricht oft gegenständliche) Modell mit wiederum unendlich vielen Eigenschaften (► Abb. 36-1).

Beispiel: Die Anzahl der Kron- und Kelchblätter in der realen Blüte führt über ein Denkmodell (z. B. gedanklich modellierte Struktur der Blüte) zu einem oder mehreren anwendbaren Blütenmodellen (z. B. gegenständliches Strukturmodell der Blüte oder aufgeschriebene Blütenformel). Begrifflich ist somit zwischen dem *Original*, dem *Denkmodell* und dem eigentlichen *Modell* zu unterscheiden (vgl. Mahr 2008, der den hier als Modell bezeichneten Gegenstand „Modell-objekt“ nennt).

Das Original kann gegenständlich (z. B. Blüte) wie nicht gegenständlich (z. B. Systembeziehungen) sein, zugänglich (z. B. Blüte) wie nicht direkt zugänglich (z. B. Systembeziehungen) oder nur mit technischen Hilfsmitteln zugänglich sein (z. B. Biomembran). Das Original kann also gegenständlich sein oder nur als Gegenstand gedacht werden. Solche gedanklichen (begrifflichen) Vorstellungen von Originalen werden hier nicht als Denkmodelle bezeichnet, denn sie können sowohl wesentliche wie unwesentliche Eigenschaften des Originals enthalten, während ein *Denkmodell* (wie oben ausgeführt) nur wesentliche Eigenschaften des Originals abbildet.

Modelle können sowohl gegenständlich (z. B. Strukturmodell der Blüte) wie nicht gegenständlich (z. B. Blütenformel) sein. Originale und Modelle können sich z. B. hinsichtlich des Materials, der Dimension (Verkleinerung, Vergrößerung) und der Abstraktion (Anzahl wesentlicher Eigenschaften) unterscheiden.

Schließlich wird das Modell angewendet, um damit neue Erkenntnisse über den Ausgangspunkt der Modellierung, das Original, zu generieren. Diese Erkenntnisse beziehen sich auf die Eigenschaften, die bei der Herstellung des Modells in den Fokus genommen wurden. Dabei kann sich das Modell weiterentwickeln, während das zugrunde liegende Denkmodell unverändert bleibt. Durch wissenschaftliche Erkenntnisse kann jedoch das Denkmodell ebenfalls weiterentwickelt werden.

Bei einem Vergleich von Original und Modellen wird überprüft, inwieweit die abzubildenden Eigenschaften des Originals den abgebildeten Eigenschaften der Modelle entsprechen. Diese

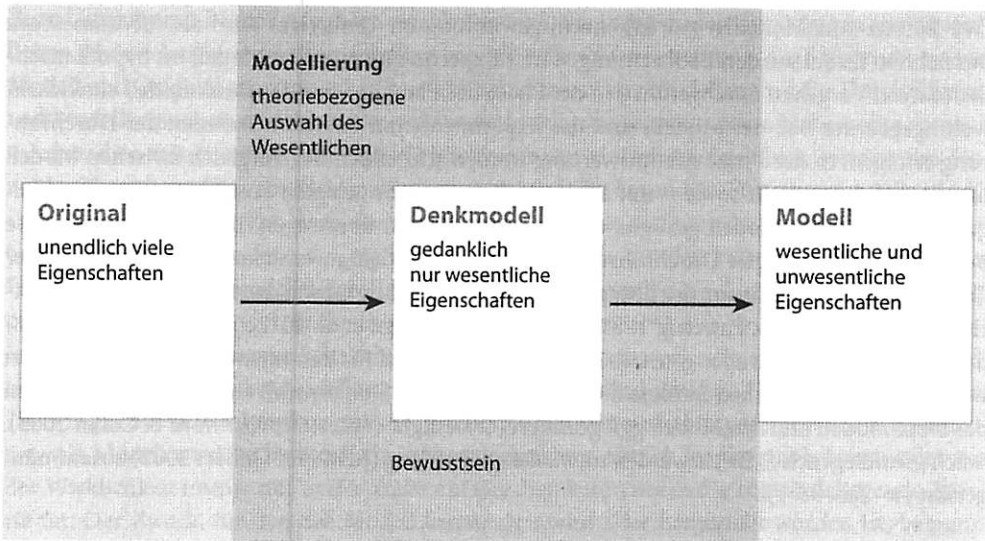


Abbildung 36-1: Die Modellierung eines Originals führt über ein Denkmodell zu einem Modell (nach Kattmann 2006, verändert)

Fokussierung auf ausgewählte Eigenschaften bringt gleichzeitig mit sich, dass andere Eigenschaften nicht abgebildet werden (Verkürzung) und dass unwesentliche Eigenschaften (Beiwerk oder Überschuss) hinzukommen (Stachowiak 1980). Durch die Thematisierung von Verkürzungen und Überschüssen werden die *Modellgrenzen* deutlich (vgl. Eschenhagen 1981).

36.3 Erkenntnisse aus der Anwendung eines Modells werden auf das Original übertragen

Im Rahmen der Modellierung können zu einem Original mehrere alternative Modelle entstehen, die im Rahmen einer Anwendung genutzt und dabei überprüft werden können. Die Ergebnisse dieser Überprüfung können neben Erkenntnissen über das Original zur Weiterentwicklung der Modelle beitragen.

Dies geschah beispielsweise bei der Aufklärung der Struktur der Biomembran. Sukzessive wurden dabei verschiedene Denkmodelle mit dem Zweck der Aufklärung der Struktur in Modelle überführt und daran überprüft. Verschiedene Denkmodelle unterschiedlicher Forschergruppen konkurrierten dabei zeitgleich miteinander. Der Prozess führte zu der noch heute gültigen Annahme des dynamisch strukturierten Mosaikmodells. Ein anderes Beispiel ist die Rekonstruktion von Haut und Haaren des Neandertalers. Als Konsequenz aus solchen Untersuchungen mit Modellen kann die Vorstellung über das Original weiterentwickelt werden (Beispiel bei Dietrich et al. 1979, 123 ff.). In diesem Prozess werden mithilfe von Modellen Hypothesen über das Original getestet, diese bestätigt oder falsifiziert und die Modelle daraufhin gegebenenfalls geändert. Der Prozess kann zur vorläufigen Bestätigung eines Denkmodells führen.

Der Einsatz von Modellen zur Erkenntnisgewinnung im Unterricht wird als *Modellmethode* bezeichnet. Dabei werden Beobachtungen und Experimente mit dem Modell im hypothetisch-deduktiven Vorgehen durchgeführt. In der Phase der Planung wird das Denkmodell entwickelt, wohingegen der Bau des Modells und das Experimentieren damit im Rahmen der Durchführung erfolgen. In der Phase der Auswertung werden schließlich der Vergleich zwischen Modell und Original angestellt sowie – mit Blick auf die zugrunde gelegten Hypothesen – Schlussfolgerungen aus dem Modell gezogen und auf das Original übertragen. Besonders diese Phase bedarf einer sorgfältigen Durchführung, um die am Modell gewonnenen Ergebnisse in ihrer Tragfähigkeit zur Erklärung des überprüften Problems richtig einschätzen zu können (vgl. Dietrich et al. 1979, 123 ff.; Pawelzig 1981; Neupert 1996; Fleige et al. 2012 a). Bei der abschließenden Reflexion wird darüber geurteilt, inwiefern das Modell für den intendierten Zweck genutzt werden kann und welchen Einfluss dies wiederum auf das Denkmodell hat. In der Folge werden das Denkmodell und das Modell ggf. geändert (Grosslight et al. 1991; Crawford & Cullin 2005). Solch grundlegende Schritte werden im *model of modelling* (Justi und Gilbert 2002) zusammengefasst (► Tab. 36-1).

Das Modellieren und die zweckgebundene Anwendung von Modellen sind historisch gesehen schon lange grundlegend für die Biologie. Ein prägnantes Beispiel ist die Modellierung der Struktur der DNA durch James Watson und Francis Crick im Jahr 1953. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass Modelle nicht Endpunkte eines Modellierungsprozesses sind, sondern sich durch weitere Anwendung für die Überprüfung von Hypothesen in spezifische Prozessmodelle weiterentwickeln können. Das Modell von 1973 war letztlich nur ein vorläufiger Bestandteil einer langen Entwicklungskette (Giere, Bickle & Mauldin 2006). Für den naturwissenschaftlichen Unterricht sind authentische Beispiele der Wissenschaftsgeschichte eine geeignete Möglichkeit, um fachliche und wissenschaftsmethodische Inhalte zu verknüpfen (Kim & Irving 2010).

Schritte der Modellbildung	Beispiel DNA
Formuliere den Zweck des Modells.	Aufklärung der DNA-Struktur
Entwickle zum Zweck passende Denkmodelle und wähle ein Denkmodell aus.	Doppelhelix
Stelle ein Modell her, mit dem du dein Denkmodell testen kannst.	Doppelhelix aus Draht und Pappe
Plane einen empirischen Test und führe ihn durch.	Optimierung des Modells mithilfe von Vorarbeiten zu Bindungslängen und Bindungswinkeln
Vergleiche die Daten mit dem Original und bewerte die Grenzen des Modells.	Vergleich mit den Röntgenstrukturbildern
→ Ändere dein Modell.	→ Modell oft optimiert
→ Baue ein alternatives Modell.	
→ Ändere dein Denkmodell.	
→ Verwirf dein Denkmodell.	
→ Nimm dein Denkmodell an.	→ Struktur der Doppelhelix angenommen

Tabelle 36-1: *Model of modelling* mit dem Beispiel DNA (nach Justi & Gilbert 2002, verändert)

Zum Umgang mit Modellen gehört die *Modellkritik*. Sie ist besonders wichtig, um die wesentlichen (theoriebezogenen) Eigenschaften von Modellen zu erfassen und die Entsprechung von Modell und Original genau zu erkennen. Vor dem Einsatz von Modellen und der Durchführung von Modellversuchen sind daher Original und Modell gegenüberzustellen. Dabei sollte deutlich werden, dass mit einem Modell die Wirklichkeit nicht einfach nachgebildet, sondern im Sinne der Hypothese über das Original konstruiert wird. Da besonders Funktionsmodelle oft die anatomischen oder morphologischen Details der Originale nicht wiedergeben, ist es bei ihnen besonders wichtig, die Teile des gegenständlichen Modells mit den entsprechenden Teilen des Originals genau zu parallelisieren und so die Entsprechungen zwischen Modell und Original präzise zu bestimmen (vgl. Eschenhagen 1981, 19f.; Meyer 1990, 8f.; Neupert 1996).

Im Lernprozess sollten grundsätzlich die *Begrenztheit* der Aussagekraft der verwendeten Modelle und der mit ihnen durchgeführten Experimente diskutiert werden. Dabei sind die von der Theorie gesetzten Beschränkungen (Abstraktionen und Vereinfachungen) besonders zu beachten. Als Modell wird im besten Fall ein theoriegerechtes Abbild des Originals konstruiert, das der Wirklichkeit immer nur in der Weise entsprechen kann, wie es die zugrundeliegende Theorie tut. Der Zweck, für den das Modell konstruiert wird oder hergestellt worden ist, begrenzt dessen Geltungsbereich.

36.4 Modelle werden als Medien und als Mittel zur Erkenntnisgewinnung genutzt

Die Nutzung von Modellen als Medien im Biologieunterricht ist häufig eine angemessene Lösung, wenn Originale nicht zugänglich sind (vgl. Schulte 1978).

Oft wird die Güte des Modells am Grad der Übereinstimmung mit dem Original bemessen. Ein gutes Modell ist jedoch keine Kopie, sondern eine theoriegeleitete, auf wesentliche Eigenschaften fokussierte (einfache) Abbildung des Originals. Man kann daher gerade in den Unzulänglichkeiten eines Modells bzw. bei der Reflexion der Leistungen und Grenzen des Modells das besondere Potenzial bei ihrem Einsatz sehen (Gropengießer 1981). Dabei wird der durch den Zweck begrenzte Geltungsbereich des Modells als Lerngelegenheit aufgefasst und produktiv genutzt, indem beispielsweise Ansätze zur Optimierung eines Modells erarbeitet werden.

Heute spielt im Biologieunterricht neben der Funktion von Modellen als Medium zur Vermittlung von Fachwissen (vgl. Leibold & Klautke 1999) ihre Funktion im Prozess der Erkenntnisgewinnung eine bedeutende Rolle (KMK 2008, KMK 2005; Upmeyer zu Belzen & Krüger 2010; Fleige et al. 2012 a; ► 10).

Drei Perspektiven sind für das Verständnis von Modellen bedeutsam (Mahr 2008):

1. Modelle sind *Träger von Wissen und Ideen* (vgl. Stachowiak 1973). Dabei muss die Auffassung eines Gegenstands als Modell nicht immer gleich sein; sie kann über die Zeit variieren. Diese Möglichkeit macht es notwendig, zwischen dem eigentlichen Modell und dem zugrunde liegenden Denkmodell deutlich zu unterscheiden.
2. Die *Herstellungsperspektive* beschreibt die Beziehung zwischen dem Denkmodell und dem Original (Modell von etwas). Die Herstellung ist an einen konkreten Zweck gebunden, weshalb das Modell spezifische Teile der realen Welt repräsentiert (Giere 2004).

3. Schließlich werden Modelle unter der *Anwendungsperspektive* genutzt (Modell für etwas). In der Anwendungsperspektive wird das Denkmodell zweckbestimmt wieder vom Modell abgelöst. Dies geschieht entweder bei der Vermittlung von Erkenntnissen mit dem Modell oder dadurch, dass die mit dem Modell zu testenden Hypothesen entweder widerlegt oder bestätigt werden.

Ein Unterricht, in dem Schülerinnen und Schüler beim Umgang mit Modellen angeregt werden, den Prozess der Modellierung sowie die Herstellungs- und die Anwendungsperspektive explizit zu reflektieren, trägt zur Entwicklung eines elaborierten Fachwissens sowie zur Entwicklung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses bei (vgl. Giere, Bickle & Mauldin 2006).

Dass die Perspektive der Erkenntnisgewinnung mit Modellen Bestandteil eines zeitgemäßen Biologieunterrichts sein sollte, zeigt die Diskussion über die Ziele naturwissenschaftlicher Bildung seit den 1990er Jahren, die sowohl den Prozess der Erkenntnisgewinnung als auch dessen Reflexion explizit in den Blick nimmt (► 10, 13 und 14). Derek Hodson (1992) strukturiert *Science Education* entsprechend in *learning science* (Konzepte, Modelle, Theorien), *learning about science* (Verständnis der Philosophie, Geschichte und Methodologie) und in *doing science* (Tätigkeiten zum Erwerb naturwissenschaftlichen Wissens).

Modelle tragen zur naturwissenschaftlichen Bildung bei, indem in Auseinandersetzung mit ihnen Fachwissen erworben werden kann (*learning scientific models*, Henze u. a. 2007; Modellwissen, Meisert 2008), die Modellierung als Methode erlernt werden kann (*act of modeling*, Henze et al. 2007; Modellarbeit, Meisert 2008) sowie ein Teilbereich des Wissenschaftsverständnisses entwickelt werden kann (*nature of models*, Henze et al. 2007; Modellverständnis, Meisert 2008). Mit Blick auf Modelle als Mittel zur Erkenntnisgewinnung fokussieren Annette Upmeyer zu Belzen und Dirk Krüger (2010) in ihrem Ansatz auf abstrakte Kenntnisse über Modelle und den konkreten Prozess der Modellanwendung. Auf dieser Grundlage definieren sie Modellkompetenz in Anlehnung an den Kompetenzbegriff von Weinert (2001) wie folgt: „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.“

Viele Untersuchungen belegen allerdings, dass eine so verstandene Kompetenz im Umgang mit Modellen bei Lernenden und auch bei Lehrenden nur selten ausgebildet ist (Artelt et al. 2001; Crawford & Cullin 2004; Prenzel et al. 2004). Nach internationalen Vergleichsstudien verfügen nur 3,4% der deutschen Schülerinnen und Schüler über die Wissensbasis für ein Denken in und Arbeiten mit Modellen (Artelt et al. 2001; Prenzel et al. 2004). Der deskriptive Aspekt von Modellen (Anschauungsfunktion in der medialen Perspektive) steht beim schulischen Lehren und Lernen im Vordergrund. Die Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess als Denk- und Forschungswerkzeug wird dann nicht hinreichend erkannt. Dies konnten Grosslight et al. (1991) für Schülerinnen und Schüler, Crawford und Cullin (2004) für angehende Lehrkräfte und van Driel und Verloop (1999) für Lehrkräfte zeigen.

36.5 Modelle lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifizieren

Folgt man den oben beschriebenen Perspektiven, wird deutlich, dass es unzählige Objekte gibt, die als biologische Modelle betrachtet werden können. In Anbetracht dieser Fülle ist eine von Kriterien geleitete Systematisierung in Modelltypen, insbesondere für die zielbezogene Unterrichtsplanung, sinnvoll und hilfreich. Für eine entsprechende Strukturierung gibt es zahlreiche Vorschläge (Gilbert & Osborne 1980; Harrison & Treagust 2000; Boulter & Buckley 2000; Meisert 2008). Beispielsweise richtet die Mechanik eines Spaltöffnungsmodells den Blick auf die Funktion, weshalb es sich den Funktionsmodellen zuordnen lässt. Ein Torso hingegen wird den Strukturmodellen zugerechnet. Kriterium für die Systematisierung ist in beiden Fällen die Frage, welcher Aspekt mit dem Modell abgebildet wird. Aus Ansätzen zur Klassifizierung, die für die Unterrichtsplanung relevant sind, lassen sich Kombinationsmöglichkeiten für den Modelleinsatz ableiten (► Tab. 36-2).

Grundlegend bei der Klassifizierung ist die Unterscheidung zwischen virtuellen und materiellen Modellen. Zu den *virtuellen Modellen* zählen rein mathematische Abbildungen und die damit verbundenen Vorstellungen, z. B. die symbolische Darstellung der Fotosynthese und das Modell der erbkonstanten Bevölkerung (vgl. Weninger 1981, 185 ff.). Zu den virtuellen Modellen gehören vor allem Computersimulationen (► 43). Zu den materiellen Modellen zählen dreidimensionale, d. h. *körperliche* und zweidimensionale, bildliche Modelle (ikonische und symbolische Darstellungen). Zu den *bildlichen* Modellen gehören Diagramme und Symbolsysteme, die Strukturen oder Funktionen abbilden (z. B. chemische Formeln und Zeichen für Nährstoffe und deren Bausteine).

Nach dem Abbildungsaspekt wird zwischen Struktur- und Funktionsmodellen unterschieden. *Strukturmodelle* zeichnen sich dadurch aus, dass mit ihnen Baumerkmale möglichst originalgetreu wiedergegeben werden. Es sind meist Modelle der Morphologie und Anatomie (vgl. Staack 1980, 43; Erber & Klee 1988), die häufig zerlegbar sind. Sie eignen sich zur Darstellung von sonst nicht analysierbaren Organen und Organismen (z. B. menschlicher Torso) oder für die Beobachtung von Strukturen, die ohne Zusatzgeräte nicht zugänglich wären (z. B. Doppelhelix der DNA).

Kriterium zur Systematisierung	Modelltypen		
Herstellung der Modelle	virtuelle Modelle	materielle Modelle – zweidimensional (bildlich) – dreidimensional (physisch)	
Aspekt der Abbildung	Strukturmodelle	Funktionsmodelle	Struktur-/Funktionsmodelle
Art des Konstruktionsprozesses	Analogmodelle	Homologmodelle	Konstruktmodelle
Art der Anwendung	Lehr-/Lern-Modelle	Forschungsmodelle	

Tab. 36-2: Einteilung der Modelltypen nach verschiedenen Kriterien

Funktionsmodelle bilden den Verlauf von Prozessen ab. Sie ermöglichen damit die Analyse von Funktionen und Mechanismen. Die anatomischen Verhältnisse werden in der Regel nur ungenau erfasst (z. B. Donder'sches Modell der Atmung; Blutkreislauf, vgl. Gude 1988; Innenohrfunktion, vgl. Ronneberger 1990; Augenmodelle, vgl. Erber & Klee 1986). Modelle der DNA ermöglichen die Darstellung der Replikation, die Pfeffer'sche Zelle ist ein Modell für die osmotischen Vorgänge in der Zelle (vgl. Gropengießer 1981; Bartsch, Rütther & Toonen 1990). Funktionsmodelle der Wirbelsäule erlauben Angaben über die Beweglichkeit und quantitative Aussagen zur Statik der menschlichen Wirbelsäule (vgl. Schneider 1981; Hedewig 1990).

Daneben gibt es Modelle, die Struktur und Funktion in gleicher Weise abbilden. Zu diesen Struktur-/Funktionsmodellen gehören beispielsweise die Simulationen von ökologischen, populationsbiologischen und evolutionären Systemen (z. B. Mimikry-Modell, vgl. Gropengießer & Laudénbach 1987). Mit einem Blackboxmodell oder mit einem Puzzle kann das wissenschaftliche Vorgehen abgebildet und reflektiert werden (Frank 2005; Freese 2005).

Diejenigen Modelle, die einem Original nachgebildet sind, heißen *Homologmodelle*. Sie geben das Original selten in den Dimensionen, häufig aber in den Proportionen und damit in der Gestalt wieder. Dies trifft vor allem auf Strukturmodelle zu. Bei *Analogmodellen* wird das Modell nicht eigens hergestellt, sondern das Original wird mit einem Gegenstand der vorgegebenen Realität in Beziehung gesetzt: Ein Gegenstand wird dem Original als Modell zugeordnet, wobei Funktionsanalogien betrachtet werden. Die Eigenschaften des Originals werden durch das zugeordnete Modell nur in einer bestimmten Anzahl von Eigenschaften widergespiegelt. Diese Eigenschaften lassen sich bei Original und Modell einander zuordnen (analogisieren), ohne dass eine Übereinstimmung (z. B. in der Gestalt) zwischen beiden vorhanden sein muss (z. B. Vergleich des Stempels der Salbeiblüte mit einem Schlagbaum; der Zelle mit einem Unternehmen; der Enzymkinetik mit der Schalterabfertigung, vgl. Köhler 1985; eines Lebewesens mit einer Kerzenflamme, vgl. Kattmann 1971; 1980; 1990; Schaefer 1977). Zu den Analogmodellen gehören auch Vergleiche zwischen biologischen und technischen Systemen (vgl. Gropengießer 1993).

Konstruktmodelle (Kattmann 2006) schließlich bilden kein Original ab, d. h., der Prozess der Modellierung beginnt mit einem Denkmodell (► Abb. 36-1, S. 327). Sie beruhen somit vorwiegend oder ausschließlich auf (theoriegeleiteten) Rekonstruktionen und Konstruktionen (z. B. ein rekonstruierter Schädel eines Fossils, die Abbildung eines Bauplans). Zu solchen Konstruktmodellen gehören phantasievolle Modellorganismen, mit denen Evolution abgebildet werden soll, z. B. die Caminalcules (Sokal 1966), die Schrägen Hangnager (Kattmann & Gad 2007), Geschöpfe der Zukunft (Dixon, Wallis & Beginnen 1999; vgl. Krüger 2006) oder Lebewesen und Prozesse in Science-Fiction-Texten (vgl. Teutloff 2006).

Nach der Funktion im Erkenntnisprozess kann zwischen *Forschungsmodellen* sowie *Lern-* und *Lehrmodellen* unterschieden werden. Forschungsmodelle können zu Lern-/Lehr-Modellen werden, wenn sie im Lernprozess eingesetzt werden.

36.6 Der Umgang mit Modellen wird schrittweise erlernt

Es gibt eine Reihe von Teilbereichen, die den Umgang mit Modellen strukturieren und für den Einsatz von Modellen im Biologieunterricht Orientierung bieten können (Grosslight et al. 1991; Crawford & Cullin 2005; vgl. Upmeyer zu Belzen & Krüger 2010; Fleige et al. 2012 a; Meisert 2009).

Über diese Teilbereiche kann man mit Lernenden ins Gespräch kommen, indem man ihnen entsprechende Reflexionsfragen stellt. Dies führt zur expliziten Thematisierung des Umgangs mit Modellen in der Biologie und im Biologieunterricht.

Sofern eine Ermittlung der Schülervorstellungen über Modelle mit Blick auf eine sich anschließende spezifische Förderung der Teilbereiche gewünscht wird, bietet die Instruktion, die sowohl abstrakt, aber auch bezogen auf ein bestimmtes Modell eingesetzt werden kann, eine konkrete Möglichkeit (► Tab. 36-3).

Die Vorstellungen zu den Teilbereichen werden ausgehend von einer einfachen und engen Vorstellung hin zu einer weiter gefassten und elaborierten in Qualitäten bzw. Niveaus gegliedert (vgl. Grosslight et al. 1991; Chittleborough & Treagust 2007; Upmeyer zu Belzen & Krüger 2010). Eine weniger elaborierte Modellkompetenz drückt sich darin aus, das Modell ausschließlich als *Modell von etwas* zu erkennen. Der Blick ist dann reproduzierend vom Original auf das Modell gerichtet. Es geht darum, wie gut das Original durch das Modell vertreten wird. Es wird erkannt, dass das Modell als Modell von etwas eine Stellvertreterfunktion besitzt. Eine elaborierte Modellkompetenz zeigt sich darin, die in den Modellen steckenden theoretischen Annahmen ebenfalls erkennen und nutzen zu können, um weitere Hypothesen über das Original aufzustellen, sie zu testen und damit zu überprüfen. Unter der Perspektive *Modell für etwas* geht der Blick

Teilbereiche	Reflexionsfrage	Instruktion
Modellbegriff	Was ist ein Modell?	Erkläre, was du unter einem Modell verstehst.
Eigenschaften von Modellen	Wie ähnlich muss das Modell dem Original sein?	Beschreibe, worin sich Modell und Original ähneln/unterscheiden.
Alternative Modelle	Inwiefern kann es für ein Original mehr als ein Modell geben?	Begründe, warum es zu einem Original verschiedene Modelle gibt.
Zweck von Modellen	Welchen Zweck hat das Modell?	Beschreibe, welchen Zweck dieses Modell hat.
Testen von Modellen	Wie kann man ein Modell testen?	Erkläre, ob man das Modell für Zweck X einsetzen kann.
Ändern von Modellen	Unter welchen Bedingungen muss ein Modell geändert werden?	Begründe, was dazu führen könnte, dass das Modell verändert werden muss.

Tabelle 36-3: Theoretische Teilbereiche zu Modellen, Reflexionsfragen (vgl. Grosslight et al. 1991) sowie konkrete Instruktionen (vgl. Fleige et al. 2012 a) als Grundlage zur individuellen Förderung spezifischer Aspekte im Kontext Modelle

vom Modell zum Original zurück. Als Konsequenz werden unter Umständen die Vorstellung über das Original und schließlich das Denkmodell neu konstruiert. Das Ziel von Unterricht wäre es, Kompetenzen bei den Lernenden zu entwickeln, die neben der medialen Perspektive einer wissenschaftlich-forschenden Perspektive entsprechen.

Förderkonzepte

Die Lernenden sollen die Arbeit mit Modellen als ein Mittel erkennen, mit dem sie sich die komplexe Realität geistig verfügbar machen können (Giere, Bickle & Mauldin 2006).

Beispiele zum Einsatz von Modellen zur Erkenntnisgewinnung zeigen, dass bereits Schülerinnen und Schüler der Mittelstufe elaboriert mit Modellen umgehen können (Meisert 2009; Schwarz et al. 2009; Fleige et al. 2012 a; b).

Zu der Fragestellung „Welche Form hat Euglena?“ stellen Fleige (2012 a) eine Förderkonzeption bereit. Im Einstieg wird als Original ein Einzeller (Euglena) mit dem Mikroskop oder als Foto betrachtet. Unter der Fragestellung: „Welche Form hat Euglena?“ erstellen die Lernenden mit Knete Modelle von Euglena. Diese Modelle werden von allen Seiten betrachtet und Schnitte durch die Modelle angefertigt. Daraus werden Hypothesen zur Gestalt von Euglena gesammelt und dokumentiert. Die Hypothesen werden am Original durch erneutes Mikroskopieren oder die Betrachtung weiterer Fotos überprüft. Das Ergebnis führt unter Rückbezug zu den Hypothesen zu ihrer Bestätigung bzw. Falsifikation. Dabei wird die vorläufige Gültigkeit der Modelle deutlich, ggf. die Notwendigkeit einer Änderung festgestellt. In der Reflexion wird das wissenschaftliche Arbeiten mit Modellen expliziert (vgl. Anleitungen zum Selbstbau von begreifbaren Modellen, Schmidt & Byers 1995; Beispiele beweglicher Flachmodelle, Memmert 2009; Arbeitsmaterialien zum Umgang mit Modellen, Högermann & Kricke 2012; Schlüter & Kremer 2013; Unterrichtsreihen zur Entwicklung von Modellkompetenz, Fleige et al. 2012 b).

Wann im Unterricht Modelle und wann Originale eingesetzt werden, hängt von den Lernzielen, den Lernenden, der Lehrkraft und den Rahmenbedingungen ab und muss jeweils didaktisch sorgfältig abgewogen werden.

Der Einsatz von Originalen unterstützt in besonderer Weise einen emotionalen Zugang zur Biologie. Modellversuche werden durchgeführt, wenn das Original nicht verfügbar oder für bestimmte Untersuchungen ungeeignet ist, z. B. wenn Variablen nur in einem Modellexperiment, nicht aber in einem Experiment mit dem Original isoliert werden können (vgl. z. B. zur Erregungsleitung, Ducci & Oetken 1999; Osmose, Gropengießer 1981).

Beim Einsatz von Modellen zur Gewinnung von Erkenntnissen erarbeiten sich Schülerinnen und Schüler ein Verständnis über die Naturwissenschaft Biologie, in der zunehmend lebende Modellorganismen zum Einsatz kommen wie Maus, Drosophila oder Zebrafisch. Sie ermöglichen die Überprüfung des Denkmodells, wodurch der Fokus auf den relevanten Aspekt des Organismus gelenkt wird.