

# Modelle im Biologieunterricht

Als 1925 Gorter & Grendel ihr Modell der Biomembran als einer Doppelschicht aus Phospholipiden entwickelten, waren es gerade die Unzulänglichkeiten ihrer Experimentalapparatur, die zu der damals revolutionären Idee beitrugen und die die Weiterentwicklung von Modellvorstellungen zum Bau der Biomembran so positiv beeinflussten. Was war passiert? Gorter & Grendel war es gelungen, an der Membran roter Blutkörperchen experimentell nachzuweisen, dass die Lipidmenge der Membran der doppelten Oberfläche einer Zelle entspricht. Eine Möglichkeit zur Erklärung dieses Zusammenhangs zwischen Oberfläche und Lipidmenge war es, von einer Lipidschicht auszugehen, die die Zelle vollständig umschließt. Diese Lipidschicht musste dann nach Lage der gewonnenen Daten aus zwei Reihen von Lipiden zusammengesetzt sein. Diese Idee war thermodynamisch schlüssig, weil Phospholipide hydrophile und hydrophobe Bereiche enthalten. Die hydrophoben Bereiche der Phospholipide konnten einander zugewandt sein und die hydrophilen Bereiche würden dann mit dem wässrigen Medium in Berührung stehen. Vereinfacht zusammengefasst war damit das Modell der Biomembran als Lipiddoppelschicht geboren, wie es heute noch in nahezu jedem Biologielehrbuch als historisches Modell zu finden ist. Als die Versuche jedoch etwa 30 Jahre später wiederholt wurden (Bar u. a., 1966), zeigte sich, dass Gorter & Grendel aufgrund ihres technisch unzureichenden Versuchsaufbaus die Lipidmenge einer

Zelle um einiges überschätzt hatten. In der Wiederholung der Versuche entsprach die Lipidmenge gerade noch der einfachen Größe der Zelloberfläche.

Aus diesem kurzen Beispiel ergeben sich drei Fragen hinsichtlich der Bedeutung von Modellen in der Biologie: (1) In welchem Verhältnis stehen Modell und Realität zueinander, wenn auf der Basis falscher Daten gültige naturwissenschaftliche Modelle entworfen werden können? (2) Welche Funktion(en) erfüllen dann Modelle im Forschungsprozess? (3) Und mit Bezug auf den Biologieunterricht: Ist es sinnvoll, die Funktionen von Modellen im Forschungsprozess und deren teils kuriose Entwicklung im Unterricht zu thematisieren, und wenn ja, warum?

## Modelle im Biologieunterricht

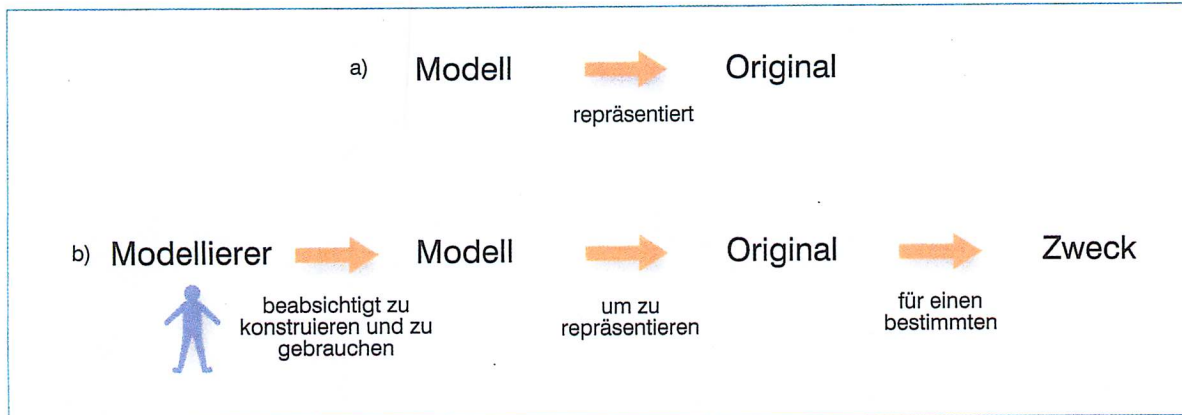
Der Blick auf Biologielehrbücher der Oberstufe scheint eine erste Antwort zumindest auf die dritte Frage zu geben. Dort gehört die Darstellung historischer Modelle zur Biomembran zu den Standardbeispielen über die Veränderung von Modellvorstellungen im Laufe der Zeit (► Markl 2010, Weber 2009). Nicht thematisiert wird hingegen die Geschichte über die Fehler bei der Datengenerierung und ihre Konsequenzen für die Entwicklung des Biomembranmodells. Doch selbst der Fokus auf der Entwicklung und Wandel von Modellen ist untypisch für die Behandlung von Modellen im Biologieunterricht (van Driel/Verloop, 2002; Prenzel u. a., 2004). Viel häufiger wer-

den Modelle im Biologieunterricht genutzt, um den SchülerInnen ein fertiges biologisches Konzept oder ein Theorieelement zur Verfügung zu stellen. Strukturmodelle von tierischen und pflanzlichen Organen, Funktionsmodelle oder Modelle zur Verdeutlichung biologischer Prozesse, wie z. B. der Immunabwehr, beanspruchen zu diesem Zweck in gut ausgestatteten Biologiesammlungen einige Regalmeter. Die Modelle dienen dabei jeweils als Medien, die das Ergebnis eines Modellierungsprozesses heranziehen, um das Erlernen fachlicher Konzepte zu erleichtern. Welchen Raum Modelle als Medien für den Biologieunterricht einnehmen, zeigt auch das Interesse an immer neuen, gut durchdachten Modellen für diverse biologische Konzepte (► Högermann/Kricke, 2013).

Vor diesem Hintergrund muss die Entscheidung der KMK (2005) betrachtet werden, Bildungsstandards zu Modellen nicht im Kompetenzbereich Fachwissen anzusiedeln. In diesen nämlich gehören sie, wenn sie als Medien zur Vermittlung biologischer Inhalte genutzt werden. Stattdessen werden Kompetenzen zu Modellen dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung zugeordnet (Tab. 1). Mit dieser Entscheidung werden die Ziele, unter denen Modelle im Biologieunterricht betrachtet werden, deutlich ausgeweitet und der Fokus der Modellbehandlung im Unterricht wird verschoben. Zur Funktion von Modellen als Unterrichtsmedien tritt deren Funktion als Werkzeuge naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung hinzu. Für den

Die Schülerinnen und Schüler	
E9	wenden Modelle zur Veranschaulichung von Struktur und Funktion an,
E10	analysieren Wechselwirkungen mit Hilfe von Modellen,
E11	beschreiben Speicherung und Weitergabe genetischer Information auch unter Anwendung geeigneter Modelle,
E12	erklären dynamische Prozesse in Ökosystemen mithilfe von Modellvorstellungen,
E13	beurteilen die Aussagekraft eines Modells.

Tab. 1: Modelle sind in den Bildungsstandards (KMK 2005) im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung angesiedelt



Biologieunterricht ergibt sich daraus die Herausforderung, Modelle weiter als die effektiven Unterrichtsmedien zu verwenden, die sie seit Jahrzehnten darstellen, und zudem Zielsetzungen und darauf aufbauend Konzepte zu entwickeln, mit deren Hilfe SchülerInnen Modelle als Werkzeuge naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung kennen lernen und begreifen können.

Für Letzteres erscheint es notwendig, zunächst den naturwissenschaftlichen Modellbegriff zu präzisieren, um darauf aufbauend die Funktionen von Modellen in der Biologie zu beleuchten. Auf dieser Grundlage können schließlich Ziele für ein Modellverständnis im Biologieunterricht abgeleitet und Ideen vorgestellt werden, mit denen die Ziele erreicht werden können.

### Was sind Modelle?

Was haben das Lotka-Volterra-Modell zur Beschreibung der Populationsdynamik von Räuber-Beute-Beziehungen, Klimamodelle zur Beschreibung des Klimawandels, Pfeildiagramme zur Beschreibung von Stoffwechselwegen, Atommodelle oder eben das eingangs beschriebene Modell der Biomembran von Gorter & Grendel gemeinsam?

Sie alle eint der Versuch, ein nicht direkt zugängliches wissenschaftliches Phänomen zu beschreiben, zu erklären oder Vorhersagen über dieses Phänomen zu treffen. Bei den Phänomenen kann es sich um Strukturen, um Funktionen oder um Struktur-Funktions-Beziehungen handeln.

Die wissenschaftlichen Phänomene, die mit Modellen beschrieben werden, werden in der Regel als Originale oder als Realität bezeichnet. Mit Modellen versuchen Naturwissenschaftler, diese Phänomene abzubilden, jedoch nicht im Sinne einer Kopie des Phänomens, sondern durch Herstellung von Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Original/Realität und Modell. Daher lautet eine erste Definition für ein Modell:

*Ein Modell ist etwas, das ein Original bzw. eine Realität repräsentiert (Abb. 1a).*

Allerdings sind Originale prinzipiell äußerst reichhaltig. Ihre Strukturen, Funktionen oder auch ihre Beziehungen zu anderen Originalen können aus ganz unterschiedlichen Perspektiven betrachtet werden. Modelle repräsentieren grundsätzlich nur einen Ausschnitt ihres Originals. Sie sind somit eine Vereinfachung. Welcher Ausschnitt betrachtet wird, liegt in der Hand der Person, die ein Modell konstruiert oder etwas zu einem Modell ernannt (Modellierer). Welchen Ausschnitt des Originals der Modellierer wählt, hängt ab vom Zweck, den das Modell erfüllen soll. Gorter & Grendel etwa lag daran, ein Modell zu entwickeln, mit dem der Aufbau jener Struktur beschrieben werden konnte, die den Abschluss einer Zelle gegenüber dem sie umgebenden Medium bildet. Andere Merkmale einer Biomembran wie der geregelte Stoffaustausch, die Kommunikation mit anderen Zellen oder der Aufbau und die Aufrechterhaltung eines Membranpotentials standen für sie nicht im Vordergrund

oder waren zum damaligen Zeitpunkt als potentielle Merkmale von Membranen noch unbekannt.

Die erste Definition von Modellen als Repräsentanten von Originalen muss daher um zwei Merkmale erweitert werden: (1) den Modellierer, der als Akteur ein Modell konstruiert, und (2) den Zweck, für den ein Modellierer das Modell konstruiert (Abb. 1b). Damit lautet die erweiterte Definition:

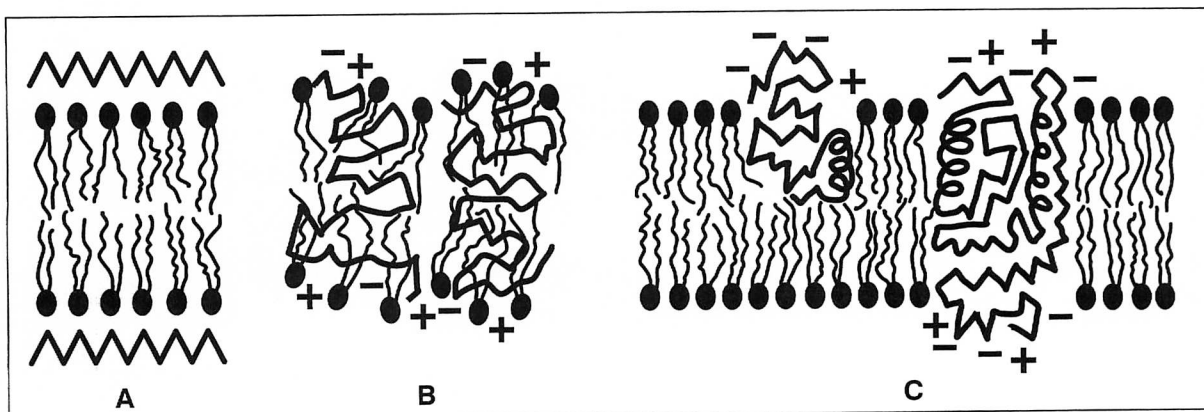
*Ein Objekt ist dann ein Modell eines Originals, wenn ein Modellierer beabsichtigt, ein Objekt als Modell für einen bestimmten Zweck zu konstruieren und zu verwenden. Modelle ähneln dem Original, aber nur hinsichtlich jener Aspekte, die von einem Modellierer im Modellierungsprozess als relevant eingestuft werden (Giere, 2010).*

Für Gorter & Grendel war dies der Aufbau einer Biomembran aus Phospholipiden und deren potentielle Organisation in Form einer Lipiddoppelschicht.

Diese intentionsbezogene Definition von Modellen eröffnet ein Verständnis für die Existenz unterschiedlicher und konkurrierender Modelle zu einem naturwissenschaftlichen Phänomen, und zwar in Abhängigkeit

- vom **Modellzweck**. Dieser bestimmt den Ausschnitt des Originals/der Realität, der durch das Modell modelliert wird. Unterschiedliche Zwecke können verschiedene Modelle zum gleichen Original zur Folge haben.
- von der **Interpretation von Daten**, die über das zu modellierende Phänomen vorliegen. Unterschiedliche In-

2: Zeitgleich existierende, konkurrierende Biomembranmodelle  
Mitte der 1960er-Jahre. (a) Modell der Einheitsmembran von Davson und Danielli, (b) Benson-Modell, (c) früher Entwurf des späteren Flüssig-Mosaik-Modells (Singer 2004)



Interpretationen von Daten können zur Konstruktion konkurrierender Modelle zum gleichen Phänomen führen.

Ein gut dokumentiertes historisches Beispiel ist die zeitgleiche Existenz mehrerer, konkurrierender Modelle zum Aufbau der Biomembran in den 60er-Jahren des 20. Jahrhunderts. Einige Jahrzehnte nach Gorter & Grendel waren eine Reihe neuer experimenteller Daten verfügbar, die von verschiedenen Forschergruppen genutzt wurden, um das klassische Modell zum Aufbau der Biomembran neu zu durchdenken (► Beitrag Weitzel, S. 81). Die Daten führten jedoch nicht linear zum heute favorisierten (und mittlerweile vielfach erweiterten) Flüssig-Mosaik-Modell, sondern wurden von verschiedenen Forschergruppen je unterschiedlich interpretiert und zur Konstruktion mehrerer konkurrierender Modelle genutzt (Abb. 2). Erst die Verfügbarkeit weiterer experimenteller und durch neuartige mikroskopische Verfahren gewonnener Daten machte eine Überprüfung der verschiedenen Modelle möglich. In diesem Prozess zeigte das Flüssig-Mosaik-Modell die höchste Datenpassung.

### Welche Funktionen haben Modelle in der Biologie?

Mit Modellen können Strukturen, Funktionen oder Struktur-Funktions-Beziehungen **beschrieben** und **erklärt** werden, obwohl die jeweiligen Phänomene nicht direkt zugänglich sind. Mit Modellen können zudem **Vorhersagen** zu naturwissenschaftlichen Phänomenen **entwickelt** werden. Auf der Grundlage des Modells der Biomembran als Lipiddoppelschicht lässt sich relativ genau vorhersagen, dass die Wasserleitfähigkeit über die Membran aufgrund des hydrophoben Inneren der Membran stark eingeschränkt sein muss und der Wasserdurchtritt nur recht langsam erfolgen kann. Daraus lässt sich dann weitergehend ableiten, dass die Diffusionsgeschwindigkeit von Wasser über die Membran nicht den Anforderungen an die Wasserpermeabilität entspricht, wie sie z. B. in den Nierentubuli bei der Rückresorption von Wasser in das Blut erforderlich ist. Die Modellvorstellung membran-durchspannender Proteine kann dann dabei helfen, **Hypothesen** zur Lösung dieses Problem zu **entwickeln**: Durch

einen Kanal könnte Wasser mit großer Effektivität die Biomembran passieren. Peter Agre gelang in den 1990er-Jahren mit seiner Arbeitsgruppe der Nachweis solcher Proteine (Aquaporine). Jedoch war mit der Entdeckung der Aquaporine und der Entschlüsselung ihrer Struktur noch nicht die Leistungsfähigkeit der Proteine hinsichtlich des Wassertransports geklärt, ebenso wenig war bekannt, wie der Durchtritt anderer Substanzen durch den Kanal des Proteins verhindert werden konnte. Zur Klärung dieser Frage wurden verschiedene Computermodelle entwickelt, durch die darauf bezogene **Hypothesen getestet** und **systematisch überprüft** werden konnten (Meisert, 2009). An diesem stark vereinfacht dargestellten Beispiel wird deutlich, dass die Konstruktion von Modellen und die Entwicklung neuer Forschungshypothesen im Wechselspiel geschieht. Modelle werden nicht nur im Nachhinein zur besseren Kommunikation von verfügbarem Wissen konstruiert, wie das die Verwendung von Modellen als Unterrichtsmedien suggeriert. Modelle, wie die Computermodelle zum Wassertransport über Aquaporine, selbst repräsentieren naturwissenschaftliches Wissen. Modelle sind somit zentrale Werkzeuge naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Aus der aktuellen wissenschaftstheoretischen Perspektive ist naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung ohne Modelle nicht möglich. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass zum Wesen der Naturwissenschaften die **beständige** Entwicklung neuer und konkurrierender Modelle, ihr Vergleich und ihre Testung gehört.

Tab. 2: Funktionen von Modellen in der Biologie und den anderen Naturwissenschaften

Modelle dienen in der Biologie und den anderen Naturwissenschaften zur
... Beschreibung von Phänomenen
... Erklärung von Phänomenen
... Entwicklung von Vorhersagen über Phänomene
... systematischen Entwicklung von Hypothesen über Phänomene
... systematischen Überprüfung von Hypothesen über Phänomene

## Kompetenzmodell zu Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen/Krüger (2010)

Das Kompetenzmodell setzt sich aus fünf Teilkompetenzen mit jeweils drei Niveaustufen zusammen. Die Niveaustufen beschreiben keine aufeinander aufbauenden Entwicklungsstufen. Stattdessen geben sie an, wie zu den einzelnen Teilkompetenzen über Modelle nachgedacht werden kann. Niveau I ist beschränkt auf das jeweilige Modellobjekt, Niveau II bezieht das Verhältnis von Original und Modell in die Überlegungen im Sinne eines Modells von etwas (einem Original) ein. Niveau III beleuchtet darüber hinaus die Anwendung des Modells in den jeweiligen Teilkompetenzen. Erste Forschungsergebnisse lassen darauf schließen, dass zumindest die benannten Teilkompetenzen Modellkompetenz recht gut beschreiben (Terzer, 2012; Krell, 2013).

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

Tab.: Kompetenzmodell zur Modellkompetenz von Upmeyer zu Belzen & Krüger (2010, S. 53)

### Modellkompetenz – ein Ziel des Biologieunterrichts

Mit Blick auf die unterschiedlichen Funktionen von Modellen für die biologische Forschung stellt sich die Frage, welche Elemente davon für den Biologieunterricht berücksichtigt werden müssen. Upmeyer zu Belzen/Krüger (2010) definieren Modellkompetenz als die Fähigkeiten, „mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können“ sowie die Fähigkeiten „über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen in den Naturwissenschaften reflektieren zu können“. In Anlehnung an Weinerts allgemeine und im deutschsprachigen Raum verbreitete Definition von Kompetenz ergänzen sie als weiteres Merkmal „die Bereitschaft, die genannten Fähigkeiten auch in den notwendigen Situatio-

nen einzusetzen“. Aus dieser Definition resultieren vier Schwerpunkte bei der Entwicklung von Modellkompetenz. Sie betreffen (1) die Beziehung zwischen Original/Realität und Modell, (2) die Rolle des Modellierers bei der Entwicklung eines Modells, (3) den Entwicklungscharakter von Modellen und (4) die Funktionen von Modellen im naturwissenschaftlichen Forschungsprozess (► **Kasten**).

Meisert und van Dijk (in revision) setzen die genannten Schwerpunkte in ein Kompetenzmodell mit den Dimensionen Modellwissen, Modellarbeit und Modellverständnis um, die sich gegenseitig beeinflussen (Abb. 3, Tab 3). Sie verzichten auf die Formulierung von konkreten Kompetenzniveaus und zeigen mögliche Lernwege der SchülerInnen auf. Vor dem Hintergrund der Nutzbarkeit im alltäglichen Unterricht erweist sich dieser Umstand als vorteilhaft, weil er einerseits Orientierung

gibt für eine Einschätzung von Kompetenzunterschieden, andererseits der Aufwand für eine solche Einschätzung in einem vertretbaren Rahmen bleibt. Die beschriebenen Lernwege bieten zudem einen wertvollen Rahmen sowohl für die Planung von Unterricht wie die grobe Diagnose von Kompetenzen der SchülerInnen.

**Modellwissen** als erste Dimension beinhaltet die Kenntnis und Anwendung von im Biologieunterricht bedeutsamen Modellen, z.B. die Kenntnis unterschiedlicher Modelle zur Biomembran. Damit wird an die verbreitete Verwendung von Modellen im Biologieunterricht als Unterrichtsmedien angeknüpft, zugleich wird die Brücke zu einem Modellverständnis geschlagen, indem die verwendeten Modelle stets in Bezug auf ihren Zweck hinterfragt werden.

Die zweite Kompetenzdimension **Modellarbeit** trägt Ergebnissen fach-

didaktischer Forschung Rechnung. Darin zeigt sich, dass das eigenständige Entwickeln, Beurteilen und Überarbeiten von Modellen, also die Simulation von naturwissenschaftlicher Forschungsarbeit im Biologieunterricht, eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung eines elaborierten Modellverständnisses ist. **Modellverständnis** als dritte Dimension hat zum Ziel, den Kern naturwissenschaftlicher Modelle als Werkzeuge naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu beschreiben. Während das immer wieder am Einzelfall vertiefte Modellwissen und die Modellarbeit dazu beitragen, die Grundlage für ein übergeordnetes Modellverständnis zu legen, wirkt sich zunehmendes Modellverständnis positiv auf die beiden anderen Kompetenzdimensionen aus. Wenn einmal verstanden wurde, dass Modelle keine Kopien von Originalen sind, dann wird sowohl die Gefahr von Fehlinterpretationen beim nächsten Umgang mit Modellen verringert, wie beim nächsten Modellentwicklungsprozess die Zweckbindung des Modells leichter mitgedacht wird. Gleichwohl handelt es sich bei Modellverständnis um komplexes Metastrategiewissen, dessen Erwerb eine Reihe von Lernschwierigkeiten entgegen steht (► [Beitrag Meisert, S. 76](#)).

### Was bringt Modellkompetenz?

Die Erarbeitung von Modellkompetenz im Biologieunterricht führt zunächst zu einer Ausweitung der in einer begrenzten Stundenzahl von den SchülerInnen zu erlernende Inhalte und

kann vor diesem Hintergrund negativ betrachtet werden. Klagen in der Art „Auch das noch!“ und „Wann soll ich das denn machen?“ scheinen gerechtfertigt. Es zeigt sich aber, dass SchülerInnen mit höherer Modellkompetenz fachliche Inhalte vertiefter bearbeiten (Sins u. a., 2009), zum Teil biologische Inhalte besser verstehen, eher in Modellen denken und mit Modellvorstellungen arbeiten, wenn sie naturwissenschaftliche Fragestellungen lösen (Smith u. a., 2000). Es zeigt sich aber auch, dass Modellkompetenz eher erlernt wird, wenn der Unterricht die Facetten von Modellkompetenz explizit in den Mittelpunkt des Unterrichts stellt. Die Verwendung von Modellen als Unterrichtsmedien zum Erlernen biologischer Inhalte trägt hingegen nicht zur Entwicklung von Modellkompetenz bei (Gobert, 2011). Allerdings dürfen keine kurzfristigen Sprünge erwartet werden. Die Entwicklung von Modellkompetenz erfolgt langsam, und sie muss durch die Lehrkraft gezielt gestützt werden.

### Modellkompetenz entwickeln

Da Modellkompetenz ein recht komplexes Konstrukt darstellt, gelten für den Aufbau von Unterrichtsstunden zur Entwicklung von Modellkompetenz die gleichen Empfehlungen wie bei anderen komplexen Inhalten des Biologieunterrichts (► [Fleige u. a. 2012](#)):

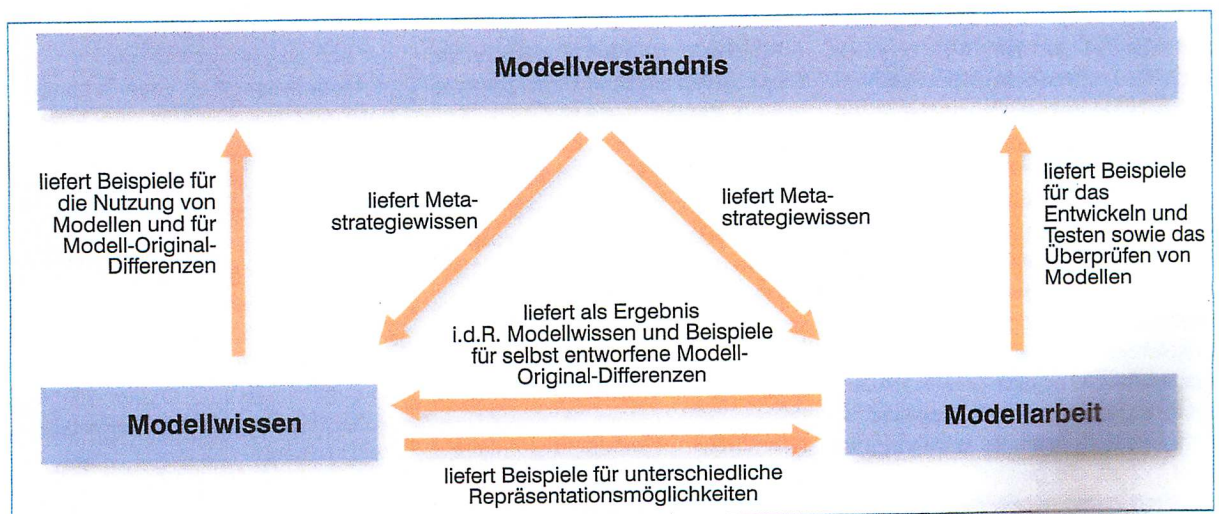
- **Fokussieren:** Das gleiche biologische Thema kann unter unterschiedlichen Blickwinkeln besprochen werden. Beispielsweise leitet sich aus der Festlegung auf das Thema „Aufbau

der Biomembran“ ein anderer Stundenaufbau ab als aus der Festlegung auf das Thema „Biomembranmodelle hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit originalen Daten beurteilen.“ Im ersten Fall steht der fachliche Inhalt im Vordergrund, im zweiten Fall wird der nahezu gleiche fachliche Inhalt genutzt, um mit den SchülerInnen die Funktion von Modellen als zweckgeleitete Repräsentationen zu erarbeiten oder weiterzuentwickeln. Entscheidend für die Unterrichtsplanung ist die Fokussierung auf den zu erarbeitenden Inhalt. Ist von allem (Fachinhalt und Modellkompetenz) ein bisschen geplant, besteht die Gefahr, dass keines der Ziele im angestrebten Maß erreicht wird.

- **(Nach-)Denken:** Die Entwicklung von Zielen insbesondere in der Kompetenzdimension Modellverständnis erfordert es, dass sich SchülerInnen über ihre eigenen Vorstellungen bewusst werden und diese wo nötig weiterentwickeln. Für diese Meta-Reflexion sind vor allem solche Arbeitsmethoden sinnvoll, die das zielgerichtete Sprechen über die eigenen Vorstellungen und die Vorstellungen der MitschülerInnen anregen (► [Beitrag Meisert, S. 47](#); [Fleige u. a., 2012](#)).

- **Vernetzen:** Anders als so mancher fachliche Inhalt im Biologieunterricht sind die Teildimensionen von Modellkompetenz nur kumulativ zu entwickeln (► [Beitrag Meisert, S. 76](#)). Dazu ist neben Zeit vor allem ein strukturiertes und vernetzendes Vorgehen im Unterricht gefordert. Aufbauend auf zuvor erarbeiteten Inhalten kann an einzelnen Teilkompetenzen weiter gearbeitet werden. Die Teildimensionen des Kompe-

3: Grafische Darstellung des Kompetenzmodells zur Modellkompetenz von Meisert (2012, S. 110) bestehend aus drei sich gegenseitig beeinflussenden Dimensionen



Dimension	Teilkompetenzen	Unterkategorien der Teilkompetenzen	Entwicklungslinie
<b>Modellwissen</b>	Modelle kennen und nutzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biologische Modelle kennen</li> <li>• Modelle nutzen</li> </ul>	Ausgangspunkt: Reproduktion von Modellen  Endpunkt: Differenzierte Modellanwendung
	Modelle analysieren und kritisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellteile in Beziehung zum Original setzen (analysieren)</li> <li>• Unterschiede zwischen Modell und Original anhand der Kriterien Datenangemessenheit und Zweckangemessenheit beurteilen</li> </ul>	
<b>Modellarbeit</b>	Modelle entwickeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelle als (vorläufige) Repräsentation eines Phänomens hinsichtlich einer konkreten Problemstellung (weiter-)entwickeln</li> <li>• Entwickelte Modelle überarbeiten</li> </ul>	Ausgangspunkt: Entwicklung und/oder Veränderung eines Modells durch Nachbildung von Realität  Endpunkt: Zweckgeleitete und überprüfende Entwicklung und/oder Veränderung eines Modells
	Modelle überprüfen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gültigkeit von Modellen durch Vergleich von modellbasierten Vorhersagen und empirischen Daten (Datenangemessenheit) beurteilen</li> </ul>	
<b>Modellverständnis</b>	Modelle als Instrumente verstehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelle als Werkzeuge des Beschreibens, Erklärens, Vorhersagens und Kommunizierens verstehen</li> <li>• Modelle als Werkzeuge des (Weiter-)entwickelns und Überprüfens von Hypothesen verstehen</li> </ul>	Ausgangspunkt: Modell als veranschaulichende Kopie der Realität; Modelltestung als Überprüfung der inneren Stimmigkeit ohne Bezug zur Daten der Realität  Endpunkt: Modell als empirisch überprüfte sowie zweckbezogene Repräsentation der Realität mit Beschreibungs-, Erklärungs- und Vorhersagefunktion
	Modelle als Repräsentationen verstehen		

Tab. 3: Kompetenzmodell zur Modellkompetenz von Meisert (Meisert & van Dijk (in revision))

tenzmodells mit ihren Unterkategorien helfen bei der Inhaltsauswahl für die jeweilige Unterrichtsstunde. Im Unterricht ist zudem inhaltliche Transparenz notwendig. Die SchülerInnen müssen die Chance haben, den Zusammenhang zwischen den Stunden zur Entwicklung von Modellkompetenz und damit zwischen den jeweils betrachteten Teilkompetenzen zu erfassen. Das kann z.B. durch Anlage eines Methodenreiters geschehen, auf den dann bei Bedarf immer wieder zurückgegriffen werden kann.





- **Üben:** Gerade komplexe Inhalte müssen immer wieder geübt werden, um gefestigt zu werden. Es ist daher

empfehlenswert, in den Unterricht an unterschiedlichen Stellen immer wieder Aufgaben zu bereits erarbeiteten Teildimensionen von Modellkompetenz einfließen zu lassen.

#### Modellwissen

Sollen Modelle als Werkzeuge genutzt werden, Struktur-Funktions-Zusammenhänge zu verstehen, ist es notwendig, den Bezug zwischen Merkmalen des Originals und Merkmalen des Modells herauszuarbeiten. Diese Analogisierung ist Voraussetzung für eine Übertragung des Wissens über das Modell auf die entsprechende biologische Struktur. Sie kann im Un-

terricht durch Zuordnungsaufträge initiiert werden oder durch Arbeitsaufträge, die dazu auffordern, Unterschiede zwischen Original und Modell zu finden (► Meisert, 2012, S. 112; Beitrag Weitzel, S. 24). An die Beschreibung von Unterschieden zwischen Original und Modell kann die Frage nach der Qualität des Modells angeschlossen werden. Diese Modellkritik hat zum Ziel, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Original und Modell, aber auch die Begrenztheiten des Modells auf der Folie des jeweiligen **Modellzwecks** herausarbeiten. So werden Modelle als absichtsvolle und zweckgebundene Konstruktionen erfasst. Im

Vor der Modellentwicklung		
<ul style="list-style-type: none"><li>• Beschreibung von Strukturen</li><li>• Beschreibung von Funktionen</li><li>• Entwicklung von Vorhersagen</li><li>• Entwicklung und Überprüfung von Hypothesen</li></ul>	einfacher	
	komplexer	
Während der Modellentwicklung		
<p>Schritt 1: Daten/Erfahrungen über das Phänomen sammeln</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Grad der Datenaufbereitung für die Modellentwicklung</li></ul>	einfacher	
	komplexer	
<p>Schritt 2: Modell entwickeln</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modelle von Grund auf selbst entwickeln (► <a href="#">Welsch, Dalhoff, Weitzel</a>)</li><li>• Modelle teilweise entwickeln (► <a href="#">Asshoff, Dankbar, Gerl</a>)</li><li>• Modelle weiterentwickeln (► <a href="#">Meisert</a>)</li></ul>	einfacher	
	komplexer	
<p>Schritt 3: Modell beurteilen</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modell und Beurteilungskriterien vollständig vorgeben</li><li>• Selbst entwickeltes oder weiter entwickeltes Modell beurteilen, Beurteilungskriterien (teilweise) eigenständig erarbeiten (alle Beiträge)</li></ul>	einfacher	
	komplexer	
Schritt 4: Modell überarbeiten		

Tab. 4: Möglichkeiten zur Variation des Komplexitätsgrades bei der Modellarbeit

Verlauf eines solchen Gesprächs wird herausgearbeitet, dass die Qualität des Modells durch seine Erklärungskraft hinsichtlich des intendierten Zwecks bestimmt wird.

Die Zweckorientierung von Modellen lässt sich am Einzelmodell erarbeiten. Problematisch ist, dass ein Teil der SchülerInnen in der Begründung auf oberflächlichen Merkmalen verharren wird. Durch die Vorgabe und Analyse unterschiedlicher Modelle zu ein und demselben biologischen Phänomen kann dem entgegengewirkt werden.

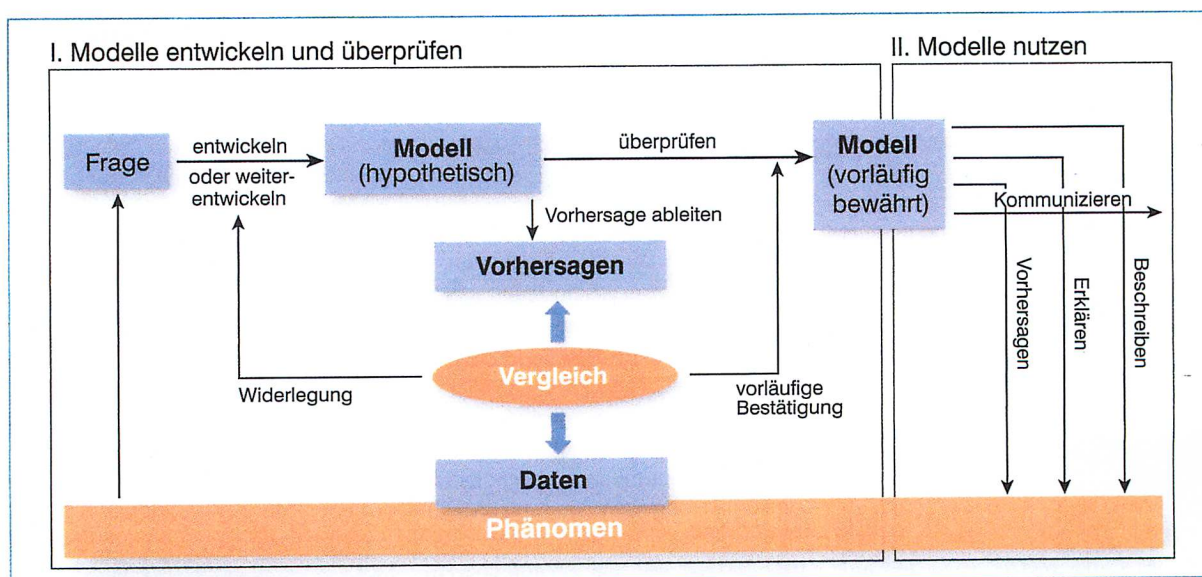
Hierfür gut geeignet sind unterschiedliche Struktur- und/oder Funktionsmodelle zu einzelnen Organen (z. B. Augenmodelle, Modelle zum Bewegungsapparat (► [Beitrag Schmidt/Schön-tag, S. 18](#)) oder zur Erregungsleitung am Neuron (► [Beitrag Meisert, S. 47](#)).

#### Modellarbeit

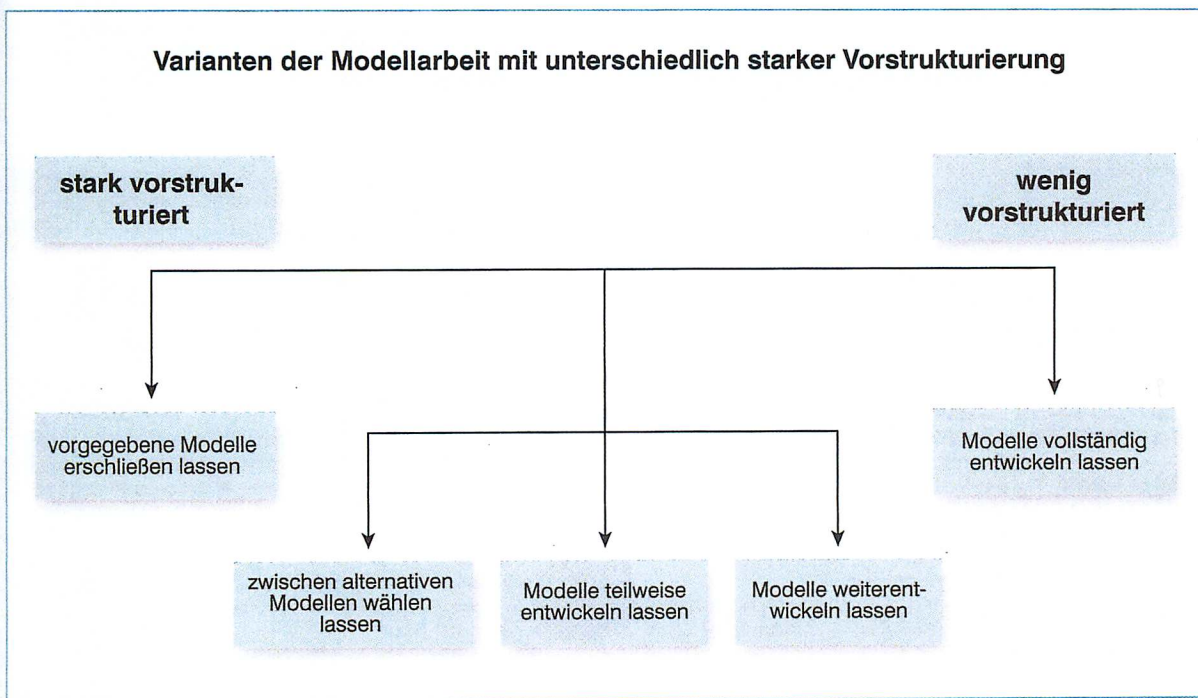
Modellarbeit umfasst die Entwicklung und die Überprüfung/Beurteilung von Modellen. Hierfür bietet sich ein Vorgehen in **vier Schritten** an (► Louca u. a., 2011, S. 5, Abb. 3), wie es auch in

mehreren Unterrichtsmodellen dieses Heftes realisiert ist. Der **erste Schritt** beinhaltet ausgehend von einer Frage das systematische Beobachten und/oder Sammeln von Erfahrungen/Daten über das zu beschreibende Phänomen. Während dieses Prozesses werden Hypothesen zur Eingangsfrage gebildet. Der Ausdruck „Hypothese“ wird an dieser Stelle weit gefasst und bezieht sich auf sämtliche Ideen, die zur Lösung der Eingangsfrage geeignet erscheinen. Diese Hypothesen werden im **zweiten Schritt** in ein vor-

4: Modelle in Erkenntnisgewinnungsprozessen (Meisert 2012; Meisert & von Dijk (in revision))



### Varianten der Modellarbeit mit unterschiedlich starker Vorstrukturierung



5: Modellarbeit kann im Komplexitätsgrad durch den Grad der Vorstrukturierung variiert werden (in Anlehnung an Meisert, unveröffentlichtes Manuskript)

läufiges Modell über das Phänomen überführt. Es spielt dabei keine Rolle, in welcher Form das Modell realisiert wird, also ob das Modell gezeichnet, gebaut, in Worten erklärt oder auch als Rollenspiel aufgeführt wird. An der Vielzahl der Realisierungsmöglichkeiten zeigt sich, dass die Entwicklung von Modellen durchaus spielerische Zugänge (► UB 376) bereithält und nicht zuletzt dadurch auch motiviert. Im **dritten Schritt** wird das Modell überprüft. Die Kriterien dafür sind: Stimmigkeit, Passung mit den gegebenen Daten, Angemessenheit hinsichtlich des Zweckes, den das Modell erfüllen soll. Im **vierten Schritt** erfolgt auf der Grundlage der Beurteilung eine Überarbeitung des Modells. Stimmt das Modell hinreichend mit den angelegten Kriterien überein, kann es als vorläufig bewährtes Modell gelten (Abb. 4). Upmeyer zu Belzen/Krüger unterscheiden im zweiten Schritt zwischen einem Denkmodell und seiner Realisierungsform. Diese Unterscheidung ist sinnvoll, insofern dieser Übergang konstruktionsbedingte Schwierigkeiten bereit hält, die sich auf die innere Stimmigkeit des Modells beziehen.

In Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit einer Klasse, der Komplexität des fachlichen Themas und dem Vorwissen der SchülerInnen zur Modellarbeit ist es sinnvoll, den Modellierungsprozess vorzustrukturieren. Das

kann zum Beispiel über den Zweck geschehen, für den ein Modell entwickelt wird. Modelle, mit denen Strukturen wie etwa der Aufbau des Oberarms beschrieben werden sollen, sind oft weniger komplex zu entwickeln als Modelle zur Erklärung von Funktionen (Beugung des Unterarms zum Oberarm) oder zur Konstruktion von Vorhersagen über Phänomene (Enzymhemmung, Saltatorische Erregungsleitung). Eine andere Möglichkeit zur Entlastung des Modellentwicklungsprozesses besteht im Grad der Vorstrukturierung (Abb. 5, Tab. 4). Am geringsten vorstrukturiert ist der Prozess, wenn ein Modell völlig frei entwickelt wird. Am anderen Ende steht die vollständige Vorgabe von Modellen, die dann nur z.B. hinsichtlich ihrer Daten- und/oder Zweckangemessenheit beurteilt werden (► Beitrag Welsch, S. 12, Beitrag Weitzel, S. 24). Zwischen diesen beiden Polen bewegen sich Aufgaben, die eine teilweise Entwicklung eines Modells (► Beitrag Asshoff, S. 32; Beitrag Meisert, S. 47) oder eine Modellweiterentwicklung erfordern (► Beitrag Heyne/Kubisch, S. 36). Der Wert eigenständiger Modellentwicklung ist bei all dem erforderlichen Zeitaufwand kaum zu überschätzen, da er zu einer vertieften Auseinandersetzung mit dem biologischen Inhalt führt, SchülerInnen dazu „zwingt“, ihre Vorstellungen vor anderen zu äußern und sich mit den eige-

nen Vorstellungen und der der anderen sowohl über den biologischen Inhalt wie über den Zweck des Modells auseinanderzusetzen.

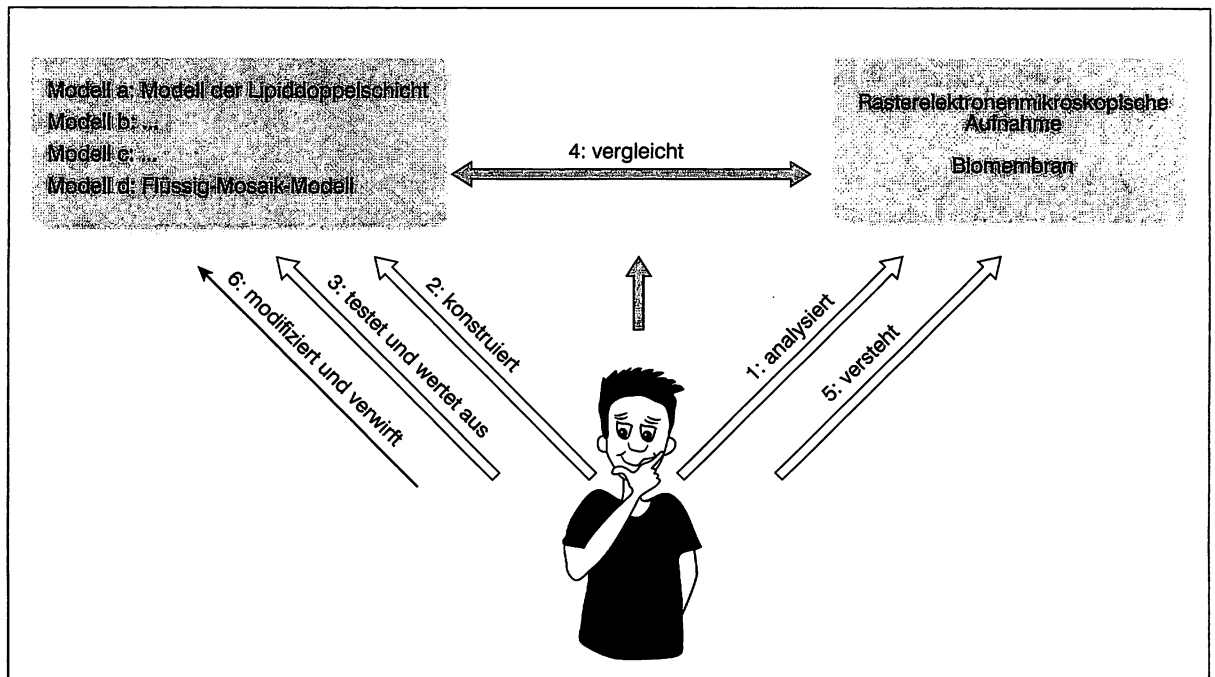
#### Modellverständnis

Ein kleiner Anteil von SchülerInnen und angehenden Lehrpersonen weist ein angemessenes Modellverständnis in dem Sinne auf, dass Modelle generalisiert als empirisch überprüfte und zweckbezogene Repräsentationen aufgefasst werden, mit deren Hilfe Realität beschrieben, erklärt und vorhergesagt werden kann (van Driel/Verloop, 2002). Für ein in dieser Weise ausdifferenziertes Verständnis von Modellen ist der geübte Umgang mit Modellen (Modellwissen) ebenso Voraussetzung wie eigene Modellierungserfahrungen (Modellarbeit). Meisert (► S. 76) schlägt zwei Strategien vor, um Modellverständnis bei SchülerInnen zu fördern: (1) Reflexion der Beziehung zwischen Original und Modell und (2) Rekonstruktion von modellbasierten Forschungsprozessen.

#### Reflexion der Beziehung zwischen Original und Modell

Für das Hinterfragen der Beziehung zwischen Original und Modell müssen SchülerInnen die Analogisierungen offenlegen und Vereinfachungen, aber auch Ausschmückungen des jeweiligen Modells, identifizieren. Dies

**6: Materialvorschlag**  
zum Modellverständnis  
durch Untersuchung  
der Beziehungen von  
Original, Modell und  
Modellierer. Die Num-  
merierungen stellen  
Beispiellösungen dar  
(modifiziert nach Mei-  
sert 2012, 117).



geschieht anhand der Kriterien Datenangemessenheit und Zweckangemessenheit. Die Förderung von Modellverständnis zielt nun darauf ab, die Erfahrungen der SchülerInnen zu rekonstruieren und diese auf einer generellen Ebene als Merkmale von naturwissenschaftlichen Modellen zu erfassen und zu verstehen. Zur Erarbeitung der Funktionen von Modellen bieten sich beispielsweise Kartenfragen an (► Meisert, 2012, S. 116), Entscheidungsaufgaben z. B. in Form von Concept Cartoons (► Beitrag Meisert, S. 47; Beitrag Weitzel, S. 24) oder Thesen, die auf der Grundlage konkreter Modellierungserfahrungen in den Unterricht eingegeben werden. Eine weitere Möglichkeit der Förderung eines Modellverständnisses besteht darin, das Beziehungsgefüge aus Modell, Original und Modellierer zu visualisieren (Abb. 6). Die SchülerInnen können nun nach dem Grad des Vorwissens entweder die unterschiedlichen Pfeile selbst beschriften. Alternativ können auch die beschrifteten Pfeile unsortiert vorgegeben werden, sodass die SchülerInnen die Zuordnungen der Pfeile vornehmen.

#### Rekonstruktion von modellbasierten Forschungsprozessen

Zur Förderung der Teilkompetenz „Modelle als (weiter) zu entwickelnde Hypothesentester verstehen“ hat sich die Rekonstruktion der historischen Ent-

wicklung von Modellen bewährt. Dabei wird das Wechselspiel aus Datengenerierung, Modellüberprüfung und Modell(weiter)entwicklung in den Mittelpunkt des Unterrichts gestellt. Einen vertieften Einblick in reale Forschungsprozesse können aber auch Fehler geben, wie sie z. B. Gorter & Grendel bei der Formulierung ihres Membranmodells unterlaufen sind. Neben geläufigen historischen Modellveränderungen (Modell der Biomembran oder DNA) können eine Vielzahl anderer Modelle aufgegriffen werden, die prägnant und dem Schulstoff zuzuordnen sind: Veränderungen der Modelle zur Rolle von Genen bei der Ausprägung von Merkmalen („Von der Genaktivität zur Genaktivierung“), zu Stammbaumbeziehungen von Vorfahren des Menschen, zur Funktion der angeborenen Immunabwehr bei der Aktivierung der erworbenen Immunabwehr (► UB 372), des Mosaik-Zyklus-Modells in Abgrenzung zu Monoklimamodellen in der Ökologie, oder ganz allgemein zur Entwicklung von Modellen zur Vorhersage des Klimawandels über die letzten Jahrzehnte.

Einen etwas anderen Weg gehen Fleige u. a. (2012, S. 8). Sie entwickeln einen einfachen, aber dadurch auch recht starren Reflexionsdialog bestehend aus fünf Fragen, die unterschiedliche Facetten des Modellverständnisses berühren. Die Fragen können an unterschiedlichen Themen

immer wieder zur Diskussion über das jeweilige Modell herangezogen werden und über die intensive reflexive Auseinandersetzung zur Förderung des Modellverständnisses beitragen (► S. 5): (1) Eigenschaften von Modellen: „Beschreibe, inwieweit Modelle so aussehen wie das Original“; (2) Alternative Modelle: „Erkläre, warum es verschiedene Modelle gibt“; (3) Zweck von Modellen: „Gib an, welchen Zweck die Modelle haben“; (4) Testen von Modellen: „Erkläre, wie wir überprüfen können, ob die Modelle tauglich sind.“; (5) Ändern von Modellen: „Nenne Gründe dafür, dass Modelle verändert werden müssen.“

#### Literatur

- Bar K. S./Deamer D. W./Cornwell D. G. (1966). Surface area of human erythrocyte lipids: reinvestigation of experiments on plasma membrane. *Science*, 153, S. 1010–12
- Chabalengula, V. M./Mumba, F./Mbewe, S. (2012). How Pre-service Teachers' Understand and Perform Science Process Skills. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 8(3), S. 167–176
- Develaki, M. (2012). Integrating Scientific Methods and Knowledge into the Teaching of Newton's Theory of Gravitation: An Instructional Sequence for Teachers' and Students' Nature of Science Education. *Sci & Educ*, 21, S. 853–879
- Fleige, J./Seegers, A./Upmeyer zu Belzen, A./Krüger, D. (Hrsg.) (2012). Modellkompetenz im Biologieunterricht Klasse 7–10. Donauwörth
- Gieryn, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese* 172(2), S. 269–281

- Gobert, J./O'Dwyer, L./Horwitz, P./Buckley, B. C./Tal Levy, S./Wilensky, U. (2011). Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. *International Journal of Science Education*, 33 (5), S. 653–684
- Gorter E./Grendel F. (1925). On bimolecular layers of lipoids on the chromocytes of the blood. *J. Exp. Med.*, 41, S. 439–43
- Högermann, C./Kricke, W. (2013). Biologie allgemein. Modelle für den Biologieunterricht: Sek. II. Halbergmoos: Aulis
- KMK (2005). Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf)
- Krell, M. (2013). Wie Schülerinnen und Schüler biologische Modelle verstehen: Erfassung und Beschreibung des Modellverstehens von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Berlin: Logos
- Krell, M./Reinisch, B. (2012). Rätsel um die schwarze Kiste. Mit der Blackbox naturwissenschaftliche Modellbildung verstehen. *Grundschule*, 6, S. 16–17
- Louca, L. T./Zacharia, Z. C./Constantinou, C. P. (2011). In Quest of productive modeling-based learning discourse in elementary school science. *JRST*, 48 (8), S. 919–951
- Markl, J. (Hrsg.) (2010). *Markl Biologie. Schülerband Obersstufe: 11./12. Schuljahr*. Stuttgart: Klett
- Meisert, A. (2012). Mit Modellen arbeiten. In H. Weitzel/S. Schaal (Hrsg.). *Biologie unterrichten: planen, durchführen, reflektieren*. Berlin: Cornelsen Scriptor
- Meisert, A. (2009). Modelle in der Biologie. Wie lässt sich im Unterricht ein Verständnis für ihre Bedeutung fördern? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(7), S. 424–430
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *ZfDN*, 14, S. 243–261
- Meisert, A./Dijk, E. (in revision). Modelle nutzen, entwickeln und verstehen – Strukturmodell einer umfassenden Modellkompetenz im Biologieunterricht. *ZfDN*
- Prenzel, M./Baumert, J./Blum, W./Lehmann, R./Leutner, D./Neubrand, M./Pekrun, R./Rolf, H.-G./Rost, J./Schiefele, U. (Hrsg.) (2004). *PISA 2003. Ergebnisse des internationalen Vergleichs*.
- Singer, S. J. (2004). Some early history of membrane molecular biology. *Annu. Rev. Physiol.*, 66, S. 1–27
- Sins, P. H. M./Savelsbergh, E. R./van Joolingen, W./van Hout-Wolters, B. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing in a modeling task. *International Journal of Science Education*, 31(9), S. 1205–1229
- Smith, C./MacIin, D./Houghton, C./Hennessy, G. (2000). Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18(3), S. 349–422
- Terzer, E. (2012). *Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht: empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice Items*. Berlin, HU: Dissertation
- Upmeyer zu Belzen, A./Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *ZfDN*, 16, S. 41–57
- Upmeyer zu Belzen, A./Krüger, D. (2013). Lernen mit Modellen. Modelle bauen und mit Modellen Neues erfahren. *Grundschule*, 6, S. 6–9
- 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), S. 1255–1272
- Weber, U. (Hrsg.). *Biologie Oberstufe*. Berlin: Cornelsen

#### Autor

Holger Weitzel, geb. 1969; Professor für Biologiedidaktik an der Pädagogischen Hochschule Weingarten.

Anzeige

# Der Verhütungsmittelkoffer



Anschauliches Lehrmaterial zur Sexualaufklärung in Schulen, in der außerschulischen Jugendarbeit und der Erwachsenenbildung. Der Verhütungsmittelkoffer ist aus der Praxis heraus entstanden und weiterentwickelt worden. Er eignet sich zur Erklärung der aktuellen Verhütungsmittel, der Menstruationshygiene und enthält auch einen Schwangerschaftstest. Ein Schaumstoffmodell des Uterus und ein Spekulum ergänzen das Aufklärungsmaterial.

**220,00 Euro**  
(inkl. MWSt.)

#### Inhalt:

- Kondome (Klassensatz)
- Holzpenis
- Caya® Diaphragma, Gel, Applikator
- Vaginalring
- Portiokappen
- Intrauterinpressar („Spirale“)
- Musterpackungen der „Pille“
- Schwangerschaftstest
- Spekulum aus Kunststoff
- Tabellen für die Temperaturmethode
- Material zur Menstruationshygiene
- Broschüren zur Familienplanung
- Broschüren zu Sexualität und Verhütung
- Anwendungshinweise

KESSEL medintim GmbH  
Kelsterbacher Str. 28  
64546 Mörf.-Walldorf  
Tel. (06105) 20 37 20  
[www.medintim.de](http://www.medintim.de)