

Modelle – Schlüsselbegriff für Forschungs- und Lernprozesse in der Physik

Silke Mikelskis-Seifert*

*Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Physik, Kunzenweg 21, 79117 Freiburg
silke.mikelskisseifert@ph-freiburg.de

Kurzfassung

Beim Verstehen von Physik spielt die Fähigkeit, in und mit Modellen zu denken, eine zentrale Rolle. Unbestritten kann festgehalten werden, dass zusammen mit den Experimenten die Modelle die Säulen der physikalischen Erkenntnisgewinnung sowohl im Forschungs- als auch im Lernprozess bilden. In der Geschichte der fachdidaktischen Forschung sind vielfältige Ansätze zu finden, die das Denken in Modellen bzw. das Unterrichten mit Modellen thematisieren. Hingegen hat die empirische Lehr-Lernforschung gerade im Bereich des Modelldenkens bei Schülerinnen und Schülern erhebliche Defizite aufgezeigt. Als notwendige Konsequenz aus Lernschwierigkeiten wird ein Unterricht vorgeschlagen, der explizit den Modellaspekt bei der physikalischen Theoriebildung verdeutlicht. Ein solcher Unterricht, der ein Lernen über Modelle ermöglicht, hat das Ziel, angemessene Denk- und Argumentationsweisen bei den Schülerinnen und Schülern zu entwickeln. Dabei sollen zwei Welten - Erfahrungs- und Modellwelt - bewusst unterschieden und aufeinander bezogen werden. An unterschiedlichen physikalischen Themen ist ein solcher Ansatz konsequent realisiert und empirisch untersucht worden. Das Lernen über Modelle wird an Unterrichtsbeispielen wie z.B. den Teilchenmodellen diskutiert. Auch die Übertragbarkeit des Ansatzes auf Modellierungsphänomene aus der Optik wird vorgestellt.

1. Von der Bedeutung des Arbeitens mit Modellen

Zu den wichtigen Aufgaben der Physik gehört es, Phänomene zu erklären und zu verstehen. Wissenschaftler nutzen dafür Modelle. Besonders beim Erforschen bestimmter Bereiche – im Großen oder im Kleinen, im Komplexen oder im Abstrakten – gewinnt der Umgang mit Modellen an Bedeutung. Es fällt uns relativ leicht, wenn wir Dinge oder Strukturen in der Größenordnung unseres Körpers beobachten und untersuchen. Diesen Bereich, der für uns Menschen anschaulich und direkt zugänglich ist, bezeichnet Gerhard Vollmer (1998) als den Mesokosmos (siehe Abb.1).

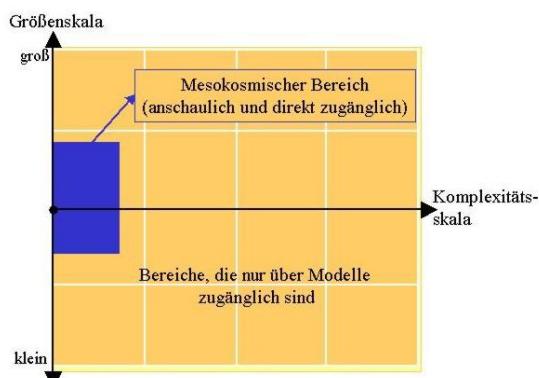


Abb. 1: Der Mesokosmos, der Bereich der direkten Erfahrbarkeit, wird in verschiedenen Dimensionen begrenzt. Exemplarisch sind hier die Dimensionen Größe und Komplexität angegeben.

Außerhalb des Mesokosmos ist der Mensch gezwungen, auf Hilfsmittel zur Veranschaulichung

zurückzugreifen. Hier spielen Modelle eine zentrale Rolle (siehe Mikelskis-Seifert, Thiele & Wünscher 2005). Der englische Astrophysiker John Barrow zeigt sich in seinem Buch „Der kosmische Schnitt: die Naturgesetze des Ästhetischen“ explizit die Bedeutsamkeit der Modelle bei der Erkenntnisgewinnung auf (1997). Denn nach Barrow ist die Entwicklung eines Modells für einzelne Naturvorgänge die wissenschaftliche Basis dafür, das Naturgeschehen zu beschreiben und künftige Ereignisse vorherzusagen oder zu beeinflussen.

Nicht nur das Forschen in der Physik wird von dem Arbeiten mit Modellen geprägt. Ebenso ist eine Vielfalt an Modellen in unserer Alltagswelt vorzufinden: das Modell eines Flugzeuges, die Modelleisenbahn, das Modell einer Blüte, ein Architekturmodell, ein Modell als Vorbild für ein künstlerisches Werk oder ein Modell in der Modewelt usw. In den Medien wird von mathematischen Modellen, wirtschaftstheoretischen Modellen oder auch statistischen Modellen gesprochen.

Selbst den jüngeren Schülerinnen und Schülern ist der Umgang mit Modellen nicht unbekannt. Vielmehr haben Kinder schon mit verschiedenen Modellen in der Freizeit gespielt. Typische Beispiele für Modelle aus der Lebenswelt unserer Schülerinnen und Schüler sind: Modellautos, Puppenhäuser, Spielzeugtiere aus Hartgummi. Spielzeugauto oder Spielzeugtiere veranschaulichen Gegenstände bzw. Lebewesen aus unserer Lebenswelt. Sie sind die Modelle zu einem Objekt. Diese Objekte werden dann als Original vom Modell bezeichnet.

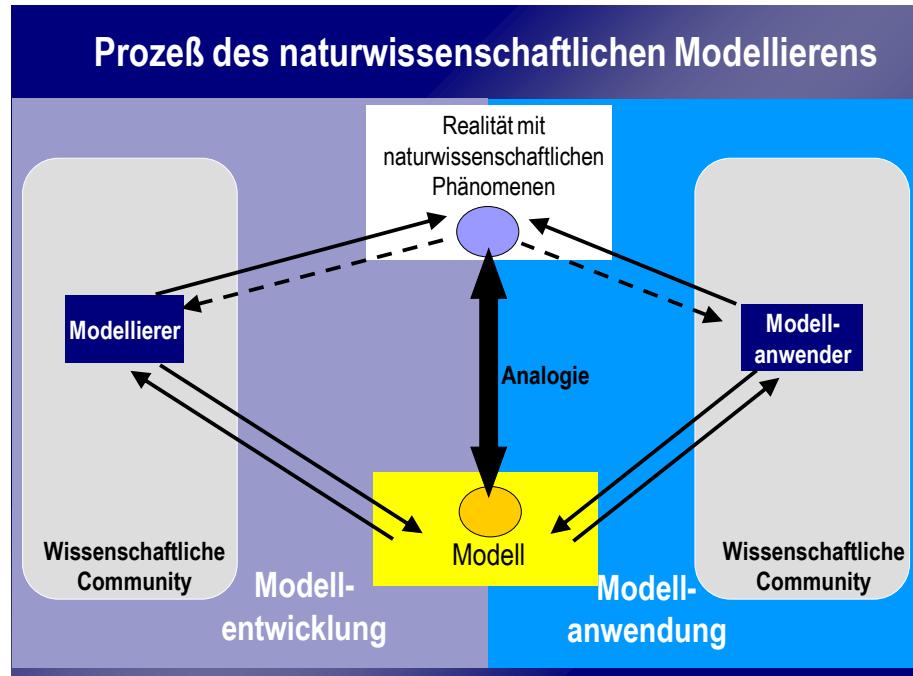


Abb. 2: Modell des naturwissenschaftlichen Modellierungsprozesses

Was unterscheidet jedoch das Spielzeugauto von einem Originalauto? Wenn man beide mit einander vergleicht, dann fallen einem sofort Gemeinsamkeiten ein, wie die Farbe oder die Form. Aber man kann auch Unterschiede benennen. So hat beispielsweise das Spielzeugauto keinen Motor und keinen Tank im Gegensatz zum Originalauto. Ferner ist das Spielzeugauto viel kleiner und leichter als das Original. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass uns Modelle sowohl im alltäglichen Leben als auch im wissenschaftlichen Bereich ständig begegnen. Das hat zur Folge, dass der Modellbegriff eine Bedeutungsvielfalt aufweist. Dementsprechend ist eine Begriffsbestimmung notwendig, um daran schließend einen Ansatz für einen angemessenen Umgang mit Modellen im Unterricht zu beschreiben.

2. Eine Begriffsbestimmung

Schon am Beispiel des Spielzeugautos ist das Wesentliche von Modellen zu erkennen. Modelle stellen stets Vereinfachungen des Originals dar. Demzufolge besitzt ein Modell nur bestimmte und nicht alle Eigenschaften des Originals. Hingegen kann das Modell Eigenschaften haben, die beim Original nicht wieder zu finden sind.

Bei den Spielzeugen als Modell spricht man von den gegenständlichen Modellen. Diese sind aus dem naturwissenschaftlichen Unterricht nicht weg zu denken. Neben den gegenständlichen Modellen ist eine weitere Klasse relevant. Denn immer wenn in der Physik Unbekanntes erforscht wird, bedeutet dies: Man stößt an die Grenzen der direkten Beobachtung. Ein Wissenschaftler entwickelt ein Modell (siehe der linke Bereich der Abb. 2). In diesem Fall konstruiert er sich ein Denkmodell, indem er Vermutungen über das Unbekannte trifft. Ein sol-

ches Denkmodell hilft beim Erklären oder auch beim Gewinnen neuer Erkenntnisse. Nun ist es nicht immer notwendig, ein neues Modell zu konstruieren bzw. ein Modell weiterzuentwickeln. In vielen Fällen arbeiten Wissenschaftler mit Modellen als Anwender (siehe rechter Teil der Abb. 2).

Fasst man die obigen Ausführungen zusammen, dann besitzt ein Subjekt ein Erkenntnisinteresse. Beim Beobachten und Untersuchen des Objektes bzw. des Phänomens erhält das Subjekt Informationen und empirische Daten. Diese Daten können nur interpretiert werden, indem eine Modellkonstruktion bzw. –anwendung stattfindet. Durch die Analogie, die zwischen dem Objekt / dem Phänomen und dem dazu konstruierten Modell besteht, erhält das Subjekt die Möglichkeit, Erkenntnisse über das Objekt / das Phänomen zu gewinnen.

In diesem Sinne ist ein Modell ein Gegenstand oder theoretisches Konstrukt, das von einem Subjekt für einen entsprechenden Zweck geschaffen oder verwendet wird. Es bestehen zwischen bestimmten Eigenschaften des Modells und bestimmten Eigenschaften des präsentierten Objektes Analogien.

Der hier dargestellte Modellbegriff lehnt an den von Kircher (1995) an und orientiert sich an Arbeiten von Stachowiak (1973) und Vollmer (1998) (siehe Mikelskis-Seifert, 2006). Modelle bilden in dem hier in Rede stehenden Ansatz die Grundlage für die theoretischen Beschreibungen.

Ausgewählte Beispiele für Modelle, die in dem Physikunterricht verwendet werden, sind: das Strahlenmodell des Lichts, die Beschreibung von Körpern mithilfe des Massenpunkts, die Teilchenmodelle in der Wärmelehre, das Modell der elektrischen Ladungen, Modell der Felder, die Atommodelle etc.

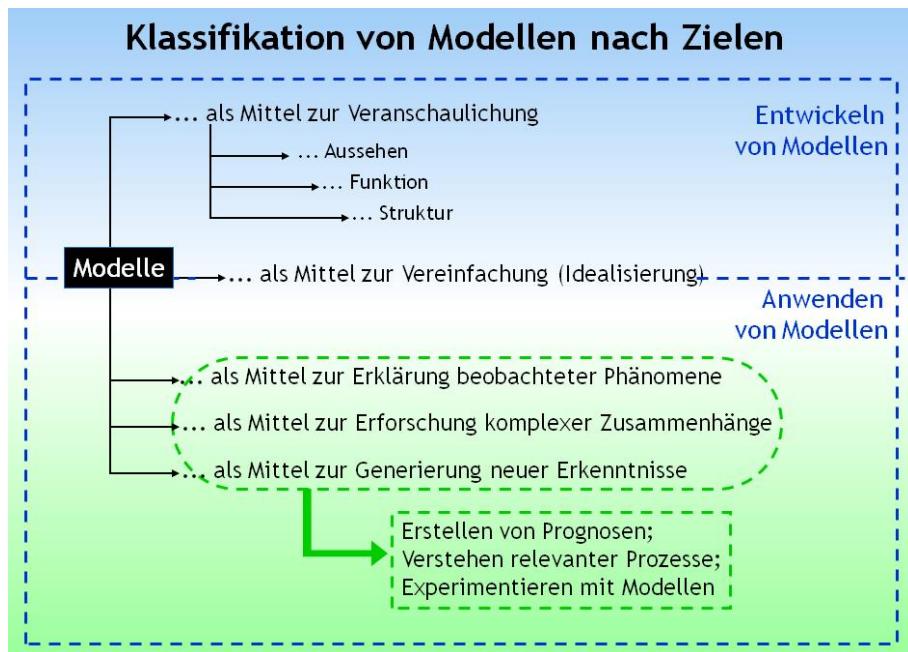


Abb. 3: Klassifikation von Modellen hinsichtlich der Zielsetzung für deren Erstellung

3. Eine Klassifikation von Modellen aus didaktischer Sicht.

Versucht man Modelle zu klassifizieren, dann sind in der Literatur sehr unterschiedliche Kriterien und Schemata zu finden. Beispielweise entwirft Kircher (1995) eine beschreibende Klassifikation für den Physikunterricht. In dieser unterscheidet er zwischen gegenständlichen und theoretischen Modellen im weiteren Sinne. Zu den gegenständlichen Modellen sind einerseits die konkreten Modelle und Gebildemodelle (wie zum Beispiel die Modelleisenbahn) und andererseits die bildhaften ikonischen Modelle (zweidimensionale bildhafte Darstellungen) zu zählen. Die Klasse der theoretischen Modelle, auch oft als Modellvorstellung bezeichnet, untergliedert sich nach Kircher in Theorien, Hypothesen, Erklärungen, Voraussagen, fiktive sowie vorläufige Vorstellungen. Dementsprechend sind unter Modellvorstellungen zum einen die theoretischen Modelle im engeren Sinne (zum Beispiel die Teilchenmodelle) und zum anderen die Schülervorstellungen zu verstehen.

Ein weiteres Kriterium, welches die Klassifikation von Kircher in Richtung der Zweckmäßigkeit von Modellen ergänzt, stellt der Grund bzw. die Zielsetzung für die Erstellung eines Modells dar (siehe Abb. 3, vgl. Mikelskis-Seifert, 2006).

Das zentrale Ziel, mit dem Modelle verwendet werden, ist die Vereinfachung oder Idealisierung. Um Phänomene, wie beispielsweise die Schattenbildung, wenn Licht auf Gegenstände fällt, physikalisch beschreiben zu können, ist man auf ein Modell vom Licht angewiesen. In solchen Fall wird in der Regel der Lichtstrahl als symbolisches Modell verwendet. Als Zweites dienen Modelle als Mittel zur Veranschaulichung bestimmter Merkmale eines Körpers. Dabei ist es oft notwendig, Vereinfachungen vorzu-

nehmen. Das Vereinfachen lässt sich in allen hier beschriebenen Verwendungsbereichen wieder finden. Soll das Aussehen eines Gegenstandes in einem Modell veranschaulicht werden (wie zum Beispiel beim Globus), werden nur ausgewählte Eigenschaften dargestellt (hier die annähernde äußere Gestalt der Erde und die Lage der Kontinente). Bei besonders großen oder sehr kleinen Gegenständen ist dies von Vorteil.

Die Funktion eines Systems kann ebenfalls als zu veranschaulichendes Merkmal herangezogen werden. Denken wir hier an einem Arztbesuch. Sicherlich ist jedem schon einmal das Modell eines Skelettes begegnet. Dieses Modell dient dazu, die Funktionen verschiedener Skeletttreile zu verdeutlichen.

Ein weiterer Bereich, der durch die Veranschaulichungsfunktion von Modellen gekennzeichnet ist, beinhaltet abstrakte Strukturen. Derartige Strukturen entziehen sich unserer Wahrnehmung oder sie sind zu komplex zur direkten Erfassung.

Ferner können Modelle als Mittel zur Erklärung beobachteter Phänomene, zur Erforschung komplexer Zusammenhänge sowie zur Generierung neuer Erkenntnisse eingesetzt werden (siehe der untere Teil der Abb. 3). Während bei der Veranschaulichung von Merkmalen und Strukturen der Fokus auf dem Entwickeln von Modellen liegt, rückt in dem letztgenannten Bereich das Anwenden in den Mittelpunkt. Das Spektrum der betrachteten Phänomene reicht von „bekannt und relativ einfach“ über „komplex“ bis zu „unbekannt“.

Das Verstehen relevanter Prozesse und das Erstellen von Prognosen beeinflussen die Modellierungsprozesse, egal ob Phänomene erklärt, komplexe Zusammenhänge erforscht oder neue Erkenntnisse generiert werden sollen. Das hat zur Folge, dass die

Modelle sowohl für Prognosen als auch für Erklärungen herangezogen werden.

Beim Generieren neuer Erkenntnisse werden Modelle vielfach experimentell verändert und in einem iterativen Prozess weiterentwickelt. Ein solcher Umgang mit Modellen ist in komplexen und experimentell nicht zugänglichen Systemen von großer Bedeutung. Denn die relevanten Prozesse in derartigen Systemen können nur auf der Basis verschiedener Modelle verstanden werden. Ein typisches Beispiel hierfür sind die vielschichtigen Entwicklungsprozesse im Bereich des Klimas.

4. Probleme beim Modellieren im Schulalltag

Untersuchungen zum Umgang mit Modellen im Schulalltag zeigen die Notwendigkeit auf, dass die Fähigkeit des Modellierens über die Schuljahre hinweg kontinuierlich und systematisch aufgebaut werden muss (Mikelskis-Seifert & Leisner 2003, Leisner 2005). Es ist davon auszugehen, dass Lernende umso erfolgreicher modellieren können, wenn das Denken in und das Arbeiten mit Modellen fächerübergreifend im naturwissenschaftlichen Unterricht geübt wird. In den unterschiedlichsten Bereichen kann der Umgang mit Modellen an verschiedenen naturwissenschaftlichen Themen trainiert und reflektiert werden.

Studien, die mit Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher Klassenstufen durchgeführt wurden, verdeutlichen, dass gerade im Bereich des Modelldenkens immer wieder gravierende Verständnisprobleme auftauchen. Lernende beziehen den Modellbegriff zunächst vor allem auf gegenständliche Modelle (Weerda 1982). Selbst nach dem Unterrichten typischer Denkmodelle wie die Teilchen- und Atommodelle in der Chemie oder Physik verändert nur bei wenigen Jugendlichen die gegenständliche Modellvorstellung. Daraus lässt sich schließen, dass der Modellaspekt im naturwissenschaftlichen Unterricht explizit thematisiert werden muss.

Lernende vermischen Modell- und Realitätsebene eines Sachverhalts und unterscheiden in ihrer Argumentation nicht zwischen Modellhaftem und Realem (Mikelskis-Seifert, 2002). Beispielsweise haben (aus Sicht der Schülerinnen und Schüler) die kleinsten Teilchen eines Stoffes dieselbe Farbe. Oder die Schüler schreiben den Teilchen die Temperatur des Körpers zu, den sie bilden. Da Reibung in der Lebenswelt bei allen Bewegungen zu beobachten ist, nehmen Lernende an, dass auch bei der Teilchenbewegung stets Reibung existiert.

Für den schulischen Unterricht stellen solche vordergründig plausiblen Vorstellungen eine große Herausforderung dar, denn sie sollen überwunden und durch fachlich korrekte Vorstellungen ersetzt werden. Ein bewusster Umgang mit Modellen kann dabei eine große Hilfe darstellen. Je mehr es gelingt, durch Absprachen innerhalb der naturwissenschaftlichen Fächer zu abgestimmten Vorgehensweisen zu kommen, umso geringer wird die Verwirrung bei

den Schülerinnen und Schülern und umso eher werden sie in die Lage versetzt, übergreifende Strukturen aufzubauen.

Schlussfolgerung. Ein auf tieferes Verständnis abzielender lernförderlicher Unterricht sollte konkreten Erfahrungen mit dem Modellieren im Unterricht viel Raum geben. Das Reflektieren über das Modellieren im Sinne erkenntnistheoretischer Betrachtungen kann zu einem angemessenen Bild über Physik als Wissenschaft beitragen. Ferner bedarf es einer Vorbereitung und Sensibilisierung der Schülerinnen und Schüler für den vermehrten Einsatz von Modellen beim Betreiben von Physik.

Ein Ansatz sollte hier sein, im Sinne eines kumulativen Lernens ein adäquates Denken in Modellen anzulegen, welches dann in eine nachhaltige Kompetenzentwicklung übergeht. Wie so etwas aussehen kann, wird in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt.

5. Die Konzeption eines Lernens über Modelle

Grundidee. Als Konsequenz aus den Problemen beim Modellieren im Allgemeinen und beim Modellieren in der Mikrowelt im Speziellen ergibt sich die Notwendigkeit eines systematischen Lernens über Modelle. Die Grundidee einer solchen Unterrichtskonzeption sind ausführliche Diskussionen über Erkennbarkeit, Realität und Modellierung.

Neben der Förderung eines angemessenen Modelldenkens soll ein Bewusstsein für das Nebeneinander von einer Erlebniswelt – im Weiteren als Erfahrungswelt bezeichnet – und einer konstruierten Welt – der Modellwelt – aufgebaut werden (siehe Abb. 4).

Eine Konkretisierung für die Teilchenmodelle. Um das Charakteristische eines Lernens über die Modelle aufzuzeigen, bietet es sich an, dies exemplarisch an einem Beispiel zu erörtern. Die Wahl fiel auf die Teilchenmodelle, da hier alle Schwierigkeiten im Umgang mit den Modellen im Schulalltag auftreten. Für den Unterricht über die Teilchenmodelle sind drei Tätigkeiten kennzeichnend:

- 1) Bewusstes Postulieren von kleinsten Teilchen,
- 2) Formulieren von Hypothesen über das Teilchenverhalten sowie
- 3) Prüfen dieser Hypothesen auf logischer, sprachlicher und experimenteller Grundlage.

Mit den Schülerinnen und Schülern soll über den Charakter der Teilchenmodelle sowie über das Modellieren in der Mikrowelt sowohl diskutiert als auch reflektiert werden. Die Suche nach alternativen Modellierungen für ein und dasselbe Phänomen spielt in diesem Ansatz eine wichtige Rolle. Denn damit wird angestrebt, den Lernenden ein Gefühl dafür zu geben, was ein Modell aussagt bzw. nicht aussagt. Ebenfalls sind im Unterrichtsprozess die aufgestellten Modellannahmen über das Teilchenverhalten auf Tragfähigkeit zu prüfen. Gegebenenfalls heißt es, ungeeignete Modellannahmen zu verwerfen bzw.

Erfahrungswelt		Modellwelt	
OBJEKTE	EIGENSCHAFTEN	OBJEKTE	EIGENSCHAFTEN
wahrnehmbare Objekte, genannt Makroobjekte	Makroobjekte haben spezifische Eigenschaften, wie Farbe, Form, Geruch, Temperatur	angenommene Objekte, genannt kleinste Teilchen	Kleinste Teilchen werden spezifische Eigenschaften zugeordnet, aber welche ?
			
Die Makroobjekte können sich verändern, wie zum Beispiel durch Erwärmen	Dabei gehorchen die Makroobjekte bestimmten Regeln	Die kleinsten Teilchen können auch sich verändern, wie ?	Die kleinsten Teilchen gehorchen bestimmten Regeln, welchen ?
EREIGNISSE	GESETZE	EREIGNISSE	GESETZE

Abb. 4: Poster als unterrichtsmethodisches Instrument zur Unterscheidung von Erfahrungs- und Modellwelt

sich der jeweiligen Modellgrenzen bewusst zu werden.

6. Die Umsetzung des Lernens über Modelle

Bei einem systematischen Lernen über Modelle, hier über die Teilchenmodelle, werden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, stringent zwischen realen (in der Erfahrungswelt betrachteten) und modellierten (in der Modellwelt betrachteten) Phänomenen zu unterscheiden. Dabei ist nicht nur die Trennung beider Welten wichtig, sondern diese miteinander auch in Verbindung zu setzen. Als Unterstützung für eine derartige Vorgehensweise und die damit verbundenen Reflexionen wird ein Poster eingeführt, das den Lernenden im gesamten Unterrichtsprozess präsent ist (siehe Abb. 4).

Um die notwendige intensive und nachhaltige Auseinandersetzung mit der Modellproblematik zu realisieren, erfordert es aber einen Unterricht mit viel Raum für eigenständiges naturwissenschaftliches Arbeiten der Schülerinnen und Schüler. Denn ein wesentliches Kennzeichen eines Lernens über die Modelle verkörpert das selbständige Entwickeln von Ideen und Hypothesen. Ausgehend von eigenen Erfahrungen werden die Schülerinnen und Schüler über Arbeitsaufträge geführt, Phänomene zu beobachten, Vorhersagen zu treffen und Vorgänge zu beschreiben. Daran anschließend erfolgt die Erweiterung der experimentellen Primärerfahrungen durch selbständig vorgenommene Modellierungen, indem die untersuchten Phänomene mithilfe von Modellen, in diesem Fall den Teilchenmodellen, gedeutet werden. Im Nachfolgenden wird der Ansatz eines Lernens über die Teilchenmodelle kurz skizziert. Ausführlichere Darstellungen sind beispielsweise in Mikelskis-Seifert (2002), Mikelskis-Seifert & Leisner (2003) oder in Mikelskis-Seifert (2006) zu finden.

Einführung in die Modellproblematik. Die Schülerinnen und Schüler werden für das Thema Modelle sensibilisiert und bereiten sich auf den Unterricht vor, indem sie gegenständliche Modelle ihrer Wahl bauen (siehe Abb. 5). Die vorhandenen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler werden als Ausgangspunkt genutzt, um das Charakteristische von Modellen herauszuarbeiten.

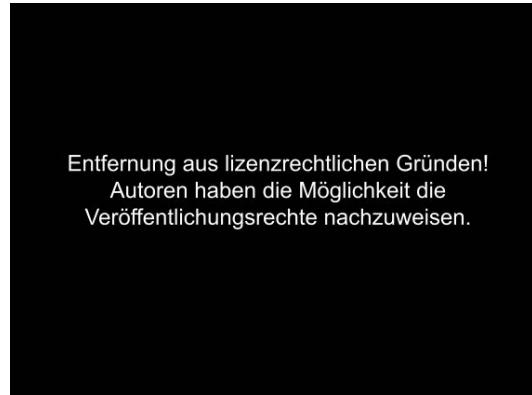


Abb. 5: Ausgewählte von den Schülerinnen und Schülern gebaute Modelle

Anhand der selbstgebauten Modelle werden die folgenden Merkmale diskutiert: *Mit einem Modell kann man sich ein Original veranschaulichen und erklären. Ein Modell ist eine Vereinfachung des Originals. Ein Modell wird konstruiert, um einen bestimmten Zweck zu erfüllen. Ein Modell ist nicht richtig oder falsch, sondern zweckmäßig oder unzweckmäßig.*

Gerade das letzte Merkmal lässt sich emotional und für die Lernenden sehr einprägend vermitteln. Wurde beispielsweise ein Planetenmodell von den Schülern gebaut (siehe rechts unten in Abb. 5), das Lage und Größenproportionen der Planeten zueinander abbildet, bietet sich die folgende Frage an: Ist es möglich, in dem Modell zu erkennen, welcher Planet die größere Masse hat? Auf die anschließende Ver-

neinung wird nachgehakt, ob das Modell dann falsch sei. Hier erkennen die Schülerinnen und Schüler sehr schnell selbst, dass es auf den Zweck ankommt, den ein Modell erfüllen soll – eine wesentliche Eigenschaft von Modellen.

Die Schülerinnen und Schüler können ihr Modellwissen, das sie anhand der gegenständlichen Modelle erarbeitet haben, anwenden, indem sie dann in einer Tabelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen verschiedenen Modellen (Puppenstube, Modelleisenbahn, etc.) und den jeweiligen Originale eintragen.

Übergang in die zu modellierenden Bereiche. Im nächsten Schritt wird den Lernenden aufgezeigt, warum in der Physik Modelle zur Erklärung eingesetzt werden müssen. Sie erfahren durch das Erkunden verschiedener Gegenstände die Grenzen der direkten Wahrnehmung. Mögliche und sich hier anbietende Gegenstände sind: Stein, Holzkugel, Styroporplatte, Reagenzglas mit Wasser, Reagenzglas mit Sand, geschwärztes Reagenzglas mit unbekannter Füllung. Beim Untersuchen der verschiedenen Gegenstände werden die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass der Stein, die Kugel, die Styroporplatte und der Sand im Reagenzglas sich leicht identifizieren und beschreiben lassen, da sie Gegenstände aus der Erfahrungswelt sind.

Schwieriger wird es, wenn man das Reagenzglas, mit Wasser gefüllt, betrachtet. Was lässt sich in diesem Fall beobachten? Was kann man mit Sicherheit aussagen? Es handelt sich um ein Reagenzglas mit einer durchsichtigen Flüssigkeit. Um zu entscheiden, welche Flüssigkeit sich im Glas befindet, bedarf es weiterer experimenteller Untersuchungen. Noch schwieriger wird es, wenn Aussagen über den Inhalt des geschwärzten Reagenzglases getroffen werden sollen. Direkt wahrnehmbar sind nur Geräusche beim Schütteln. Aber was befindet sich im Inneren des Reagenzglases?

Die geschwärzten Reagenzgläser können den Black-Boxen zugeordnet werden. Er hat sich auch gezeigt, dass das Untersuchen von Black-Boxen das Verständnis für die Natur der Teilchenmodelle fördert. Dementsprechend bietet es sich an, weitere Black-Boxen zu erforschen und den Schülern den hypothetischen Charakter von Modellen zu verdeutlichen. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, den Inhalt verschiedener Black-Boxen vorherzusagen. Dazu erhalten sie verschiedene geschwärzte Kästen mit einer unbekannten inneren Struktur. Durch Schütteln der Boxen oder durch ein systematisches Abrastern mithilfe eines Griffels kann eine Vermutung über den inneren Aufbau der jeweiligen Box aufgestellt werden.

Auch in der Physik wird der Weg der Annahmen und Vermutungen verwendet, um Phänomene zu erklären. Im Anschluss an das Untersuchen der Black-Boxen bieten sich die Einführung sowie die Charakterisierung von Erfahrungs- und Modellwelt

an (siehe Abb. 4). Mithilfe eines physikalischen Vorgangs, der sich unserer direkten Wahrnehmung entzieht, wird der Schritt von der Makrowelt in die Mikrowelt vollzogen. Das Experiment zur brownschen Molekularbewegung wird durchgeführt. Indem die Schülerinnen und Schüler die brownsche Bewegung beobachten und zu deuten versuchen, wird ihnen eine Definition der Modellwelt mitgeteilt: *Unterhalb der mikroskopischen Grenze müssen wir uns einer sehr bedeutenden und fruchtbaren, wissenschaftlichen Methode bedienen, um Vorgänge erklären zu können. Hierbei handelt es sich um die Methode des Modellierens verbunden mit der Methode des Visualisierens.*

Zur Deutung der brownschen Bewegung wird ein erstes Teilchenmodell postuliert, denn es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Lernenden selbst die Hypothese der kleinsten Teilchen aufstellen, wenn sie diese nicht bereits im früheren Unterricht kennen gelernt haben:

- Alle Materie besteht aus kleinsten Teilchen.
- Teilchen sind in ständiger Bewegung.
- Es gibt so viele Teilchensorten wie Stoffe.

Experimentieren und Modellieren. Nach der Einführung des Teilchenmodells wird dieses zur Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene verwendet und dabei erweitert. An Stationen untersuchen die Lernenden mithilfe von Arbeitsaufträgen das Verdunsten, die Diffusion, die Kristallisation und die Volumenzunahme bei Erwärmung. Zu jedem Phänomen führen die Schülerinnen und Schüler mehrere Versuche durch, deren Ergebnisse sie anschließend modellieren. Im Folgenden werden einzelne Versuche der Stationen beispielhaft vorgestellt.

Verdunsten: In einfachen Experimenten untersuchen die Schüler wie das Verdunsten von den Parametern – Oberfläche der Flüssigkeit, Temperatur der Flüssigkeit sowie der Umgebung und „Wind“ – abhängt. Zu ihren Erfahrungen, die sie in den Experimenten sammeln, sollen sie selbständig geeignete Vorstellungen für das Verdunsten in der Modellwelt entwickeln und sich auch diese veranschaulichen. Dabei unterstützen folgende Fragestellungen: Wie lässt sich deuten, warum mehr Flüssigkeit bei größerer Oberfläche, bei höherer Zimmertemperatur sowie beim Pusten über die Flüssigkeitsoberfläche verdunstet? Wie lässt sich deuten, warum die Temperatur der Flüssigkeit beim Verdunsten sinkt?

Diffusion: In fünf Versuchen (Mischen von Kirsch- mit Bananensaft; Tinte in kaltem und heißem Wasser; Kaliumpermanganat in Wasser; Gemüse mit Salz bestreuen und Parfüm versprühen) beobachten die Lernenden verschiedene Vorgänge in der Erfahrungswelt, die alle in der Modellwelt mit einer ständigen Teilchenbewegung deutbar sind.

Kristallisation: In dieser Station züchten die Lernenden ihre eigenen Kristalle, beobachten sie unter einem Mikroskop. Neben der experimentellen Un-

tersuchung der Kristallisation deuten die Schülerinnen und Schüler das Wachstum in der Modellwelt aufgrund einer geordneten Teilchenstruktur. Ein Arbeitsauftrag hierbei lautet: Führe folgenden Versuch durch und beobachte! Auf dem Objekträger werden 1 Tropfen Kalziumnitratlösung und 1 Tropfen Schwefelsäure dicht nebeneinander getropft, so dass sie langsam ineinander verlaufen. Zeigt sich eine weiße Trübung, wird das Deckglas aufgelegt. Beobachte die Lösung unter einem Mikroskop!

Volumenzunahme bei Erwärmung: Ausgehend von einer phänomenologischen Beschreibung der Größen Temperatur, Masse und Volumen untersuchen die Schülerinnen und Schüler die Ausdehnung von Flüssigkeiten und festen Körpern beim Erwärmen. Um die Vorgänge in der Modellwelt zu deuten, entwickeln sie Grundideen über die Anordnung der Teilchen, das Wirken von Kräften zwischen den Teilchen und die ständige Bewegung der Teilchen.

Reflektieren. In der letzten Phase des Unterrichts wird zum einen über den Modellbildungsprozess diskutiert und reflektiert und zum anderen das Teilchenmodell zur Erklärung der Aggregatzustände angewendet. Bei der Einführung in die Mikrowelt lernen die Schüler zum ersten Mal Teilchen kennen, die von anderer Natur sind, so dass Modellannahmen notwendig werden, um sie beschreiben und deuten zu können. Daher bietet es sich an, in der Reflexionsphase die folgenden Fragen zu diskutieren: Was verbinden die Schüler mit dem Teilchenbegriff? Was verstehen die Schüler unter Teilchenmodellen? Wie sind Teilchenmodelle beschaffen? Wie kommt man zu den Teilchenmodellen? Es ist sinnvoll, solche Fragen dann kontinuierlich im Unterricht zu thematisieren.

7. Transferprozesse auf Modellierungen in der Optik

Haben die Schülerinnen und Schüler die Trennung der Welten und das Teilchenmodell intensiv gelernt und angewendet, soll das angebahnte Modelldenken zur Untersuchung von Phänomenen aus anderen physikalischen Bereichen übertragen werden. Das heißt, es wird ein Rahmen geschaffen, in dem die Lernenden ihr Wissen über den hypothetischen Charakter des Teilchenmodells sowie über die Modellierung der Mikrowelt übertragen können. Hier bieten sich das Modell der elektrischen Ladung (bzw. Modell der elektrisch geladenen Teilchen), das Modell des elektrischen Feldes und das Modell zur Erklärung der elektrischen Leitfähigkeit in Metallen an, da sie schrittweise aus dem Teilchenmodell weiterentwickelt werden können oder analog dem Teilchenmodell postuliert werden müssen.

Von etwas anderer Natur ist der Modell des Lichtstrahls. Wie ein Lernen über Modelle mithilfe der Modellmethode auch hier realisiert werden kann,

soll am Beispiel Totalreflexion illustriert werden. Der hier beschriebene Argumentationsstrang bietet sich am Ende eines Optikunterrichts nach der Behandlung der Brechung an.

Schritt 1: Beobachten eines Phänomens (vertraut werden); Frage formulieren und erkennen, dass die direkte Untersuchung des Originals zu keiner Erklärung des Phänomens führt



Abb. 6: Eine vom Wasser aus betrachtete Hand mit Luftblase

Warum erscheinen Luftblasen silbern, wenn man vom Wasser aus schaut? Dieser Frage wird nachgegangen, indem weitere Versuche zur Totalreflexion durchgeführt werden. Ziel ist es, vertraut mit dem Phänomen der Totalreflexion zu werden.

Taucht man zum Beispiel ein Becherglas mit einem Stift in ein Aquarium, dann verschwindet der Stift und Oberfläche des Becherglases erscheint silbern. Versucht man, ein solches Phänomen aus sich selbst heraus zu erklären, stößt man auf Grenzen. Das bedeutet, dass nur die Verwendung eines Modells – hier das Strahlenmodell – weiter helfen kann.

Schritt 2: Modellentwicklung bzw. Modellauswahl

In einem Erklärungsversuch ist das Strahlenmodell heranzuziehen. Grundlagen zur Erklärung der Totalreflexion sind:

Modellentwicklung bzw. Modellauswahl - **MODELL Lichtstrahl**

- beim Übergang von einem Medium in ein anderes Medium wird der Lichtstrahl gebrochen und reflektiert
- ab einem bestimmten Einfallswinkel wird beim Übergang vom optisch dichtenen Medium in ein optisch dünneres Medium der Lichtstrahl nur noch reflektiert

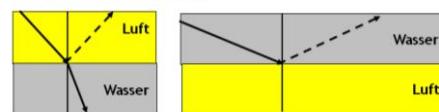


Abb. 7: Die für das Phänomen relevanten Modellannahmen

Schritt 3: Beantworten der Frage/Lösen des Problems (Modellanwendung)

Die Grundlagen zur Brechung des Lichts beim Übergang von einem optischen Medium in ein anderes Medium werden angewendet, um das Problem zu lösen. Dabei ist es wichtig, nicht wie Schüler sofort

vom Auge her zu argumentieren, sondern mit aus dem Wasser kommenden Licht.

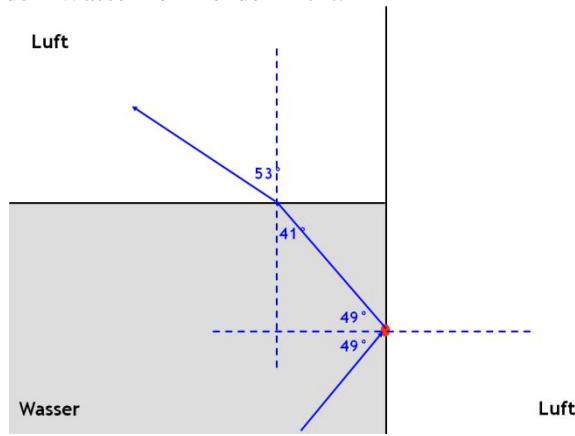


Abb. 8: Die Lösung des Problems mit dem Strahlenmodell unter Anwendung der Gesetzmäßigkeiten bei der Totalreflexion

Schritt 4: Zweckmäßigkeit und Erklärungswert des Modells prüfen – Reflexion der Modellnutzung/Modellmethode

Das Strahlenmodell kann das Phänomen der Totalreflexion gut erklären. Es hilft auch, das Problem zu lösen. Demzufolge ist dafür zweckmäßig. Ein anderes Modell – das Wellenmodell – kann ebenfalls verwendet werden. Für die Entwicklung eines angemessenen und reflektierten Umgangs mit den Modellen des Lichts sollte ferner die Untersuchung weiterer Phänomene in analoger Weise zur Totalreflexion erfolgen. Hier bietet sich an, einen Schwerpunkt auf den flexiblen Einsatz des Wellenmodells zu legen.

8. Zusammenfassende Betrachtung zum Lernen über Modelle

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein angemessenes Denken in Modellen und das damit verbundene Verständnis für Modellierungen im Unterricht eine Voraussetzung zum Verstehen von Physik ist. Dabei zeichnen sich submikroskopische wie auch optische Phänomene im besonderen Maße dadurch aus, dass ein reflektierter Umgang mit den Modellen notwendig ist. Auf der anderen Seite haben die empirische Lernforschung und fachdidaktische Untersuchungen erhebliche Lernschwierigkeiten im Modelldenken der Schülerinnen und Schüler immer wieder aufgezeigt. Sowohl in der Optik als auch bei der Teilchenstruktur der Materie sind es beispielsweise die Hybridmodelle, die die Schülervorstellungen in den verschiedenen Klassenstufen prägen. Das lässt den Schluss zu, dass offensichtlich ein traditioneller Unterricht Fehlvorstellungen über naturwissenschaftliche Modelle nicht verhindern kann. Es scheint sogar so, dass der Unterricht zu

ihrer Entstehung durch den unreflektierten Umgang mit den Modellen beiträgt. Um solchen Schwierigkeiten beim Modellieren physikalischer Phänomene im Schulalltag entgegenzuwirken, ist ein Unterricht, der sich explizit mit der Modellproblematik auseinander setzt, wie hier vorgestellt wurde, notwendig.

9. Literatur

- [1] Barrow, John D. (1997): Der kosmische Schnitt: die Naturgesetze des Ästhetischen / John D. Barrow. Aus dem Engl. übers. von Anita Ehlers. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- [2] Kircher, Ernst (1995): Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen. IPN, Kiel.
- [3] Leisner, Antje (2005): Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. Eine Evaluationsstudie in der Sekundarstufe I. Logos Verlag Berlin, 300 S.
- [4] Mikelskis-Seifert, Silke (2002): Die Entwicklung von Metakonzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mit Hilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen. Logos Verlag Berlin, 419 S.
- [5] Mikelskis-Seifert, Silke, Leisner, Antje (2003): Anbahnung eines Modellbewusstseins während einer fächerübergreifenden Projektwoche. DPG-Tagung Augsburg, CD 2003.
- [6] Mikelskis-Seifert, Silke.; Thiele, Marco, Wünscher, Thilo (2005): Modellieren – Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. PhyDid (Online-Zeitschrift), <http://www.phydid.de>.
- [7] Mikelskis-Seifert, Silke (2006): Lernen über Modelle: Entwicklung und Evaluation einer Konzeption für die Einführung des Teilchenmodells. In Fischler, H., Reiners, C. S. (Hrsg.), Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht. Logos Verlag Berlin, 165-198.
- [8] Stachowiak, Herbert (1973): Allgemeine Modelltheorie. Berlin: Springer.
- [9] Vollmer, Gerhard (1998): Evolutionäre Erkenntnistheorie. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie. 7., unveränderte Auflage, Stuttgart, Leipzig: S. Hirzel Verlag.
- [10] Weerda, Jutta (1982): Untersuchungen zum Modellbegriff in der Chemie: eine empirische Untersuchung bei Schülern. Verlag Peter Lang, Frankfurt am Main.