

## Modellkompetenz im Physikunterricht

### *Antje Leisner*

Bei der Bestimmung von Zielen des naturwissenschaftlichen Unterrichts kann man Hodson folgen. Demnach hat auch der Physikunterricht diese drei Aufgaben zu erfüllen:

*„the learning of science, i.e. to understand the ideas produced by science;  
learning about science, i.e. to understand important issues in the philosophy, history and methodology of science;  
and learning to do science, i.e. becoming able to take part in those activities that lead to the acquisition of scientific knowledge.“* (Hodson, 1992 nach Justi & Gilbert 2002a, S. 369)

Ein Beitrag dazu könnte darin bestehen, den Schülerinnen und Schülern die Entwicklung und die Anwendung naturwissenschaftlicher Modelle nahe zu bringen (vgl. Justi & Gilbert 2002a, S. 370). Denn durch die Entwicklung von Modellkompetenz soll sowohl das Lernen der Physik (erste Aufgabe) als auch Lernen des naturwissenschaftlichen Arbeitens gefördert werden (dritte Aufgabe). Neben diesem lerntheoretischen Aspekt soll die Entwicklung von Modellkompetenz das Lernen über Physik und somit den bildungstheoretischen Aspekt unterstützen (zweite Aufgabe).

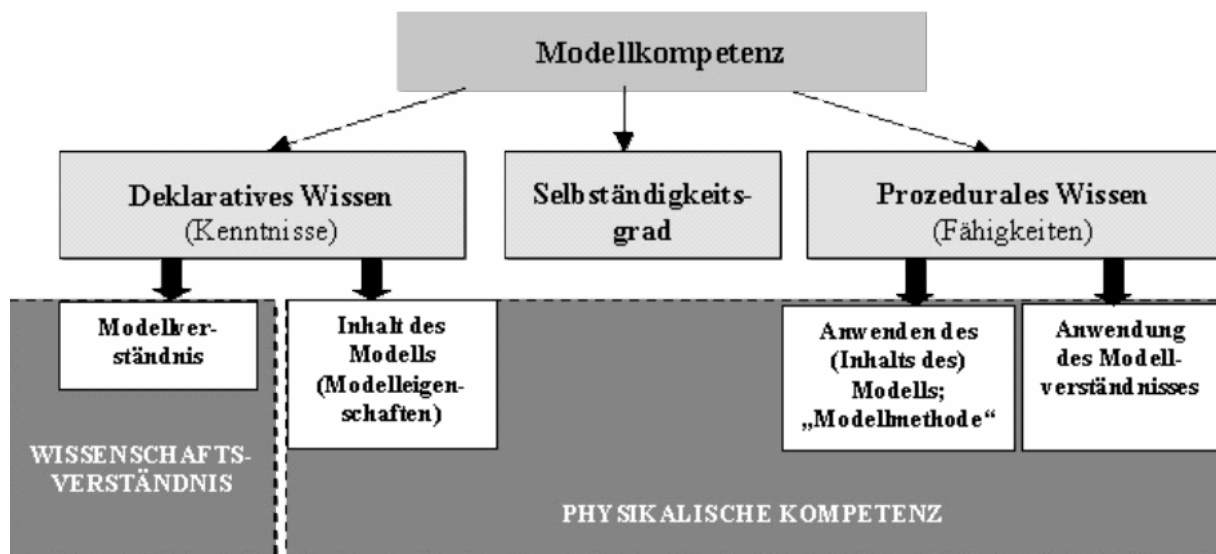


Abbildung 1: Zusammensetzung der Modellkompetenz und deren Einbettung

Was aber wird unter Modellkompetenz verstanden und wie kann sie eingeordnet werden?

Modellkompetenz ist ein System aus Kenntnissen (deklaratives Wissen) und erlernbaren Fähigkeiten (prozedurales Wissen), die zu der Disposition (Verfügbarkeit und Selbstständigkeitsgrad) des Lernalters führen, Anforderungen im Umgang mit naturwissenschaftlichen Modellen auf schulischem Niveau zu bewältigen.

Die Kenntnisse umfassen das Modellverständnis (1 und 2) und Modelleigenschaften (3) (siehe Abbildung 1):

1. die Unterschiede zwischen den Eigenschaften der Erfahrungswelt und der Modellwelt,
2. die Unterschiede zwischen Alltagsmodellen und naturwissenschaftlichen Modellen,
3. konkrete Annahmen, Idealisierungen und Inhalte physikalischer Modelle.

Die Fähigkeiten stellen die Anwendung des Modellverständnisses (1, 2 und 4) und der Modelleigenschaften (3) dar:

1. bewusstes Unterscheiden von Phänomen und Modell,
2. bewusstes Unterscheiden von Alltagsmodellen und naturwissenschaftlichen Modellen,
3. Auswahl, Anwenden und Werten naturwissenschaftlicher Modelle zum Problemlösen,
4. Reflexion über naturwissenschaftliche Modelle und Modellieren.

Die Modelleigenschaften bezeichnen den Inhalt des konkreten Modells. In der nachfolgenden Tabelle sind am Beispiel des Teilchenmodells die Kenntnisse und Fähigkeiten der Modellkompetenz zusammengestellt.

Tabelle 1: Kenntnisse und Fähigkeiten einer Modellkompetenz zum Teilchenmodell

Kenntnisse – Deklaratives Wissen - Teilchenvorstellung -	Fähigkeiten – Prozedurales Wissen - Teilchenvorstellung -
<u>Modellverständnis:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Postulat: „Alle Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen.“</li> <li>▪ Teilchenvorstellung ist ein physikalisches Modell, daher hypothetisch, zweckmäßig, vorläufig, hat Grenzen; dient für Vorhersagen, Veranschaulichung, Erklärung</li> </ul>	Trennen von Modell und Phänomen Reflexion der Modellanwendung
<u>Modelleigenschaften:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kleinste Teilchen haben eine Masse</li> <li>▪ zwischen den kleinsten Teilchen ist Vakuum</li> <li>▪ kleinste Teilchen sind in ständiger Bewegung</li> <li>▪ kleinste Teilchen können geordnet oder frei sein</li> <li>▪ zwischen den kleinsten Teilchen wirken Kräfte</li> <li>▪ kleinste Teilchen haben keine Farbe, Temperatur</li> <li>...</li> </ul>	Erklären von: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aggregatzustände; Diffusion</li> <li>▪ Volumenabnahme beim Mischen von Alkohol und Wasser</li> <li>▪ Ausdehnung von Stoffen beim Erwärmen</li> </ul> Aufgaben mit und ohne direkter Aufforderung zur Modellnutzung lösen!

Das Modellverständnis ist ein Teil des Wissenschaftsverständnisses. Das Wissen um die Modelleigenschaften, deren erfolgreiche Anwendung beim Problemlösen und das Nutzen eines adäquaten Modellverständnisses sind Teil der „physikalischen Kompetenz“. Ein erfolgreiches Entwickeln dieser Teile der Modellkompetenz wird durch Reflexionen auf der Metaebene unterstützt und soll zu einem besseren Physikverstehen beitragen. Da das Modellverständnis Bestandteil eines adäquaten Wissenschaftsverständnisses ist, kommt sein Erwerb der Forderung eines Lernens über die Natur der Naturwissenschaften gleich. Hierin besteht der bildungstheoretische Wert einer Modellkompetenz.

## **Modellverständnis als Teil von Wissenschaftsverständnis – der hypothetisch-realistische Rahmen**

Wissenschaftsverständnis setzt sich aus den drei Bereichen Erkenntnistheorie, Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsethik zusammen (Kircher et al. 2000). Aspekte des Lernens über Modelle sind im wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Bereich zu finden. Zum letzteren zählen Reflexionen über Modelle und deren Eigenschaften in der Physik. Die Frage: „Wann wird in der Physik ein Modell entwickelt?“ (1), führt zum Aspekt der Grenze der menschlichen Wahrnehmung und diese schließlich zur Frage nach der Realität (der unbeobachtbaren Weiterexistenz von Gegenständen). Der wissenschaftstheoretische Bereich wird einbezogen, wenn Fragen diskutiert werden wie: „Welche Eigenschaften zeichnet ein naturwissenschaftliches Modell aus?“ (2) oder „Wie können mithilfe der Modellbildung Erkenntnisse über die Realität gewonnen werden?“ (3). Darüber hinaus ist auch die Reflexion der eigenen Modellanwendung zum Problemlösen zu diesem Bereich zu zählen (4). Das Lernen über Modelle spielt im engeren Sinne nicht in den wissenschafts-ethischen Bereich hinein.

Somit ist die Entwicklung von Modellen und die Bedeutung der Modelle im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess Bestandteil eines Lernens über die Natur der Naturwissenschaften: Die Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens spiegelt sich in der Vorläufigkeit ihrer Modelle wider. Im Zusammenspiel von Beobachtung, experimentellen Belegen und rationalen Argumenten werden Modelle als Teil des naturwissenschaftlichen Wissens entwickelt. Dabei darf die Skepsis bezüglich der Ergebnisse und somit auch der aufgestellten Modelle nicht verloren gehen. Da es keine Standardmethode gibt, Naturwissenschaften zu betreiben, ist auch die sogenannte Modellmethode eine idealisierte Reihenfolge von Schritten zur Entwicklung von Modellen und nicht die einzige des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses.

Wer über ein angemessenes Modellverständnis verfügt, ist sich des tentativen, hypothetischen und subjektiven Charakters naturwissenschaftlicher Modelle bewusst. Ein elaboriertes Modellverständnis kann im Physikunterricht der Sekundarstufe II der Ausgangspunkt für eine umfassende Auseinandersetzung mit erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Fragen dieser Art sein: „Wie entsteht naturwissenschaftliches Interesse? Wie kommen Naturwissenschaftler zu neuen Erkenntnissen? Was sind Experimente? Warum werden Theorien wieder geändert und verworfen? Können die Daten eines Experiments durch verschiedene Theorien erklärt werden?“ (Sodian et al. 2002, S. 192).

Dem Modellverständnis wird somit eine „Tür-Öffner-Funktion“ zum Wissenschaftsverständnis zugesprochen. Denn das „Wissen über Modelle“ (als Teil der Modellkompetenz) geht mit Reflexionen über die Begriffe „Theorie, Hypothese und Voraussage“ einher und es wird die Rolle des Experiments im Zusammenspiel mit Modellen diskutiert. Zusammenfassend heißt das: Ein Modellverständnis ist notwendig, aber nicht hinreichend für ein Wissenschaftsverständnis.

Die Entwicklung bzw. Vermittlung eines angemessenen Modellverständnisses bedarf eines hypothetisch-realistischen Rahmens (Kircher & Dittmer 2004), der mit Bezug zum Physikunterricht durch sechs Thesen umschrieben werden kann. Im hypothetischen Realismus nehmen wir an,

- R1: ... dass es eine reale Welt gibt, unabhängig von Wahrnehmung und Bewusstsein;
- R2: ... dass die reale Welt gewisse Strukturen hat und dass diese Strukturen eher partiell und eher durch aufeinanderfolgende Approximationen als umfassend und auf ein Mal erkennbar sind;
- R3: ... dass jedwede Erkenntnisse über die Strukturen/reale Dinge gemeinsam durch Erfahrung (insbesondere durch Experimente) und durch den Verstand (insbesondere durch Theoretisieren) erreicht werden. Jedoch kann nichts davon endgültige Urteile über irgendetwas ausdrücken;
- R4: ... dass jedes Wissen über die Dinge hypothetisch und vorläufig ist;
- R5: ... dass die naturwissenschaftliche Erkenntnis eines Dings an sich weit davon entfernt ist, unmittelbar und bildhaft (anschaulich) zu sein; vielmehr ist sie umwegig und symbolisch;
- R6: Wir prüfen, wieweit wir mit diesen Annahmen kommen; wie nützlich sie für uns sind.

Im hypothetischen Realismus können dem Modellbegriff folgende Eigenschaften zugeschrieben werden:

- Naturwissenschaftliche Modelle werden vom Menschen geschaffen (nicht gefunden oder „gesammelt“);
- wenn die Grenzen der direkten Wahrnehmung erreicht sind,
- um (in ihrer Gänze) nicht beobachtbare Mechanismen oder Objekte zu erklären, vorherzusagen und zu veranschaulichen.
- Zur Modellentwicklung muss der /die Konstruierende Spekulation, Intuition, Annahmen und Abstraktionen verwenden;
- Modelle sind zweckmäßig (nützlich) und nicht richtig oder falsch. Den Zweck legt der/die Konstruierende bzw. der/die Anwendende fest.
- Modelle sind Bestandteil von Theorien und müssen sich in der sozialen Gemeinschaft der Forscher durchsetzen und bewähren;
- Naturwissenschaftliche Modelle sind hypothetisch und vorläufig.

### **Empirische Forschung zum Wissenschafts- und Modellverständnis**

Zum Wissenschaftsvorverständnis von Lernenden und von Lehrenden liegen im Vergleich zu Alltagsvorstellungen in den physikalischen Domänen wie Optik, Mechanik etc. wenige empirische Untersuchungen im deutschsprachigen Raum vor. Die Ausnahmen bilden die Dissertation von Meyling (1990) zum Schülervorverständnis zu Wissenschaftstheorie bei Schülern der Sekundarstufe II und laufende Untersuchungen zum Wissenschaftsverständnis in der Grundschule (Sodian et al. 2002; Grygier et al. 2004). Für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I finden sich keine allgemeinen Untersuchungen zum Wissenschaftsverständnis. In den Studien von Lichtfeldt (1992) zur Quantenphysik, Mikelskis-Seifert zum Teilchenmodell (2002) und von Fischler & Peuckert (1999) zum Atombegriff werden Schülervorstellungen zur Realität der kleinsten Teilchen erhoben und dabei wissenschaftstheoretische Aspekte berücksichtigt.

Im englischsprachigen Raum kann sich vor allem auf die Untersuchungen von Carey et al. (1989), Grosslight et al. (1991) und Driver et al. (1996) sowie den Überblicksartikel von Lederman (1992) zum Verständnis von „Nature of Science“ bezogen werden. Untersuchungen zum Modellverständnis bei Lehrenden legen van Driel & Verloop (1999); Lederman (1999) und Justi & Gilbert (2002a, 2002b; 2003) vor. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die internationalen Ergebnisse zu Wissen und Vorstellungen bei Modellen und deren Rolle im physikalischen Erkenntnisprozess bei Lehrern nicht ohne Weiteres auf deutsche Lehrkräfte übertragen werden können. Aber die Ergebnisse, die sich auf den Einfluss des Wissens auf den Unterricht beziehen, die Methoden der Erhebung und die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen sind durchaus übertragbar. Als zusammenfassendes Ergebnis der Untersuchungen zum Wissenschaftsverständnis werden drei Hauptkenntnisse festgestellt:

*Erstens* haben Carey et al. (1989) theoriegeleitet drei Stufen von Wissenschaftsverständnis aufgestellt. Als Ausblick ihrer empirischen Untersuchung fordern sie eine Differenzierung der Stufen. Dies erfolgte u.a. durch Carey & Smith (1993). Die Stufen werden von Sodian et al. (2002) und Günther et al. (2003) im Rahmen des BIQUA-Projekts „Wissenschaftsverständnis in der Grundschule“ in der Arbeitsgruppe Kircher in Würzburg unter Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Entwicklungs- und Pädagogische Psychologie in München eingesetzt und neu formuliert.

*Zweitens* charakterisiert die Mehrheit der Forschenden das Wissenschaftsverständnis bei Schülerinnen und Schülern aller Altersstufen ohne bzw. nach traditionellem Physikunterricht als naiv-realistisch. Bei den Lehrerinnen und Lehrern finden Günther et al. (2003) eine interindividuelle und eine intraindividuelle Varianz in den einzelnen Bereichen von Wissenschaftsverständnis. So antworten die meisten einmal naiv-realistisch und auf eine andere Frage epistemologisch reflektierend (Günther et al. 2003, S. 152). Das Mischen von positivistischen und konstruktivistischen Vorstellungen und die Begrenztheit des Wissens finden ebenso van Driel & Verloop (1999) und Justi & Gilbert (2003) bezüglich des Modellverständnisses bei Lehrenden.

*Drittens* kann durch (kurze) Interventionen, die explizit wissenschaftstheoretische Reflexionen beinhalten, eine Verbesserung des Wissenschaftsverständnisses bei Schülerinnen und Schülern wie auch bei Lehrkräften erreicht werden.

Zudem scheint die folgende Überlegung gerechtfertigt zu sein: So wie der naive Realismus weder in den meisten populärwissenschaftlichen Beiträgen überwunden wird, so dominiert er (unbewusst) den traditionellen Physikunterricht der Sekundarstufe I und seine Medien (Lehrbücher, Lernprogramme) (vgl. Mikelskis-Seifert 2002, S. 31). Dieser beinhaltet ein Modellverständnis, das Modelle als skalierte Abbilder der Wirklichkeit auffasst. Denn Verständnis über die moderne Physik und ihre Denkweisen (und damit den tentativen, hypothetischen und subjektiven Charakter naturwissenschaftlicher Modelle) haben nach wie vor nur partiell in den Physikunterricht der Sekundarstufe II Eingang gefunden.

## **Modellverständnis in der Schule**

Die Forderung, das Modelldenken nicht nur im naturwissenschaftlichen Unterricht zu fördern, besteht seit vielen Jahren (siehe Stachowiak 1980). Da aber eine geringe Umsetzung eines Lernens über die Natur der Naturwissenschaften festzustellen ist, betrifft dies auch das „Lernen über Modelle“. Ersteres begründen Kircher & Dittmer (2004, S. 4) mit der Komplexität, der prinzipiellen Vorläufigkeit und der geringen Vertrautheit der Lehrer mit der Thematik. Die ersten beiden Gründe scheinen unveränderbar zu sein, sodass das Augenmerk auf dem dritten Defizit fällt. Hier setzen aktuelle Forschungen zur Lehrerbildung als auch zur Curriculumentwicklung an (van Driel & de Jong 2003; Grygier et al. 2004). Zu dem Defizit der geringen Vertrautheit mit dem Thema kommt beim Lernen über Modelle häufig ein sprachliches Missverständnis hinzu. Die Lehrkräfte glauben, bezüglich der Modelle eine angemessene Sichtweise zu vermitteln, wenn sie beispielsweise die Grenzen der Modelle und ihre Entstehungsgeschichte im Unterricht behandeln. Die Behandlung epistemologischer Aspekte, die aus einem „Unterrichten von Modellen“ ein „Unterricht über Modelle“ entstehen ließen, fehlen häufig gänzlich.

Ein möglicher Weg, die Lehrenden an das Thematisieren der Natur der Naturwissenschaften heranzuführen, kann über einen „Unterricht über Modelle“ gelingen. Denn hier kann ausgehend von einem zunächst überschaubaren Gebiet der „Modellproblematik“ in die komplexe Thematik „Wissenschaftsverständnis“ eingestiegen werden. Dies setzt bei den Lehrkräften eine Beschäftigung mit erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Aspekten des Modells und der Modellmethode voraus (Mikelskis-Seifert 2002).

## **Schlüsselideen eines Physikunterrichts zur Entwicklung von Modellkompetenz**

Neben einer theoretischen Einbettung von Modellkompetenz umfasst das Dissertationsvorhaben die theoriebezogene Entwicklung von Unterrichtshinweisen und eine empirische Explorationsstudie zur Entwicklung von Modellkompetenz bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Auf der theoretischen Basis wird sich vor allem am Ansatz von Mikelskis-Seifert (2002) zum „Lernen über Modelle“ orientiert. Sie stellt die Reflexion und Diskussion der Modellbildung in den Mittelpunkt und erreicht am Beispiel der Teilchenvorstellungen bei Lernenden der Klassen 9/10 stabile Lernerfolge. Diese Konzeption wird auf weitere Inhaltsbereiche und die gesamte Sekundarstufe I übertragen und mit einem ausführlicheren Einstieg in die Modellproblematik verbunden. Dieser ist notwendig, da der Unterricht über Modelle vom Ende der Sekundarstufe I auf den Anfang übertragen wird.

Der Unterricht beginnt in der Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler, indem sie bei „ihren“ Modellen abgeholt werden. Zunächst stehen Alltagsmodelle (gegenständliche Sachmodelle) im Zentrum der Betrachtung. Das heißt, ihre Eigenschaften und ihr Verwendungszweck (beispielsweise von Modelleisenbahn,

Globus oder Planetensystem) werden erarbeitet. Nach der Behandlung der Alltagsmodelle schließt sich eine Motivation zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Modelle an. Der wesentliche Unterschied zwischen physikalischen Modellen und Alltagsmodellen wird herausgearbeitet. Im Gegensatz zu den alltäglichen Modellen ist das Original bei physikalischen (Denk-)Modellen nicht direkt wahrnehmbar. So sind Modelle eine Konstruktion der Menschen und etwas völlig anderes als die Phänomene, die wir in der Wirklichkeit beobachten können. Um diese beiden Bereiche auseinander zu halten, wird im nachfolgenden Physikunterricht stets in Erfahrungswelt und Modellwelt (siehe Abbildung 1) unterschieden.

<h2>Erfahrungswelt - Die Wirklichkeit</h2>	<h2>Modellwelt - Das Ausgedachte</h2>
<p><b>“Zur Erfahrungswelt zählen wir alle Wahrnehmungen (wie Sehen, Hören, Schmecken, Fühlen, Riechen), die wir direkt erleben können.“</b></p> <p>Dazu gehören:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle direkten Wahrnehmungen</li> <li>• Objekte mit Eigenschaften wie Farbe, Form, Temperatur</li> </ul>	<p><b>“Alle Dinge, die wir nicht direkt wahrnehmen können, gehören zur Modellwelt.“</b></p> <hr/> <p>Dazu gehören:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Annahmen</li> <li>• Modelle</li> <li>• Idealisierungen</li> </ul>

Abbildung 1: Poster zu den Eigenschaften der Welten und deren Trennung

Die beiden Welten werden am Beispiel des „Zauberkastens“ (siehe Abbildung 2) mit den Lernenden charakterisiert. Dies erfolgt, indem die Grenzen der direkten Wahrnehmung erfahren werden und darüber hinaus das Bedürfnis nach Erklärung vergegenwärtigt wird. Der Ausgangspunkt für die Betrachtungen ist die Beschreibung von Gegenständen, die sich in diesem Kasten befinden (Stein, Holzkugel, Styroporplatte, Reagenzglas mit Wasser, Reagenzglas mit Sand, geschwärztes Reagenzglas mit unbekannter Füllung). Die Lernenden erhalten dafür folgenden Arbeitsauftrag: Nehmt die Gegenstände, die sich im Zauberkasten befinden, in die Hand und beschreibt diese! Dabei wird erwartet, 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 nur beobachten? Was wissen wir mit Sicherheit? Es handelt sich hierbei um ein Reagenzglas, das mit einer durchsichtigen Flüssigkeit gefüllt wurde. Um zu entscheiden, welche Flüssigkeit sich im Glas befindet, bedarf es weiterer experimenteller Untersuchungen. Ein noch größeres Problem stellt das geschwärzte Reagenzglas dar. Direkt wahrnehmbar sind nur

Geräusche beim Schütteln. Aber was befindet sich im Inneren des Reagenzglas (vgl. Mikelskis-Seifert 2002)?

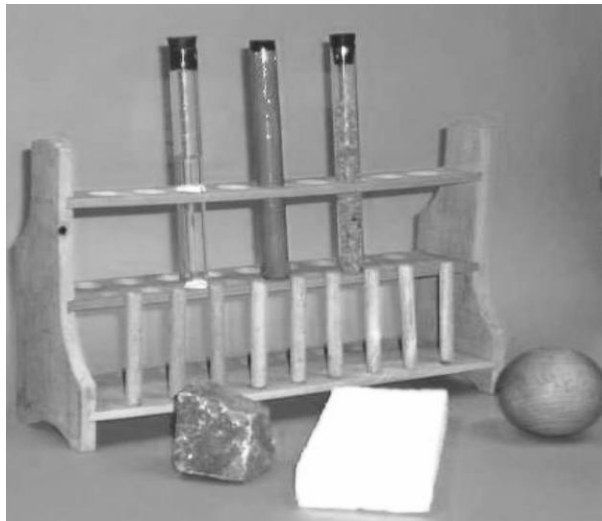


Abbildung 2: Gegenstände des Zauberkastens (Mikelskis-Seifert & Leisner 2003)

Wenn also die Grenzen der direkten Wahrnehmung erreicht sind, wenn wir nicht weiter hineinschauen können, müssen wir Annahmen machen, Modelle konstruieren. Ein mögliches Experiment soll klären helfen, mit welchen Methoden man zu Vorstellungen einer der Anschauung nicht zugänglichen Wirklichkeit kommen kann: Die Schülerinnen und Schüler versuchen dabei, einen Grundriss der Inneneinteilung einer geschwärzten Box zu entwerfen. Die Informationen können nur aus den Geräuschen gewonnen werden, die beim Rollen einer Kugel, die auf eingeklebte Wände stößt, verursacht werden (vgl. Schaer 1991). Das Erarbeiten und der anschließende Vergleich der individuellen Lösungen soll den Lernenden dabei die wesentlichen Aspekte der naturwissenschaftlichen Modellbildung verdeutlichen: Modelle sind von hypothetischer Natur und nicht ein Abbild der Wirklichkeit. Ein Modell ist etwas Konstruiertes, das von dem jeweiligen Konstrukteur stark beeinflusst ist.

Eigenschaften, die wir bei Objekten der Erfahrungswelt wahrnehmen können, sind anderer Natur als Eigenschaften in der Modellwelt. Die Eigenschaften in der Modellwelt sind nicht wahrnehmbar, sondern werden vom Menschen so festgelegt. Das heißt, wir können in Experimenten nur prüfen, ob das Festlegen bestimmter Eigenschaften in der Modellwelt den Beobachtungen in der Erfahrungswelt widerspricht oder nicht. Und im Rückschluss können wir Eigenschaften der Erfahrungswelt nicht ohne weiteres auf die Modellwelt übertragen. Im weiteren Physikunterricht soll stets zwischen den Welten unterschieden werden. Später werden zu den behandelten Phänomenen und Modellen jeweils Informationen in der Erfahrungswelt und in der Modellwelt betrachtet.





Abbildung 3: Grundidee eines Unterrichts über Modelle (Mikelskis-Seifert 2002)

Da ein Vergleich stets voraussetzt, dass man sich die zu vergleichenden Teile aus der Distanz hinsichtlich ihrer Gemeinsamkeiten und Unterschiede betrachtet, wird bereits in der Einführung auf einer Metaebene „gearbeitet“. Denn hier kommt die Grundidee, die den nachfolgenden Physikunterricht beim Lernen über Modelle prägt, erstmalig zum Tragen (siehe Abbildung 3): die Betonung einer ausführlichen, metakonzepptuellen Reflexion über die Betrachtung in der Erfahrungswelt und in der Modellwelt. Das heißt, es soll ein Bewusstsein für die Existenz dieser zwei Welten und deren Unterschiede am Beispiel verschiedener physikalischer Phänomene und Modelle aufgebaut und gefördert werden.

Die Grundidee wird mithilfe folgender Tätigkeiten in einen „Unterricht über Modelle“ überführt:

1. Diskussion und Reflexion über die Natur der Modelle und den Modellierungsprozess;
2. bewusstes Konstruieren von Modellen für die Beschreibung und Deutung physikalischer Phänomene;
3. prüfen der Modellannahmen auf Tragfähigkeit bzw. Aufzeigen der Modellgrenzen;
4. systematisches Trennen von Erfahrungswelt und Modellwelt.

### **Empirische Studie zur Modellkompetenz**

Auf der Basis der Grundidee und der zentralen Tätigkeiten werden für die Klassenstufen 7 bis 10 Unterrichtsempfehlungen entwickelt und über ein ganzes Schuljahr in allen Klassen eines Gymnasiums erprobt. In jeder Klassenstufe werden in Anlehnung an den Brandenburger Rahmenlehrplan andere Modelle behandelt, so dass die Entwicklung von Modellkompetenz bezüglich verschiedener Modelle untersucht wird. Ein Vergleich zwischen dem Stand an Modellkompetenz nach traditionellem Physikunterricht und nach der Interventionsmaßnahme, bildet dafür die Grundlage (siehe Abbildung 4).

Für die Interventionsmaßnahme zum „Lernen über Modelle“ werden die Lehrkräfte durch Vorträge und anschließender Diskussion geschult. Die Curriculumabschnitte als auch eine Zusammenfassung des Konzepts werden in Lehrerhandreichungen zusammengestellt, die Teilziele für einzelne Themen, mögliche Tätigkeiten und Materialien umfassen (Black Box, Modellkoffer; zweifarbige Poster zur Trennung der Welten; Arbeitsblätter, Folien, kleine Themenposter). Darüber hinaus stand die Autorin mindestens einmal wöchentlich den Lehrkräften zu Gesprächen zur Intervention zur Verfügung.

Juli 2002	Modellkompetenz am Ende des Schuljahres 2001/ 2002- ohne Intervention				
↓	Ende Kl. 6 n = 09	Ende Kl. 7 n = 111	Ende Kl. 8 n = 135	Ende Kl. 9 n = 106	Ende Kl. 10 n = 110
	7 Intervention + neuer Rahmenplan  <b>Teilchen- modell</b>	8 Intervention + neuer Rahmenplan <b>Modell der elektrischen Ladung, Modell des elektrischen Feldes</b>	9 Intervention + neuer Rahmenplan  <b>Modell Massenpunkt</b>	10 Intervention  <b>Modell des Lichts</b>	
	Ende Kl. 7 n = 110	Ende Kl. 8 n = 109	Ende Kl. 9 n = 124	Ende Kl. 10 n = 110	
Juli 2003	Modellkompetenz am Ende des Schuljahres 2002/2003 - mit Intervention				

Abbildung 4: Untersuchungsstruktur zur Modellkompetenz am Ende der Schuljahre

In der zweigeteilten Explorationsstudie werden qualitative und quantitative Methoden der Empirie eingesetzt. Es besteht die Absicht, die Umsetzbarkeit im realen Physikunterricht und im Schulalltag als auch die Zweckmäßigkeit zum Erwerb von Modellkompetenz zu untersuchen. Zur Umsetzung im Schulalltag werden die Fachlehrkräfte für Physik während der Schulung, der Fachlehrerkonferenzen und der Erprobung hinsichtlich ihrer Einstellung, Motivation und ihrer Zusammenarbeit im Fachlehrerkollegium beobachtet. Aus Beobachtungen, Gesprächen und Schülerbefragungen zu Aspekten des Unterrichts über Modelle konnten Lehrercharakterisierungen vorgenommen werden. Ziel ist es, zur Vorbereitung nachfolgender Evaluationsstudien adäquate Interventionsstrategien und Erfolgskriterien zum „Lernen über Modelle“ zu erkunden.

Die quantitativen Methoden sollen die Erfolge bei der Entwicklung von Modellkompetenz in den unterschiedlichen Klassenstufen und Modellen erfassen. Mithilfe von Fragebögen und Multiple-Choice-Aufgaben werden die Kenntnisse (Modelleigenschaften und Modellverständnis) erfasst. Die Fähigkeit das Wissen anzuwenden, wird mit offenen Aufgaben erhoben. Alle Instrumente sind der jeweiligen Klassenstufe angepasst und beziehen sich auf konkrete physikalische Modelle.

### **Ergebnisse der Untersuchung mit qualitativen Methoden**

Als Erfolg der Interventionsmaßnahme wird die Sensibilisierung der Hälfte der Lehrkräfte auf die Modellproblematik und das anhaltende Interesse bei 1/3 der Lehrkräfte, das Konzept zum „Lernen über Modelle“ im weiteren Physikunterricht umzusetzen, angesehen. Als größtes Problem stellt sich die Lehrerschulung

zum Konzept heraus, denn das grundlegende Missverständnis (Es besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen einem „Unterricht mit Modellen“ und einem „Unterricht über Modelle“) wird erst im Laufe der Intervention erkannt. Der Grund für die späte Diagnose des Missverständnisses ist der unzureichende Gedanken- und Wissensaustausch zum Unterrichtskonzept „Lernen über Modelle“ vor der Interventionsmaßnahme. In nachfolgenden Evaluationsstudien zum Konzept muss die „Sprachlosigkeit“ der Lehrkräfte aufgebrochen werden, um eine angemessene Lehrerschulung zu erreichen.

Neben diesem Missverständnis führt die gewählte Form des Interventionsangebotes bei den Lehrkräften nicht zu der erwünschten Motivation, sich mit den Themen der Modellbildung und des Modelllernens auseinander zu setzen. Die Bereitstellung von benötigtem Unterrichtsmaterial durch die Universität, um den Lehrern Arbeit zu ersparen, behindert die Auseinandersetzung mit dem Thema. Ohne eine konkrete Auseinandersetzung mit den Materialien entwickelt sich aber das Modellverständnis der Lehrkräfte nicht weiter.

Die Ergebnisse der Schülerwahrnehmung zu den Häufigkeiten an Aspekten eines „Unterrichts über Modelle“ und der Einschätzung der Lehrkräfte decken sich größtenteils. Außerdem konnte beispielhaft erkannt werden, dass eine Intervention zum „Lernen über Modelle“ sich auf den Unterricht insgesamt auswirkt, wenn bei der Lehrkraft die Motivation zur Veränderung gegeben ist. So nimmt nicht nur die Häufigkeit an Aspekten eines Physikunterrichts über Modelle zu. Im Gegenzug werden Aspekte eines typischen Physikunterrichts weniger.

### **Ergebnisse der Untersuchung mit quantitativen Methoden**

Die Einzelauswertung der mit den genannten Instrumenten erhobenen Daten dient der ersten Orientierung über die Lernerfolge der Interventionsmaßnahme. Bedeutsam war dabei, eine statistische Methode zu finden, die die Ergebnisse der einzelnen Instrumente in der Zusammenschau berücksichtigt. Denn nur bei Lernenden, die in Fragebogen, Multiple-Choice-Aufgaben und offenen Aufgaben gut bis sehr gut abschneiden, kann von einer Modellkompetenz gesprochen werden. Darüber hinaus stellt sich die Frage nach weiteren Leistungsprofilen der Modellkompetenz. Dies kann mittels Latent-Class-Analyse (LCA) erreicht werden. Das Ergebnis der LCA für die 8. Klasse belegt zwei Dinge (siehe Abbildung 5). Erstens gibt es keine Gruppe von Schülerinnen und Schülern, denen eine Modellkompetenz zugesprochen werden kann. Es gibt kein Antwortprofil, in welchem Lernende in allen Bereichen ein angemessenes Wissen und Können nachweisen. Zweitens können die gefundenen Antwortprofile nach der Leistung unterschieden werden. Die Kennwerte des Antwortprofils 3 sind bis auf den Anwendungsbereich stets höher als die der beiden anderen Profile.

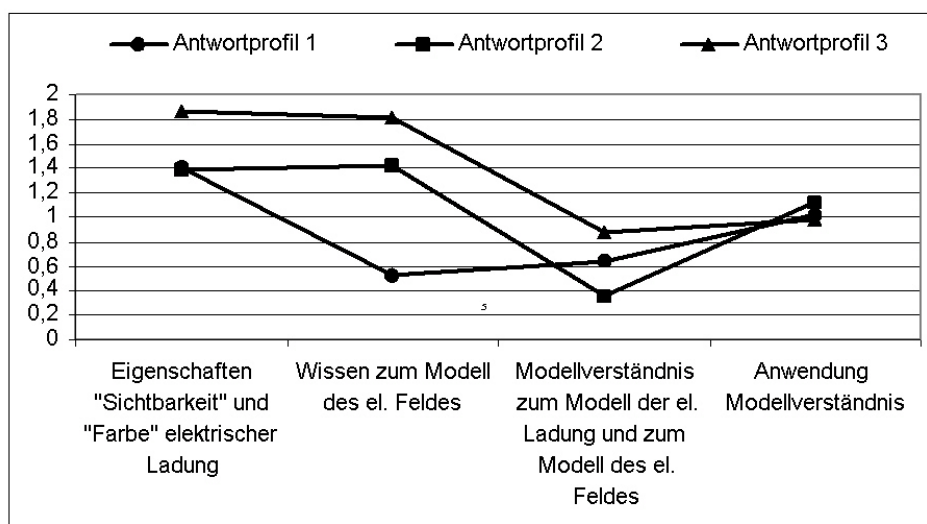


Abbildung 5: Typische Antwortprofile für die 8. Jahrgangsstufe

*Antwortprofil 1* (Linie mit Kreisen): SchülerInnen dieses Antwortprofils haben ein „fast angemessenes“ Wissen zu den Eigenschaften „Sichtbarkeit“ und „Farbe“ der elektrischen Ladung. Ihr Wissen zum Modell des elektrischen Feldes ist unangemessen, ihr Modellverständnis ist mit „sehr unsicher“ zu bezeichnen. Die Anwendung des Modellverständnisses zum Lösen der offenen Aufgaben liegt ebenfalls im „unsicheren“ Bereich.

*Antwortprofil 2* (Linie mit Quadraten): SchülerInnen dieses Profils verfügen sowohl über ein „angemessenes“ Wissen zu den Modelleigenschaften der elektrischen Ladung als auch zum elektrischen Feld. Ihr Modellverständnis hingegen ist „unangemessen“. Sie verstehen elektrische Ladungen und Felder auf der gleichen Realitätsebene wie Bäume. Sie können als naive Realisten gekennzeichnet werden. In den Anwendungsaufgaben zum Modellverständnis zeigen sie Unsicherheit.

*Antwortprofil 3* (Linie mit Dreiecken): Lernende mit diesem Antwortprofil verfügen vergleichsweise über das beste deklarative Wissen. Vor allem bei den Eigenschaftsmerkmalen der Modelle in der Elektrostatik weisen sie hohe Kennwerte auf. Sie sind im Anwendungsbereich zum Modellverständnis ebenso „unsicher“ wie die übrigen SchülerInnen. Dennoch liegt ihr Modellverständnis auf einem höheren Level als das der SchülerInnen der Profile 1 und 2.

Als Gemeinsamkeit der drei Profile fällt die Unsicherheit in der Anwendung des Modellverständnisses auf. Dies kann damit erklärt werden, dass das Modellverständnis in keinem der Profile über ein unsicheres Niveau hinauswächst. So liegt die Vermutung nahe, dass erst bei einem angemessenen Modellverständnis dieses auch entsprechend angewendet werden kann. Zudem stehen die Unterschiede im Wissen zu den Eigenschaften der untersuchten Modelle hervor. Insgesamt haben SchülerInnen des leistungsstärksten Profils die Grundlagen einer Modellkompetenz in der Elektrostatik entwickelt. Die Lernenden der beiden anderen Gruppen unterscheiden sich vor allem in ihrem Wissen zum elektrischen Feld.

Das erste Profil kann als typisch für einen traditionellen Unterricht betrachtet werden. Die Kennwerte zu den Eigenschaften sind im „angemessenen“ Bereich, das Modellverständnis hingegen „unangemessen“. Das zweite Profil erklärt sich, wenn das Fördern des Modellverständnisses zu Lasten des deklarativen Wissens zum elektrischen Feld geht. Es besteht daher die Vermutung, dass die Mehrheit der Lernenden nach einem traditionellen Unterricht dem ersten Profil zuzuordnen sind. Nach der Interventionsmaßnahme sollten vergleichsweise mehr SchülerInnen dem leistungsstärksten Profil zugerechnet werden.

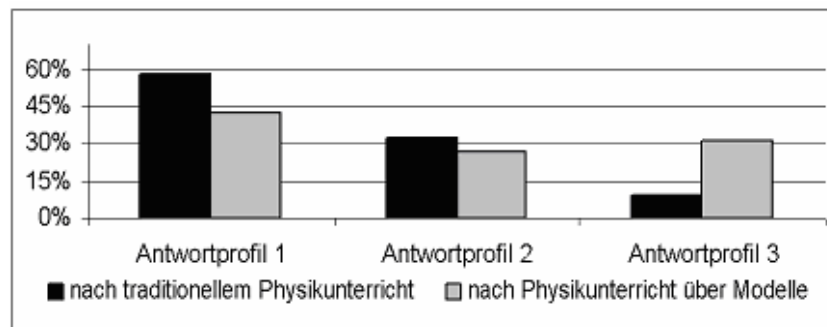


Abbildung 6: Verteilung der Probanden auf die typischen Antwortprofile

Die Schülerverteilung auf die Profile unterscheidet sich nach einem traditionellen Unterricht laut u-Test hoch signifikant von der Verteilung nach einem „Unterricht über Modelle“ (siehe Abbildung 6). Nach einem traditionellen Unterricht gehört die Mehrheit der Lernenden den leistungsschwächeren Profilen 1 und 2 an. Im Ergebnis eines „Unterrichts über Modelle“ sind im leistungsstärksten Profil deutlich mehr Lernende zu finden. Also werden nach der Intervention durchschnittlich gesehen höhere Kennwerte im deklarativen Wissen erzielt. Jeder dritte Lernende hat durch die Interventionsstudie die Grundlagen einer Modellkompetenz zur Elektrostatik entwickelt.

### Hypothesen zur Entwicklung von Modellkompetenz

Die Ergebnisse der qualitativen und der beispielhaft vorgestellten quantitativen Exploration werden in Beziehung gesetzt und daraufhin Bedingungen zur Entwicklung von Modellkompetenz auf theoriebasierter Grundlage generiert. Die Hypothesen müssen in weiteren Studien explizit untersucht werden.

- Domänenübergreifende Modellkompetenz entwickelt sich auf der Basis domänenspezifischer Modellkompetenz (zu mehreren Modellen).
- Ausschlaggebend ist die Kompetenz der Lehrkraft (Fachwissen, Wissenschaftsverständnis, didaktisches Wissen, Problembewusstsein zum Anwenden von Modellen und Modellbildung, Interesse, Motivation).
- Schlüsselstellen des „Unterrichts über Modelle“ sind: Vermittlung des hypothetischen Charakters der naturwissenschaftlichen Modelle und eine explizit stattfindende Reflexion und Diskussion der Modellbildung und Modellnutzung.
- Modellverständnis zum Teilchenmodell und den Modellen in der Elektrostatik können Lernende bereits im Anfangsunterricht bzw. in der 8. Klassenstufe entwickeln (bei Umsetzung der Schlüsselstellen).

Weitere Erkenntnisse konnten durch den Vergleich der Entwicklung einzelner domänenspezifischer Modellkompetenzen gewonnen werden. So bestehen deutliche empirische Hinweise darauf, dass bei allen untersuchten Modellen die größte Lernschwierigkeit in der Anwendung der Modelle besteht. Beim Teilchenmodell und den Modellen in der Elektrostatik fehlt es im Bereich der Kenntnisse vor allem an einem angemessenen Modellverständnis. Beim Modell Massenpunkt fehlt das deklarative Wissen zu den Eigenschaften und der Funktion.

### **Literatur:**

- Bortz, J. & N. Döring (1995<sup>2</sup>): *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Carey S., R. Evans, M. Honda, E. Jay & Ch. Unger (1989): "An Experiment is when you try it and see if it works": a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, Vol. 11, special issue, pp 514–529.
- Carey, S. & C. Smith (1993): On understanding the nature of science knowledge. *Educational Psychologist*, 28, pp 235-251.
- Driver R., Leach J., Millar R. & P. Scott (1996): *Young Peoples's Images of Science*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Fischler H. & J. Peuckert (1999): Stabilität und Ausprägung der im Physik- und Chemieunterricht der Sekundarstufe I erworbenen Wissensstrukturen im Bereich des Atombegriffs. URL: <http://www.physik.fu-berlin.de/~fischler/Bericht%20DFG.pdf>. [Stand 2004-07-06]
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & C. Smith (1991): Understanding Models and the Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. In: *Journal of Research in Science Teaching*. 28, 9, 799–822.
- Grygier, P., Günther, J. & E. Kircher (Hrsg.) (2004): *Über Naturwissenschaften lernen. Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule*. Baldmannsweiler: Schneider Verlag.
- Günther, J., Grygier, P., Kircher, E., Thoermer C. & B. Sodian (2003): Epistemologische Überzeugungen von SchülerInnen und LehrerInnen. In: A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie. Jahrestagung der GDGP in Flensburg 2002*. Münster, Hamburg, London: LIT.
- Justi, R.S. & J.K. Gilbert (2002a): Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, vol. 24, No. 4, pp 369-387.
- Justi, R.S. & J.K. Gilbert (2002b): Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of science education*, vol. 24, No. 12, pp 1273-1292.
- Justi, R.S. & J.K. Gilbert (2003): Teachers' view on the nature of models. *International Journal of science education*, vol. 25, No. 11, pp 1369-1386.
- Kircher, E. (1995): *Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen*. Kiel: IPN.
- Kircher, E., Girwitz, R. & P. Häußler (2000): *Physikdidaktik. Eine Einführung in Theorie und Praxis*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- Kircher, E. & A. Dittmer (2004): Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften – ein Überblick. In C. Höhle, D. Höttecke, & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften*, S. 2–22. Baltmannsweiler: Schneider Verlag.

- Lederman, N. G. (1999): Teacher's Understanding of the Nature of Science and Classroom Practice: Factors That Facilitate or Impede the Relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 36, No. 8, pp 916–929.
- Lichtfeldt, M. (1992): Schülervorstellungen in der Quantenphysik und ihre möglichen Veränderungen durch Unterricht. Essen: Westarp Wissenschaften.
- Meyling, H. (1990): Wissenschaftstheorie im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Das wissenschaftstheoretische Vorverständnis und der Versuch seiner Veränderung durch expliziten wissenschaftstheoretischen Unterricht. Dissertation an der Universität Bremen.
- Mikelskis-Seifert, S. (2002): Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Ein Unterricht über Modelle. Berlin: Logos Verlag.
- Mikelskis-Seifert, S. und A. Leisner (2003): Das Denken in Modellen fördern. Ein Unterrichtsbeispiel zur Entwicklung von Teilchenvorstellungen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 74, 14. Jahrgang, S. 32–34.
- Schaer, M. (1991): Einführung in den Modellbegriff im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. K.H. Wiebel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Beitragsband zur Tagung in Weingarten 1990, S. 183–185. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag.
- Sodian, B., Thoerner, C., Kircher, E., Grygier, P. & J. Günther (2002): Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft: Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer und naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen, S. 192–206. Weinheim und Basel: Beltz.
- Stachowiak, H. (Hrsg.) (1980): Modelle und Modelldenken im Unterricht. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Van Driel, J. H. & N. Verloop (1999): Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, vol. 21, No. 11, pp 1141-1153.
- Van Driel, J. H. & O. de Jong (2003): Investigating the development of teachers knowledge of models and modelling in science. Paper presented at the 4<sup>th</sup> ESERA Conference, Noordwijkerhout 2003.
- Vosniadou, S. & C. Ioannides (1998): From a conceptional development to science education. A psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20, 10, pp 1213–1230.