

ANTJE LEISNER-BODENTHIN

## Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht

## Zusammenfassung

Die Forderung nach einer Entwicklung von Modellkompetenz bei Schüler/innen der Sekundarstufe I wird mit zwei Aspekten begründet. Zum einen erhofft man sich ein besseres Physiklernen und -verständnis, wenn Lernende über Modellkompetenz verfügen. Zum anderen wird der Modellkompetenz ein Bildungswert zugesprochen. Denn ein Teil der Modellkompetenz, das Modellverständnis, ist dem Wissenschaftsverständnis zuzurechnen. Wissenschaftsverständnis beziehungsweise das Lernen über die Natur der Naturwissenschaften wird nicht nur unter den Fachdidaktikern als unumstrittener Teil der physikalischen Grundbildung angesehen, sondern auch in Rahmenplänen und Standards eingefordert.

In einer breit angelegten Studie wurde in allen Klassen der Sekundarstufe I eines Gymnasiums untersucht, inwiefern mit dem von Mikelskis-Seifert (2002) adaptierten Unterrichtskonzept „Lernen über Teilchenmodelle“ die Bestandteile der Modellkompetenz: Modelleigenschaften, Modellverständnis und Anwenden von Modellen und Modellverständnis, bei Lernenden in den Klassenstufen 7 bis 9 anhand anderer physikalischer Modelle entwickelt beziehungsweise erworben werden. Die theoretische Einordnung der Modellkompetenz, die Idee und die Struktur eines „Unterrichts über Modelle“ sowie die empirische Studie werden im Artikel vorgestellt.

## Abstract

Two aspects motivate the development of model competence with students' in secondary school. Better learning and understanding of science and in particular physics is expected if learners possess model competence. Furthermore the understanding of the nature of science as one facet of model competence is seen as a part of learning about the nature of science. Not only in science education students' learning about nature of science is conceived as an indisputable part of scientific literacy. Curricula and standards on physics education state the same notion.

An extensive investigation on the development of model competence has been conducted in all classes of grade 7 to 9 in secondary school of a german "Gymnasium". The approach of Mikelskis-Seifert (2002) on "Learning about models" – tested and evaluated on the subject of particle models with students of age 15 and 16 – was adopted and continued to explore whether this conception would foster development of model competence in the case of teaching other physical models as well. As part of model competence knowledge on content of scientific models, model understanding and the use of model content and model understanding were analysed. Theoretical classification of model competence, idea and structure of the approach "Learning about models" and the empirical study are described in the article.

## 1 Warum sollen Schülerinnen und Schüler Modellkompetenz erwerben? – Theoretischer Hintergrund

### 1.1 Einführung

„Philosophie und Naturwissenschaften sind auf einander angewiesen“, wird Einstein (1955) zitiert. Sicherlich ist Philosophie mehr als Wissenschafts- und Erkenntnistheorie, ebenso wie es mehr Naturwissenschaften als die Physik gibt. Dennoch erscheint es angebracht, die

Verknüpfung dieser beiden Disziplinen hervorzuheben und mit Blick auf Physiklernen genauer zu betrachten. Da die Verbindung zwischen Physik und Wissenschafts- und Erkenntnistheorie offensichtlich und bedeutsam ist, liegt es nahe, dass auch beim Lernen und Verstehen der Physik Wissenschafts- und Erkenntnistheorie eine Rolle spielen.

Wenn Wagenschein die pädagogische Dimension der Physik in der Auseinandersetzung des werdenden Menschen mit Naturphänomenen

hin zu Gesetzen beschreibt, schließt dies einen bewussten Umgang mit Modellen ein. So fordert er „die scharfe Unterscheidung zwischen Phänomen und Modell (d.h. zwischen dem, was man sieht, und dem, was man sich dazu denkt). Modellvorstellungen werden eingeführt, wenn sie sich den Kindern aufdrängen.“ (Wagenschein, 1995, 46). Ein Bewusstsein bei den Schüler/innen dafür zu schaffen, dass „die Physik eine Hinsicht ist, die etwas in die Natur hinein- und zugleich aus ihr herausieht, die also konstruiert, [...] muß der Lehrer [...] von vornherein und schon in den ersten Anfängen des Physikunterrichts [...] im Sinne haben und den Kindern einsichtig werden lassen“ (Wagenschein, 1995, 144). Diese Einsicht in das Konstruieren der Physik ergibt sich durch einen genetischen Unterricht und kann durch das Einbinden erkenntnistheoretischer Aspekte erfolgen.

Trotz hundertjähriger Diskussion und Fürsprache durch Physiker, Philosophen und Naturwissenschaftsdidaktiker besteht nach wie vor ein Mangel an Wissenschafts- und Erkenntnistheorie im Physikunterricht (Kircher & Dittmer, 2004; Meyling, 1990). So scheint es kaum zu verwundern, dass die Mehrheit der Schüler/innen der Sekundarstufe I zum naiven Realismus tendiert (Driver et al. 1996; Sodian et al., 2002; Carey et al. 1989; Grosslight et al. 1991). Es lässt sich vor diesem Hintergrund auch die Frage stellen, ob die Lernschwierigkeiten im Fach Physik nicht zuletzt auch auf mangelnde epistemologische Aspekte der Physik im Unterricht zurückzuführen sind.

Dass die Umsetzung eines Lernens über die Natur der Naturwissenschaften im Physikunterricht verhältnismäßig wenig erfolgt, begründen Kircher & Dittmer (2004, 4) mit der Komplexität und prinzipiellen Vorläufigkeit der Thematik und der geringen Vertrautheit der Lehrer mit ihr. Diese besteht auch durch ein Defizit an Wissenschafts- und Erkenntnistheorie in der Ausbildung der Physiklehrer. Die ersten beiden Gründe scheinen unveränderbar zu sein, sodass zunächst das Augenmerk auf das dritte Defizit fällt. Hier setzen aktuelle Forschungen

zur Lehrerbildung wie auch zur Curriculumentwicklung an (Günther et al., 2004; van Driel & de Jong, 2003; Grygier et al., 2004).

Einen möglichen Zugang zu der komplexen Thematik kann das „Lernen über Modelle“ bieten. Folgende Fragen, die der Wissenschafts- und Erkenntnistheorie zuzuschreiben sind, können im Physikunterricht an konkreten Beispielen diskutiert werden: Was ist ein Modell? Was ist kein Modell? Was ist real? Welche Rolle spielt dabei die Wahrnehmung? Wie sicher sind Schlussfolgerungen und Vorhersagen durch Modelle? Welche Eigenschaften zeichnet ein physikalisches Modell aus? Wie können mithilfe der Modellbildung Erkenntnisse über die Realität gewonnen werden? Das heißt, durch explizites Einbinden epistemologischer Aspekte in den Physikunterricht anhand eines „Lernens über Modelle“ sollen die Schüler/innen gezielt gefördert werden, Modellkompetenz zu entwickeln.

Für diesen Lernprozess erscheint es bei aller Vorläufigkeit der Erkenntnistheorien, dennoch notwendig, zunächst eine konkrete Erkenntnistheorie als Basis für den Unterricht zu Grunde zu legen. Bei einer realistischen Ansicht geht man im Gegensatz zur antirealistischen Sichtweise davon aus, dass Gegenstände unabhängig von der Beobachtung existieren. Wird von einer direkten (unmittelbaren) Wahrnehmung der Gegenstände ausgegangen, spricht man von direktem Realismus (bzw. naivem Realismus). Geht man davon aus, dass die real existierenden Gegenstände in ihrer Gänze nicht direkt (ohne Informationsverlust) wahrgenommen werden können, sondern vielmehr durch einen „geistigen Gegenstand, welcher von verschiedenen Autoren als Sinnesdatum, Sensum, Eindruck, Idee oder Perzept bezeichnet wird“, vermittelt werden, vertritt man eine indirekte realistische Sichtweise (vgl. Rehfus, 2003, 333). Des Weiteren kann die indirekte Position in kritischen Realismus, streng kritischen Realismus und hypothetischen Realismus unterschieden werden (siehe Abbildung 1). Inwiefern sich diese Strömungen unterscheiden, kann hier aus Platzgründen nicht weiter dargestellt werden.

Realismus		Antirealismus
Gegenstand existiert unabhängig von einer Beobachtung.		Gegenstand existiert nur dadurch, dass er wahrgenommen wird.  Beispiele: Konsequenter Idealismus Radikaler Konstruktivismus
direkt (naiv)	indirekt kritisch  streng kritisch hypothetisch	

Abb. 1: Unterteilung erkenntnistheoretischer Sichtweisen; Theorien der Wahrnehmung

Für das „Lernen über Modelle“ wird sich in der Wahl der Erkenntnistheorie Kircher (1995) und Mikelskis-Seifert (2002) angeschlossen, die den indirekten Realismus als Rahmen für den Physikunterricht wählen. Während sich Kircher für den kritischen Realismus ausspricht, liegt in dem hier vorgeschlagenen Unterrichtskonzept der hypothetische Realismus als Basis vor. Es wird sich somit dem Vorschlag von Mikelskis-Seifert, den hypothetisch-deduktiven Realismus zu Grunde zu legen, angeschlossen. Diese Auswahl wird im Abschnitt 2.1. begründet.

1.2 Was ist Modellkompetenz?

Die Modellkompetenz kann unter Berücksichtigung der Kompetenzdefinitionen aus der Pädagogik (Weinert, 1999) und Psychologie (Gelman & Greeno, 1989) aus den folgenden drei Komponenten bestehend aufgefasst

werden: Deklaratives Wissen, Prozedurales Wissen und dem Selbständigkeitsgrad (siehe Abbildung 2).

Deklaratives Wissen umfasst ein Modellverständnis und das Wissen zum Inhalt, zu bestimmten Annahmen und Idealisierungen. Die Fähigkeit, Modellverständnis und Modelleigenschaften (zum Problemlösen) anzuwenden, wird dem prozeduralem Wissen zugeordnet. Der Selbständigkeitsgrad äußert sich in der Umsetzbarkeit des deklarativen und prozeduralen Wissens in unterschiedlichen und unbekanntem Situationen.

Was aber wird unter Modellverständnis verstanden? Ein angemessenes Modellverständnis wird unter Einbezug der Arbeiten von Carey et al. (1989) und Driver et al. (1996) zum Wissenschaftsverständnis; und von Justi & Gilbert (2003) und Grosslight et al. (1991) zum Modellverständnis wie folgt definiert:

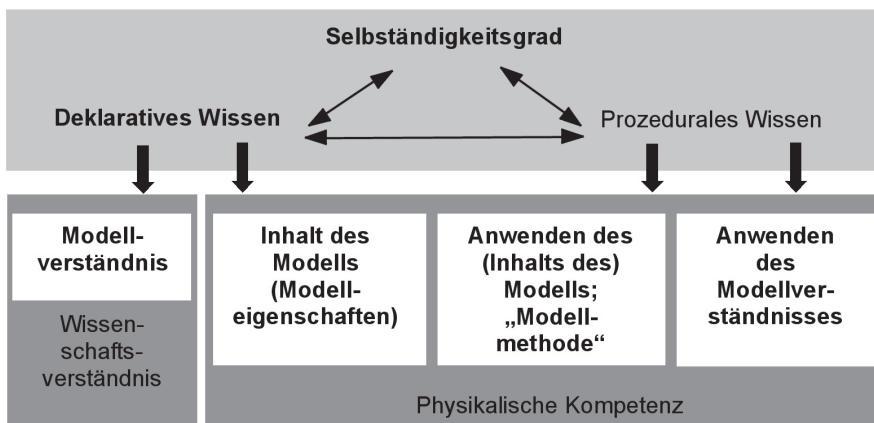


Abb. 2: Komponenten und Einordnung der Modellkompetenz

Die Schülerinnen und Schüler wissen, dass

- physikalische Modelle vom Menschen geschaffen werden,
  - wenn die Grenzen der direkten Wahrnehmung erreicht sind.
  - um (in ihrer Gänze) nicht beobachtbare Mechanismen/Objekte zu erklären, vorherzusagen und zu veranschaulichen.
- zur Modellentwicklung Spekulation, Intuition, Annahmen und Abstraktionen notwendig sind.
- Modelle zweckmäßig sind und nicht richtig oder falsch.
- physikalische Modelle hypothetisch und vorläufig sind.
- Modelle sich in der community durchsetzen müssen.

Neben der allgemeinen Definition von Modellkompetenz erscheint es sinnvoll, zwischen domänenspezifischer und -übergreifender

Modellkompetenz zu unterscheiden. In einer Untersuchung zur Anschlussfähigkeit der Modellkompetenz zum Teilchenmodell wurde belegt, dass diese von den Lernenden nicht ohne weiteres auf Modelle in der Elektrostatik übertragen wird (Mikelskis-Seifert & Leisner, 2005). Das heißt, domänenübergreifende Modellkompetenz entwickelt sich nicht, indem die Lernenden an *einem* physikalischen Modell Modellverständnis, Modelleigenschaften und die Anwendung des Modells lernen. Es kann theoriegeleitet davon ausgegangen werden, dass sich domänenübergreifende Modellkompetenz auf der Basis mehrerer domänenspezifischer Modellkompetenzen aufbaut und vor allem durch die Transferfähigkeit auf neu zu erlernende Modelle auszeichnet.

Am Beispiel des Modells der elektrischen Ladung werden das deklarative und das prozedurale Wissen einer domänenspezifischen Modellkompetenz vorgestellt:

Kenntnisse - Deklaratives Wissen	Fähigkeiten - Prozedurales Wissen
<p><b>Modellverständnis:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Modell der elektrische Ladungen ist ein physikalisches Modell, daher hypothetisch, zweckmäßig, vorläufig, hat Grenzen; es dient für Vorhersagen, Veranschaulichungen und Erklärungen.</li> <li>• Einem Körper kann man nicht ansehen, ob er elektrisch geladen ist.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trennen von Modell und Phänomen</li> <li>- Reflexion der Modellentwicklung (Modellmethode)</li> <li>- Reflexion der Modellanwendung</li> <li>- Problemlöseaufgaben bezüglich des Aussagewertes der Modelle angemessen diskutieren und beantworten können</li> </ul>
<p><b>Modell der elektrischen Ladung</b> gekennzeichnet durch: angenommene Objekte, genannt „Ladungen“ Modelleigenschaften:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elektrische Ladungen zeigen eine Wirkung.</li> <li>2. Elektrische Ladungen sind beweglich.</li> <li>3. Elektrische Ladungen besitzen keine makroskopischen Eigenschaften wie Farbe oder Form.</li> <li>4. Elektrische Ladungen sind zählbar, also von der Idee her Teilchen.</li> <li>5. Es gibt elektrisch positive und negative Ladungen.</li> <li>6. In einem neutralen Körper sind gleich viele positive wie negative Ladungen vorhanden.</li> <li>7. Gegensätzliche Ladungen ziehen sich an.</li> <li>8. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.</li> </ol>	<p>Erklären von elektrostatischen Phänomenen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kraftwirkung zwischen geriebenem Plastikstab und Papierschnipseln</li> <li>- unterschiedlich große Kraftwirkungen</li> <li>- „Übertragen“ dieser Kraftwirkungen</li> <li>- modellhafte Darstellung positiv, negativ und neutral geladener Körper</li> <li>- Vorhersagen der wirkenden Kräfte zwischen geladenen Körpern</li> <li>- Aufgaben mit und ohne direkte Aufforderung zur Modellnutzung lösen.</li> </ul>

Tab. 1: Items des Faktors „Modellverständnis des Modells der elektrischen Ladung“

### 1.3 Zum Bildungswert von Modellkompetenz

In der Einleitung wurde auf den Bildungswert der Physik und damit der Modelle als deren wichtiger Bestandteil eingegangen. Ein weiterer Zugang, Modellkompetenz als Teil der physikalischen Bildung zu legitimieren, ist die Einordnung im Wissenschaftsverständnis. Modellverständnis ist laut Definition (Abbildung 2) sowohl Bestandteil des Wissenschaftsverständnisses als auch Teil der Modellkompetenz. Der theoretisch fundierte Zusammenhang zwischen dem angemessenen Verständnis physikalischer Modelle und dem Verständnis für die Wissenschaft Physik wird in den Ausführungen zum Wissenschaftsverständnis (Meyling 1990, Kircher & Dittmer, 2004) ebenso deutlich wie in den Debatten zum Inhalt von Nature of Science (McComas et al., 1998; Driver et al., 1996).

Das Wissenschaftsverständnis unterteilt sich laut Kircher in drei Bereiche: erkenntnistheoretischer, wissenschaftstheoretischer und wissenschaftsethischer Bereich (Grygier et al., 2004, 1). Aspekte des Lernens über Modelle sind im wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Bereich zu finden. Zu letzterem zählen Reflexionen über Modelle und deren Eigenschaften in der Physik. Die Frage: „Wann wird in der Physik ein Modell entwickelt?“, führt zum Aspekt der Grenze der menschlichen Wahrnehmung und diese schließlich zur Frage nach der Realität. Der wissenschaftstheoretische Bereich wird einbezogen, wenn Fragen wie: „Welche Eigenschaften zeichnen ein naturwissenschaftliches Modell aus?“ oder „Wie können mit Hilfe der Modellbildung Erkenntnisse über die Realität gewonnen werden?“, diskutiert werden. Darüber hinaus ist auch die Reflexion der eigenen Modellanwendung zum Problemlösen zu diesem Bereich zu zählen. Das „Lernen über Modelle“ spielt im engeren Sinne nicht in den wissenschaftsethischen Bereich hinein.

Das heißt, die Entwicklung eines Modellverständnisses unterstützt die Entwicklung von Wissenschaftsverständnis, denn es ist ein Teil von ihm. Ein Modellverständnis ist notwendig, aber nicht hinreichend für ein Wissenschaftsverständnis. Dass ein Lernen über die Natur

der Naturwissenschaften, die Entwicklung eines Wissenschaftsverständnisses und somit auch über Modelle zur physikalischen Grundbildung gehört, ist mittlerweile Konsens unter den Didaktikern.

### 1.4 Lernerfolgsförderung durch Modellkompetenz?

Lernt man besser Physik, wenn man über Modellkompetenz verfügt? Diese Fragestellung ist empirisch ebenso wenig untersucht, wie die Frage, ob man besser lernt, wenn man über Wissenschaftsverständnis verfügt. Zwar zeigen einige Studien Hinweise darauf, dass ein Zusammenhang von Fachwissen und Wissenschaftsverständnis besteht (Halloun, 2001), aber ist der Nutzen von Wissenschaftsverständnis beim Lernprozess nach wie vor wenig empirisch belegt. Es handelt sich vielmehr um eine äußerst plausible Vermutung. Diese stützt sich vor allem auf empirische Belege aus der Psychologie zur Metakognition. Zudem bieten die Arbeiten zum „metakonzeptuellen Bewusstsein“ bezüglich des Physiklernens Anlass anzunehmen, dass Wissen und Reflexionen auf einer Metaebene zu einem besseren Lernerfolg führen (Vosniadou & Ioannides, 1998; Fischler & Peuckert, 1999, Mikelskis-Seifert, 2002).

Auch die hier vorgestellte Studie wird diese Frage nicht beantworten können. Dies liegt daran, dass im Untersuchungsdesign der Studie der Schwerpunkt auf den Erwerb von Modellkompetenz in unterschiedlichen Domänen und das Messen des Standes an Modellkompetenz bei den Lernenden gesetzt wurde und nicht untersucht werden sollte, ob eine vorhandene Modellkompetenz das Lernen von Physik erleichtert (vgl. 3.1.1).

## 2 Wie können Schülerinnen und Schüler Modellkompetenz erwerben? – Das Unterrichtskonzept „Lernen über Modelle“

### 2.1 Der hypothetische Realismus als Basis des Unterrichtskonzeptes

Nachdem geklärt wurde, was Modellkompetenz ist und warum sie von Schüler/innen im Physikunterricht erworben werden soll, wird

sich nun der Frage zugewandt, wie die Entwicklung einer Modellkompetenz im Unterricht bewusst unterstützt werden kann. Die Grundidee des Unterrichtskonzeptes besteht in einem „Lernen über Modelle“ und orientiert sich an das Unterrichtskonzept zur Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung (Mikelskis-Seifert, 2002). Nicht nur die Inhalte der Modelle und ihre Anwendung werden vermittelt, sondern es wird sich auch mit der Modellbildung und der Tragfähigkeit einzelner Modelle reflektierend auseinandergesetzt. Für diese Auseinandersetzung im Besonderen und für das Unterrichtskonzept im Allgemeinen ist es notwendig, den Modellbegriff zu definieren.

Das Wort „Modell“ hat im Alltagsgebrauch viele Bedeutungen und in der Wissenschaft viele unterschiedliche Verwendungen. Während wir im Alltag keine Probleme haben, die richtige Bedeutung mit Hilfe des Kontextes zu erschließen, ist dies in der Wissenschaft vor allem für Laien schwierig. In der Wissenschaft Physik beispielsweise hängt die Bedeutung, also der Inhalt des Wortes Modell von der erkenntnistheoretischen Sichtweise ab. Um „Modell“ und davon ausgehend „Modellverständnis“ definieren zu können, ist es also notwendig sich auf eine Sichtweise für den Physikunterricht festzulegen.

verkleinerte oder vergrößerte Abbilder der direkt wahrnehmbaren Gegenstände der Wirklichkeit. Mit Experimenten kann die Richtigkeit der Modelle bewiesen werden. Den Modellen liegt „der Glaube zu Grunde, dass ein vollkommenes Modell mit der Wirklichkeit ganz genau übereinstimmt, den Ausgang aller Experimente ganz genau vorausberechnen lassen würde“ (Oeser, 2003, 54).

Im kritischen Realismus beschreiben Modelle nur gewisse Strukturen der Realität und stellen Konstrukte einer tatsächlich existierenden physischen Welt dar. Sie werden im Zusammenspiel von Experiment und Theorie auf der Suche nach der „Annäherung an die Wahrheit“ (Popper, 2004, 39) immer weiter verbessert. Zwar kann ein generell richtiges Modell als solches in Experimenten nicht erkannt werden, dafür aber ein falsches. So ist eine stete

Weiterentwicklung, die Annäherung an die Wahrheit, auf Grund der immer besseren Modelle möglich.

Im hypothetischen Realismus nehmen wir lediglich an, „dass es eine reale Welt gibt, dass sie gewisse Strukturen hat und dass diese Strukturen teilweise erkennbar sind, und prüfen, wie weit wir mit diesen Hypothesen kommen“ (Vollmer 1998, 35). Durch den beständigen „Zweifel“ des hypothetischen Realismus verändert sich das Ziel der Modellbildung und damit die Rolle des Modells: „Es ist nicht mehr die Identität oder zumindest Ähnlichkeit der Bilder mit der so genannten physikalischen Wirklichkeit entscheidend, sondern die richtigen Handlungen, die durch solche Modelle ermöglicht werden“ (Oeser, 2003, 60). Modelle sind im hypothetischen Realismus nicht richtig oder falsch, sondern zweckmäßig oder un-zweckmäßig.

Für den Physikunterricht wird der hypothetische Realismus zu Grunde gelegt, weil er

- das pragmatische Denken (die richtigen Handlungen) im Gegensatz zu anderen Formen des indirekten Realismus deutlich hervorhebt und somit den Lerner (das Subjekt) explizit berücksichtigt,
- der schwächste Realismus ist. Damit wird den Lernenden nicht die Möglichkeit ver-stellt, beispielsweise in der Sekundarstufe II andere Erkenntnistheorien (wie z.B. den moderaten Konstruktivismus) zu durchdenken, abzuwägen und für sich zu entdecken.

Den hypothetischen Realismus und das pragmatische Denken zu Grunde zu legen, heißt anzunehmen,

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: ... jedwede Erkenntnisse über die Strukturen/reale Dinge werden gemeinsam erreicht durch Erfahrung (insbesondere durch Experimente) und durch den Verstand (insbesondere durch Theoretisieren).

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.

## 2.2 Die Struktur eines Unterrichts über Modelle

Gemäß der Begriffsdefinition müssen für die Entwicklung von Modellkompetenz die konkreten Inhalte der Modelle und ein Modellverständnis erlernt und deren Anwendung geübt werden. Dies erfolgt in jeder Klassenstufe anhand eines konkreten physikalischen Modells: Klasse 7 – Teilchenmodell, Klasse 8: Modell der elektrischen Ladung, Modell des elektrischen Feldes, Klasse 9 – Modell des Massenpunktes und Klasse 10 – Modelle des Lichts. Der prinzipielle Ablauf der entwickelten Unterrichtshinweise für ein „Lernen über Modelle“ wird in Leisner (2005) ausführlich und in Mikelskis-Seifert & Leisner (2004) am Beispiel des Teilchenmodells und der Modelle in der Elektrostatik vorgestellt.

Zur Entwicklung eines angemessenen Modellverständnisses in der Sekundarstufe I wird sich in der Reflexion auf physikalische Modelle im engeren Sinne beschränkt. Die Entwicklung und Anwendung mathematischer Modelle in der Physik wird in diesen Klassenstufen nicht thematisiert.

Das Zusammenspiel von Modell/Theorie und Experiment stand lange Zeit im Zentrum der wissenschaftstheoretischen Diskussionen über Physik. Die unterschiedlichen Standpunkte werden hier nicht erläutert, sondern es wird eine für den Physikunterricht tragfähige Darstellung beschrieben (siehe Abbildung 3). Demnach handelt es sich beim Erkenntnisprozess der Naturwissenschaften um einen zyklischen Prozess, sodass der Erkenntnisweg niemals abgeschlossen, sondern endlos ist (vgl. Kircher et

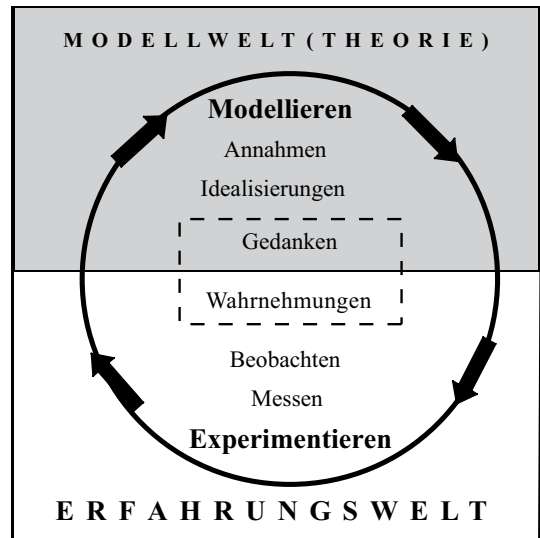


Abb. 3: Naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozess als zyklisches Wechselspiel

al., 2000, 34f.; Popper, 2004, 33; Kuhn, 1962) spricht in diesem Zusammenhang von „naturwissenschaftlichen Revolutionen“, als besondere Etappen der Entwicklung.).

Für einen Unterricht zur Entwicklung von Modellverständnis wird zunächst eine klare Trennung von Modellwelt und Erfahrungswelt vorgenommen. Ziel ist es, dabei die Andersartigkeit der Modellwelt zu verdeutlichen. Wenn beispielhaft die Modellmethode eingesetzt wird, um ein Phänomen zu erklären, wird das Wechselspiel von Hypothesen/Modellen und Experimenten gegenwärtig. Diese strenge Trennung wird aufgebrochen, wenn die vom Wissen beeinflusste Wahrnehmung thematisiert wird.

Im ersten Schritt eines Lernens über Modelle steht die Trennung von Alltagsmodellen (gegenständlich, Sachmodelle) und naturwissenschaftlichen Modellen im Vordergrund. Somit erfolgt eine erste Klassifikation von Modellen (vgl. Kircher, 1995, 136 ff.). Die Unterscheidung erfolgt über die Eigenschaften der beiden „Modellarten“. Während bei den Alltagsmodellen das Objekt (Original) direkt wahrnehmbar ist, entzieht sich bei den Denkmodellen das Objekt der direkten Wahrnehmung. So sind beispielsweise bei submikroskopischen Objekten

lediglich „Äußerungen“ (Erscheinungen) des Objekts wahrnehmbar. Auf Grund von Vermutungen über die Ursache der „Äußerungen“ werden Modelle konstruiert. Denkmolelle haben somit hypothetischen Charakter. Gemeinsam ist beiden Modellarten, dass sie nicht „richtig“ oder „falsch“ sind. Vielmehr erfüllen sie einen bestimmten, vom Menschen festgelegten Zweck.

Dann werden Phänomene in der Erfahrungswelt beobachtet und zur Erklärung Modelle entwickelt, bzw. vom Lehrer vorgegeben. Wichtig ist es, herauszuarbeiten, dass die „direkte“ Beobachtung und die Modelle auf unterschiedlichen Realitätsebenen liegen. In der Oberstufe soll der Modellbegriff erweitert werden, indem „Theorie“, „Hypothese“ und „Erklärung“ als Modelle im weiteren Sinne aufgefasst werden. Vor dem hypothetisch-realistischen Hintergrund wird damit der erste Schritt zur Erkenntnis: „Physik treiben, heißt modellieren.“, vorgenommen.

Um nicht in Beliebigkeit abzugleiten und die Schüler/innen damit vor die Frage zu stellen: „Wenn nichts endgültig ist und alles in der Physik Modelle, warum soll ich das dann lernen?“, wird das pragmatische Denken hervorgehoben, indem der Nutzen für die Menschen betont wird. Für die meisten Schüler/innen ist die Eigenschaft der „Vorhersagbarkeit von Vorgängen“ überzeugender als das faustische Ideal, Wissen um des Wissens wegen.

Das Lernen der Modelleigenschaften ist mit dem zu entwickelnden Modellverständnis verknüpft, indem die Rolle des Modellkonstruktors beim Festlegen der Eigenschaften betont wird. Dabei erfolgt kein „auf Vorrat lernen.“ Vielmehr werden nur die Eigenschaften postuliert und vermittelt, die zur Erklärung des gegenwärtigen Phänomens notwendig sind. Ein postuliertes Modell wird erst dann in seinen Eigenschaften erweitert oder verändert, wenn ein neues Phänomen dies erfordert. Die den Modellen zugewiesenen Eigenschaften bzw. die Auswahl bestimmter Eigenschaften werden vor dem Hintergrund der Einfachheit und Anschaulichkeit von Modellen diskutiert.

Um die Modelleigenschaften und das Modellverständnis anzuwenden, bietet sich für den Unterricht als Leitfaden die „Modellmethode“

an. Der Begriff „Modellmethode“ steht hier im Zusammenhang mit dem Lernen von und über Modelle im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die fachdidaktische Literatur (vgl. Brademann, 1997, 209; Kircher, 1995, 211) beschreibt unterschiedliche Modellmethoden. Für das Unterrichtskonzept „Lernen über Modelle“ ist Kirchers Ansatz von besonderem Interesse. Kircher grenzt sich von anderen Vorschlägen insofern ab, dass er unter anderem ein „impliziertes wissenschaftstheoretisches Ziel“ verfolgt. So spielt die Durchsetzung und Bewährung eines Modells (mit bspw. Diskussionen zu konkurrierenden Modellen, Grenzen festlegen) und eine Reflexionsphase mit wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Aspekten eine erhebliche Rolle. Die unterschiedlichen Modellmethoden können für den Physikunterricht in vier Schritte zusammengebracht werden:

1. Beobachten eines Phänomens (vertraut werden) mit dem Ergebnis der Erkenntnis, dass die direkte Untersuchung des Originals zu keiner Erklärung des Phänomens führt;
2. Modellentwicklung beziehungsweise Modellauswahl;
3. Beantworten der Frage beziehungsweise Lösen des Problems (Modellanwendung);
4. Zweckmäßigkeit und Erklärungswert des Modells prüfen – Reflexion der Modellnutzung beziehungsweise der Modellmethode

Im traditionellen Unterricht wird häufig zwar die Phase der Modellbildung und der Modell-anwendung betont. Um die epistemologischen Aspekte zu stärken, gilt es aber vor allem dem ersten und vierten Schritt im Unterricht genügend Zeit einzuräumen. Diese Phasen sollen stetig bzw. rückblickend wirksam werden. Die Bewährung eines Modells und die Reflexion der Begriffe setzt ein anhaltendes Lernen über und mit Modellen voraus.

Ein selbständiges Modellieren der Lernenden muss gut von der Lehrkraft vorbereitet bzw. in den Unterrichtsverlauf eingebettet sein. Es ist nicht zu erwarten, dass die Schüler/innen tragfähige Modelle völlig allein entwerfen. Aber das Modellieren an einfachen Beispielen bei klar formulierter Aufgabenstellung kann den Lernenden beispielhaft Anforderungen, wie



Kreativität und Intuition beim Modellieren bewusst machen und so das Modellverständnis fördern.

Für die Umsetzung des Konzeptes im Unterricht wurden Empfehlungen für die Klassenstufen 7, 8 und 9 (und zum Teil auch für Klasse 10) entwickelt. Sie enthalten Teilziele, Schritte einer Modellmethode, Schülertätigkeiten, Diskussions- und Reflexionsanstöße zur Natur der Modelle, der Modellnutzung sowie Unterrichtsmaterialien.

**3 Die empirische Studie**  
**3.1 Untersuchungsdesign der Studie**  
**3.1.1 Verlauf der Untersuchung und Probandengruppe**

Die entwickelten Unterrichtsempfehlungen wurden in einer empirischen Studie mit qualitativen Methoden hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit im Schulalltag und mit quantitativen Methoden hinsichtlich ihres Erfolges (d.h. Verbesserung des Standes an Modellkompetenz bei den Lernenden) über ein Schuljahr in allen Klassen der Sekundarstufe I eines Brandenburger Gymnasiums erprobt. Die Studie wurde am Lehrstuhl für Didaktik der Physik bei Prof. Dr. Helmut F. Mikelskis an der Universität Potsdam durchgeführt.

Am Ende des Schuljahres 2001/2002 wurde der Stand an Modellkompetenz in den Klassenstufen 6 bis 10 erhoben. Daran schlossen sich im Schuljahr 2002/2003 die partiellen In-

terventionen zum „Lernen über Modelle“ in den einzelnen Klassen an. Die Intervention erfolgte jeweils an den Stellen, an denen der Rahmenlehrplan des Landes Brandenburg das Vermitteln der jeweiligen Modelle vorsieht. Am Ende des Schuljahres 2002/2003 wurde zum Vergleich erneut der Stand an Modellkompetenz erhoben.

Es ist nicht Ziel der Untersuchung, den Lernprozess in der Physik widerzuspiegeln und dabei den Einfluss der Modellkompetenz zu belegen. Dieser interessante Zusammenhang konnte in der vorliegenden Studie nicht untersucht werden, weil zunächst die Vorleistungen für eine solche Untersuchung geschaffen werden müssen. Der Test am Ende des Schuljahres 2001/2002 zeigte, dass kein Lernender über Modellkompetenz im Sinne der Definition verfügte. Erst wenn eine (statistisch angemessen große) Gruppe von Lernenden über Modellkompetenz verfügt, kann ihr weiterer Lernprozess in der Physik mit dem der Lernenden ohne Modellkompetenz verglichen werden. Daher muss zunächst ein Konzept entwickelt und erprobt werden, dass den Erwerb von Modellkompetenz bei den Lernenden fördert. Dieses Konzept wurde in allen Klassenstufen der Sekundarstufe I für mehrere Teilbereiche erarbeitet und erprobt, sodass aufgrund der Breite der Studie noch keine weitergehenden Untersuchungen hinsichtlich des Physiklernens möglich waren.

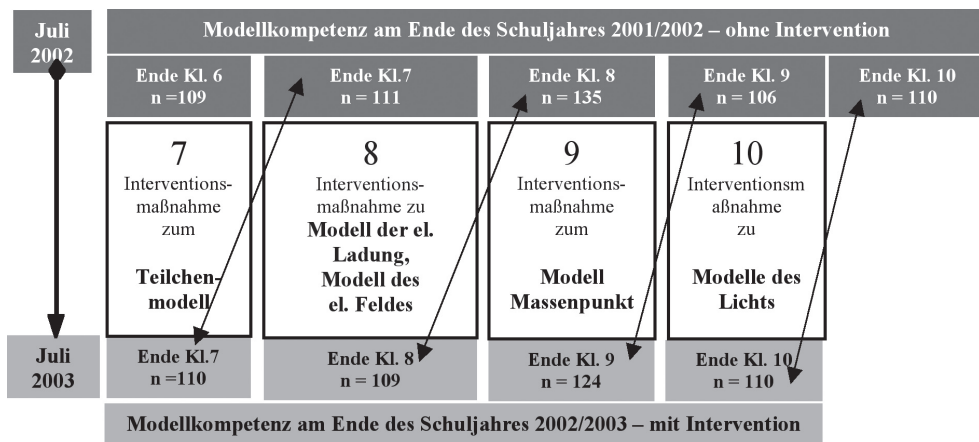


Abb. 4: Untersuchungsstruktur zur Modellkompetenz am Ende der Klassen der Sek. I

In dem hier gewählten Untersuchungsdesign (siehe Abbildung 4) für die Studie zum Erwerb der Modellkompetenz werden zwei Vorteile gesehen: Erstens sind alle Schüler/innen sowohl Probanden der „Stichprobe ohne Intervention“ als auch nach der Erprobung des Konzeptes Probanden der „Stichprobe mit Intervention“. Das heißt, die vorhandene Probandenanzahl muss nicht halbiert werden, um Vergleichsgruppen zu erhalten. Daher ist die Gesamtzahl der Stichprobe je Klassenstufe vergleichsweise groß, sodass auch die kleinen zu erwartenden Effekte empirisch messbar sind. Zweitens kann bei einem Vergleich jeweils am Ende des Schuljahres davon ausgegangen werden, dass das vermittelte fachliche Wissen ähnlich ist. Somit wird nicht der Wissenszuwachs innerhalb eines Schuljahres verglichen, sondern lediglich der Unterschied hinsichtlich einer Modellkompetenz am Ende des Schuljahres 2002 (ohne Intervention) und am Ende des Schuljahres 2003 (nach einem „Lernen über Modelle“). Aus diesem Grunde werden verhältnismäßig geringe Effekte erwartet (siehe Leisner & Mikelskis, 2003).

Ein Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen Probandengruppen setzt ein Prüfen der Vergleichbarkeit voraus. Aus diesem Grunde wurden Subtests des Kognitiven Fähigkeits-tests, PISA- und TIMSS-Aufgaben zur Charakterisierung der Teilgruppen eingesetzt. Die Tests ergaben, dass sich die Lernenden der zu

vergleichenden Jahrgänge nicht signifikant im Antwortverhalten unterscheiden, die Probandengruppen also vergleichbar sind.

### 3.1.2 Methoden zur Untersuchung der Umsetzbarkeit des Konzeptes im Schulalltag

Die Lehrkräfte wurden über ein Schuljahr hinweg während der empirischen Studie beobachtet und begleitet. Ebenso wurde durch Selbstbeobachtung die Umsetzbarkeit im Schulalltag in einer siebenten Klasse untersucht, beschrieben und ausgewertet. Die persönliche Teilnahme erleichterte es, „neben der Beobachtung von Fremdverhalten auch Erfahrungen ‚am eigenen Leibe‘ zu machen und somit die Perspektive der Handelnden besser zu verstehen“ (Bortz & Döring, 1995, 313). Ziel der qualitativen Exploration war es, das Lehrerverhalten unter bestimmten Rahmenbedingungen während einer Interventionsmaßnahme zum „Lernen über Modelle“ in der gesamten Schule über ein Schuljahr hinweg zu beschreiben, zu analysieren und somit auf dem neuen Gebiet des „Lernens über Modelle“ aussagekräftige Hinweise auf die wichtigen organisatorischen und zwischenmenschlichen Faktoren bei der Umsetzbarkeit (Praxisnähe) des Konzeptes in seiner breiten Form (alle Klassen der Sek. I) zu erhalten. Eine detaillierte Darstellung des Lehrer- und des Forscherverhaltens findet sich in Leisner (2005) und ermöglicht es, die Ergeb-

Itemnr.	Aussage
2	Die Existenz von elektrischen Ladungen kann durch geeignete Experimente bewiesen werden.
6	Elektrische Ladungen sind genauso Realität wie Bücher und Autos.
8	Elektrische Ladungen sind eine menschliche Erfindung, die zur Erklärung bestimmter Naturerscheinungen benutzt werden können.
22	Elektrische Ladungen gehören nicht zur Realität.
28	Elektrische Ladungen zeigen eine Wirkung in geeigneten Messgeräten. Daher existieren sie.
32	Das elektrische Feld wurde vom Menschen entwickelt, um die Wirkung von geladenen Körpern zu erklären.
34	Elektrische Ladungen sind eine Modellvorstellung.

Tab. 2: Skala: Modellverständnis zu den Modellen in der Elektrostatik

nisse der Beobachtungen und Lehrgespräche nachvollziehen und werten zu können.

Mit Hilfe von an der Uni Potsdam entwickelten Fragebögen und Multiple-Choice-Aufgaben wurde das deklarative Wissen und mit offenen Aufgaben das prozedurale Wissen erhoben. Für jede Klassenstufe wurden Tests konstruiert, die Eigenschaften, Verständnis und Anwendung der jeweils behandelten Modelle einer Klassenstufe abfragen. Die Einzelauswertung der Instrumente (Skalenbildern, Mittelwertvergleiche) dient der ersten Orientierung zu den Lernerfolgen der Interventionsmaßnahme. In den Klassenstufen 7 bis 9 können durch Faktorenanalysen jeweils zwei Skalen gebildet werden, wobei eine Skala das Modellverständnis zu einem konkreten Modell misst (z.B. in Klasse 7 zum Teilchenmodell) und mit einer zweiten Skala das Wissen zu den Eigenschaften des konkreten Modells erhoben wird.

Für die 8. Klassenstufe beispielsweise testet der erste Faktor Wissen zur Sichtbarkeit und Farbe elektrischer Ladung und damit zu Eigenschaften des Modells. Der zweite Faktor misst das Modellverständnis zu den Modellen in der Elektrostatik und setzt sich aus 7 Items zusammen ( $\alpha_{\text{Cronbachs}} = 0,61$ ; Stabilität der Faktorstruktur FS = 0,91). Grau hinterlegte Items mussten von den Schüler/innen abgelehnt werden, um angemessen im Sinne des Konzeptes (und der Basis des hypothetischen Realismus) zu antworten (siehe Tabelle).

Es erfolgte eine Einzelauswertung des Abschneidens der Lernenden zu den Fragebogenfaktoren, den Multiple-Choice-Aufgaben und den offenen Aufgaben. Neben dieser Einzelauswertung bestand das Ziel der quantitativen Analyse darin, eine statistische Methode zu nutzen, die die Ergebnisse der einzelnen Instrumente zusammen berücksichtigt. Denn nur bei Lernenden, die in allen Messinstrumenten gut bis sehr gut abschneiden, kann im Sinne der Definition von einer Modellkompetenz gesprochen werden. Darüber hinaus stellt sich die Frage nach weiteren Antwortprofilen der Modellkompetenz.

Das Ziel kann durch Latent-Class-Analysen (LCA) erreicht werden. Bei der LCA wird die Beantwortung der Items in den Tests nicht als

deterministisch, sondern mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit erfolgreich angesehen (Rost, 1996). Das heißt, dass man bei einer Wiederholung des Tests nicht genau dieselben Werte erwartet. Die LCA ist damit ein Testmodell, das von Wahrscheinlichkeiten bei den eingebrachten Variablen ausgeht. Da die erhobenen Daten deklaratives Wissen und Fähigkeiten der Lernenden widerspiegeln, ist davon auszugehen, dass es sich nicht um deterministische Werte handelt. Ermittelt werden mit einer LCA daher latente (kategoriale) Klassen, die nicht beobachtbar oder manifest sind und in dieser Untersuchung typische Antwortmuster in Form von Klassen und Klassengrößen bezüglich der domänenspezifischen Modellkompetenz der jeweiligen Klassenstufe hervorbringen.

## 3.2 Ergebnisse

### 3.2.1 Ergebnisse zur Umsetzbarkeit des Konzeptes

Als positives Ergebnis der Interventionsmaßnahme wird die Sensibilisierung der Mehrheit der Lehrkräfte auf die Modellproblematik und das anhaltende Interesse, das Konzept zum „Lernen über Modelle“ im weiteren Physikunterricht umzusetzen, bei 40 Prozent der Lehrkräfte angesehen. Als größtes Problem erweist sich die Lehrerschulung zum Konzept, denn das grundlegende Missverständnis (Es besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen einem „Unterricht mit Modellen“ und einem „Lernen 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 zwischen Lehrkräften und Didaktikern. In nachfolgenden Evaluationsstudien zum Konzept muss die „Sprachlosigkeit“ der Lehrkräfte aufgebrochen werden, um eine angemessene Lehrerschulung zu erreichen. Welche Fragen und Aufgaben eine angemessene Lehrerschulung für ein ganzes Fachlehrerkollegium zur Modellproblematik beinhalten muss, wird in Anlehnung an van Driel & de Jong (2003) ausführlich in Leisner (2005) vorgestellt.

Ferner wird als Ergebnis der Einzelfallbeobachtung erkannt: Bei einer breit und verhältnismäßig lang angelegten Intervention muss davon ausgegangen werden, dass sich die organisatorischen wie sozialen Rahmenbedingungen, die am Anfang der Untersuchung vorliegen, im Laufe der Intervention ändern. Aus diesem Grunde ist kontinuierlich zu prüfen, ob die Form der Intervention den aktuellen Rahmenbedingungen entspricht. Ebenso unterscheidet sich die Motivation der Lehrkräfte an einer Interventionsmaßnahme teilzunehmen, auch wenn sich alle bereit erklären, mitzuwirken.

### 3.2.2 Ergebnisse zum Lernerfolg des Konzeptes

Da eine große Datenmenge aufgrund der Breite der Studie vorliegt, werden hier nur beispielhaft Ergebnisteile der 8. Klassenstufe vorgestellt. In dieser Stufe standen das Modell der elektrischen Ladung und des elektrischen Feldes im Mittelpunkt eines „Lernens über Modelle“.

Der Vergleich der Skalenmittelwerte zum deklarativen Wissen (Faktor 1 und 2 des Fragebogens) der Lernenden nach einem Unterricht ohne Intervention und nach einem „Lernen über Modelle“ ist im Diagramm der Abbildung 5 dargestellt, wobei ein Skalenkennwert von 4 ein vollständig angemessenes Antwortverhalten, der Kennwert 2 ein unsicheres und der Wert 0 ein unangemessenes Antwortverhalten im Sinne des Konzeptes (und damit auf hypothetisch-realistischer Basis) darstellt.

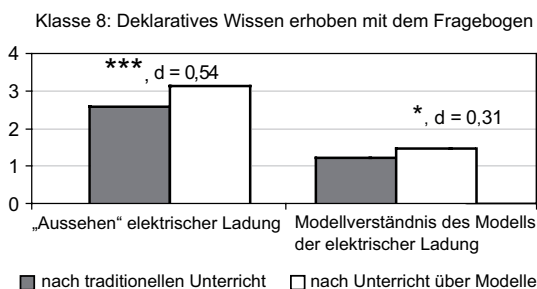


Abb. 5: Deklaratives Wissen der Lernenden der 8. Klasse, erhoben mit dem Fragebogen Typen von Kompetenzmodellen

Nach traditionellem Physikunterricht ist das durchschnittliche Wissen zur Sichtbarkeit und Farbe elektrischer Ladungen mit „fast angemessen“ zu bezeichnen. Nach einem „Lernen über Modelle“ zeigen die Lernenden ein „angemessenes“ Wissen, folglich lehnen sie Sichtbarkeit und Farbe als sinnvolle Eigenschaften der elektrischen Ladungen ab.

Der Unterschied zwischen diesen Kennwerten des Faktors „Sichtbarkeit elektrischer Ladung“ ist höchst signifikant ( $d = 0,54$  SD). Der Anstieg des Kennwertes kann auf die Intervention zurückgeführt werden, da der Test jeweils nach dem Unterricht erfolgte. Dies trifft auch für das Modellverständnis zu. Lernende, die an der Interventionsmaßnahme teilnahmen, erreichen bei diesem Faktor ebenfalls einen signifikant größeren Kennwert ( $d = 0,31$  SD). Dennoch ist zu erkennen, dass auch nach einem Physikunterricht über Modelle, trotz eines Anstieges, das durchschnittliche Modellverständnis mit „unangemessen“ einzuschätzen ist. Das heißt, die Mehrheit der Lernenden beider Jahrgänge verortet die Modelle der elektrischen Ladung und des elektrischen Feldes in der Erfahrungswelt und ist sich mit großer Wahrscheinlichkeit des hypothetischen Charakters der Modelle nicht bewusst. Ihre Einstellung sollte daher aus erkenntnistheoretischer Sicht als naiv-realistisch eingestuft werden.

Des Weiteren wurde das deklarative Wissen zum Modell des elektrischen Feldes mit Multiple-Choice-Aufgaben abgefragt. Zwischen dem Wissen nach einem Physikunterricht ohne Intervention und nach einem „Lernen über Modelle“ besteht ein hoch signifikanter Unterschied ( $d = 0,35$  SD). Trotz des Anstieges können die Lernenden nach der Intervention durchschnittlich nur bei der Hälfte der Aufgaben die richtige Aussage bestimmen, wenn sie mit falschen Aussagen konfrontiert werden. Sowohl nach traditionellem Unterricht als auch nach der Interventionsmaßnahme zeigen die Lernenden ein „unsicheres“ Antwortverhalten. Insgesamt verfügen Schülerinnen und Schüler nach einem Unterricht über Modelle über ein besseres deklaratives Wissen zu den benannten Modellen in der Elektrostatik.

In der 8. Klasse werden vier offene Aufgaben zu den Modellen in der Elektrostatik eingesetzt, um das prozedurale Wissen der Lernenden in diesem Bereich zu erheben. Dabei wird unterschieden in zwei Teilaufgaben zur Anwendung des Modellverständnisses und in zwei Teilaufgaben zur Anwendung von Modelleigenschaften des Modells der elektrischen Ladung (ohne direkte Aufforderung).

Die Ergebnisse der offenen Aufgaben zeigen, dass jeweils mindestens die Hälfte der Schüler/innen die Aufgaben angemessen im Sinne des Konzeptes löst. Dabei bestehen im prozeduralem Wissen keine signifikanten Unterschiede zwischen Lernenden nach traditionellem Physikunterricht und Lernenden nach einem „Lernen über Modelle“.

Wie beschrieben, erfolgte zur weiteren Auswertung die Latent-Class-Analyse. Die bei der LCA errechneten mittleren Werte der latenten Variablen für jede Klasse werden graphisch dargestellt und somit die typischen Antwortprofile in einem Diagramm (siehe Abbildung 6) verdeutlicht. Zur einheitlichen Darstellung eines Antwortprofils normiert man die mittleren Kennwerte auf 2. Dies ist notwendig, da Variablen mit unterschiedlichen Skalen in die LCA eingebracht werden.

Aus dem Verlauf der Kennwerte der drei Klassen lässt sich Folgendes schließen:

- Erstens gibt es keine Gruppe von Schüler/innen, denen eine Modellkompetenz

zugesprochen werden kann; denn es gibt kein Antwortprofil, deren Lernende in allen Bereichen ein angemessenes Wissen und Können nachweisen.

- Zweitens können die gefundenen Antwortprofile in leistungsstärkstes (Profil 3) und leistungsschwächer (Profil 1 und 2) unterschieden werden. Denn die Kennwerte des Antwortprofils 3 sind bis auf den Anwendungsbereich stets höher als bei den beiden anderen Profilen. Nimmt die Zahl der Lernenden nach der Intervention im Profil 3 zu, ist dies als Effekt des Lernens über Modelle zu werten.

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, obwohl es unterschiedlich ausgeprägt ist. So liegt die Vermutung nahe, dass erst bei einem angemessenen Modellverständnis, dieses auch entsprechend angewendet werden kann. Zudem stechen die Unterschiede im Wissen zu den Eigenschaften der untersuchten Modelle in der Elektrostatik hervor. Insgesamt haben Schüler/innen des leistungsstärksten Profils Grundlagen einer Modellkompetenz in der Elektrostatik entwickelt. Die Lernenden der beiden anderen Gruppen unterscheiden sich vor allem in ihrem Wissen zum elektrischen Feld.

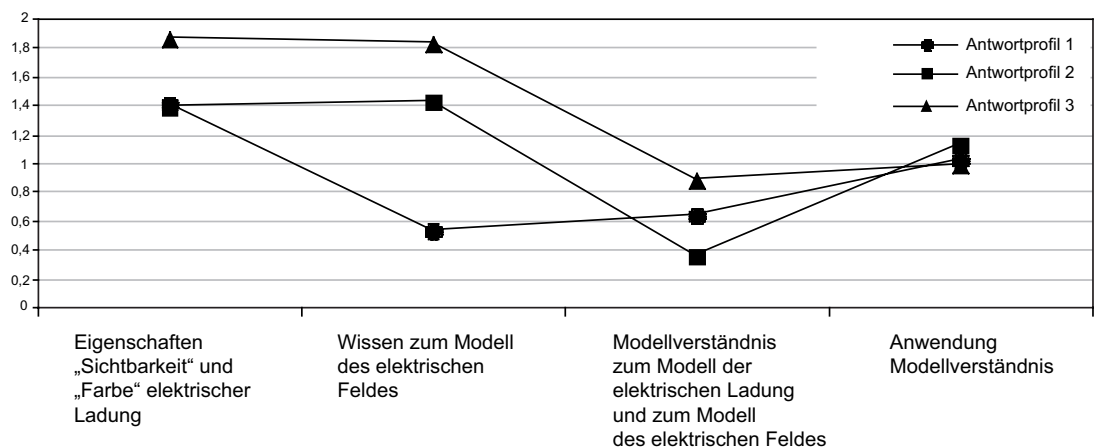


Abb. 6: Typische Antwortprofile für die 8. Jahrgangsstufe

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 stattfindet. 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 Schüler/innen dem leistungsstärksten Profil zugerechnet werden.

Nach einem traditionellen Unterricht gehört die Mehrheit der Lernenden den leistungsschwächeren Profilen 1 und 2 an. Nach einem „Lernen über Modelle“ sind im leistungsstärksten Profil 3 deutlich mehr Lernende zu finden. Die Verteilung auf die Profile unterscheidet sich nach einem traditionellen Unterricht laut u-Test höchst signifikant von der Verteilung nach einem „Lernen über Modelle“ (siehe Abbildung 7). Also werden nach der Intervention durchschnittlich gesehen höhere Kennwerte im deklarativen Wissen erzielt. Jeder dritte Lernende hat durch die Interventionsstudie Grundlagen einer Modellkompetenz zur Elektrostatik entwickelt.

Die Ergebnisse wurden abschließend nach Lerngruppen aufgeschlüsselt und verglichen. Für Klasse 8 sind im Diagramm der Abbildung 8 die Zuordnung der Schüler/innen in jeder

Lerngruppe (8a bis 8d) nach der Interventionsmaßnahme und nach traditionellem Unterricht aufgetragen. (Es ist zu beachten, dass es sich in den Diagrammen *nicht* um die gleichen Schüler/innen handelt, sondern um vergleichbare Lerngruppen. Am Ende des Schuljahres 2001/2002 (oberes Diagramm) gehören in allen Schulklassen mindestens 40% der Lernenden zu dem leistungsschwächsten Antwortprofil 2. Zudem können nicht mehr als 20% der Lernenden dem leistungsstärksten Antwortprofil 3 zugeordnet werden. Die Verteilungen auf die Profile unterscheiden sich dabei zwischen den Klassen 8a und 8c tendenziell signifikant.

Nach einem „Lernen über Modelle“ überwiegt nur noch in den Klassen 8c und 8d die Anzahl der Schüler/innen im leistungsschwächsten Profil 1. Im Vergleich zu den Klassen 8a und 8b sind wesentlich weniger Lernende dem Profil 2 mit dem geringsten Modellverständnis zuzuordnen. Dem leistungsstärksten Antwortprofil 3 können nun in allen Schulklassen mehr als 20% der Lernenden zugewiesen werden. Es besteht trotz der augenscheinlichen Ungleichheit bei den Verteilungen in den Schulklassen kein statistisch signifikanter Unterschied (u-Test). Somit erreichen alle Lehrkräfte in ihren Klassen durchschnittlich einen ähnlichen Lernerfolg.

Für die Klassenstufen sieben und neun ergibt sich für die entsprechenden unterrichteten physikalischen Modelle ähnliche Ergebnisse in der Einzelauswertung der Fragebögen

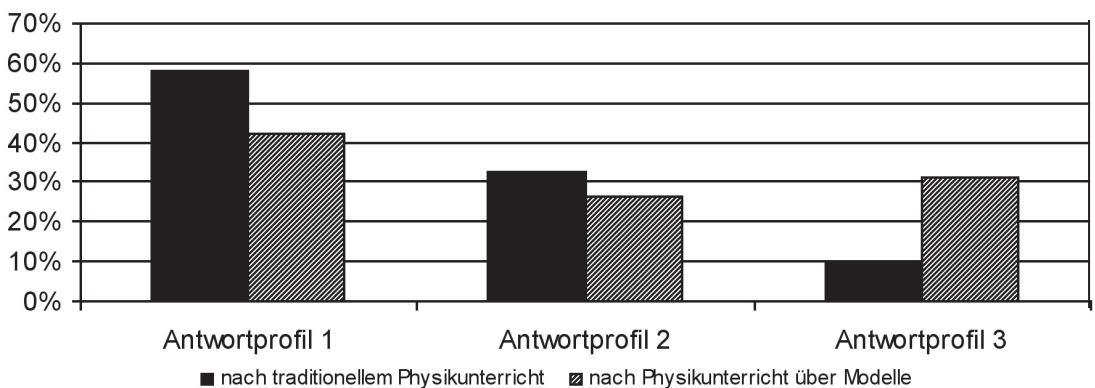


Abb. 7: Verteilung der Probanden auf die typischen Antwortprofile

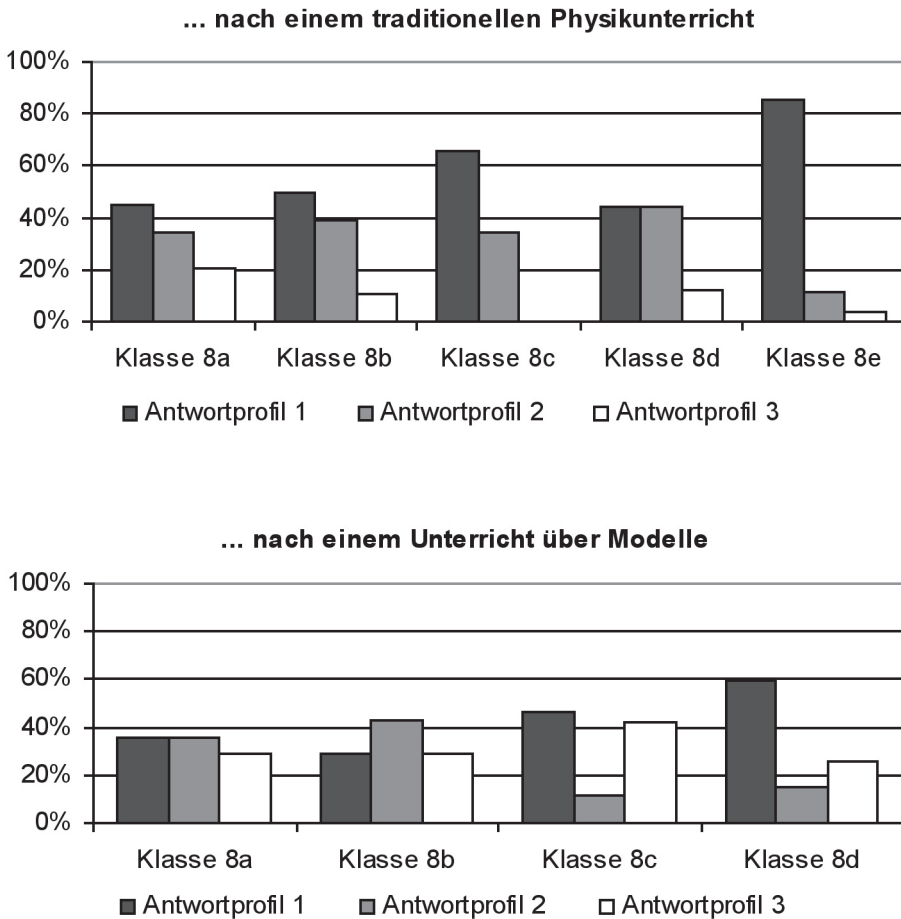


Abb. 8: Verteilung der Lernenden auf die Profile

(Items zum deklarativen Wissen), den Multiple Choice Aufgaben und den offenen Aufgaben: Während das deklarative Wissen nach einem „Lernen über Modelle“ stets signifikant größer ist, besteht in der Fähigkeit, das Wissen in Problemlöseaufgaben anzuwenden kein Unterschied. Sowohl ohne als auch mit Intervention erreichen die Lernenden durchschnittlich ein unangemessenes bis unsicheres Antwortniveau.

So ist es nicht verwunderlich, dass auch in den LCAs für die Klassenstufen 7 und 9 sich keine Gruppe Lernender bilden lässt, der eine Modellkompetenz bescheinigt werden kann,

auch nicht nach der Interventionsmaßnahme. Es lassen sich in den Klassenstufen ebenso wie in Klasse 8 vorgestellt, mindestens zwei Gruppen von Antwortprofilen erstellen. Diese unterscheiden sich in ihrem Wissensniveau in allen berücksichtigten Bereichen.

### 3.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der Studie wurden umfangreiche Datenmengen zu den Bereichen der Modellkompetenz bei Schüler/innen nach einem Physikunterricht mit und ohne explizitem „Lernen über Modelle“ in der Sekundarstufe I gewonnen und detailliert ausgewertet, sowohl in Einzelanalysen als auch mit Hilfe der LCA. Zur Einordnung

der Ergebnisse wurde abschließend in der 8. Klasse eine Vergleichsschule herangezogen (siehe Leisner, 2005) und mithilfe einer Projektwoche zum Teilchenmodell der Lernerfolg bei intensiver Schulung mit dem verglichen, der sich bei einem über das Schuljahr verteilten partiellen Interventionen zum „Lernen über Modelle“ einstellt (siehe Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004).

Die Auswertung der Messinstrumente kann einen Teilerfolg des Konzeptes „Lernen über Modelle“ nachweisen und durch das Heranziehen qualitativer Beobachtungen die Schlüsselstelle des erfolgreichen Unterrichts herausstellen: sich wiederholende Reflexion und Diskussion der Modellbildung und Modellnutzung durch die Lernenden.

Zusammenfassend können als Ergebnis der Studie folgende Hypothesen zur Entwicklung der Modellkompetenz im Physikunterricht der Sekundarstufe I formuliert werden:

1. Für die Entwicklung domänenspezifischer Modellkompetenz ist in einer normalen Schulsituation die Kompetenz der Lehrkraft (Fachwissen, Wissenschaftsverständnis, didaktisches Wissen, Problembewusstsein zum Anwenden von Modellen und Modellbildung, Interesse, Motivation) ausschlaggebend.
2. Sowohl in der 9. Klassenstufe im Bereich der Mechanik als auch in der Elektrostatik in der 8. Klassenstufe kann mit dem Konzept „Lernen über Modelle“ ein besseres Modellverständnis und ein besseres Wissen zu den Modelleigenschaften erreicht werden als im traditionellen Physikunterricht.
3. Das Konzept zur Entwicklung von Metakzepten zu Teilchenvorstellungen in den Klassenstufen 9 und 10 kann erfolgreich auf den Anfangsunterricht der 7. Klassenstufe in Form eines „Lernens über Modelle“ übertragen werden.

Die Auswertung der Messinstrumente und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zur Interventionsmaßnahme erfolgten mit der notwendigen Vorsicht, da keine standardisierten Tests zum Einsatz kamen. Die Ergebnisse werden als

wohlbegründete Hypothesen zur weiteren Untersuchung der Entwicklung der Modellkompetenz verstanden und dienen einer ersten Orientierung zur Entwicklung domänenspezifischer Modellkompetenz (am Beispiel der Teilchenmodelle, der Modelle in der Elektrostatik und zum Modell Massenpunkt).

Dabei stellt sich die Frage: Inwiefern kann der Ansatz des „Lernens über Modelle“ auch auf hier nicht untersuchte Domänen übertragen werden? Eine Langzeitstudie kann Hinweise darauf geben, inwiefern die Hypothese zutrifft, dass domänenübergreifende Modellkompetenz sich auf der Basis mehrerer domänenspezifischer Modellkompetenzen entwickelt. Als Ergebnis wird diesbezüglich festgestellt, dass Modellverständnis und -kompetenz nicht losgelöst von konkreten Modellen einer bestimmten physikalischen Domäne gemessen werden können und das Trennen von domänenspezifischer und -übergreifender Modellkompetenz daher auch messtheoretisch sinnvoll ist.

### 3.3 Diskussion

In allen Klassenstufen konnten die Schüler/innen durch das Konzept „Lernen über Modelle“ ein besseres Modellverständnis entwickeln, als Lernende durch traditionellen Physikunterricht. In der Anwendung der Modelleigenschaften und des Modellverständnisses zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Außerdem konnten mithilfe der Triangulation der Messinstrumente geringe Zusammenhänge zwischen dem deklarativen und prozeduralen Wissen erkannt werden. Der empirisch-quantitativ messbare Erfolg fällt also, wie erwartet, recht gering aus. Dies muss auf die geringe Interventionsstärke und die Messung der Modellkompetenz jeweils am Ende des Schuljahres zurückgeführt werden. Es erfolgte nicht grundsätzlich ein anderer Unterricht, vielmehr wurden von den Lehrenden in unterschiedlichem Umfang erkenntnistheoretische Aspekte mithilfe des entwickelten Unterrichtsmaterials eingebunden. Vor allem die Umsetzung der erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Diskussion unter den Schüler/innen fand nicht in allen Klassen im ausreichenden Maß statt. Der bloße



Einsatz der Unterrichtsmaterialien reicht nicht aus, um ein angemessenes Modellverständnis bei den Schüler/innen zu entwickeln.

Obwohl nicht alle Lehrkräfte im gewünschten Umfang ein „Lernen über Modelle“ in ihrem Unterricht durchführten, bleiben insgesamt statistisch gesehen positive Lerneffekte bestehen. Dies unterstreicht die Wirksamkeit bei den engagierten Lehrkräften. Denn als Ergebnis muss auch festgehalten werden, dass sich die Lehrerschulung als besonders schwer herauskristallisierte. Die Lehrkräfte müssen in einem ersten Schritt von der Notwendigkeit überzeugt werden, erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Aspekte in den Unterricht einzubinden. Der zweite Schritt, die Schulung der Lehrkräfte, ist nicht kurzfristig zu erreichen, sondern bedarf (wie bei den Schüler/innen) einer längerfristigen Fortbildung und dem Lernen/Üben in der Praxis, also im Physikunterricht. Die Motivation dafür muss dafür letztendlich von den Lehrenden ausgehen.

Zudem kann der geringe Lernerfolg als Indiz dafür aufgefasst werden, dass sich Modellkompetenz und Modellverständnis langfristig entwickelt und nicht durch exemplarisches Lernen erworben werden kann. Die entwickelten Messinstrumente müssen in nachfolgenden Studien verbessert werden. Vor allem ist es notwendig, das prozedurale Wissen besser messen zu können, also Anwendungsaufgaben zu entwickeln und zu erproben.

## Literatur

- Brademann, T. (1997). Grundsätze und Beispiele zur Arbeit mit physikalischen Denkmodellen im Physikunterricht der Sekundarstufe I. *Physik in der Schule*, 6, 207-210.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Carey, S. R., Evans, M., Honda, E., Jay & Unger, Ch. (1989). 'An Experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11, special issue, 514-529.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Einstein, A. (1955). Autobiographisches. In P. A. Schilpp (Hrsg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Stuttgart 1955.
- Fischler H. & Peuckert, J. (1999). Stabilität und Ausprägung der im Physik- und Chemieunterricht der Sekundarstufe I erworbenen Wissensstrukturen im Bereich des Atombegriffs. Online im Internet: URL: <http://www.physik.fu-berlin.de/~fischler/Bericht%20DFG.pdf>. [Stand 2007-02-08]
- Gelman, R. & Greeno, R. (1989). On The Nature of Competence: Principles for Understanding in a Domain. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning and instruction*, (S. 125-186). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Grygier, P., Günther, J. & Kircher, E. (Hrsg.) (2004). *Über Naturwissenschaften lernen. Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule*. Baldmannsweiler: Schneider Verlag.
- Günther, J., Grygier, P., Kircher, E., Sodian, B. & Thoerner, C. (2004). Studien zum Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule. Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 93-113). Münster: Waxmann.
- Halloun, I. (2001). Student views about science: a comparative survey. Beirut.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' view on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25, 1369-1386.

- Kircher, E. (1995). Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen. Kiel: IPN.
- Kuhn, T.S. (1962). Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt: Suhrkamp.
- Kircher, E., Girwitz, R. & Häußler, P. (2000). Physikdidaktik. Eine Einführung in Theorie und Praxis. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- Kircher, E. & Dittmer, A. (2004). Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften – ein Überblick. In C. Hößle, D. Höttecke, & E. Kircher (Hrsg.), Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften (S. 2-22). Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Leisner, A. (2005). Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. Eine Evaluationsstudie in der Sekundarstufe I. Berlin: Logos Verlag.
- Leisner, A. & Mikelskis, H. F.(2003). Untersuchung der langfristigen Entwicklung metakzeptueller Kompetenz im Physik- und Chemieunterricht. In A. Pitton (Hrsg.), Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 23 (S. 138-140). Münster: LIT-Verlag.
- McComas, W. F. & Olsen, J. K. (1998). The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In W. F. McComas (Ed.), The Nature of Science in Science Education Rationales and Strategies (pp. 41-52). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- 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. & Leisner, A. (2004). Systematisches und bewusstes Lernen über Modelle. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften (S. 130-147). Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Mikelskis-Seifert, S. & Leisner, A. (2005). Transferfähigkeit einer Modellkompetenz zur Teilchenstruktur der Materie. In A. Pitton (Hrsg.), Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 25 (S. 454-456). Münster: LIT-Verlag.
- Oeser, E. (2003). Popper, der Wiener Kreis und die Folgen. Die Grundlagendebatte der Wissenschaftstheorie. Wien: WUV.
- Popper, K. R. (2004). Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis, Geschichte und Politik. Jubiläums-Edition. München, Zürich: Piper.
- Sodian, B., Thömer, C., Kircher, E., Grygier, P. & Günther, J. (2002). Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), Zeitschrift für Pädagogik 45. Beiheft: Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen (S. 192-206). Weinheim und Basel: Beltz.
- Rehfus, W. D. (Hrsg.) (2003). Handbuch Philosophie. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Rost, J. (1996). Lehrbuch Testtheorie Testkonstruktion. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- Van Driel, J. H. & de Jong, O. (2003). Investigating the development of teachers knowledge of models and modelling in science. Paper presented at the 4th ESERA Conference, Noordwijkerhout 2003.
- Vollmer, G. (1998). Evolutionäre Erkenntnistheorie. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie. Stuttgart, Leipzig: Hirzel Verlag.
- Vosniadou, S. & Ioannides, C. (1998). From a conceptual development to science education. A psychological point of view. International Journal of Science Education, 20, 1213-1230.
- Wagenschein, M. (1995). Die pädagogische Dimension der Physik. Aachen-Hahn: Hahner Verlagsgesellschaft.
- Weinert, F. E (1999). Concepts of Competence. Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations (DeSeCo). München: MPI for Psychological Research.

Dr. A. Leisner-Bodenthin promovierte an der Universität Potsdam zum Thema „Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht“. Derzeit arbeitet sie als Referendarin am Ernst-Haeckel-Gymnasium in Werder/Havel.

E-Mail: [antje@get3d.de](mailto:antje@get3d.de)