

Lernunterstützende Maßnahmen im (naturwissenschaftlichen) Modellierungsprozess

Ausgehend vom Lernen mit Analogien soll die Bedeutung von Modellen im sachunterrichtlichen Lernen dargelegt, der Prozess des Modellierens beschrieben und erläutert werden, wie Modellieren unterstützt werden kann. Nach der Darstellung der Bedeutung von Analogiebildung für den Lernerfolg im naturwissenschaftlichen Unterricht soll der Prozess der Analogiebildung mit Blick auf eine fachdidaktische Unterstützungsmaßnahme dargestellt werden. Fokussiert wird dann auf die Unterstützung von Analogiebildungsprozessen durch den Einsatz von konkreten Analogiemodellen. Hierbei spielt ein kompetenter Umgang mit Modellen eine wesentliche Rolle.

Im Alltag spielen das Vergleichen, das Bilden von Analogien und damit das transduktive Denken (Spreckelsen 1997) bzw. das Ziehen von Analogieschlüssen eine wichtige Rolle. Diese vergleichenden, übertragenden Tätigkeiten und Denkprozesse stellen auch im Unterricht eine bedeutsame Maßnahme dar, um Lernen zu unterstützen (vgl. z.B. Black & Solomon 1987; Dudeck 1997; Haider 2010); im Bereich des naturwissenschaftlichen Lernens sind sie häufig sogar unverzichtbar. Hesse (1991) ordnet Analogiebildungen nach ihrer Funktion in Zuordnen, Verstehen und Problemlösen. Analogiebildung kann jedoch nur lernunterstützend wirken, wenn der Lerner den Analogieschluss selbst zieht. Hierzu muss er unterschiedliche Dinge aufeinander beziehen, ein mentales Modell bzw. ein „Bild“ von der Wirklichkeit entwickeln, das mit Hilfe eines analogen „Bildes“ aus einem bekannten Bereich leichter verstanden werden kann.

1. Wie können Analogiebildungsprozesse das Lernen unterstützen?

Analogien (von griech. *αναλογία* Ähnlichkeit) sollen zwischen (sich entsprechenden) Gegenständen oder Vorgängen Beziehungen durch Ähnlichkeiten aufbauen. Dabei ist zunächst nur das Vorhandensein dieser Beziehung als Analogie zu sehen. Analogiebildung ist ein gängiges Mittel zur Unterstützung von Lernprozessen, deren Effektivität jedoch nicht unbestritten ist und die es im Einzelfall zu prüfen gilt (Kircher et al. 2009).

Warum kann von Analogiebildungen eine lernunterstützende Wirkung erwartet werden?

Die Bedeutung von Analogien als didaktisches Mittel im naturwissenschaftlichen Unterricht wird in verschiedenen Studien betont, die sich aber fast ausschließlich auf ältere Lerner (ab Sekundarstufe I, Ausnahme: Haider 2010) beziehen. Es werden insbesondere kognitive Gründe für deren Nutzen genannt: Nach Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou und Papademetriou (2001) sowie nach Posner, Strike, Hewson und Gertzog (1982) unterstützt Analogiebildung Konzeptwechsel. Kognitive Konflikte und analoges Denken haben beim Wissensaufbau eine komplementäre Funktion (Caravita 2001); Analogien fördern ein vertieftes Verständnis von komplexen Sachverhalten (Kurtz, Miao & Gentner 2001). Zusätzlich lässt sich durch die Nutzung von Analogien ein höheres Lernniveau erreichen (Duit, Treagust & Widodo 2008).

Gentner, Loewenstein und Thompson (2003) betonen die Bedeutung des Vergleichs für den Lernprozess, Duit und Glynn (1995) die motivierende Wirkung, weil auf Bekanntes zurückgegriffen werden könne. Nach Black und Solomon (1987) ermöglicht der Gebrauch von Analogien bei abstrakten Lerninhalten vor allem leistungsschwächeren Schülern ein schnelles erstes Verständnis und wirkt sich so fördernd auf das Selbstvertrauen aus.

Wie können in der Fachdidaktik Analogien genutzt werden?

Analogien werden in der Fachwissenschaft und in der Fachdidaktik eingesetzt, doch der Einsatz unterscheidet sich in der Nutzung: Während Analogien in der Fachwissenschaft vorrangig zur Erkenntnisgewinnung verwendet werden, werden sie in der Didaktik zur Erkenntnisvermittlung genutzt. So werden Analogien im Unterricht – z.B. in der Elektrizitätslehre – häufig eingesetzt, um wenig anschauliche physikalische Sachverhalte (wie z. B. den Kreisfluss der Elektronen im Stromkreis Stromkreislauf) verständlich zu machen und somit Konzeptwechsel zu unterstützen. Die

Zitationsvorschlag: Haider, Michael & Haider, Marika: Lernunterstützende Maßnahmen im (naturwissenschaftlichen) Modellierungsprozess. In: www.widerstreit-sachunterricht.de, Nr. 24, Oktober 2018 (11 Seiten)

visuelle Darstellung kann dann dazu beitragen, Vorstellungen bei solchen Inhalten anzuregen, die in der Realität zu groß, zu klein, zu schnell oder zu langsam sind. Auch wenn Analogien damit nicht zwingend eine belegende Funktion haben, dienen sie als didaktisches Mittel zur Veranschaulichung von unanschaulichen und komplexen Inhalten. Im Konzeptwechselprozess kann dies vor allem dazu beitragen, für die Lernenden neue Vorstellungen verständlicher zu machen (vgl. „intelligible“, Posner et al 1982). Analogien haben dann eine Mittler- bzw. eine Brückenfunktion zwischen „primärem“ und „sekundärem Lernbereich“ (vgl. u. a. Gentner 1988; Duit, Roth, Komorek & Wilbers 2001).

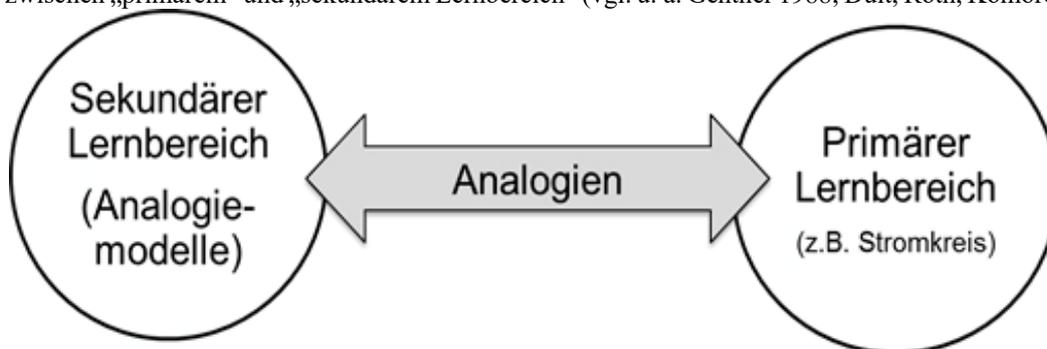


Abb. 1: Analogiebildung (siehe auch Mikelskis-Seifert & Fischler 2003; Gentner 1980; Duit 1995)

Diese in der Fachdidaktik zugeschriebene Brückenfunktion (Duit & Glynn 1995) oder Mittlerfunktion (Kircher 1995) kann folgendermaßen erklärt werden: Schüler/innen greifen auf ihr Wissen in einem sekundären Bereich (z. B. Gentner 1988) zurück, um im primären Lernbereich bzw. auf den primären Lernbereich Analogieschlüsse zu ziehen (vgl. u. a. Hesse 1991; Kircher 1995; Duit & Glynn 1995; Spreckelsen 1997; Duit 2001; vgl. auch Abb. 1). Dies entspricht der Forderung Weinerts (2001), „intelligentes Wissen“ aufzubauen und Wissen zu vernetzen. Der vermittelnden Funktion zwischen den beiden Lernbereichen liegt zugrunde, dass die Schüler/innen an der Stelle des Übertragens vom sekundären auf den primären Lernbereich den Analogieschluss vollziehen, also aktiv Analogiebildung betreiben. Kircher betont deshalb explizit die aktive Rolle des Schülers (vgl. Abb. 2).

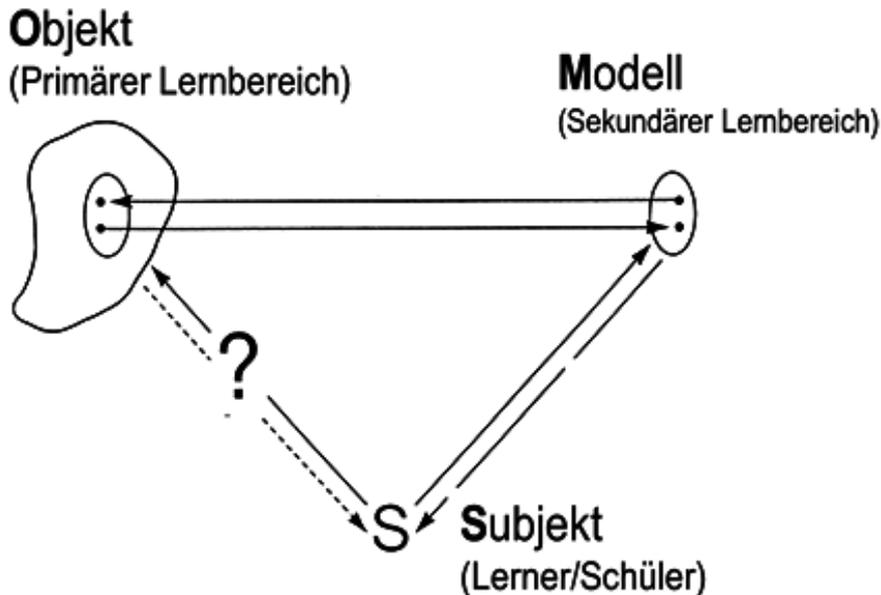


Abb. 2: Analogiebildung mit Einbezug des Schülers (nach Kircher 1995)

Der Analogiebildung liegt die Annahme zugrunde, dass es dem Lerner gelingt, bei der Auseinandersetzung mit dem sekundären Lernbereich (abstrakte) Vorstellungen (Modellierungen) aufzubauen, die Vergleiche bzw. Parallelen zum Primärbereich nahelegen. Um diesen Prozess zu erleichtern, werden im Sekundärbereich häufig (Analogie-)Modelle eingesetzt. ‚Modell‘ meint hier, dass ein (konkreter) Gegenstand stellvertretend für den primären Lernbereich betrachtet werden kann.

Diskussion zum Einsatz von Analogien

Analogien sind in der Fachliteratur nicht unumstritten (vgl. z.B. „friend or foe“, Harrison & Treagust 2006; „double-edged sword“, Glynn 1989), da sie nicht nur Vorteile, sondern auch einige Probleme mit sich bringen können. Nach Klauer und Leutner (2007) gibt es neben umfangreichen empirischen Forschungsergebnissen zu positiven Effekten von Analogien im Lernprozess auch Untersuchungen, in denen fehlerhaftes Lernen bzw. Lernprobleme festgestellt wurden. Durch Abstraktionen und Vereinfachungen, die den Analogien zugrunde liegen, können spätere Lernaktivitäten gehemmt oder behindert werden („Analogien als Krücken“, Kircher 1995). Dies ist dann der Fall, wenn durch die Wahl des Analogiebereichs Verstehensprozesse eingeschränkt oder gar verhindert werden. Es können Fehlkonzepte entstehen, wenn Reduzierungen, Verkleinerungen, Vereinfachungen bzw. Erweiterungen als „das Echte“ und nicht als Analoges wahrgenommen werden. So werden beispielsweise häufig die Bindungsstriche in Gitterdarstellungen als auch in der Realität vorhandenes Baumaterial gesehen (vgl. Bleichroth 1989) und nicht als Veranschaulichung zwischenatomarer Kräfte. Ein möglicher Weg, dies zu umgehen, ist der Einsatz verschiedener Analogien (multiple Analogien, Duit & Glynn 1995; transduktives Verstehen in Phänomenkreisen, Spreckelsen 1997). So müssten zwischenatomare Kräfte im Beispiel von vorhin auf unterschiedliche Art und Weise dargestellt werden, so dass sich die Materiestruktur der Bindung nicht einprägt. Dabei werden unter Rückgriff auf Bekanntes zusätzlich jeweils neue Perspektiven eröffnet (vgl. Duit & Glynn 1995, S. 48). Anhand mehrerer Analogien kann dann erkannt werden, worin die Reduzierungen, Verkleinerungen, Vereinfachungen etc. bestehen.

Probleme, die beim Lernen mit Analogien entstehen können, machen deutlich, dass Analogieschlüsse vom sekundären auf den primären Lernbereich keine Selbstläufer sind, sondern der Unterstützung im Unterricht bedürfen. Als Maßnahme der Veranschaulichung können (konkrete) Modelle eingesetzt werden.

2. Externalisierte (Analogie-)Modelle als unterstützende Maßnahmen bei der Analogiebildung

Modelle weisen nach Stachowiaks allgemeiner Modelltheorie (1973) die *Hauptmerkmale* Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal und pragmatisches Merkmal (in unterschiedlich starken Ausprägungen) auf. Modelle bilden nach diesem Ansatz immer etwas ab, was z.B. in Form von ikonischen, gegenständlichen oder auch mentalen Repräsentationen (z.B. Abbildung von Lichtstrahlen oder die Vorstellung von Atomen im Bohr'schen Atommodell) realisiert werden kann. Dabei erfassen die Modelle jedoch nicht alle Merkmale und Attribute des repräsentierten Originals, sondern reduzieren aus pragmatischer Perspektive auf die, die den „Modellschaffenden“ oder Modellnutzern als relevant erscheinen. Schließlich sind Modelle ihren Originalen nicht per se zugeordnet, sondern es finden modellnutzende, zeitliche oder auf Operationen beschränkte Zuordnungen statt (Stachowiak 1973).

Modellen werden verschiedene *Funktionen* zugeschrieben. Hierzu zählen die Vereinfachung und Reduktion komplexer Phänomene auf wesentliche Merkmale, die Veranschaulichung, die Analogiebildung und die Simulation, um Vorhersagen treffen zu können. Diese vier Merkmale fasst Seel (1991) unter dem Begriff der *didaktischen Funktion* von Modellen zusammen und überträgt diese auch auf mentale Modelle. Damit schreibt er einem Teilprozess des Denkens (der Bildung von mentalen Modellen) eine didaktische Funktion im Erklärungsprozess von Phänomenen zu. Diese didaktischen Funktionen sind es, die Modelle im Unterricht – besonders im naturwissenschaftlichen Unterricht – einerseits zum Medium, also zum Hilfsmittel im Lernprozess, werden lassen (Kattmann 2006). Gilbert (2004) beschreibt dies als „*to be model of something*“. Andererseits können Modelle (als Methode auf der Metaebene) selbst zum Unterrichtsinhalt werden. Nach Gilbert (2004) könnte man dies mit „*to be model for something*“ beschreiben. Deshalb kommt ihnen als Medium und Methode eine Doppelrolle im naturwissenschaftlichen (Sach-) Unterricht zu.

Modelle als Repräsentationen von Vorstellungen über die Realität können auf unterschiedliche Aspekte fokussieren, auf Ähnlichkeitsmerkmale oder auf strukturelle Merkmale. Zum Beispiel sieht ein Modell des menschlichen Auges, das im Biologieunterricht eingesetzt wird, meist ähnlich aus wie ein menschliches Auge; das Modell eines Auges im Physikunterricht, bei dem Linsen auf einer optischen Bank angeordnet sind, sieht hingegen auf den ersten Blick nicht aus wie ein Auge, sondern bildet lediglich dessen Struktur ab. Die Nutzung der Modelle kann dementsprechend unterschiedlich sein. So kann je nach Erkenntnisziel *Oberflächen-* oder *Strukturähnlichkeit* im Vordergrund stehen. Ziel eines (bewussten) Einsatzes von Modellen im Unterricht ist es, Lernprozesse dementsprechend gezielt zu unterstützen. Dies kann jedoch nur erfolgen, wenn Schüler/innen die Modelle auch kompetent nutzen oder bilden können (siehe P. 3).

Zur Begrifflichkeit: Analogie – Modell – Analogiemodell

Die Begriffe „Modell“ und „Analogie“ werden von verschiedenen Autoren unterschiedlich genutzt. Mikelskis-Seifert, Thiele & Wünscher sprechen daher in diesem Zusammenhang sogar von einem „babylonischen Sprachgewirr“ (2005, S. 32; weitere Ausführungen zu den vielfältigen Begriffen finden sich auch bei Lesh & Lehrer 2003; Gentner 1980; Hesse 1991; Kircher 1995, Grygier, Günther & Kircher 2007). So wird der Modellbegriff u. a. in folgender Weise eingesetzt: Modell als Prototyp (z.B. Automodelle für den Windkanal), Modell als gegenständliches Modell (z.B. Modell einer Dampfmaschine), Modell als Beispiel für etwas (Modellversuch, Modellstudiengang), Modell als theoretisches Modell oder Modellvorstellung (z.B. "Lichtstrahl"); Analogiemodell als Besonderheit von Modell, Modell als Besonderheit von Analogiemodell. Bisweilen werden die Begriffe „Modell“ und „Analogie“ sogar synonym oder auch in Form einer Verknüpfung als „Analogiemodell“ („analogical model“) verwendet (vgl. z.B. Mikelskis-Seifert et al. 2005; Gentner 1980; Duit 1995). Unter dem Begriff „Analogiemodell“ werden dann gegenständliche Darstellungen theoretischer Modelle verstanden, anhand derer das Wissen, das im sekundären Lernbereich (am Analogiemodell) aufgebaut wurde, durch Analogieschlüsse auf den Primärbereich übertragen werden kann.

Es erscheint uns angebracht, dass die Unterscheidung zwischen Modell und Analogiemodell am Lernbereich festgemacht wird: Lässt ein Modell einen Analogieschluss auf einen anderen Lernbereich zu, so kann man von einem Analogiemodell sprechen (ein Beispiel für ein Analogiemodell wäre das Wasserkreis-Modell für den Stromkreis, vgl. z.B. Kircher 1995; Haider 2010). Steht das Modell für etwas aus dem gleichen Lernbereich (z.B. das Modell des Lichtstrahls zur Erklärung von Schattenbildung), so sollte der Begriff „Modell“ verwendet werden.

3. Lernen mit Modellen und über Modelle

Ziel eines bewussten Einsatzes von Modellen im Unterricht ist es, Lern- und Verständnisprozesse im Sinne von Analogiebildungen zu unterstützen (Clement 2000; Gobert & Pallant 2004; Schwarz & White 2005; Leisner 2005). Der (kompetente) Umgang mit Modellen, der international und national als wesentlicher Bestandteil naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen gesehen wird (KMK 2005a, 2005b; AAAS 1993; NRC 1996), soll darüber hinaus einen Beitrag zu einem generellen Wissenschaftsverständnis leisten (Carey 1985; Grosslight, Unger, Jay & Smith 1991; Treagust, Chittleborough & Mamiala 2002; Grygier 2008).

3.1 Modellkompetenz beim naturwissenschaftlichen Lernen (Definitionen und Abgrenzungen)

Der Begriff Modellkompetenz bezeichnet allgemein die Fähigkeit, mit Modellen als Medium zum Erwerb von Fachwissen und als Methode zur Gewinnung neuer Erkenntnisse umgehen zu können (Upmeyer zu Belzen & Krüger 2013, S. 7). Verschiedene Ansätze beziehen sich bei der Strukturierung von Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit Modellen auf Hodsons Zielebenen naturwissenschaftlichen Unterrichts: ‚learning science‘ (Aneignung naturwissenschaftlichen Wissens), ‚doing science‘ (Umsetzung fachspezifischer Methoden der Erkenntnisgewinnung) und ‚learning about science‘ (Einblick in das Wesen und die Bedeutung der Naturwissenschaften) (Hodson 1992). Meisert (2008) greift diesen Ansatz für die Biologiedidaktik auf und leitet analog eine Differenzierung von Modellkompetenz in Modellwissen, Modellarbeit und Modellverständnis ab.

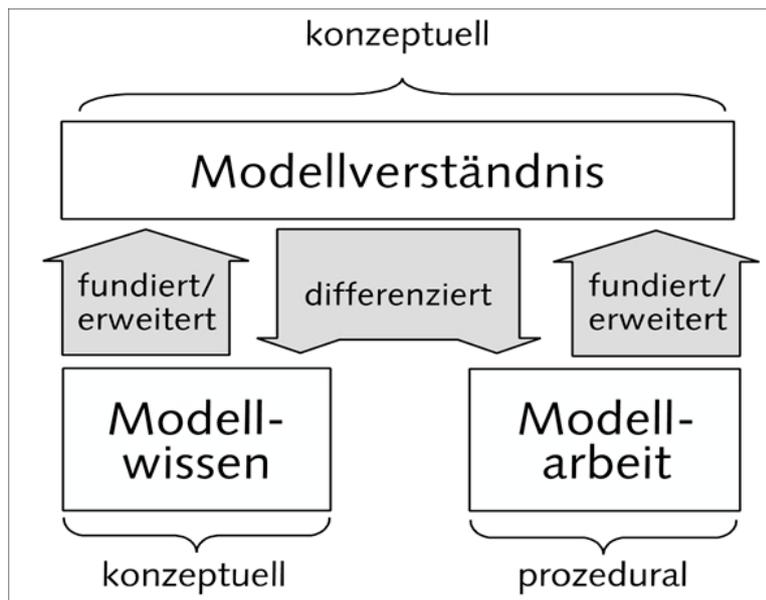


Abb. 3: Dimensionen der Modellkompetenz und Wechselwirkungen (Meisert 2008)

Das konzeptuelle *Modellwissen* beinhaltet dabei die Kenntnis grundlegender Modelle der (Bio-)Wissenschaften und ist der Dimension des Fachwissens zuzuordnen. Unter *Modellarbeit* werden die prozeduralen Kompetenzen aufgefasst, Modelle zu nutzen bzw. selbst (weiter) zu entwickeln. Das *Modellverständnis* stellt eine übergeordnete Dimension dar, die als Teil eines adäquaten „Nature-of-Science-Konzepts“ verstanden wird. Meisert sieht darin eine Form des Verstehens der Bedeutung von Modellen und Modellarbeit (ebd.).

Leisner (2005, 2006) definiert Modellkompetenz unter Berücksichtigung der Kompetenzdefinitionen aus der Pädagogik (Weinert 1999) und Psychologie (Gelman & Greeno 1989) für den Physikunterricht als Disposition des Lerner, prozedurale und deklarative Anforderungen im Umgang mit Modellen im schulischen Kontext zu bewältigen. Das *deklarative Wissen* umfasst ein Modellverständnis (Wissen über Modelle als Konstrukte des Menschen zur Erklärung, Vorhersage oder Veranschaulichung; Wissen über Abstraktionen bei der Modellentwicklung; Zweckmäßigkeit von Modellen; hypothetischer und vorläufiger Charakter von Modellen) sowie Wissen zu Inhalt und Eigenschaften von Modellen, zu bestimmten Annahmen und Idealisierungen. Die Fähigkeit, das deklarative Wissen über Modelle zum Problemlösen anzuwenden, wird dem *prozeduralen Wissen* zugeordnet. Diese Komponente ist u. a. durch die bewusste Unterscheidung von Phänomen und Modell, durch eine angemessene Auswahl, Anwendung und Wertung von Modellen oder durch die Reflexion über Modelle und über das Modellieren gekennzeichnet. Der *Selbstständigkeitsgrad* äußert sich in der Umsetzbarkeit des deklarativen und prozeduralen Wissens in unterschiedlichen und unbekanntem Situationen. Darüber hinaus unterscheidet Leisner-Bodenthin (2006) zwischen *domänenspezifischer* und *domänenübergreifender* Modellkompetenz.

In angloamerikanischen Beschreibungen der Modellkompetenz (vgl. Baek et al. 2011; Schwarz & White 2005; Schwarz et al. 2009) werden ein Meta-Wissen, d. h. Vorstellungen über Modelle bzw. Modellbildung („*metamodeling knowledge*“: Verständnis der Natur und des Zwecks von Modellen) und praktische Fähigkeiten beim Umgang mit Modellen („*elements of the practice*“: Konstruieren, Anwenden, Vergleichen, Beurteilen, Überarbeiten von Modellen) kombiniert.

Die Definition von Modellkompetenz durch Lange und Hartinger (2014) entspricht der Strukturierung der vorangegangenen angloamerikanischen Beschreibungen in praktisches sowie deklaratives Wissen beim Lernen mit Modellen und über Modelle. Ihr Ansatz, der sich im Gegensatz zu den anderen beschriebenen Konzeptionen auch explizit auf den Primärbereich bezieht, unterscheidet *deklarative Elemente*, die Wissen über die Rolle des Modellierens im Erkenntnisprozess, Wissen über Modelle (Wesen und Zweck von Modellen) und die Kenntnis von etablierten Modellen beinhalten, sowie *prozedurale Elemente*, die das Herstellen, Anwenden und Testen bzw. Überarbeiten von Modellen umfassen.

Upmeyer zu Belzen und Krüger führen die beschriebenen Ansätze in Ergänzung mit Studien von Crawford und Cullin (2005), Justi und Gilbert (2002) und Grosslight, Unger, Jay und Smith (1991) zusammen und definieren Modellkompetenz im Biologieunterricht wie folgt: „Modellkompetenz umfasst die Fähigkeiten, mit Modellen

zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden“ (Upmeier zu Belzen & Krüger 2010, S. 49). Ihr Ansatz differenziert wiederum zwischen einer eher deklarativen Dimension ‚*Kenntnisse über Modelle*‘ und einer eher prozeduralen Dimension ‚*Modellbildung*‘. Die Dimension ‚*Kenntnisse über Modelle*‘ unterscheidet die Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* (Verständnis von Modellen als gegenständliche oder gedankliche Rekonstruktionen; Einschätzung der Ähnlichkeits- bzw. Abstraktionsgrade) und *Alternative Modelle* (Vorstellungen zur Frage, warum es verschiedene Modelle zu einem Ausgangsobjekt geben kann). Die Dimension ‚*Modellbildung*‘ drückt sich in Fähigkeiten bei der Erkenntnisgewinnung mit Modellen aus, welche die Reflexion des Modellbildungsprozesses sowie das Urteil über Modelle miteinschließen. Der *Modellbildung* sind die Teilkompetenzen *Zweck, Testen* und *Ändern von Modellen* zugeordnet. In Anlehnung an die drei Levels des Denkens über Modelle von Grosslight et al. (1991) (1. Naives Modellverständnis, das Modelle in erster Linie als 1:1-Kopie der Wirklichkeit versteht; 2. Einbezug der Zweckausrichtung von Modellen und der Rolle des Modellierers, mögliche Vereinfachungen und Hervorhebungen am Modell; 3. Modelle als Instrumente zur Ideenentwicklung und -testung des Modellierers) graduieren Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) die fünf Teilkompetenzen jeweils in drei Niveaus, die sich durch steigende Reflektiertheit auszeichnen und darin unterscheiden, welche Aspekte von Modellen maßgeblich in den Blick genommen werden: Betrachtungen bezüglich des Modells als selbständiges Objekt (Niveau I), Herstellung einer Beziehung zwischen Ausgangs- und Modellobjekt (Modell von etwas; Niveau II) und Anwendung des Modells für Voraussagen und das Gewinnen neuer Erkenntnisse (Modell für etwas; Niveau III).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die oben erläuterten Ansätze zum Lernen mit Modellen und über Modelle zwar unterschiedliche Termini für die Teilkomponenten von Modellkompetenz verwenden. Zur Beantwortung der Frage, was Modellkompetenz ausmacht, lassen sich aber Übereinstimmungen finden: Den Ansätzen ist gemeinsam, dass sie jeweils *deklarative Elemente* (metakognitives Wissen zu Modellen, d. h. Verständnis von Modellen und ihren Eigenschaften) und *prozedurale Elemente* (Fähigkeit, mit Modellen umzugehen und konkrete Modelle anzuwenden) als Dimensionen von Modellkompetenz beschreiben. Als weitere Ausdifferenzierung lässt sich die Einbindung von *abstrakten* und *spezifischen* Facetten beim Lernen mit Modellen und über Modelle ausmachen. Modellkompetenz umfasst entsprechend abstrakte, kontextunabhängige Vorstellungen zu Modellen im Allgemeinen genauso wie konkrete Konzepte in Bezug auf den Umgang mit spezifischen Modellen. Wissen und Können beim Lernen mit Modellen können also sowohl domänenübergreifend, d. h. im Sinne einer *allgemeinen Modellkompetenz*, als auch kontextspezifisch, also als *spezifische Modellkompetenzen* beim Umgang mit speziellen Modellen angebahnt werden.

Zu berücksichtigen ist, dass die genannten Ansätze mit Ausnahme des Ansatzes von Lange und Hartinger (2014) mit Blick auf Lernende der Sekundarstufe entwickelt worden sind und mit Ausnahme des Kompetenzmodells von Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) empirisch nicht überprüft worden sind. Zur strukturierten Diagnose und gezielten Förderung von Modellkompetenz bei Grundschulern bedarf es eines Kompetenzmodells, das die relevanten Ergebnisse der vorliegenden Ansätze für den Primarbereich integriert und durch empirische Überprüfung ein verlässliches Instrument zur Erhebung von Modellkompetenz in der Grundschule darstellt (Haider in Druck). Für die inhaltliche Beschreibung von Modellkompetenz im naturwissenschaftlichen Sachunterricht (s. Tab. 1) kann auf allgemeiner Ebene insbesondere das Bewusstsein für den Modellbegriff und für grundlegende Eigenschaften von Modellen als relevant erachtet werden (vgl. u.a. Haider & Haider 2018; Lange & Hartinger 2014; Leisner 2005; Schwarz et al. 2009; Upmeier zu Belzen & Krüger 2010). Dabei sind die Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Modell und Original ebenso von Bedeutung wie das Erkennen von Unterschieden, Abstraktionen und Grenzen von Modellen. Im Sinne eines elaborierten Verständnisses von Modellen (er)kennen Lernende verschiedene Arten von Modellen als Repräsentationen eines Originals, und ihnen ist der Zweck von Modellen zur Erklärung, Veranschaulichung oder Vorhersage, aber auch die Vorläufigkeit und die begrenzte Gültigkeit von Modellen bewusst (vgl. Lange & Hartinger 2014; Leisner-Bodenthin 2006; Schwarz et al. 2009; Upmeier zu Belzen & Krüger 2010). Auf spezifischer Ebene, d. h. im konkreten Umgang mit Modellen, ist zunächst das Verständnis des jeweiligen Modells selbst (Aufbau und Funktionsweise) elementar, um das Modell dann über Analogieschlüsse auf reale Phänomene oder Objekte zu übertragen und das Modell gewinnbringend im Lern- und Erkenntnisgewinnungsprozess zu nutzen (vgl. Meisert 2008; Leisner-Bodenthin 2006; Schwarz et al. 2009).

Tab 1: Kategorisierung von Modellkompetenz in der Grundschule

ALLGEMEINE MODELLKOMPETENZ (metakognitives Wissen über Modelle)	SPEZIFISCHE MODELLKOMPETENZ (Umgang mit Modellen)
<ul style="list-style-type: none"> • Modellbegriff • Arten/ Realisierungsformen von Modellen • Eigenschaften von Modellen (Ähnlichkeiten, Unterschiede, Vereinfachungen, Idealisierungen) • Zweck von Modellen • Gültigkeit und Grenzen von Modellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau und Funktion des Modells • Transfer zwischen Modell und Realität • Nutzung des Modells für die Erkenntnisgewinnung

3.2 Der Prozess der Modellierung

Ergebnisse von „Modellierungen“ sind mentale Modelle – das sind Abbilder der Realität „im Kopf“ oder auch externalisierte Modelle als Abbilder mentaler Modelle. „Ein mentales Modell ist eine pragmatisch bedeutsame kognitive Konstruktion, mittels derer das modellschaffende kognitive System zum Ausdruck bringt, wie es die Welt ‚sieht‘ und versteht; es wird so lange beibehalten, wie es Plausibilität in Bezug auf die Welt erzeugt“ (Seel 1991, S. 20).

In der Literatur ist der Begriff der Modellierung nicht eindeutig gefasst. Unter Modellierung wird einerseits Modellentwicklung oder Modellbildung bzw. Modellkonstruktion, also die „Produktion“ eines Modells, das für etwas steht, verstanden. Diese Art der Modellierung wird in der angloamerikanischen Literatur mit ‚modeling‘ bezeichnet (z.B. bei Schwarz et al. 2009); dieser Kennzeichnung schließen wir uns an und plädieren dafür, ‚modeling‘ mit ‚Modellbildung‘, ‚Modellkonstruktion‘ oder ‚Modellentwicklung‘ und nicht mit ‚Modellierung‘ zu übersetzen. Der Begriff Modellierung hat in verschiedenen Disziplinen und bei verschiedenen Autoren (z.B. bei Schupp 1988; Seel 1991; Martschinke 1993; Blum 1993; Barwanietz 2005) nicht nur den Prozess der Schaffung dieses einen Modells, sondern den gesamten Prozess im Blick, der ein Modell der „Wirklichkeit im Kopf“ entstehen lässt. Unter Modellierung kann also auch der Lern- oder Verstehensprozess (bzw. der Teil des Lernprozesses) verstanden werden, bei dem von Lernenden Vorstellungen und Erklärungen von Phänomenen gebildet werden. Dabei werden Beobachtungen mit bereits vorhandenem Wissen abgeglichen und Erklärungsansätze entwickelt. Für das Beobachtete wird ein gedankliches Modell erstellt, das mit bisherigem Wissen verknüpft wird. Hier lässt sich die Theorie zur Modellierung an die Ideen des Konstruktivismus andocken.

Die Erklärungsmächtigkeit eines erstellten Modells ist abhängig von der *Modellierungsfähigkeit*, die eine Person in einer spezifischen Situation aufbringen kann. Unter naturwissenschaftlicher Modellierungsfähigkeit kann – parallel zur mathematischen Modellierungsfähigkeit (Barwanietz 2005) – die Fähigkeit verstanden werden, ein bisher entwickeltes Modell durch kognitive Aktivitäten mit einer neuen Problemsituation (einem Phänomen) zu verknüpfen. Der zentrale Aspekt, welcher Modellierungsfähigkeit kennzeichnet, ist die kognitive Aktivität. Dabei wird eine kognitive Verbindung zwischen der Realsituation (des Phänomens oder der Alltagserscheinung) und der Ebene der (naturwissenschaftlichen) Erklärungen (Relationen und Begriffe) geschaffen.

Modellierung als Lernprozess

Menschen nehmen Situationen und Phänomene auf vielfältigste Weise wahr. Beeinflusst von ihren Vorerfahrungen, den individuellen Vorkenntnissen und der Einordnung in die eigenen semantischen Netze werden Phänomene interpretiert und erklärt.

Dabei sortiert unsere Wahrnehmung das Phänomen zunächst nicht fachspezifisch ein. Beispielsweise lässt ein Regenbogen den Menschen nicht per se zunächst an Physik und Lichtbrechung oder an Psychologie hinsichtlich der Wirkungen unterschiedlicher Farben denken. Phänomene können aus verschiedenen Perspektiven wahrgenommen werden. Die verschiedenen Perspektiven der Kinder auf ihre Lebenswelt sind zunächst noch nicht gewichtet und stehen oft gleichbedeutend nebeneinander. Erst der Versuch, sich ein Phänomen zu erklären und mit einer gezielten Fragestellung zu untersuchen, führt dazu, dieses in einzelnen Disziplinen, wie sie die Sekundarstufe kennt, zu betrachten. So wird erst dann, wenn z.B. versucht wird, die Entstehung des Regenbogens zu erklären, auf physikalische Denkansätze zurückgegriffen. Speziell in diesem Fall müsste dann ein Bezug zur Lichtbrechung an einer Regenfront hergestellt werden.

In Anlehnung an das Konzept der mathematischen Modellierungsfähigkeit (Barwanietz 2005; Blum 1993; Schupp 1988) kann für den naturwissenschaftlichen Modellierungsprozess folgende Struktur modelliert werden (s. Abb. 4):

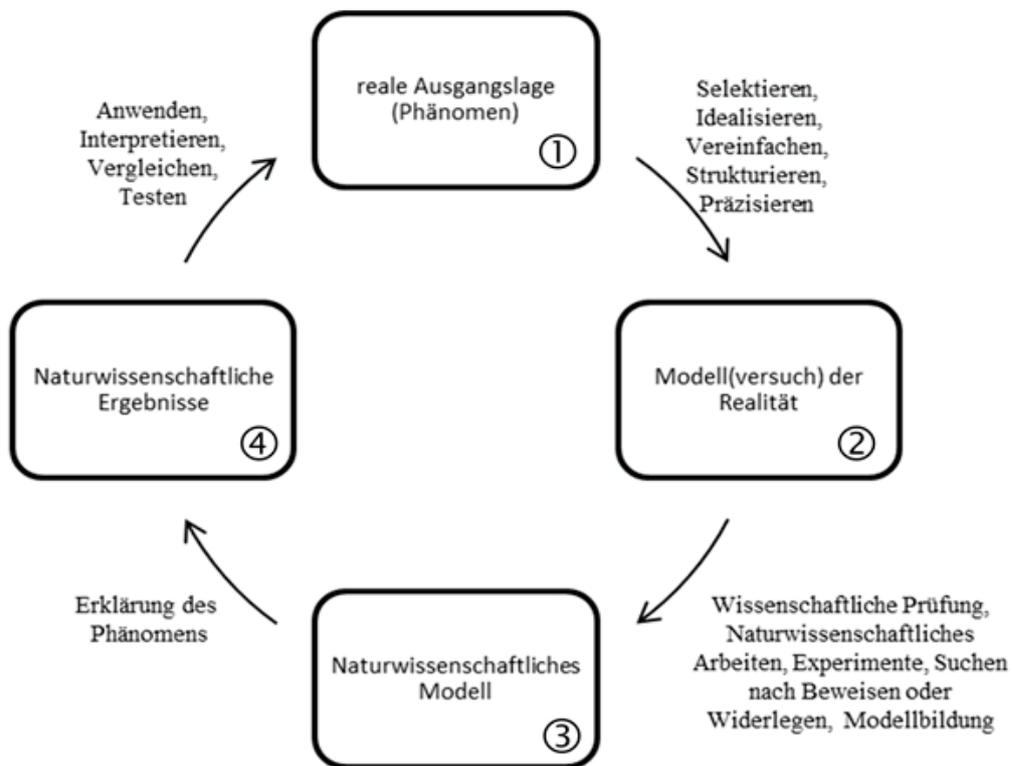


Abb. 4: Struktur des naturwissenschaftlichen Modellierungsprozesses

- 1) Eine *reale Ausgangslage*, ein *Phänomen*, wird zunächst mittels der Sinnesorgane wahrgenommen. Zumeist findet die Wahrnehmung in realen Situationen statt, die in ihrer Komplexität von vielen Faktoren beeinflusst ist. Zur Klärung von Phänomenen ist es deshalb notwendig, Informationen zu filtern und zentrale Aspekte zu *selektieren*. Hilfreich können an dieser Stelle im Lernprozess auch *Vereinfachungen* (z.B. in Form von weniger komplexen oder idealisierten Versuchsanordnungen) sein. Für die Klärung des Phänomens werden zentrale Aspekte (z.B. Lichtbrechung) selektiert und Vereinfachungen (z.B. Reduzierung auf einzelne Tropfen) vorgenommen. Hier hat insbesondere der Aspekt der Fokussierung einen zentralen Stellenwert (vgl. dazu Einsiedler & Hardy, 2010; Hardy, 2012; Haider, Keck, Haider & Fölling-Albers, 2012).
- 2) Analog zum Ansatz in der Mathematikdidaktik muss das Phänomen in einem *Modell* (übertragen auf Naturwissenschaften evtl. auch in einem *Modellversuch*) der *Realität* nachempfunden werden. So kann man, um die Entstehung eines Regenbogens zu verstehen, den physikalischen Vorgang der Lichtbrechung an einem einzelnen Wassertropfen untersuchen. Ein solcher Modellversuch bildet nicht die Realität als Ganzes ab, sondern ist bereits ein Modell, das von dem realen Phänomen unter einer bestimmten (hier physikalischen) Blickrichtung entwickelt wird. Das Modell oder der Modellversuch stellt somit nur objektivierbare Teilaspekte dar (vgl. „Realmodell“ in der Mathematikdidaktik: Henn 1997; Barwanietz 2005). An dem Modell werden (eigene) Hypothesen geprüft (vgl. zum Vorgehen Algorithmus des Experimentierens: Soostmeyer 1978; Beinbrech 2003).
- 3) Im nächsten Schritt wird versucht eine (abstrakte) Erkenntnis zu gewinnen. Die am Modellversuch gewonnene Erkenntnis wird wissenschaftlich geprüft. Mittels Experimenten und Übertragung in ein abstrahiertes (*naturwissenschaftliches Modell*) (z.B. beim Regenbogen das Modell der Brechung von Lichtstrahlen beim Übergang von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium) wird versucht, sich die Funktionsweise – oder zumindest einzelne Teilaspekte davon – zu erklären.
- 4) Auf der Grundlage der mit Hilfe der Modelle formulierten *naturwissenschaftlichen Ergebnisse* können entweder neue Phänomene erklärt oder es kann unter Umständen das gleiche Phänomen ein weiteres Mal untersucht und mit dem vorherigen Modell verglichen oder überprüft werden. Der Modellierungszyklus kann bei Bedarf im Anschluss erneut durchlaufen werden (vgl. Mathematikdidaktik: Blum 1996; Schupp 1988; vom Hofe 2003; Barwanietz 2005).

4. Fazit

Analogiebildung ist ein wichtiges Mittel sowohl bei der Erkenntnisgewinnung in der Wissenschaft als auch bei der Wissensvermittlung und Erklärung von Phänomenen in der Didaktik. Als Hilfsmittel zur Initiierung von Analogieschlüssen bieten sich insbesondere Analogiemodelle an. Analogiemodelle – als eine besondere Art von Modellen – bieten hauptsächlich über ihre didaktischen Funktionen Anknüpfungspunkte für den Lerner.

Durch Analogiebildung kann ein naturwissenschaftlicher Lernprozess in Gang gesetzt werden. Dieser erfordert häufig Modellierungen von realen Phänomenen. Um letztendlich zu Interpretationen und Erklärungen dieser Phänomene zu gelangen, ist es nötig, sich (über die Modelle) die komplexe Realität zu vereinfachen, zu strukturieren oder zu präzisieren.

Einer der möglichen Zugänge (neben z.B. der Nutzung von Modellierung in phänomenografischen Zugängen) zu Erkenntnisprozessen wäre, dass Modellierung sich in kognitionspsychologische Ansätze einbetten lässt, die ihrerseits Theorien der Assimilation und Akkomodation berücksichtigen. In diesen Ansätzen werden bei einer spontanen Erklärung auf der Grundlage von bereits vorhandenem Wissen mentale Modelle gebildet. Diese kognitive Konstruktion – oder Interpretation der Welt – muss einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden.

Um angebotene Hilfsmittel (konkrete Modelle oder Analogiemodelle) auch adäquat nutzen zu können, muss der Lernende mit diesen Hilfestellungen „kompetent umgehen“ können. Damit ist gemeint, dass allgemeine Modellkompetenzen und modellspezifische Kompetenzen gleichermaßen zur Erklärung eines Phänomens genutzt werden können.

Literaturverzeichnis

- AAAS – American Association for the Advancement in Science (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press.
- Acher, A. (2017). Welche Art von wissenschaftlichem Modellieren ist in der Grundschule angemessen? In: www.widerstreit-sachunterricht.de, Nr. 23.
- Baek, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H. & Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS fifth-grade approach and findings. In M. S. Khine & I. M. Saleh (Hrsg.), *Models and modeling: Cognitive tools for scientific enquiry* (S. 195-218). New York: Springer.
- Barwanietz, T. (2005). Die Förderung der Modellierungsfähigkeit im Mathematikunterricht der Grundschule. - Der Einfluss alltagsnaher und abstrakt-symbolischer Handlungsorientierung auf die mathematische Modellierungsfähigkeit und die Lernmotivation von Grundschulkindern. Dissertation, Universität Regensburg, verfügbar unter <http://epub.uni-regensburg.de/10365/>
- Beinbrech, C. (2003). Problemlösen im Sachunterricht der Grundschule, eine empirische Studie zur Gestaltung von Lehr- Lernumgebungen im Hinblick auf die Förderung des Problemlöseverhaltens im Sachunterricht. Dissertation, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- Black, D. & Solomon, J. (1987). Can pupils use taught analogies for electric current? *School Science Review*, 69, 249-254.
- Bleichroth, W. (1989). Zur bildhaften Darstellung des Teilchenmodells der Materie. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik / Chemie*, 37(48), 315-318.
- Blum, W. (1993). *Anwendungen und Modellbildung im Mathematikunterricht*. Hildesheim: Franzbecker.
- Blum, W. (1996). Anwendungsbezüge im Mathematikunterricht - Trends und Perspektiven. Beiträge zum 7. internationalen Symposium zur Didaktik der Mathematik, 15-38.
- Caravita, S. (2001). A re-framed conceptual change theory? – Commentary. *Learning and Instruction*, 11, 421-449.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Crawford, B. & Cullin, M. (2005). Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modeling. In K. Boersma, H. Eijkelhof, M. Goedhart & O. Jong (Hrsg.), *Research and the Quality of Science Education* (S. 309–323). Dordrecht: Springer.
- Dudeck, W.-G. (1997). Analyse von Denkprozessen in einem analogieorientierten Elektrizitätslehreunterricht - Fallstudie in einer 10. Gymnasialklasse. Aachen: Mainz.
- Duit, R. (1995). Analogien unter der Lupe. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 6(43), 11-14.
- Duit, R. & Glynn, S. (1995). Analogien - Brücken zum Verständnis. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 6(43), 4-10.
- Duit, R., Roth, W.M., Komorek, M. & Wilbers, J. (2001). Fostering Conceptual Change by Analogies - Between Scylla and Carybdis. *Learning and Instruction*, 11, 283-303.
- Duit, R., Treagust, D. & Widodo, A. (2008). Teaching Science for Conceptual Change: Theory and Practice. In S. Vosniadou (Hrsg.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (S. 629-646). New York, London: Routledge.
- Einsiedler, W. & Hardy, I. (2010). Kognitive Strukturierung im Unterricht. Einführung und Begriffsklärungen. *Unterrichtswissenschaft*, 38(3), 194-209.
- Gelman, R. & Greeno, R. (1989). On The Nature of Competence: Principles for Understanding in a Domain. In L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning and instruction* (S. 125-186). Hillsdale: Routledge.
- Gentner, D. (1980). The structure of analogical models in science. Cambridge, Mass: Bolt Beranek and Newman.
- Gentner, D. (1988). Analogical inference and analogical access. In A. Prieditis (Hrsg.), *Analógica* (S. 63-88). Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers.
- Gentner, D., Loewenstein, J. & Thompson, L. (2003). Learning and Transfer: A General Role for Analogical Encoding. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 393-408.

- Gilbert, J. (2004). Models and Modeling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Glynn, S. M. (1989). The teaching with analogies (T.W.A.) model: explaining concepts in expository text. (M. K. D., Hrsg.) *Children's comprehension of narrative and expository text: Research into practice*, 99-129.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school gradents and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 12, 799-822.
- Grygier, P. (2008). *Wissenschaftsverständnis von Grundschulern im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Grygier, P., Günther, J. & Kircher, E. (Hrsg.). (2007). *Über Naturwissenschaften lernen – Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule (2. Aufl.)*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Haider, M. (in Druck). *Modellkompetenz im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Eine empirische Studie zum Lernen mit und über Modelle in der Primarstufe*. Regensburger Dissertation.
- Haider, M. (2010). *Der Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Haider, M., Keck, M., Haider, T. & Fölling-Albers, M. (2012). Die Rolle von Modellen für die Strukturierung naturwissenschaftlicher Lernprozesse. In F. Hellmich (Hrsg.), *Bedingungen des Lehrens und Lernens in der Grundschule (S. 217-220)* Wiesbaden: VS-Verlag.
- Hardy, I. (2012). Kognitive Strukturierung - Empirische Zugänge zu einem heterogenen Konstrukt der Unterrichtsforschung. In F. Hellmich, F. Hoya, & S. Förster (Hrsg.), *Bedingungen des Lehrens und Lernens in der Grundschule - Bilanz und Perspektiven. Jahrbuch Grundschulforschung (S. 51-64)*. Wiesbaden: Springer VS.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. (2006). Teaching and Learning with Analogies: Friend or Foe. In J. B. Aubusson (Hrsg.), *Metaphor and Analogy in Science Education (S. 11-219)*. Berlin: Springer (Netherlands).
- Henn, H. W. (1997). *Mathematik als Orientierung in einer komplexen Welt. Der Mathematikunterricht*, 5, 6-13.
- Hesse, F. W. (1991). *Analoges Problemlösen: eine Analyse kognitiver Prozesse beim analogen Problemlösen*. Weinheim: Psychologie-Verlags Union.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Modeling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*. 24(4), 369-387.
- Kattmann, U. (2006). Modelle. In H. Gropengießer, & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie (7. Aufl.)*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Kircher, E. (1995). Analogien im Sachunterricht der Primarstufe. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 23(5), 192-197.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler P. (2009). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Klauer, K. & Leutner, D. (2007). *Lehren und Lernen. Einführung in die Instruktionspsychologie*. Weinheim: Beltz-PVU.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2004). *Bildungsstandards in Physik für den mittleren Schulabschluss*. Bonn: Kultusministerkonferenz.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz*. München: Wolters Kluwer.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz*. München: Wolters Kluwer.
- Kurtz, K., Miao, C.-H. & Gentner, D. (2001). Learning by Analogical Bootstrapping. *The Journal of the Learning Sciences*, 10(4), 414-446.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91-109.
- Leisner, A. (2005). *Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Lesh, R. & Lehrer, R. (2003). Models and modeling perspectives on the development of students and teachers. *Mathematical Thinking and Learning*, 5 (2&3), 109-129.
- Martschinke, S. (1993). Der Aufbau von Wissensstrukturen im Sachunterricht der Grundschule durch unterschiedliche bildliche Präsentationen. Darstellung einer Pilotstudie. In Ch. Tarnai (Hrsg.), *Beiträge zur empirischen pädagogischen Forschung (S. 101-114)*. Münster/New York: Waxmann.
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis - Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 243-261.
- Mikelskis-Seifert, S. & Fischler, H. (2003). Die Bedeutung des Denkens in Modellen bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen - Stand der Forschung und Entwurf einer Unterrichtskonzeption. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft*, 9, 75-88.
- Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M. & Wünscher, T. (2005). Modellieren – Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *PhyDid (Online-Zeitschrift)*, 4(1), <http://www.phydid.de>, 30-46.
- National Research Council (NRC) (Hrsg.) (1996). *National Science Education Standards*. Washington D.C.: The National Academies Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Schupp, H. (1988). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der Sekundarstufe zwischen Theorie und neuen Impulsen. *Mathematikunterricht*, 34, 5-16.
- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Schwarz, C. V. & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-203.
- Seel, N. M. (1991). *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen: Verlag für Psychologie Hogrefe.
- Soostmeyer, M. (1978). *Problemorientiertes Lernen im Sachunterricht*. Paderborn: UTB Schöningh.

- Spreckelsen, K. (1997). Phänomenkreise als Verstehenshilfe. In W. Köhnlein, B. Maquardt-Mau, & H. Schreier (Hrsg.), *Kinder auf dem Weg zum Verstehen* (S. 11-127). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer.
- Terzer, E. (2013). *Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht – Empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice Items*. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin., Verfügbar unter <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/terzer-eva-2012-12-19/PDF/terzer.pdf>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education* (24), 357-368.
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41-57.
- Upmeyer zu Belzen, A.; Krüger, D. (2013). Lernen mit Modellen. *Grundschule*, 6, 6-9.
- vom Hofe, R. (2003). Grundvorstellungen und Grundbildung (Basisartikel). *Mathematik lehren*, 3, 4-8.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Weinert, F. E (1999). *Concepts of Competence. Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations (DeSeCo)*. München.
- Weinert, F. E. (Hrsg.) (2001). *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim: Beltz.

Dr. Michael Haider, Lehrstuhl für Grundschulpädagogik, Universität Regensburg, Institut für Pädagogik, Fakultät für Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft, Universitätsstraße 31, 93040 Regensburg, E-Mail: michael.haider@ur.de

Marika Haider, Lehrstuhl für Grundschulpädagogik, Universität Regensburg, Institut für Pädagogik, Fakultät für Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft, Universitätsstraße 31, 93040 Regensburg, E-Mail: marika.haider@ur.de