

## Wege zur Modellierungskompetenz von Grundschüler/innen im Sachunterricht

Kim Lange-Schubert, Andreas Hartinger

### Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Lange-Schubert, Kim, and Andreas Hartinger. 2016. "Wege zur Modellierungskompetenz von Grundschüler/innen im Sachunterricht." In *Sachunterricht – zwischen Kompetenzorientierung, Persönlichkeitsentwicklung, Lebenswelt und Fachbezug*, edited by Hartmut Giest, Thomas Goll, and Andreas Hartinger, 66–74. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

### Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright



## **Wege zur Modellierungskompetenz von Grundschüler/innen im Sachunterricht**

*Scientific models, as well as scientific modeling, are an essential part of scientific practices and are aligned – as a component of scientific literacy – with the main objectives of primary school science learning. Empirical results for this topic are scarce, however, particularly at the primary school level. Our research interest aims at the assessment of primary school students' modeling competence, as well as the correlation to other objective criteria and student outcomes for early scientific learning (knowledge development, motivational dispositions) and the promotion of modeling competence by means of different instructional interventions. To achieve this, we developed a theoretical framework for scientific modeling, diagnostic instruments for assessing primary school students' modeling knowledge and skills, as well as interventions to promote modeling knowledge and skills in primary school classes in a national and international collaboration. First results of a pilot study that compares two different instructional approaches to foster modeling competencies are presented here.*

### **1. Modelle und Modellieren im Sachunterricht**

Modelle lassen sich als Medien auffassen, die den individuellen Aufbau von naturwissenschaftlichem Wissen unterstützen. Sie können dabei als möglichst originalgetreue Nachahmung des Originals ohne spezifischen Erklärungsansatz verwendet werden oder bestimmte Strukturen oder Relationen aufzeigen (Meisert 2008). Darüber hinaus können Modelle aber auch von den Lernenden selbst zur Generierung von Erkenntnissen und Theorien (Upmeier zu Belzen/ Krüger 2010) oder zur Klärung eines Phänomens, Systems oder Ereignisses genutzt werden (Meisert a.a.O., Schwarz et al. 2009).

Modelle sowie das wissenschaftliche Modellieren werden international und national als essentieller Bestandteil wissenschaftlicher Denk- und Arbeits-

weisen und somit auch als Teilkomponente von Scientific Literacy – einer naturwissenschaftlichen Grundbildung – gesehen (KMK 2005, NRC 2011) – im angloamerikanischen Sprachraum auch explizit für die Grundschule (z.B. NRC 2011). Im deutschen Sprachraum geschieht dies bislang eher implizit (Conrads 2011). So wird z.B. im Perspektivrahmen für den Sachunterricht (GDSU 2013) ein Schwerpunkt auf den Erwerb von wissenschaftlichen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen auf prozeduraler und metakognitiver Ebene gelegt, der den Umgang mit Modellen einschließt. Zudem ist bei vielen „klassischen“ Themen des Sachunterrichts das Modellieren bzw. der Umgang mit Modellen inhärent (z.B. Nahrungskette, Kreisläufe, elektrischer Strom). So weist ein Großteil der Lehr- bzw. Bildungspläne für die Grundschule den Umgang mit Modellen am Beispiel des Teilchenmodells auf. Modellierungskompetenz umfasst zum einen das wissenschaftliche Modellieren als Handlung, also das selbstständige Entwickeln und Überarbeiten von Modellen. Zum anderen schließt es auch die Fähigkeit ein, mit bestehenden Modellen umzugehen. Dies kann dann weiter in die Kenntnis bestimmter Modelle sowie in das Metawissen über Modelle differenziert werden (vgl. dazu Lange/ Hartinger 2014). Kompetent mit Modellen umzugehen heißt, in beiden Bereichen Fähigkeiten und Kenntnisse zu haben (Baek et al. 2011, Schwarz et al. 2009, Upmeier zu Belzen/ Krüger 2010).

## 2. Wege zur Förderung der Modellierungskompetenz

In der fachdidaktischen Literatur werden zwei Wege beschrieben, wie Schüler/innen im Unterricht den kompetenten Umgang mit Modellen und das wissenschaftliche Modellieren erreichen können: Während im deutschen Sprachraum eine reflektierte Arbeit mit Modellen als erfolgversprechend beschrieben und beforscht wurde (z.B. Leisner-Bodenthin 2006, Mikelskis- Seifert 2004), forcieren und untersuchen Ansätze aus dem angloamerikanischen Raum das aktive, eigenständige Konstruieren, Testen und Überarbeiten von Modellen durch die Schüler/innen (z.B. Baek et al. 2011, Schwarz et al. 2009).

Für beide Ansätze gilt, dass neben der Förderung der Modellierungskompetenz folgende günstige Effekte erwartet werden:

- Förderung des konzeptuellen Verständnisses des zu lernenden Inhaltes, insbesondere für Erklärungen und Gesetzmäßigkeiten, die sich der direkten Anschauung entziehen (Harrison/ Treagust 2000) oder aufgrund limitierter Verfügbarkeit (z.B. lebende Organismen), struktureller Vielfalt sowie begrenzter Zugänglichkeit (zu groß, zu klein) nicht im Original betrachtet

werden können; Diese Effekte lassen sich aus lernpsychologischer Sicht mit der Theorie der mentalen Modelle (Johnson-Laird 1983) erklären, in der mentale Modelle als kognitive Repräsentationen beschrieben werden, die in Begründungsprozessen aufgerufen und unter bestimmten Bedingungen verändert werden (model based learning, vgl. Buckley 2000). Auch Forschungsarbeiten zum Lernen mit Multimedia (Mayer 2009) geben Hinweise darauf, dass der Einsatz von Modellen in Form von Bildern Lernprozesse wirksam unterstützen kann (sog. Multimedia-Effekt). Das systematische Erstellen eines Bildes mit Papier und Bleistift oder als mental konstruiertes Bild erweist sich als eine Lernstrategie, die zu einer semantisch tiefen Verarbeitung sprachlichen Lernmaterials führen kann, allerdings im Bereich der Grundschule nur, wenn der Text vorgelesen wurde (Shift of Attention, vgl. Leutner/ Opfermann 2013).

- Aufbau eines elaborierteren Wissenschaftsverständnisses (Schwarz et al. 2009);
- daraus resultierend: domänenübergreifende Unterstützung des weiteren naturwissenschaftlichen Wissenserwerbs (vgl. Grygier et al. 2008);
- positive Auswirkungen auf Motivation und Interesse – insbesondere bei Mädchen, da diese Naturwissenschaften unter anderem deswegen negativ konnotieren, da sie sie als „Anhäufung von Fakten“ betrachten und nur wenig Spielraum für Kreativität und Selbstverwirklichung sehen (Kessels/ Hannover 2006; Osborne/ Simon/ Collins 2003).

Allerdings wurden diese Zusammenhänge zwischen dem Erwerb von Modellierungskompetenz und weiteren Zielergebnissen bislang hauptsächlich theoretisch postuliert bzw. aus benachbarten Forschungsergebnissen abgeleitet. Empirische Studien zur Überprüfung dieser Annahmen existieren kaum und fehlen mit Bezug auf den Sachunterricht der Grundschule nahezu gänzlich.

Auch für die grundsätzliche Frage, inwieweit ein entsprechender Unterricht sich positiv auf die Modellierungskompetenz der Schüler/innen auswirkt, liegen bislang nur wenige Studien für die Sekundarstufe vor (z.B. Mikelskis-Seifert 2004, Schwartz et al. 2009). In der einzigen uns bekannten Studie zur Förderung von Modellierungskompetenzen in der Grundschule wurde in den USA der Ansatz des aktiven Modellierens zur Förderung von Modellierungskompetenzen bei Schüler/innen der dritten Jahrgangsstufe untersucht. Dabei konnten erste Lernfortschritte der Grundschüler/innen mit Bezug auf die prozeduralen Komponenten der Modellierungskompetenz empirisch nachgezeichnet werden (Forbes/ Vo/ Zangori/ Schwarz 2015, Forbes/ Zangori/ Schwarz 2015). Im Zuge dieses Projektes wurden auch Testinstrumente zur Erfassung von Modellierungskompetenz von Grundschüler/innen entwickelt

und erprobt, die für die vorliegende Studie adaptiert wurden (siehe Abs. 4). Weitere Studien, die z.B. die Wirksamkeit der Ansätze gegeneinander testen oder Zusammenhänge zu weiteren Zielkriterien untersuchen, fehlen mit Blick auf die Grundschule bislang vollständig.

### **3. Fragestellung**

Übergeordnet wird im Gesamtprojekt der Frage nachgegangen, ob Modellierungskompetenzen im Sachunterricht der Grundschule sinnvoll angebahnt werden können und ob es Zusammenhänge zum Aufbau von Fachwissen (Conceptual-Change-Prozessen), zum Wissenschaftsverständnis und zu motivationalen Zielkriterien gibt. Darüber hinaus soll geklärt werden, ob einer der beiden oben skizzierten Ansätze eher geeignet ist, um Grundschüler/innen im Erwerb von Modellierungskompetenzen zu unterstützen.

Im vorliegenden Beitrag werden die Befunde einer Pilotstudie vorgestellt. In dieser wurde untersucht, inwieweit sich Modellierungskompetenz durch eine entsprechende Intervention bereits bei Grundschulkindern unterstützen lässt. Im Fokus stand dabei die gezielte Variation des Unterrichts. Zudem wurde die Entwicklung motivationaler Komponenten beachtet, um Hinweise auf mögliche Überforderungen zu erhalten.

### **4. Methodisches Vorgehen**

In der hier vorgestellten Pilotstudie führte eine Lehrkraft Unterricht zum Thema „Wasserkreislauf“ in zwei 4. Klassen ( $n_1=24$ ,  $n_2=20$ ) durch. Dabei wurde der Umgang mit Modellen gezielt variiert (Arbeit mit etablierten Modellen vs. aktives Modellieren). Die Lernfortschritte der Schüler/innen wurden in einem Prä-Post-Design ermittelt. Dazu wurden Diagnoseinstrumente zur Erfassung von Modellierungskompetenzen auf deklarativer und prozeduraler Ebene entwickelt bzw. adaptiert und erprobt.

Zur Erfassung der deklarativen Elemente wurde ein Fragebogen in Anlehnung an das Kompetenzmodell von Upmeier zu Belzen/ Krüger (2010) entwickelt. Der Fragebogen bestand aus sechs multiple-select Aufgaben, die das Wissen über Modelle in sechs Teilkompetenzen (Eigenschaften von Modellen: *Konkretheit* und *Zugänglichkeit*, *alternative Modelle*, *Zweck* von Modellen, *Testen* sowie *Ändern* von Modellen) auf fünf unterschiedlichen Niveaustufen abfragten. Die Niveaustufen orientierten sich an und erweiterten die von Upmeier zu Belzen/ Krüger (a.a.O.) beschriebenen Niveaus und repräsentieren verschiedene Vorstellungen – über die verschiedenen Teilkompe-

tenzen hinweg mit leicht unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen – von nicht anschlussfähigen Vorstellungen über ein einfaches Verständnis von Modellen als Abbilder der Wirklichkeit bis hin zum Verständnis von Modellen als „Repräsentationen von Ideen [...] und als Grundlage für das Entwickeln und Testen von Ideen“ (a.a.O., S. 52). Zur Erhebung der prozeduralen Elemente der Modellierungskompetenz wurde ein Analyseinstrument aus den USA adaptiert (Forbes/ Schwarz/ Zangori 2015). Die Schüler/innen wurden aufgefordert, zur Erklärung der Frage „Wie entsteht Regen und was passiert mit all dem Wasser, nachdem es geregnet hat?“ zum einen ein Modell zu zeichnen und zum anderen Fragen zu diesem Modell zu beantworten (z.B. „Wie zeigt dein Modell, wie Regen entsteht und was mit dem Regenwasser danach passiert?“ oder „Was würdest du machen, wenn du herausfinden willst, ob das ein gutes Modell ist?“). Die Zeichnungen und die Antworten der Kinder wurden in zwei Inhaltsbereichen ( $I_1$ : Zustandsformen und Vorkommen von Wasser sowie  $I_2$ : Bewegung des Wassers auf globaler Ebene/ Wasserkreislauf) in fünf Dimensionen mit je vier Niveaustufen (0-3) kodiert. Die Dimensionen waren *Komponenten* ( $\alpha_1 = .87$ ;  $\alpha_2 = 1.00$ ), *Sequenzierung* ( $\alpha_1 = .90$ ;  $\alpha_2 = 1.00$ ), *erklärende Anteile* ( $\alpha_1 = .90$ ;  $\alpha_2 = .94$ ), *physikalische Konzepte* ( $\alpha_1 = .90$ ;  $\alpha_2 = .91$ ) sowie *Parallelisierung* ( $\alpha_1 = .43$ ;  $\alpha_2 = .84$ ). Hauptgegenstand der Analyse waren die von den Kindern gezeichneten Modelle; zusätzliche Informationen aus den Antworten der Kinder wurden nur berücksichtigt, wenn sie sich in den Zeichnungen wiederfinden ließen bzw. die Zeichnung näher erläuterten. Zur Sicherstellung der Objektivität wurden 18 Fragebögen von zwei Ratern doppelt kodiert und die Übereinstimmung berechnet. Das Maß der Übereinstimmung kann als ausreichend bewertet werden (mittlere  $ICC_{UNJUST\_II} = .69$  (min.-max.: .30-.83) und mittlere  $ICC_{UNJUST\_I2} = .89$  (min.-max.: .74-1.00)).

Zusätzlich wurde das Fachwissen der Lernenden im betreffenden Inhaltsgebiet mit einem Kurz-Fragebogen des PLUS-Projektes, der aus sechs multiple-choice Items gebildet wurde ( $\alpha_{prä} = .52$  bzw.  $\alpha_{post} = .76$ ), erhoben (vgl. Kauertz et al. 2011). Die motivationalen Zielvariablen bezogen sich nur auf den durchgeführten Unterricht zum Thema „Wasser“ und wurden somit ausschließlich nach Abschluss der Unterrichtsreihe in Anlehnung an die pädagogische Interessentheorie (Krapp/ Prenzel 2011) und die Selbstbestimmungstheorie (Deci/ Ryan 1993) mit Hilfe eines likert-skalierten Fragebogens erfasst. Zielkonstrukte bildeten das Interesse ( $\alpha = .84$ ), das Selbstbestimmungsempfinden ( $\alpha = .76$ ) und das Kompetenzerleben ( $\alpha = .66$ ) der Schüler/innen.

Um zu Aussagen über die Lernfortschritte im Allgemeinen zu kommen, wurden die Prä- und Postwerte der Schüler/innen beider Klassen zusammenge-

nommen und mit Hilfe von t-Tests für verbundene Stichproben analysiert. Um Hinweise auf Gruppenunterschiede zu bekommen, wurden uni- bzw. multivariate Varianzanalysen durchgeführt. In beiden Fällen wurden Personen mit fehlenden Werten aus den Analysen ausgeschlossen.

## 5. Ergebnisse

Die Auswertung der Fragebögen zu den *deklarativen Komponenten* der Modellierungskompetenz zeigt über beide Klassen hinweg einen signifikant höheren Wert der Antworthäufigkeiten auf den höheren Niveaus 1,5-3 nach dem Unterricht ( $M = .73$ ,  $SE = .25$ ) als vor dem Unterricht ( $M = .61$ ,  $SE = .54$ ),  $t(31) = -2.410$ ,  $p < .05$ ,  $r = .16$ . Auf den unteren Leveln war kein solcher Anstieg zu beobachten – allerdings auch kein Absinken (vgl. Abb.1).

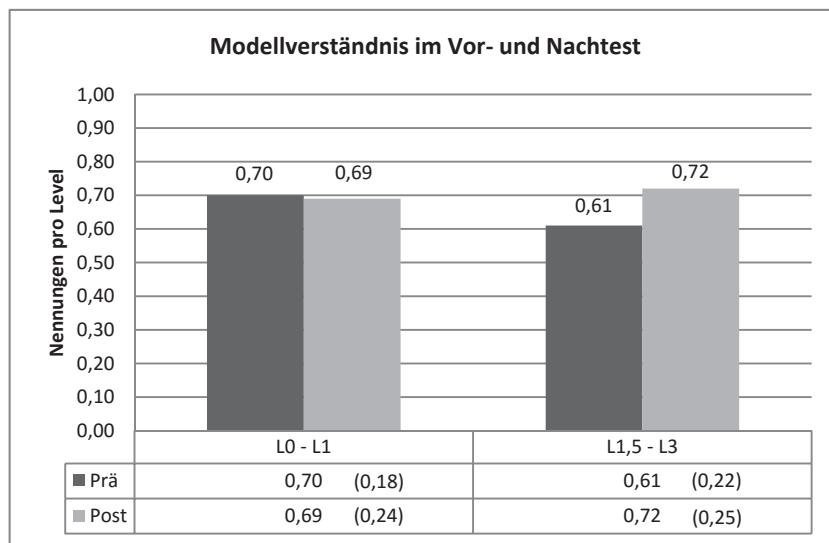


Abbildung 1: Modellverständnis – Vergleich Vor- und Nachtest Gesamtstichprobe

Für die *prozeduralen Komponenten* der Modellierungskompetenz ergaben t-Tests für verbundene Stichproben im ersten Inhaltsbereich „Zustandsformen und Vorkommen von Wasser“ in zwei Teildimensionen signifikante Lernfortschritte für die Gesamtstichprobe. Die Schüler/innen zeigten nach dem Unterricht in diesem Inhaltbereich in der Teildimension *Komponenten*

( $M_2=2.97$ ,  $SE=.17$ ) signifikant höhere Werte als vor dem Unterricht ( $M_1=2.79$ ,  $SE=.54$ ),  $t(33)=-2.244$ ,  $p < .05$ ,  $r=.36$ . Ein ähnlicher Anstieg ist in der Teildimension *Sequenzierung* zu beobachten ( $M_1=2.09$ ,  $SE=1.197$  und  $M_2=2.71$ ,  $SE=.75$ ),  $t(34)=-2.795$ ,  $p < .05$ ,  $r=.43$ . Das bedeutet, dass die Schüler/innen nach dem Unterricht mehr Elemente des Wasserkreislaufes (z.B. Wolken, Wasserdampf, Grundwasser usw.) und sequenzierende Elemente, die einen oder mehrere Wechsel der Zustandsformen des Wassers deutlich machen, in ihren Modellen berücksichtigten. Im zweiten Inhaltsbereich konnten keine Unterschiede in den Teildimensionen beobachtet werden. Vergleicht man die beiden untersuchten Klassen und damit die zwei verwendeten Zugänge (Arbeit mit etablierten Modellen vs. aktives Modellieren), so zeigen uni- bzw. multivariate Varianzanalysen mit Messwiederholung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Klassen in der Modellierungskompetenz. Dies gilt sowohl für die deklarativen als auch die prozeduralen Komponenten.

Die Auswertung der Lernfortschritte im *Fachwissen* zeigt für beide Klassen einen Anstieg im Fachwissen von Prä- zum Posttest. Die einfaktorielle Varianzanalyse mit den Präwerten als Kovariate zeigt erneut keine signifikanten Unterschiede zwischen den Klassen. Im Bereich der motivationalen Variablen, die nur am Ende der Unterrichtseinheit erhoben wurden, konnten erste Unterschiede zwischen den beiden Klassen festgestellt werden. Im Bereich des Interesses zeigt die Klasse, die unter Einbezug des Modellierens unterrichtet wurde, marginal signifikant höhere Werte als die Klasse, die mit Modellen unterrichtet wurde. Wenngleich die Werte das Signifikanzniveau knapp verfehlten, deutet die Effektstärke von Cohen's  $d=.58$  auf die praktische Relevanz dieses Unterschiedes hin. Im Bereich Selbstbestimmungsempfinden und Kompetenzerleben zeigen sich keine bedeutsamen Unterschiede.

## 6. Diskussion und Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse stammen aus einer Pilotstudie, die methodischen Einschränkungen unterliegt (kleine Fallzahlen, Fehlen einer Kontrollgruppe ohne unterrichtliche Intervention; Varianz der verwendeten Unterrichtszeit; keine Berücksichtigung der Clusterung der Daten).

Dennoch liefern die Daten (bei aller aus den oben genannten Gründen gebotenen Vorsicht) Evidenz dafür, dass Modellierungskompetenz bei Grundschulkindern veränderbar ist. So konnte über beide Gruppen hinweg eine positive Entwicklung beobachtet werden. Insbesondere die Zunahme der Antworten auf höheren Niveaus verdeutlicht diesen positiven Trend. Aller-

dings muss kritisch angemerkt werden, dass kein Rückgang in der Antworthäufigkeit auf den niedrigeren Stufen der Modellierungskompetenz festgestellt werden konnte. Ob dies ein inhaltlicher oder ein messtechnischer Effekt ist, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Ein Schwerpunkt wird dabei auf der Verbesserung des Messinstrumentes zur Erfassung der deklarativen Komponenten liegen.

Die Ergebnisse zu den weiteren Zielkategorien lassen sich zum einen so interpretieren, dass es keine Hinweise auf eine etwaige Überforderung der Schüler/innen gibt, da alle Werte im positiven Bereich liegen. Zum anderen liefern sie erste Hinweise dafür, dass „Modellieren als wissenschaftliche Tätigkeit“ im Unterricht interessensförderlicher ist als die reflektierte Arbeit mit bestehenden Modellen. In Kombination mit der hohen Bedeutung des Modellierens als wissenschaftliches Werkzeug für Veranschaulichungen und zum Entwickeln neuer Erkenntnisse (vgl. Martschinke 2015) bestätigt dieser Befund, dass im Sachunterricht der Grundschule hier weitere Bemühungen stattfinden sollten.

In weiteren Forschungsvorhaben sollen die Effektivität der Treatments unter kontrollierten Bedingungen getestet und Zusammenhänge zu weiteren Zielkriterien mit Hilfe adäquaterer Vorgehensweisen überprüft werden.

## Literatur

- Baek, H.; Schwarz, C.; Chen, J.; Hokayem, H.; Zhan, L. (2011): Engaging Elementary Students in Scientific Modeling: The MoDeLS 5th Grade Approach and Findings. In: Khine, M.S.; Saleh, I.M. (Eds.): Models and Modeling. Cognitive Tools for Scientific Enquiry. Dordrecht, pp. 195-218.
- Buckley, B.C. (2000): Interactive Multimedia and Model-based Learning in Biology. In: International Journal of Science Education, 22, 9, pp. 895-935.
- Conrads, N. (2011): Erwerb von Modellkompetenz als Bildungsziel des Sachunterrichts. URL: <http://www.widerstreit-sachunterricht.de/ebene1/superworte/wissenschaftsor/conrads.pdf> [12.11.2015].
- Deci, E.L.; Ryan, R.M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: Zeitschrift für Pädagogik, 2, 39, S. 223-238.
- Forbes, C.T.; Vo, T.; Zangori, L.; Schwarz, C. (2015): Supporting Students' Scientific Modeling when Learning about the Water Cycle. In: Science and Children, 53, 2, pp. 42-49.
- Forbes, C.T.; Zangori, L.; Schwarz, C.V. (2015): Empirical Validation of Integrated Learning Performances for Hydrologic Phenomena: 3rd-grade Students' Model-driven Explanation-Construction. In: Journal of Research in Science Teaching, 52, 7, pp. 895-921.
- GDSU (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn.
- Grygier, P.; Jonen, A.; Kircher, E.; Sodian, B.; Thoermer, C. (2008): „Wissenschaftsverständnis“ und Erwerb von naturwissenschaftlichem Wissen und Experimentierfähigkeit in der Grund-

- schule. In: Giest, H.; Wiesemann, J. (Hrsg.): *Kind und Wissenschaft. Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts*, Bd. 18, Bad Heilbrunn, S. 69-81.
- Harrison, A.G.; Treagust, D.F. (2000): A typology of school science models. In: *International Journal of Science Education*, 22, 9, pp. 1011-1026.
- Johnson-Laird, P.N. (1983): *Mental Models: Toward a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge.
- Kauertz, A.; Kleickmann, T.; Ewerhardy, A.; Fricke, K.; Lange, K.; Ohle, A.; Pollmeier, K.; Tröbst, S.; Walper, L.; Fischer, H.E.; Möller, K. (2011): Dokumentation der Erhebungsinstrumente im Projekt PLUS, Forschergruppe und Graduiertenkolleg nwu-essen. Duisburg-Essen.
- Kessels, U.; Hannover, B. (2006): Zum Einfluss des Image von mathematisch-naturwissenschaftlichen Schulfächern auf die schulische Interessensentwicklung. In: Prenzel, M.; Allolio-Näcke, L. (Hrsg.): *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule*. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms. Münster, S. 351-369.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2005): *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. München, Neuwied.
- Krapp, A.; Prenzel, M. (2011): Research on Interest in Science: Theories, Methods and Findings. In: *International Journal of Science Education*, 33, 1, pp. 27-50.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006): Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91-108.
- Leutner, D.; Opfermann, M. (2013): Selbstreguliertes Lernen mit Texten und Bildern im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Fischer, H.E.; Sumfleth, E. (Hrsg.): *nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht*. Berlin, S. 209-249.
- Lange, K.; Hartinger, A. (2014): Modellierungskompetenz – Konzeptionierungen und Verortung im Sachunterricht. In: Fischer, H.-J.; Giest, H.; Peschel, M. (Hrsg.): *Lernsituationen und Aufgabenkultur im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn, S. 165-172.
- Mayer, R.E. (2009): *Multimedia learning*. (2.Aufl.). Cambridge.
- Martschinke, S. (2015): Bilder. In: Kahlert, J.; Fölling-Albers, M.; Götz, M.; Hartinger, A.; Miller, S.; Wittkowske, S. (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* Bad Heilbrunn, S. 500-505.
- Meisert, A. (2008): Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, S. 243-261.
- Mikelskis-Seifert, S. (2004): Über Modelle lernen – empirische Erforschung einer theoriegeleiteten Konzeption und Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. In: Pitton, A. (Hrsg.): *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung*. Münster, S. 14-29.
- National Research Council (NRC) (2011): *A Framework for K-12 Science Education; Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, D.C.
- Osborne, J.; Simon, S.; Collins, S. (2003): Attitudes towards Science: a Review of the Literature and its Implications. In: *International Journal of Science Education*, 25, pp. 1049-1079.
- Schwarz, C.V.; Reiser, B.J.; Davis, E.A.; Kenyon, L.; Achér, A.; Fortus, D. et al. (2009): Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 6, pp. 632-654.
- Upmeier zu Belzen, A.; Krüger, D. (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, S. 41-57.