

Susanne Digel¹
 Patrick Löffler¹
 Jochen Scheid¹
 Alexander Kauertz¹

¹Universität Koblenz-Landau

Problemlöse-Expertise - Modellieren als entscheidende Kompetenz in kontextualisierten Problemlöseprozessen?!

Lebensnahe Kontexte haben einen positiven Einfluss auf das Interesse der Lernenden im Physikunterricht (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007). Jedoch empfinden Lernende (und Lehrende) kontextualisierte Problemstellungen als schwieriger (Park & Lee, 2004). Tatsächlich werden in solchen Aufgaben Unterschiede in den Schülerleistungen besonders deutlich (Heller & Hollabaugh, 1992). Erklärungsansätze über unterschiedliche Niveaus von Fachwissen und Problemlösestrategien haben sich empirisch nicht bewährt: Lernenden mit angemessenen Problemlösestrategien gelingt es nicht, diese in Kontexten geeignet einzusetzen – ein Phänomen das als Produktionsdefizit beschrieben wird (Veenman, van Hout-Wolters & Afflerbach, 2006). Darüber hinaus weisen Löffler und Kauertz (2015) auf den eingeschränkten Einfluss von Fachwissen auf Problemlöseleistung in kontextualisierten Aufgabenstellungen hin, berichten gleichzeitig aber von einem signifikanten Einfluss der Nutzung physikalischer Modellelemente im Problemlöseprozess.

Bisherige Forschungsergebnisse zum Produktionsdefizit nennen mögliche Ursachen und moderierende Variablen wie etwa Motivation oder Metakognition, liefern jedoch keine Ansätze zur Kompensation bzw. Überwindung. Modellierungskompetenz bietet hier eine vielversprechende Perspektive, denn „[models] embody a form of flexible knowledge that can be applied to transfer problems“ (Clement, 2000, S. 1042) und „most physics problems are solved by constructing or selecting a model“ (Halloun, 2006, S. 217).

Daher wird in diesem Projekt die Frage untersucht, wie naturwissenschaftliche Modellierungskompetenz die Problemlösefähigkeit in kontextualisierten Aufgaben unterstützen kann.

Theoretischer Hintergrund

Leisner-Bodenthin (2006) beschreibt naturwissenschaftliche Modellierungskompetenz als:

- *Metawissen zum Modellieren*: ein Verständnis von Modellen und Modellieren, als Teil des Verständnisses von *Nature of Science* (NoS) (Schwarz et al., 2009),
- *deklaratives Modellwissen*: domänenspezifisches Wissen über Modelle und deren Charakteristika (ähnlich physikalischem Konzeptwissen), und
- *prozedurale Modellierungskompetenz*: Fähigkeit, Modelle (beim Problemlösen) einzusetzen.

Die erste Kategorie beinhaltet Kenntnis darüber „how models are used, why they are used, and what their strengths and limitations are“ (Schwarz et al., 2009, S. 634-635).

Lin, Chiu und Chou (2004) konnten zeigen, dass umfassende NoS-Kenntnisse die Leistungen beim konzeptuellen Problemlösen verbessern. Dieser Wirkungszusammenhang erklärt sich durch vielseitigere, flexiblere und präzisere Aktivierung von Wissen (Tsai, 1998), verbesserte Kenntnisse und adäquatere Nutzung von Strategien (Thillmann, 2008) und einem erhöhten Selbstkonzept (Urhahne & Hopf, 2004). *Metawissen zum Modellieren* wirkt sich nach Schwarz et al. (2009) auch positiv auf das *deklarative* und das *prozedurale Modellwissen* aus. Diese beiden Kategorien von *naturwissenschaftlicher Modellierungskompetenz* sind vor allem für die erste und entscheidende Hürde im Problemlöseprozess bedeutsam – dem Situationsmodell (Leiss, Schukajlow, Blum, Messner & Pekrun, 2010). Es stellt die mentale Repräsentation der Problemstellung und deren

Verbindung zur eigenen Wissensstruktur dar. Während das Situationsmodell der Novizen aus Oberflächenelementen des Problems besteht, entwickeln Experten ein konzeptuelles Modell, indem sie geeignete physikalische Schemata (Modelle) aktivieren (Snyder, 2000). Diese konzeptuelle Problemanalyse führt sowohl zu besserer Leistung im Problemlöseprozess als auch zu verbesserter Nutzung von Problemlösestrategien (Taasoobshirazi & Carr, 2008).

Naturwissenschaftliche Modellierungskompetenz

Aus der bisherigen Forschung zu Modellen im naturwissenschaftlichen Unterricht sind geeignete Instrumente zur Beschreibung und Erfassung von deklarativer und metakognitiver Modellierungskompetenz hervorgegangen, der prozedurale Kompetenzaspekt wurde bisher jedoch nicht ausführlicher beleuchtet. Dieser Forschungslücke wurde mit der Entwicklung eines normativen Kompetenzmodells prozeduraler Modellierungskompetenz begegnet, auf dessen Basis ein Testinstrument zur empirischen Überprüfung des Modells für die Domänen Optik und Kinematik konstruiert wurde.

Justi und Gilbert (2002) identifizieren in ihrem *model of modelling* folgende drei Bereiche zum Modellieren in den Naturwissenschaften - *apply in context, revise established model, (re-)construct a model*, die sich in ganz ähnlicher Weise bei Halloun (2006) – *application, deployment, development* – wiederfinden und in dem hier vorgestellten Kompetenzmodell die Dimensionen *Anwenden, Bewerten* und *Entwickeln* bilden.

Im Bereich *Anwenden* stimmen Justi und Gilbert (2002) und Halloun (2006) in zwei Aspekten überein – zunächst müssen die für die Situation relevanten physikalischen Konzepte identifiziert und zu dem (gewählten) Modell in Beziehung gesetzt werden (A1), um dann Vorhersagen für die Situation mithilfe des Modells zu treffen (A2).

Aus Halloun (2006) lassen sich für *Bewerten* drei Komponenten identifizieren – Bewerten der Eignung eines Modells für eine spezifische Situation, zum einen a priori anhand der Situationsbeschreibung (B1), zum anderen a posteriori anhand der Vorhersage mithilfe des Modells (B2) und die begründete Auswahl aus mehreren Modellen für eine spezifische Situation (B3).

Im *model of modelling* (s.o., vgl. auch Justi, 2009) lassen sich bei der Modellentwicklung für den Bereich *Entwickeln* fünf Phasen abstrahieren – zunächst muss der Zweck des Modells festgelegt werden (E1), um dann Eigenschaften der Situation und für relevante physikalische Inhalte (Konzepte und etablierte Modelle) zu verbinden (E2), woraus ein mentales Modell entsteht, das repräsentiert und als neues Modell kommuniziert wird (E3). Das neue Modell wird in der Situation angewandt und die Vorhersage diskutiert (E4), bevor es schließlich auf eine andere Situation transferiert wird (E5).

Ergebnisse

In der Präpilotierung (Physiklehramtsstudenten, 4. Semester, N = 20) wurden erste Erkenntnisse bezüglich der Güte der Items gewonnen, außerdem liefert der Vergleich verschiedener IRT-Modelle erste Hinweise auf die Dimensionalität des vorgeschlagenen Kompetenzmodells. Ausgewertet wurde zunächst der Kompetenztest der Domäne Optik, der sich aus 48 Items zusammensetzt (11x Anwenden, 32x Bewerten, 5x Entwickeln). Die Items zu A und B bestehen aus two-tier multiple-choice Aufgaben, bzw. aus einem multiple-choice Anteil gefolgt von einem offenen Antwortformat zur Begründung der Auswahl, im Bereich C wird eine Modellierung in den 5 Phasen (E1-E5) kategorienbasiert ausgewertet. Der Test liefert nach Itemselektion (6xA, 22xB, 4xE) eine ausreichende bis gute Reliabilität (Cronbachs $\alpha = 0.74$, 1-Dim.-Rasch-Modell EAP/PV-Reliabilität = 0.861) (Danner, 2014). Die Itemfit-Werte lagen auch aufgrund der kleinen Stichprobe nicht im akzeptablen Bereich (Wright & Linacre, 1994). Eine Auswertung auf Basis eines dreidimensionalen Modells (mit eindeutiger Zuordnung der Items zu den drei Kompetenzbereichen A, B, E analog zur

Testkonstruktion) und eines zweidimensionalen Modells (Zuordnung Items A und Items B/E, siehe Diskussion) wurde zum Vergleich hinzugezogen. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse der Auswertungen gegenüber.

	1 Dim.	3 Dim.			2 Dim.	
		A	B	E	A	B/E
EAP/PV Reliabilität	0.861	0.540	0.768	0.719	0.538	0.760
Deviance	635.33		568.43		569.93	
BIC	833		687		678	
AIC	785		658		652	
Anz. Items mit guten Infit/Outfit (+akzeptabel)	0/0		28/21		27/21	
	+(0/0)		+(5/6)		+(4/6)	

Tab. 1: Vergleich der verschiedenen IRT-Modelle

Diskussion

Gründe für die Negativauswahl der Items waren Deckeneffekte, negativ Korrelationen durch unklare Formulierung und Bodeneffekte. Nach der Auswahl im Bereich A verblieben nur Items zu A2, hier wird eine neue Itemkonstruktion angestrebt, um die Frage nach der Trennbarkeit der beiden Aspekte zu klären. Da B1 und B2 hoch korrelieren, wird bei der Modifikation der Items die Trennbarkeit der beiden stärker in den Blick genommen. Die Reihenfolge der Bereiche im Test wird variiert, um den Bereich E besser von B abzugrenzen. Durch die geringere Itemanzahl pro Dimension sind im Mehrdimensionalen die Reliabilitäten geringer, darüber hinaus weisen sie im Bereich A auf die nicht zufriedenstellende Itemkonstruktion hin. Die deutlich geringeren Werte der Informationskriterien weisen auf eine bessere Passung der mehrdimensionalen Modelle hin, was auch die Itemfit-Werte (bei 3 DIM: 27 bzw. 21 Items mit guten Infit- bzw. Outfit-Werten und weitere 5 bzw. 6 mit akzeptablen Infit/Outfit) bestätigen. Die Zuordnung beim zweidimensionalen Modell erfolgte aufgrund der relativ hohen Korrelation der Bereiche B und E im dreidimensionalen Modell. Die Werte der Informationskriterien sind nur geringfügig schlechter als beim dreidimensionalen Modell. Auch die Itemfit-Werte bleiben auf ähnlich gutem Niveau, weshalb nach dem Kriterium der Einfachheit aktuell dem zweidimensionalen Modell der Vorzug gegeben wird.

Ausblick

Die Auswertung der Präpilotierung in der Domäne Kinematik (96 Items: 26xA, 48xB, 19xE + 5 Phasen analog Optik) wird noch zur Bestätigung der Modellpassung herangezogen. Das Kompetenzmodell wird empirisch mit vier zehnten Klassen und Physiklehramtsstudenten überprüft. Zur Validierung werden das konzeptuelle Vorwissen (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992; Hettmannsperger, Mueller, Scheid & Schnotz, 2015) und metakognitive Kenntnisse (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2002) mit eingeschlossen und das Verständnis von *scientific inquiry* und *nature of science* ("SUSSI", Liang et al., 2006; Kremer, 2010) erfasst. Zusätzlich werden die Effekte von kognitiven Fähigkeiten, Interesse und Motivation, sowie Selbstwirksamkeit und Selbstkonzept kontrolliert.

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts werden Analysen zur Struktur des Kompetenzmodells Erkenntnisse zur Entwicklung der einzelnen Kompetenzaspekte liefern. Ferner kann mithilfe der miterhobenen Daten Modellierungskompetenz von den anderen Aspekten der Kompetenzdomäne Erkenntnisgewinnung abgegrenzt werden. Ergebnis ist ein empirisch überprüftes Kompetenzmodell und ein dazugehöriges Diagnoseinstrument mit dem schließlich untersucht werden kann, wie sich naturwissenschaftliche Modellierungskompetenz im Detail auf Problemlöseleistung in Kontextaufgaben auswirkt.

Literatur

- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life. A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91 (3), 347-370.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1041-1053.
- Danner, D. (2014). Reliabilität - die Genauigkeit einer Messung (GESIS - Leibniz Institute for the Social Sciences, Hrsg.).
- Halloun, I. (2006). *Modeling Theory in Science Education* (Science & technology education library, Bd. 24). Dordrecht: Springer.
- Heller, P. & Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American journal of physics*, 60 (7), 637-644.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30 (3), 141.
- Hettmannsperger, R., Mueller, A., Scheid, J. & Schnotz, W. (2015). Developing conceptual understanding in ray optics via learning with multiple representations. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 19 (1), 235-255. Verfügbar unter <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11618-015-0655-1.pdf>
- Justi, R. (2009). Learning how to model in science classroom: key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación química*, 20 (1), 32-40.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 369-387.
- Kremer, K. H. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen - Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I*. Dissertation, Universität Kassel.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91-109.
- Leiss, D., Schukajlow, S., Blum, W., Messner, R. & Pekrun, R. (2010). The Role of the Situation Model in Mathematical Modelling—Task Analyses, Student Competencies, and Teacher Interventions. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 31 (1), 119-141.
- Liang, L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O., Adams, A., Macklin, M. et al. (2006). Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI): Revision and Further Validation of an Assessment Instrument.
- Lin, H.-S., Chiu, H.-L. & Chou, C.-Y. (2004). Student understanding of the nature of science and their problem-solving strategies. *International Journal of Science Education*, 26 (1), 101-112.
- Löffler, P. & Kauertz, A. (2015). Modellanwendung in kontextualisierten Problemlöseaufgaben. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014.
- Park, J. & Lee, L. (2004). Analysing cognitive or non-cognitive factors involved in the process of physics problem-solving in an everyday context. *International Journal of Science Education*, 26 (13), 1577-1595.
- 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. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 632-654.
- Snyder, J. L. (2000). An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates and novices in physics. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 979-992.
- Taasobshirazi, G. & Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review*, 3 (2), 155-167.
- Thillmann, H. (2008). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren*.
- Treagust, D., Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 357-368.
- Tsai, C. (1998). An analysis of Taiwanese eighth graders' science achievement, scientific epistemological beliefs and cognitive structure outcomes after learning basic atomic theory. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 413-425.
- Urhahne, D. & Hopf, M. (2004). Epistemologische Überzeugungen in den Naturwissenschaften und ihre Zusammenhänge mit Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 71-87.
- Veenman, M., van Hout-Wolters, B. & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1 (1), 3-14.
- Wright, B. & Linacre. (1994). Reasonable mean-square fit values. *Rasch Measurement Transactions*, 8:4, 370. Verfügbar unter <http://www.rasch.org/rmt/rmt83b.htm>