

Susanne Digel
 Jochen Scheid
 Alexander Kauertz

Universität Koblenz-Landau

Modellieren beim Problemlösen – Untersuchung prozeduraler Kompetenz

In kontextualisierten Problemlöseprozessen ist naturwissenschaftliche Modellierungskompetenz vor allem für die erste und entscheidende Hürde bedeutsam, für die Erstellung eines adäquaten Situationsmodells. Aus der bisherigen Forschung zu naturwissenschaftlichem Modellieren sind geeignete Instrumente zur Erfassung deklarativer und metakognitiver Modellierungskompetenz hervorgegangen, jedoch wurde der prozedurale Aspekt bisher jedoch nicht sehr ausführlich beleuchtet. Dieser Forschungslücke wurde mit der Entwicklung und empirischen Prüfung eines Modells prozeduraler Modellierungskompetenz mit den Dimensionen Anwenden, Bewerten und Entwickeln, begegnet. Zugehörige Testinstrumente wurden für die Domänen Optik und Kinematik konstruiert. In der Pilotierung (Klassen 9-13, N=82) zeigten beide Tests gute Reliabilitäten (EAP/PV Optik/Kinematik: 0.80/0.91) und akzeptable Itemfit-Werte. IRT-Modellvergleiche deuten auf drei Dimensionen (für Optik und Kinematik). Die Ergebnisse bestätigen sich in der Hauptstudie.

Naturwissenschaftliche Modellierungskompetenz

Leisner-Bodenthin (2006) beschreibt naturwissenschaftliche Modellierungskompetenz als: metakognitives Wissen (Verständnis von Modellen und Modellieren), deklaratives Modellwissen (domänenspezifisches Wissen über Modelle und deren Charakteristika, ähnlich physikalischem Konzeptwissen) und prozedurale Modellierungskompetenz (Fähigkeit, Modelle zur Problemlösung einzusetzen). Der metakognitive Aspekt findet sich im „Views on Models and Modelling“ (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2004). Das deklarative Modellwissen wurde über Konzeptwissen und Modellcharakteristika erfasst. Zur prozeduralen Modellkompetenz wurde normativ ein Kompetenzmodell hergeleitet und dazu ein Erhebungsinstrument entwickelt.

Nach Jong, Chiu und Chung (2015) handelt es sich beim naturwissenschaftlichen Modellieren um einen „Prozess, bei dem Naturwissenschaftler und Schüler mentale Modelle generieren, konstruieren, überprüfen und ausbauen, die es ihnen erlauben Probleme zu lösen und naturwissenschaftliches Wissen zu konzeptualisieren“ (ebd., S. 987). In der Definition sind drei unterschiedliche Aspekte enthalten, die Modellanwendung (A), die Modellbewertung (B) und die Modellentwicklung (E). Diese finden sich (siehe Tab. 1) auch in den von Justi und Gilbert (2002) beschriebenen Herangehensweisen beim Modellieren-Lernen und den Modellierungskategorien von Halloun (2007).

Tabelle 1: Dimensionen von Modellierungskompetenz

	Justi und Gilbert (2002)	Halloun (2007)
Anwenden	Etablierte Modelle kennenlernen Modelle im Kontext anwenden	Modelleinsatz (Situationsanalyse, Anwendung)
Bewerten	Modelle bewerten	Modelleinsatz (Modellwahl) begleitende Evaluation
Entwickeln	Modelle rekonstruieren Modelle „de novo“ konstruieren	Modellentwicklung

Sie bilden die drei Dimensionen des hier vorgestellten Kompetenzmodells (s. Abb. 1). Die ersten beiden Dimensionen sind durch die Aspekte Situationsanalyse und Modellanwendung, sowie Modellwahl und Modellbewertung bereits charakterisiert.

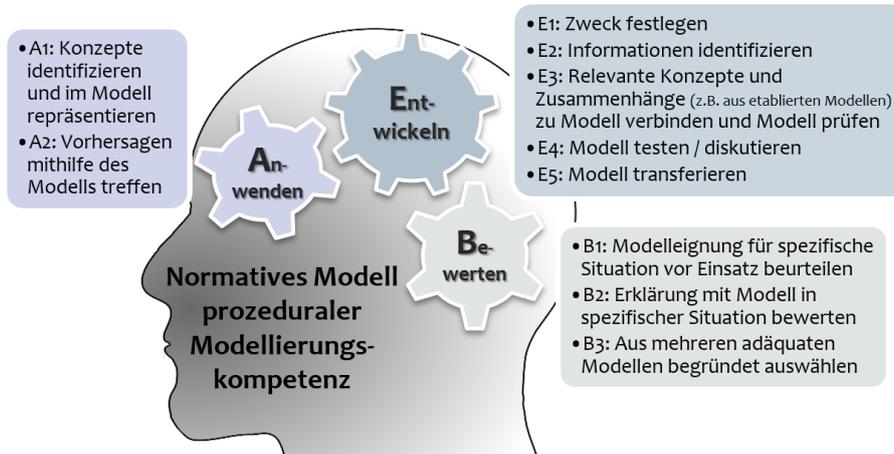


Abbildung 1: prozedurale Modellierungskompetenz

Die Differenzierung der Dimension Entwickeln (E) wurde aus der von Halloun (1996, 2006) und Hestenes (1996, 2010) beschriebenen Modellierungssequenz, aus dem Framework ‚model of modelling‘ von Justi und Gilbert (2002) und aus den Charakteristika von Modellierungskompetenz von Wang und Barrow (2011) abgeleitet (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Modellierungsphasen

	Justi und Gilbert (2002)	Halloun (1996, 2006) und Hestenes (1996, 2010)	Wang und Barrow (2011)
E1	Zweck festlegen	Zweck des Modells festlegen	Problem analysieren
E2	Systembeobachtung, structure mapping	Komponenten des Systems identifizieren, beschreiben	Bedingungen und Aussagen erkennen
E3	Modellquelle wählen, Modell (re)konstruieren	Modell konstruieren, Modellkonsistenz prüfen	Modell generieren/anpassen Überprüfung (Konsistenz)
E4	Modellprüfung in Situation	Modell zur Problemlösung nutzen	Überprüfung (Modelleignung)
E5	Modelleinsatz/-grenzen betrachten	Modell auf andere Situation übertragen	Überprüfung (Alternativen) Modellierung überwachen

Methode und Studiendesign

Auf Basis des oben vorgeschlagenen Kompetenzmodells wurde der Test zur **Prozeduralen Modellierungskompetenz für Kinematik (ProMo-K)** konstruiert. Die Items zu A und B bestehen aus two-tier multiple-choice/open-answer Aufgaben. Im Bereich E wird eine Modellierung in den fünf Phasen (E1-E5) kategorienbasiert ausgewertet. Die Phasen werden zusätzlich mit 14 Items im two-tier multiple-choice Format einzeln erfasst. Zur Validierung wurde ein zu den Inhalten des ProMo-K passender Konzeptwissenstest konstruiert. Dazu wurden Items aus dem AAAS Science Assessment (AAAS Project 2061) und dem Rotational and Rolling Motion Conceptual Survey (Rimoldini & Singh, 2005) ausgewählt und mit eigenentwickelten Items kombiniert. Die Pilotierung des Konzeptwissenstests (Klasse 9-13, N=105) ergab eine zufriedenstellende Reliabilität (2-Dim.-1PL EAP/PV-Rel. = 0.74 0.75) (Danner 2015). Die gemeinsame Skala der etablierten und eigenentwickelten Items spricht für die Validität des Tests. Die Effekte von kognitiven Fähigkeiten, Lesekompetenz, Interesse, Motivation, Selbstwirksamkeit und Selbstkonzept wurden kontrolliert.

Ergebnisse für Kinematik

Expertenratings bestätigten die Zuordnung der Aufgaben zu den drei Dimensionen Anwenden, Bewerten, Entwickeln ($n=3$, Fleiss' $\kappa=0.7$, Falotico & Quatto, 2015). Die Hauptstudie (Gymnasium, Klasse 9-13, $N(\text{Kin})=724$, $N(\text{Opt})=115$) wurde bisher in Teilen ausgewertet. Zur empirischen Prüfung des Kompetenzmodells in Kinematik wurde eine Substichprobe (Klasse 10-12, $N = 220$, Alter 15-20) betrachtet. Der Modellierungstest lieferte eine gute Reliabilität (EAP/PV-Rel. = 0.95) (Danner 2015) und akzeptable Itemfit-Werte. Das dreidimensionale 1PL-Modell (s. Kompetenzmodell) passte am besten zu den Daten (AIC, BIC, Deviance), wobei die Modellvergleiche signifikant waren (chi-square-test for deviances, Wu, Adams, Wilson & Haldane, 2007).

In der rechts abgebildeten Wright Map sind in den Dimensionen Anwenden (rot), Bewerten (blau) und Entwickeln (grün) die Personenfähigkeiten neben den Itemschwierigkeiten dargestellt. Dabei zeigen sich ähnliche Verteilungen der Personenfähigkeiten in allen drei Dimensionen, mit sehr breitem Spektrum für Bewerten. Bei der Verteilung der Itemschwierigkeiten fällt hingegen auf, dass im mittleren und oberen Fähigkeitsbereich die Items gut verteilt sind, sich aber unterhalb einer Standardabweichung unter dem Mittelwert lediglich im Bereich Entwickeln Items finden.

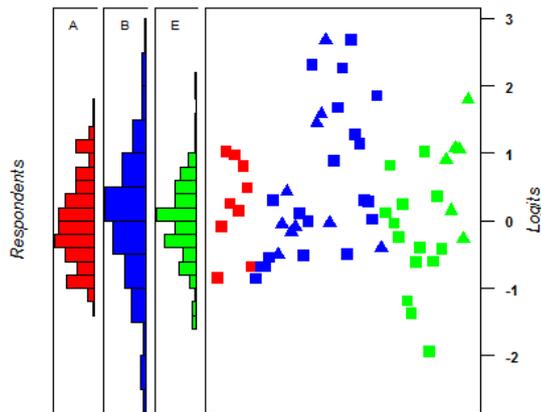


Abbildung 2: Wright Map des 3Dim-1PL-Modells

Der überarbeitete Konzeptwissenstest lieferte nun gute Reliabilität (EAP/PV-Rel. = 0.81). ProMo-K korrelierte mittel-stark mit dem Konzepttest ($r=0.42$, $p<0.001$, genauer: Anwenden $r=0.50$, $p<0.01$, Bewerten 0.40 , $p<0.01$, Entwickeln, $r=0.41$, $p<0.01$) (Cohen, 1992).

Diskussion

Die Wright Map zeigt, dass der Test ProMo-K im mittleren und oberen Fähigkeitsbereich der Probanden gut trennt, aber im unteren Bereich in den Skalen Anwenden und Bewerten nicht zufriedenstellend auflöst. Nach weiteren Analysen zu schwierigkeiterzeugenden Merkmalen der Aufgaben dieser Bereiche lässt sich besser entscheiden, ob es sich dabei möglicherweise um eine Fähigkeitsschwelle handelt, unterhalb derer die Skalen Anwenden und Bewerten nicht erfassbar sind. Die Ergebnisse sprechen für ein empirisch (konfirmatorisch) geprüftes Kompetenzmodell für prozedurale Modellierungskompetenz. Die mittel-starken Korrelationen mit den zugehörigen Konzeptwissenstests über alle drei Skalen sprechen zum einen für eine physikspezifische Kompetenz und zeigen zum anderen, dass Modellierungskompetenz eine separierbare Fähigkeit in Physik darstellt.

Ausblick

Die Frage, inwieweit sich diese drei Skalen von deklarativem und metakognitivem Modellwissen abgrenzen lassen, wird zurzeit mithilfe der miterhobenen Daten analysiert. Ferner sollen Analysen zur Struktur des Kompetenzmodells Hinweise zur Entwicklung der einzelnen Kompetenzaspekte liefern. Basis hierfür ist der Kriterienkatalog zu Relationen eines Kompetenzmodells nach Einhaus (2007), modifiziert nach Kulgemeyer (2010). Zusammen mit der empirischen Schwierigkeit der Aufgaben können diese als Basis für eine Modellierung von hierarchischen Stufen der Kompetenzausprägung innerhalb des vorgeschlagenen Kompetenzmodells dienen.

Literatur

- AAAS Project 2061. *Pilot and field test data collected between 2006 and 2010* (Unpublished raw data).
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112 (1), 155. Verfügbar unter <http://psycnet.apa.org/journals/bul/112/1/155.pdf>
- Danner, D. (2015). Reliabilität - die Genauigkeit einer Messung (GESIS - Leibniz Institute for the Social Sciences, Hrsg.).
- Einhaus, E. A. (2007). *Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 63). Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos-Verl.
- Falotico, R. & Quatto, P. (2015). Fleiss' kappa statistic without paradoxes. *Quality & Quantity*, 49 (2), 463-470. Verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11135-014-0003-1.pdf>
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (9), 1019-1041. Verfügbar unter [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199611\)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I/pdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I/pdf)
- Halloun, I. (2006). *Modeling Theory in Science Education* (Science & technology education library, Bd. 24). Dordrecht: Springer.
- Halloun, I. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education*, 16 (7-8), 653-697.
- Hestenes, D. (1996). Modeling methodology for physics teachers. In J. S. Rigden & E. F. Redish (Hrsg.), *The changing role of physics departments in modern universities : proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education* (S. 935-958).
- Hestenes, D. (2010). *Modeling Theory for Math and Science Education*: Springer US (S. 13-41). Verfügbar unter http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-0561-1_3/fulltext.html
- Jong, J.-P., Chiu, M.-H. & Chung, S.-L. (2015). The Use of Modeling-Based Text to Improve Students' Modeling Competencies. *Science Education*, 99 (5), 986-1018.
- 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.
- Kulgemeyer, C. (2010). *Physikalische Kommunikationskompetenz: Modellierung und Diagnostik*: Logos. Verfügbar unter <https://books.google.de/books?id=RprxGfMeQwEC>
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91-109.
- Rimoldini, L. G. & Singh, C. (2005). Student understanding of rotational and rolling motion concepts. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1 (1).
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D. & Mamiala, T. L. (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teaching models in organic chemistry. *Research in Science Education*, 34 (1), 1-20.
- Wang, C.-Y. & Barrow, L. H. (2011). Characteristics and Levels of Sophistication. An Analysis of Chemistry Students' Ability to Think with Mental Models. *Research in Science Education*, 41 (4), 561-586.
- Wu, M. L., Adams, R., Wilson, M. R. & Haldane, S. A. (2007). ACER ConQuest. Generalized item response modeling software (version 2). Camberwell, Australia: ACER Press, an imprint of Australian Council for Educational Research Ltd.