

Erhebung von Diagrammkompetenz in Physik

Abstract

Repräsentationen und deren kognitive Verwendung sind ein zentrales Element in der naturwissenschaftlichen Bildung. Diagramme haben den Vorteil, dass sich viele Daten und deren Zusammenhänge übersichtlich darstellen lassen. Um die dazu erforderliche Diagrammkompetenz adaptiv fördern zu können, ist es nötig die Fähigkeit der Lernenden mit Diagrammen umgehen zu können, diagnostizieren zu können. In einer Pilotstudie wurden 55 selbstentwickelte Testitems zwecks Optimierung der Itemformulierung und Selektion nach Kennwerten an einer Stichprobe von insgesamt 144 Personen eingesetzt. Rückmeldungen der Probanden führten zu verständlicheren Item-Formulierungen. Die Interrater Übereinstimmung bei der Auswertung der Tests und bei der Item-Skala Zuordnung sowie die psychometrischen Werte des Tests sind akzeptabel. Die dreidimensionale Skalierbarkeit ist derzeit nur zum Teil zufriedenstellend. Eine differenzierte Untersuchung nach Subkompetenzbereichen soll durch eine Studie mit erweiterter Stichprobe ermöglicht werden.

Theoretische Rahmung

Repräsentationen sind ein zentrales Element der wissenschaftlichen Kommunikation. Es sind Fähigkeiten und Fertigkeiten im Sinne von Kompetenzen nötig, um fachliche Kommunikationsprozesse verstehen und gestalten zu können (Norris und Phillips, 2003). Wissenschaftliche Kommunikation ist ohne Repräsentationen gar nicht möglich, denn diese geschieht sowohl mit Texten oder gesprochener Sprache, als auch mittels anderer Repräsentationen wie mathematischen Formeln, Zeichnungen oder Diagrammen (Schnotz, 2002). Hierbei sind Repräsentationen oft nicht intuitiv verständlich (Ainsworth, 2006) und das Herstellen von Zusammenhängen zwischen mehreren Repräsentationen ist schwierig (Seufert, 2003). Jedoch haben solche Kombinationen von Repräsentationen viele Vorteile für das Verstehen von Sachverhalten: Verschiedene Repräsentationen wie z.B. Text oder Diagramm können bezüglich des gleichen Themas unterschiedliche (sich ergänzende) Informationen beinhalten und unterschiedlich zur Lösung von Aufgaben beitragen (Schnotz 1993; Herrmann 1993). Diagramme unterstützen hierbei die Informationsvermittlung durch Texte (Ainsworth, 1999) und haben hohes Potential für die Wissens- und Verständnisvermittlung (Roth et al, 1999), weil sie viele Informationen auf engem Raum bereitstellen. Sie erleichtern das schlussfolgernde Denken (Larkin & Simon, 1987), weil Informationen gut miteinander in Zusammenhang zu bringen sind. Daher ist es zur Erlangung eines adäquaten naturwissenschaftlichen Verständnisses notwendig, simultan mit verschiedenen Repräsentationsformen zu arbeiten (Gilbert & Treagust, 2009).

Um Diagramme gewinnbringend nutzen zu können, ist Diagrammkompetenz nötig: Es ist die Fähigkeit, Diagramme einer Situation oder eines Problems bewusst und fachgerecht einzeln oder miteinander bzw. anderen Repräsentationen verbunden nutzen zu können (verändert nach Kozma & Russell, 2005). Die Fähigkeit zu wechseln und zu übersetzen zwischen verschiedenen Repräsentationsarten ist eingeschlossen (Ainsworth, 1999). Diagrammkompetenz ist modellhaft wie folgt fassbar und besteht aus mehreren Komponenten

im Sinne von kognitiven Operationen: Identifizierung des Diagramms und Aufbau des Rahmens, Ablesen, Konstruieren und Integrieren von Diagrammen (nach Lachmayer et al., 2007). Unter Integrieren versteht man dabei das Herstellen von Zusammenhängen zwischen Diagramm und Text sowie wechselseitige Übertragung von Informationen. Dem Integrieren von Repräsentationen kommt für das wissenschaftliche Verstehen eine besonders hohe Bedeutung zu (Kozma & Russell, 2005; Scheid et al., 2017, Schnotz, 2005; Mayer, 2005). Des Weiteren haben schwierigkeitserzeugende Merkmale wie die Komplexität (Kauertz, 2008) vermutlich einen Einfluss, welche für Diagramme mit kognitionspsychologischer Basis in vier Stufen / „Ordnungen“ modellierbar sein sollten (nach Schnotz, 1993, Curcio 1987, Lachmayer, 2007). Es liegen jedoch für die Modellierbarkeit von Diagrammkompetenz mit Berücksichtigung von Komplexität noch zu wenige empirische Belege vor.

Forschungsfragen

FF1: Ist die Zuordnung der Items des Diagrammkompetenzmodells zu den kognitiven Operationen und Ordnungen (Matrizenelementen) valide?

FF2: Sind die Testitems reliabel ausgewertet (betrifft die Kodierungen der beantworteten Testitems)?

FF3: Wie sind die psychometrischen Werte der Items zur Erhebung von Diagrammkompetenz?

Methode

Da das Konzept der Diagrammkompetenz breit gefasst ist, wurde aus forschungsökonomischen Gründen für die hier vorgestellte Studie über Modellierung von Diagrammkompetenz der Fokus auf die drei kognitiven Operationen Ablesen, Konstruieren und Integrieren von Diagrammen mit jeweils vier Ordnungen (Komplexitätsstufen) gelegt. Identifizieren und Konstruieren des Rahmens von Diagrammen, also des Achsenkreuzes mit Skalierung, haben viel mit Konventionen zu tun und sind für diese Studie entfallen. Es geht damit um Diagrammteilkompetenzen. Aus dem aktuellen Anlass des anthropogenen Klimawandels wurde als Themenbereich „fossile und erneuerbare“ Energie gewählt. Um das Kompetenzmodell empirisch prüfen zu können, mussten zu jedem der sich ergebenden 12 Matrizenelementen (3 kognitive Operationen mit je 4 Komplexitätsstufen) Items entwickelt werden. Bezüglich der Itemanzahl musste ein Kompromiss gefunden werden aus vielen Items, welche eher zu einem präzisen Messergebnis führen, und der Testökonomie. Kurzskalen liegen beispielsweise bei 3-4 Items (Brandt & Moosbrugger, 2020, S. 52). Diese Anzahl sollte nicht unterschritten werden, daher war das Ziel, jeweils ca. 5 Items je Element zu entwickeln. FF1 und FF2 wurden mit Expertenratings mit drei bzw. zwei Ratern geprüft. Bei FF2 und FF3 wurden die Items in einer Studie mit insgesamt 144 Probanden aus Universität, Realschule und Gymnasium eingesetzt. Zur Klärung von FF3 wurden klassische Itemanalysen und konfirmatorische Faktorenanalysen verwendet.

Ergebnisse

FF1: Bezüglich der entwickelten Items ist in einer Präpilotierung Folgendes aufgefallen:

1. Die Zuordnung war z.T. anders als bei der Konstruktion der Items intendiert. Mehrere Items wurden unter Berücksichtigung des Ratings in andere, durch die Experten übereinstimmend festgestellten Matrizenpositionen verschoben.
2. Zu mehreren Matrizenelementen der Ordnungen 3 und 4 war es weniger häufig gelungen Items zu produzieren und die Itemproduktion war mit Schwierigkeiten

behaftet. Daher war nach Verschiebung von Items durch das Expertenrating die verbliebene Item Anzahl in Ordnung 3 und 4 geringer als ursprünglich geplant. Bei der Operation „Diagramm-Text Integration“ auf Komplexitätsstufe 4 war sogar gar kein Item verblieben.

In einer weiteren Pilotstudie wurden die neuen Item-Matrizenelement Zuordnungen erneut mittels eines Expertenratings untersucht. Es ergab sich in jeder der drei kognitiven Operationen eine zufriedenstellende Raterübereinstimmung mit Fleiss Kappa $> .8$. Alle Items konnten diesmal in den vorgesehenen Matrizenelementen verbleiben.

FF2: Die Prüfung auf Raterübereinstimmung der 5% doppelkodierten Items ergab eine sehr gute Übereinstimmung mit einem Cohens' Kappa von $.8$.

FF3: Die Schwierigkeiten der besetzten Matrizenelemente lagen im akzeptablen Bereich mit $0,2 < M < 0,6$ mit Tendenz zu mittlerer bis hoher Schwierigkeit und es zeigte sich kein Boden oder Deckeneffekt. Varianzproduktion ist vorhanden. Durch die Itemverschiebungen der Präpilotierung differierte jedoch die Itemanzahl je Matrizenelement von 0 bis 15. Nur die Items der kognitiven Operation „Konstruieren“ ließen sich mit hoher Modellpassung einer Skala zuordnen, für die anderen beiden Dimensionen gab es hauptsächlich Einschränkungen bei der Chi Square Statistik; RMSEA, SRMR / CFI, und TLI Statistiken waren jedoch nahe am akzeptablen Bereich. Die jeweiligen Itemzuordnungen für die entsprechenden Dimensionen waren signifikant.

Diskussion

Zusammenfassend kann berichtet werden, dass Items zu den drei intendierten kognitiven Operationen und Komplexitätsstufen des Diagrammkompetenzmodells erfolgreich konstruierbar sind. Bei hoher Komplexität der Items ist die Schwierigkeit der Itemkonstruktion jedoch ebenfalls hoch. Eine Itemkonstruktion zur kognitiven Operation „Diagramm und Text Integrieren“ ist auf Komplexitätsstufe 4 jedoch bislang nicht möglich gewesen. Das könnte daran liegen, dass die Interpolationsaufgaben, welche charakteristisch für Ordnung 4 sind, typischerweise in Diagrammen vorkommen, aber nicht unbedingt typisch sind für Texte. Es stellt sich die Frage, ob diese Stufe für die Zielgruppe überhaupt sinnvoll konstruierbar ist. Die Schwierigkeiten der bearbeiteten Items lagen eher im höheren Bereich. Dies ist übereinstimmend mit Repräsentationskompetenz-Items aus anderen Studien (z.B. Scheid et al., 2017) und mit der theoretischen Ansicht, dass es sich bei Diagrammkompetenz analog zur Repräsentationskompetenz um eine Experteneigenschaft handelt. Dass alle Items signifikant der jeweiligen Dimension zugeordnet werden konnten, darf nur für Skalen mit guter Modellpassung interpretiert werden (hier „konstruieren“). Für die anderen Skalen („ablesen“ und „integrieren“) darf nur mit Einschränkungen rückgeschlossen werden, dass Items der entsprechenden Skala zugehörig sind.

Ausblick

Zu den bisher zu gering besetzten Matrizenelementen sollen für zukünftige Forschungsvorhaben genügend Items ergänzt werden. Die Schwierigkeiten der Itemkonstruktion kann voraussichtlich durch eine bereits erfolgte präzisere Festlegung der Itemkonstruktionsvorschriften mit exakterer Schulung der itemkonstruierenden Mitarbeitenden und mehreren Validierungsschleifen überwunden werden. Der Test soll dann mit höherer Probandenzahl und damit höherer statistischer Power erneut eingesetzt werden. Mit den gewonnen Daten wird eine erneute statistische Prüfung durchgeführt werden. Erst nach Abschluss der empirischen Prüfung des Kompetenzmodells kann es zur Bestimmung von Diagrammteilkompetenz in Physik eingesetzt werden. Das Erhebungsinstrument soll auch um ein weiteres Themengebiet ergänzt werden und die Evaluation von theoriebasierten Lehrgängen zur Förderung von Diagrammkompetenz ermöglichen.

Literatur:

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction* 16(3), 183–198
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33, 131–152.
- Brandt, H., Moosbrugger, H. (2020). Planungsaspekte und Konstruktionsphasen von Tests und Fragebogen. In: H. Moosbrugger, A. Kelava (Hrsg.) Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61532-4_3
- Curcio, F. R. (1987). Comprehension of the mathematical relationships expressed in graphs. *Journal for Research in Mathematics Education* 18, 382–393
- Gilbert, J.K., & Treagust, D. (Hrsg.). (2009). Multiple representations in chemical education. The Netherlands: Springer
- Herrmann, T. (1993). Mentale Repräsentation ein erläuterungsbedürftiger Begriff. In J. Engelkamp & T. Pechmann (Hrsg.), *Mentale Repräsentation* (S. 17–30). Bern: Huber
- Kauertz, A. (2008). Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen Band 79*, Berlin: Logos Verlag
- Kozma, R.B., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence. In J.K. Gilbert (ed.), *Visualization in science education* (S. 121–146). Dordrecht: Springer
- Lachmayer, S., Nerdel, C. und Prechtel, H. (2007). Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13
- Larkin, J. & Simon, H. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11 (1), 65–99
- Mayer, R.E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R.E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (S. 31–48). New York: Cambridge University Press
- Norris, S.P., & Phillips, L.M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education* 87(2), 224–240
- Roth, W.-M., Bowen, G. M., & McGinn, M. K. (1999). Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching* 36, 977–1019
- Scheid, J., Müller, A., Hettmannsperger, R. und Kuhn, J. (2017). Erhebung von repräsentationaler Kohärenzfähigkeit von Schülerinnen und Schülern im Themenbereich Strahlenoptik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 23. DOI: 10.1007/s40573-017-0065-4. [online verfügbar: <http://www.springer.com/-/1/AVy4Ka8dxwILotVFKpxL>, 12.03.2020]
- Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*. New York: Cambridge University Press, pp. 49–70
- Schnotz, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review* 14(1), 101–119
- Schnotz, W. (1993). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidemann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*, Bern: Hans Huber, S. 95–147
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13, 227–237