Wiebke Kuske-Janßen TU Dresden
Gesche Pospiech

LehrerInnen interpretieren Formeln sprachlich: Rechnungen und mathematische Zusammenhänge als Teil sprachlichen Umgangs mit Formeln

Formeln sind ein wichtiges Element der Physik und des Physikunterrichts. Gleichzeitig stellen sie für Menschen ohne oder mit nur geringen mathematischen Kenntnissen und Fähigkeiten eine große Verstehenshürde dar. Gingras (2001) spricht in diesem Zusammenhang aus historischer Perspektive von der „Entdemokratisierung" der Physik durch die Mathematisierung. Dieses Problem spiegelt sich auch in einem Zitat von Faraday wider: „When a mathematician engaged in investigating physical actions and results has arrived at his conclusion, may they be not expressed in common language as fully, clearly, and definitely as in mathematical formulae?" (zit. n. Gringas, 2001) Somit erscheint die Frage nach dem Verhältnis von Formeln und verbaler Sprache insbesondere für das Lernen von Physik interessant. Der Umgang von LehrerInnen mit diesen Darstellungsformen ist das Forschungsinteresse des hier dargestellten Dissertationsprojektes.

Formelverständnis in der physikdidaktischen Forschung

Formeln sind eine physikalische fachspezifische Darstellungsform von besonderer Bedeutung. Daher sollten SchülerInnen als Teil physikalischer Kommunikationskompetenz lernen, Formeln zu verstehen und zu benutzen (z. B. Krey & Schwanewedel, 2018; Airey & Linder, 2009). Hierzu gehört auch ein Lernen *über* die Darstellungsform Formel (Ainsworth, 2008) im Sinne einer „metarepresentational competence" (diSessa, 2004). Auch für eine Stärkung der strukturellen Rolle der Mathematik (Pietrocola, 2008) ist es neben den technischen Rechenfähigkeiten wichtig, Formeln als inhaltstragende Zeichenketten zu verstehen, die in der Physik eine spezifische Bedeutung haben. Ein solches Formelverständnis geht über ein reines „Plug-and-Chug"-Verfahren (Tuminaro & Redish, 2007), bei dem Größen in Formeln eingesetzt werden, um eine unbekannte Größe zu berechnen, hinaus. In verschiedenen Untersuchungen zeigt sich jedoch, dass SchülerInnen oft daran scheitern, die Aussage einer Formel mit eigenen Worten wiederzugeben (Bagno, Eylon & Berger, 2009; Strahl, Schleusner, Mohr & Müller, 2010; Pospiech & Oese, 2013). Diese Ergebnisse überraschen wenig, wenn man sich die Komplexität von Formelbedeutungen, ihre hohe „semantische Dichte" (Hoffmann, 1987) bewusst macht: Physikalische und mathematische Symbole tragen für sich Bedeutungen und die mathematischen Operatoren einer Formel tragen eine eigene physikalisch interpretierbare Bedeutung („symbolic forms", Sherin, 2001). Die Bedeutung einer Formel als Ganzes beinhaltet auch Verknüpfungen mit anderen Darstellungsformen, Anwendungsbereiche und die Einbettung in physikalische Theorien. Diese komplexe Bedeutung kann mit Hilfe semantischer Netzwerke entschlüsselt und vermittelt werden (Redish & Kuo, 2015; Janßen & Pospiech 2016a). Außerdem haben Formeln innerhalb der Physik eine spezifische Rolle und erkenntnistheoretisch durchaus unterschiedliche Aussagearten wie Prinzipien, Definitionen, empirische Regularitäten oder Ableitungen (Karam & Krey, 2015).

Forschungsdesign

Der Theoriestand zeigt, dass inhaltliche und strukturelle Aspekte von Formeln für ein physikalisches Fachverständnis und die fachspezifische Repräsentationskompetenz relevant sind, SchülerInnen aber Schwierigkeiten mit diesen haben. Dies führt zu der Frage, wie LehrerInnen im Unterricht Formeln mit Inhalten verknüpfen. Um diese Frage beantworten zu können, wurde ein Ebenenmodell der Versprachlichung von Formeln entwickelt, das verbale Aussagen zu Formeln beschreibt und klassifiziert (s. Abb. 1, vgl. auch Janßen & Pospiech, 2016b; Geyer & Kuske-Janßen, 2019).

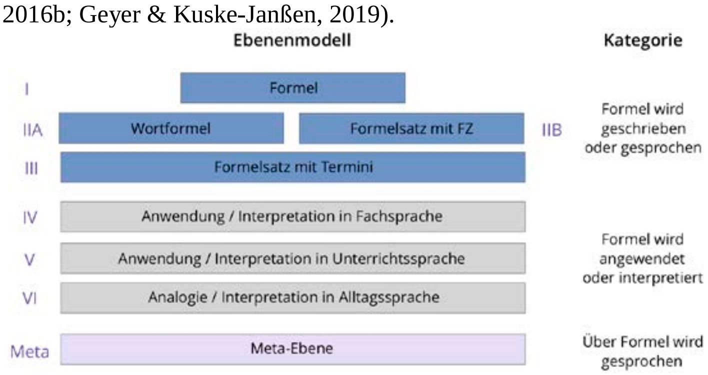

Abb. 1: Ebenenmodell der Versprachlichung von Formeln und zugeordnete induktiv gebildete Kategorien

Es soll untersucht werden, in welcher Form und wie oft LehrerInnen Formeln im Physikunterricht verbalisieren. Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden je 5 – 11 Schulstunden Unterricht von 10 LehrerInnen zum Thema elektrischer Widerstand (Formeln[1]: $\sim U, R = \frac{U}{I}, R = \rho \cdot \frac{l}{A}$) in der Klassenstufe 8 hospitiert und die Lehrersprache aufgezeichnet. Relevante Unterrichtspassagen wurden transkribiert (79h hospitierte, 33h transkribierte Unterrichtszeit) und mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) ausgewertet. Das Ebenenmodell wird zur weiteren Analyse der Kategorien genutzt.

Wie sprechen LehrerInnen über Formeln?

Die induktive Kategorienbildung führte zu drei Oberkategorien, die parallel zum Ebenenmodell zu verstehen sind (s. Abb. 1): *Formel wird gesprochen*, *Formel wird angewendet oder interpretiert* und *Über Formel wird gesprochen*. Abb. 3 zeigt die induktiv gefundenen Unterkategorien von *Formel wird angewendet oder interpretiert*, von denen *Rechnung* und *Zusammenhang zwischen Größen* hier näher beschrieben werden sollen.

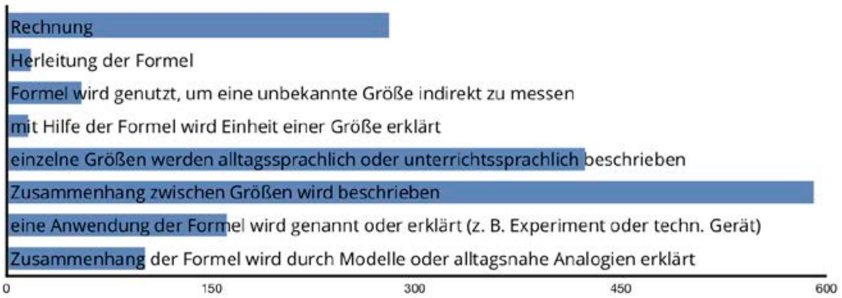

Abb. 2: Unterkategorien zu „Formel wird angewendet oder interpretiert“ mit absoluten Codinghäufigkeiten

Rechnung und *Zusammenhang zwischen Größen* sind die Kategorien mit der größten inhaltlichen Breite. Bei 6 der 10 LehrerInnen weisen sie die meisten Codierungen auf. Die Kategorie *Rechnung* (Codierungen $N_{Rechnung}$=281) machte bei den einzelnen LehrerInnen minimal 6% bis maximal 23% der gesamten Codierungen (N_{ges}=2491), bzw. minimal 8% und maximal 35% der Codierungen in der Kategorie *Formel wird angewendet oder*

1 In dieser Erhebung werden alle algebraischen Ausdrücke als Formeln bezeichnet.

interpretiert ($N_{angewendet}$=1652) aus. Damit nimmt das Rechnen beim Sprechen über Formeln einen hohen Stellenwert ein. Innerhalb der Kategorie *Rechnung* wurden verschiedene Unterkategorien identifiziert (s. Abb. 3). Fast alle Unterkategorien wurden von allen 10 LehrerInnen genutzt. Ausnahme ist das Umstellen von Formeln, das bei 3 LehrerInnen nicht vorkam. Ein Lehrer nutzte außerdem keine Anwendungsaufgaben. Es zeigte sich, dass besonders oft Rechnungen ohne Kontext, d. h. klassische gegeben-gesucht-Antwort-Aufgaben ohne kontextuelle Einbettung, vorkamen (s. Abb. 3, Beispiel in Zitat (1)). Diese Unterkategorie stellt bei 7 von 10 LehrerInnen die häufigste Unterkategorie dar. Bei Anwendungsaufgaben wurden Kontexte unterschiedlich stark auserzählt (Zitat (2) zeigt eine lebhafte Erzählung). In der Erhebung konnten zwei Gruppen von LehrerInnen ausgemacht werden: 3 LehrerInnen, bei denen v. a. eine Unterkategorie von Rechnung vorkam (Beispiel Herr Funke in Abb. 3: v. a. Rechnungen mit experimentellen Werten) und solche, bei denen die Unterkategorien ausgewogener auftraten (Beispiel Herr Lenz in Abb. 3; dieser und alle folgenden Namen wurden aus Datenschutzgründen geändert).

(1) Herr Funke: „Wir haben eine Spannung von zwei Volt und eine Stromstärke von ein Ampere. Gleichung haben wir rechts aufgeschrieben. (5 s) Wir würden einfach die zwei Volt durch ein Ampere teilen und kämen auf WAS für einen Widerstand?"

(2) Herr Jasper: „Irgendwas wurde neu gebaut. [...] Und bei der Eröffnung stellt man fest, [...]Mist. Stromkabel geht nicht. [...] Die könnten jetzt sagen: Wir fangen hier vorne an zu graben und [macht Geräusch von Bohrhammer nach] buddeln flink [...] und gucken, wo das Kabel kaputt ist. Da hat natürlich der Straßenbauer was dagegen [...] Das muss auch anders gehen. Und wie kann man jetzt mit Hilfe des Widerstandsgesetzes versuchen, die Stelle etwas zu LOKALISIEREN?"

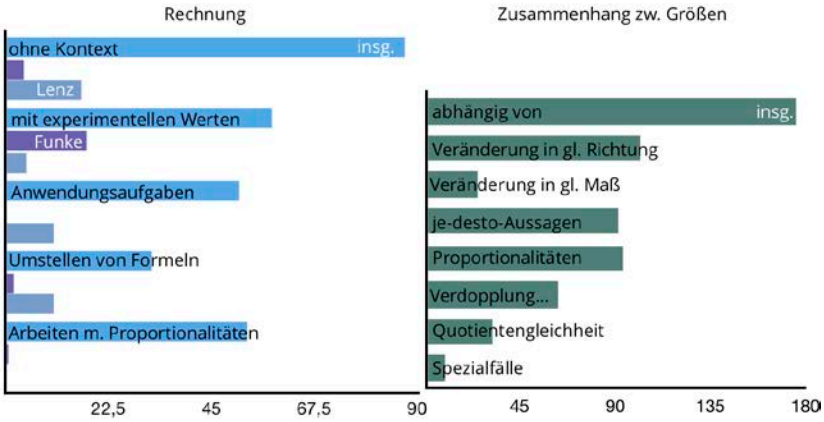

Abb. 3: Unterkategorien zu Rechnung und Zusammenhang zwischen Größen mit absoluten Coding-Häufigkeiten (insgesamt für alle LehrerInnen / für Herrn Funke und Herrn Lenz)

Der Zusammenhang von in der Formel vorkommenden Größen wurde insbesondere mit unterschiedlichem Maß an Quantifizierung beschrieben. Abb. 3 zeigt die gefundenen Unterkategorien mit von oben nach unten zunehmender Quantifizierung.

Zusammenfassung

Die hier dargestellten Ergebnisse stellen nur einen kleinen Ausschnitt des Kategoriensystems dar, das insgesamt eine sehr große Variationsbreite beim Sprechen über Formeln aufzeigt. Die hier dargestellten Kategorien können als typische Kategorien mit mathematischem Schwerpunkt interpretiert werden. Weitere Analysen sollen beispielsweise die eher technische oder strukturelle Verwendung von Formeln und die Positionierung unterschiedlicher Kategorien im Unterrichtsverlauf untersuchen.

Literatur

Ainsworth, S. (2008). The Educational Value of Multiple- Representations when Learning Complex Scientific Concepts. In: Gilbert, J. K. et al. (eds.), Visualization: Theory and Practice in Science education, 191-208

Airey, J. & Linder, C. (2009). A Disciplinary Discourse Perspective on University Science Learning: Achieving Fluency in a Critical Constellation of Modes. In: Journal of Research in Science Teaching, 46(1), 27-49.

Bagno, E., Eylon, B. & Berger, H. (2009): How to promote the Learning of Physics from Formulae? In: GIREP-EPEC & PHEC, 77-83

diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native Competence and Targets for Instruction. In: Cognition and Instruction, 22(3), 293-331.

Faraday to Maxwell, 25 March 1857; P. M. Harman (ed.), The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell (Cambridge, 1990), 548, zit. n. Gingras (2001).

Geyer, M.-A. & Kuske-Janßen, W. (2019). Mathematical Representations in Physics Education. In: Pospiech, G., Michelini, M. & Eylon, B. (Eds.): Mathematics in Physics Education. Cham: Springer Nature, 75-102

Gingras, Y. (2001). What did Mathematics do to Physics? In: History of Science, 39(4), 383-416

Hoffmann, L. (1987): Kommunikationsmittel Fachsprache. Eine Einführung. 3., durchgesehene Auflage. Berlin: Akademie-Verlag (=Sammlung Akademie-Verlag Bd.44. Sprache)

Janßen, W. & Pospiech, G. (2016a). Formeln physikalisch interpretieren und verstehen. Methoden und Anregungen für den Unterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 153/154(27), 51-55

Janßen, W. & Pospiech, G. (2016b). Lehrer sprechen in und über Formeln. In: Maurer, C. (Ed.): Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015. 593-595

Karam, R. & Krey, O. (2015). Quod erat demonstrandum: Understanding and Explaining Equations in Physics Teacher Education. In Science & Education 24(5-6), 661-698

Krey, O. & Schwanewedel, J. (2018). Lernen mit externen Repräsentationen. In: Krüger, D., Parchmann, I., Schecker H. (Eds.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer, 159-175

Kuckartz, U. (2016). Qualitative Inhaltsanalyse, Methoden, Praxis, Computerunterstüt- zung. 3., überarbeitete Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Pietrocola, M. (2008). Mathematics as Structural Language of Physical Thoughts. In: Conncecting Research in Physics Education with Teacher Education. International Commission on Physics Education (2)

Pospiech, G. & Oese, E. (2013). The Use of Mathematical Elements in Physics – View of Grade 8 Pupils. In: ICPE-EPEC Proceedings, 199-205

Redish, E. F. & Kuo, E. (2015). Language of Physics, Language of Math: Disciplinary Culture and Dynamic Epistemology. In: Science & Education 24(5-6), 561–590

Sherin, B. L. (2001). How Students Understand Physics Equations. In: Cognition and instruction. 19(4), 479-541

Strahl, A., Schleusner, U., Mohr, M. & Müller, R. (2010). Wie Schüler Formeln gliedern - eine explorative Studie. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 9(1), 18-24

Tuminaro, J. & Redish, E. F. (2007). Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games. In: Physical Review Special Topics - Physics Education Research 3(2), 1-22