

## Versprachlichung von Formeln und physikalisches Formelverständnis

Formeln sind ein zentraler Bestandteil des Physikunterrichtes. Quantisierbare Größen werden durch eine Formel miteinander in Beziehung gesetzt, die damit beispielsweise ein überprüfbares physikalisches Gesetz darstellt oder eine grundlegende physikalische Größe definiert.

### Theoretischer Rahmen

Eine physikalische Formel ist ein komplexes semantisches Konstrukt. Sie wird in abstrakt-verkürzter algebraischer Form repräsentiert. Max Born hat die Besonderheit der physikalischen Formel folgendermaßen hervorgehoben: „In der Physik sind die mathematischen Formeln nicht Selbstzweck wie in der reinen Mathematik, sondern Symbole für irgend eine Art Wirklichkeit [...].“ (Born, 1965, S.57). Diese Art der „Wirklichkeit“ muss zur Konstruktion einer Formelbedeutung hinzugezogen werden. Zum einen finden sich in einer Formel einzelne physikalische Fachtermini, repräsentiert durch ihre Formelzeichen. Die Bedeutung dieser Fachtermini ist jeweils innerhalb der sie umgebenden physikalischen Theorie zu sehen (z. B. kann die Bedeutung des Terminus „elektrische Stromstärke“ nur innerhalb der Theorie der Elektrodynamik verstanden werden, diese beinhaltet auch verschiedene Modellbildungen). Die einzelnen Termini werden durch mathematische Operatoren miteinander verknüpft. Diese Operatoren stellen Beziehungen zwischen den Größen dar.

In verschiedenen Untersuchungen zeigte sich, dass es SchülerInnen oft schwerfällt, dieses semantisch komplexe Konstrukt mit eigenen Worten zu beschreiben (z. B. Bagno et al., 2008). Dies deutet darauf hin, dass eine Vermittlung einer außerhalb reiner mathematischer Operatoren liegenden Bedeutung einer Formel im Unterricht häufig zu kurz kommt. Dies deckt sich mit den Befunden von Krey und Uhden, in denen sich bei SchülerInnen ein v. a. technischer Blick auf den Einsatz von Mathematik in der Physik und, als prototypisch hierfür empfunden, von Formeln zeigt. Die strukturelle Rolle der Mathematik bleibt weitgehend unberücksichtigt (Krey, 2012; Uhden, 2012). Die Unterscheidung von technischer (= reine Rechenoperationen) und struktureller Rolle (= Übertragung mathematischer auf physikalischer Erkenntnisse, z. B. Interpretieren und Modellieren) der Mathematik in der Physik geht auf Pietrocola zurück (Pietrocola, 2008).

Eine Untersuchung von Müller und Heise zeigte, dass die Verwendung algebraischer Formeln grundsätzlich das Verständnis physikalischer Texte verbessern (Müller & Heise, 2006). Gegenteilig fanden Dee-Lucas und Larkin aber heraus, dass Zusammenhänge und logische Strukturen in Beweisen ohne algebraische Schreibweise von Studierenden besser verstanden werden als solche mit Formeln (Dee-Lucas & Larkin, 1991). Diese Ergebnisse können zusammenfassend dahingehend interpretiert werden, dass Formeln bei SchülerInnen ihre Funktion der kognitiven Entlastung durch die verkürzte und übersichtliche Darstellungsweise von Zusammenhängen erfüllen. Es deutet sich an, dass eine kombinierte Darstellung von Inhalten in algebraischer und natürlich-sprachlicher Weise für den Lernprozess sinnvoll ist und ein Verständnis für Formelbedeutungen i. S. der strukturellen Rolle der Mathematik in der Physik verbessern könnte.

### Forschungsfragen

Dies führt zu der Fragestellung, wie im Unterricht mit Formeln umgegangen wird. Um ein Formelverständnis zu erreichen, das über das mathematische Manipulieren und Berechnen hinausgeht, sollte im Unterricht über die physikalische Bedeutung einer Formel gesprochen werden. Aus diesem Grund interessieren die Fragestellungen:

- (1) Wie häufig und in welcher Form werden Formeln von Lehrkräften im Unterricht versprachlicht?
- (2) Welche Rückschlüsse auf das Wissen von Lehrkräften über Formeln und ihre Nutzung im Unterricht (CK und PCK) erlaubt die Analyse der Formel-Versprachlichtungen im Unterricht?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen sind Unterrichtshospitationen mit anschließender qualitativer Auswertung des erhobenen Sprachmaterials geplant.

### Ebenenmodell der Versprachlichung von Formeln

Die Versprachlichung bedeutet die Verknüpfung algebraischer und natürlich-sprachlicher Darstellungen. Um unterschiedliche Möglichkeiten der Versprachlichung beschreiben zu können, wird folgendes selbst entwickeltes Ebenenmodell verwendet:

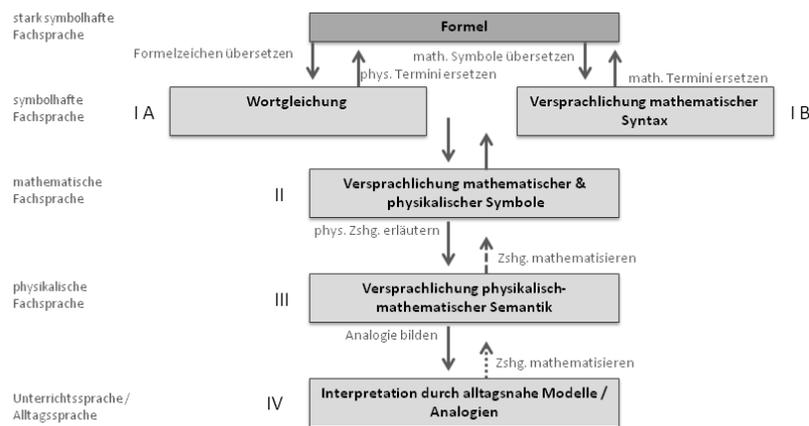


Abb. 1: Ebenenmodell der Versprachlichung von Formeln

Eine erste Übersetzungsleistung ist das Identifizieren und Übersetzen der in einer Formel verwendeten Symbole. Dies sind zum einen die verwendeten physikalischen Formelzeichen, die den korrekten physikalischen Fachtermini zugeordnet werden. Werden nur die Fachtermini eingesetzt, erhält man eine Wortgleichung (Ebene IA). Zum anderen müssen die mathematischen Symbole in die jeweiligen Operatoren übersetzt werden. Die Übersetzung der mathematischen Symbole findet auf Ebene IB statt. Wenn sowohl die mathematischen als auch die physikalischen Symbole in ihr fachsprachliches Äquivalent übertragen wurden, hat eine Versprachlichung auf Ebene II stattgefunden. An dieser Stelle sind in der natürlichsprachlichen Transformation der Formel noch alle Informationen enthalten. Die verwendete Sprache ist rein fachsprachlich und kann problemlos nach den Transformationsregeln wieder in die verkürzte algebraische Version rückübersetzt werden. Ab Ebene III erfolgt ein Hinzufügen von Informationen. Die Lehrkraft hat hier die Möglichkeit, die Formel stärker in den Kontext einer physikalischen Theorie einzubetten und die mathematische Semantik des Zusammenhanges zu beschreiben (z. B. mithilfe der symbolischen Formen nach Sherin, 2001). Außerdem erfolgt eine erste Interpretation durch

eine Klassifizierung der Funktion der Formel innerhalb der Theorie (im Beispiel unten wird die Formel als Definitionsgleichung des Widerstandes interpretiert). Ebene IV versucht eine weitergehende Form der Interpretation, indem auf unterrichtssprachlichen oder sogar alltagssprachlichen Niveau eine für die SchülerInnen zugängliche Analogie geschaffen wird.

Da Ebene III und IV Interpretationen der Formel sind, ist von diesen Ebenen eine Rückübersetzung zur algebraischen Form nicht ohne weitere Informationen oder experimentelle Untersuchungen des Zusammenhanges möglich. Die Transformation in diese Ebenen erfolgt nie ohne Informationsverlust. Gleichzeitig sind es diese Ebenen, auf denen die „Bedeutung“ einer Formel vermittelt wird und ihre Aussage mit anderen Worten als den rein fachsprachlichen, mathematischen Zusammenhängen beschrieben wird. Aus der Verwendung dieser Ebenen im Unterricht kann somit ein Rückschluss darauf gezogen werden, inwiefern über Formelbedeutungen gesprochen wird. Folgendes Beispiel soll die Ebenen verdeutlichen:

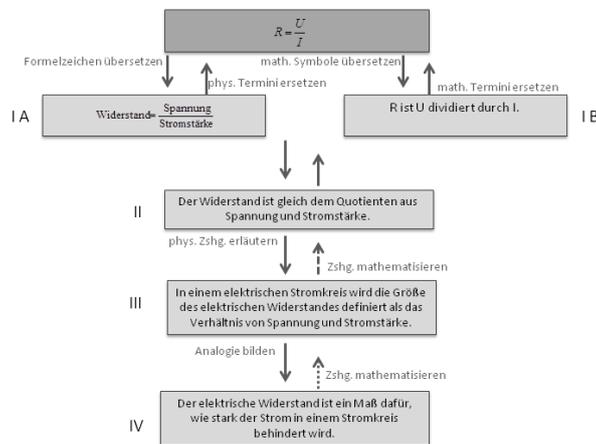


Abb. 2: Beispiel der Versprachlichung einer Formel nach dem Ebenenmodell

Die Funktionalität des Modells ist in ersten Lehrbuchanalysen explorativ getestet worden. Es zeigte sich, dass die beschriebenen Ebenen dazu geeignet sind, Versprachlichungen zu beschreiben, die in Lehrbüchern genutzt werden. Lediglich die Ebene IA tauchte in den analysierten Lehrbüchern und Lernbereichen nicht auf.

#### Literatur

- Bagno, E., Berger, H. & Eylon, B. (2008). How to promote learning of physics from formulae? In GIREP-EPEC & PHEC 2009 (Tagungsband), 75-82
- Born, M. (1965). Symbol und Wirklichkeit. In *Physikalische Blätter* 21 (2), 53-63
- Dee-Lucas, D. & Larkin, J. (1991). Equations in Scientific Proofs: Effect on Comprehension. In *American Educational Research Journal* 28 (3), 661-682
- Krey, O. (2012). Zur Rolle der Mathematik in der Physik: wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender. Berlin: Logos (=Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd.130)
- Müller, R. & Heise, E. (2006). Formeln in physikalischen Texten: Einstellungen und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern. In *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 2 (5), 62-70
- Pietrocola, M. (2008). Mathematics as Structural Language of Physical Thoughts. In Vicentini, M. & Sassi, E. (Hrsgb.) *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, Bd.2. ICPE
- Sherin, B. (2001). How Students Understand Physics Equations. In *Cognitions and Instruction* 19 (4), 479-541
- Uhdén, O. (2012). Mathematisches Denken im Physikunterricht: Theorieentwicklung und Problemanalyse. Berlin: Logos (=Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd.133)