

Versprachlichung von Formeln

- Die Bedeutung von Formeln und ihre Vermittlung -

Wiebke Janßen*, Gesche Pospiech*

*Didaktik der Physik, Technische Universität Dresden
wiebke.janssen@tu-dresden.de, didaktik@physik.tu-dresden.de

Kurzfassung

Formeln sind zentraler Bestandteil der Physik und somit auch des Physikunterrichtes. SchülerInnen sollen neben der rein mathematischen Handhabung von Formeln auch die Bedeutung von Formeln verstehen lernen. Die Bedeutung einer Formel ist dabei ein komplexes semantisches Konstrukt, das sich aus physikalischen und mathematischen Symbolen und ihren jeweils konnotierten Bedeutungen zu einer neuen physikalisch-mathematischen Gesamtbedeutung zusammenfügt. Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass SchülerInnen sich häufig auf technische Aspekte der Mathematisierung konzentrieren und dass ihnen die Verbalisierung einer Formelbedeutung oder eines Formelinhaltes sehr schwer fällt. Darum ist es das Interesse des hier vorgestellten Promotionsvorhabens, Vermittlungsstrategien auf Lehrerseite aufzuzeigen, die diese Kompetenzen fördern könnten. Es soll Lehrersprache im Unterricht aufgezeichnet und dahingehend ausgewertet werden, wie Lehrkräfte Formeln versprachlichen. Die Versprachlichung einer Formel bedeutet dabei neben dem reinen Übersetzen der einzelnen physikalischen und mathematischen Symbole die Einordnung der Formel in eine physikalische Theorie, mathematische je-desto-Aussagen und qualitative Übersetzungen bzw. Interpretationen des physikalischen Sachverhaltes, den eine Formel beschreibt.

1. Formeln und Sprache im Physikunterricht: aktueller Forschungsstand

Formeln (oder in der Physik häufig synonym verwendet: Gleichungen) sind eine fachtypische Darstellungsform der Physik, die SchülerInnen im Rahmen der Entwicklung von Fachkompetenz verstehen lernen sollen. Eine Formel ist ein algebraischer Ausdruck, der verschiedene physikalische Größen miteinander verknüpft. Diese Größen werden verkürzt durch ihnen zugeordnete Formelzeichen repräsentiert. So entsteht eine physikalisch-mathematische Formelbedeutung, die über die Einzelbedeutung der Termini hinausgeht.

Neben algebraischen Darstellungen kann der Formelinhalt auf verschiedene Weisen dargestellt und somit vermittelt werden. Das Verhältnis zwischen einem algebraischen und einem natürlich-sprachlichen Ausdruck hat bereits viele Physiker selbst beschäftigt. So fragt Faraday: „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?“ [5] Und Max Born betont 100 Jahre später, als mathematische Methoden in der Physik längst etabliert und aus der Wissenschaft Physik nicht mehr wegzudenken sind: „In der Physik sind die mathematischen Formeln nicht Selbstzweck wie in der reinen Mathematik, sondern Symbole für irgend eine Art Wirklichkeit [...]“ [4]

In dieser Arbeit wird die Verknüpfung algebraischer und verbal-sprachlicher Darstellungen näher untersucht. Der theoretische Hintergrund des hier vorgestellten Promotionsvorhabens spannt sich somit von Darstellungsformen im Physikunterricht allgemein über Sprache und Mathematik und speziell Formeln im Physikunterricht.

1.1 Darstellungsformen im Physikunterricht

Formeln und Verbalsprache gehören zu den Darstellungsformen, die im Physikunterricht genutzt werden. Nach Bruner können verschiedene Darstellungen in enaktive (=motorische), ikonische (=sensorische) und symbolische (=intellektuelle) Darstellungsformen unterteilt werden [3]. Enaktive Darstellungen sind Handlungen, ikonische direkte Abbildungen, symbolische Darstellungen sind abstrakte Zeichen für etwas, das über eine Abbildungskonvention mit dem Darzustellenden verknüpft ist. Symbolische Systeme erlauben „die Möglichkeit der Verdichtung - eine Eigenschaft, die solche Zusammenfassungen erlaubt wie $F = MA$ oder $S = 1/2gt^2$ oder 'Grau ist alle Theorie und grün des Lebens goldener Baum', wobei die Grammatik in jedem Fall ganz normal ist, obwohl der Bedeutungsdruck enorm ist.“ ([3], S.18) Bruner fordert für den Lernprozess die Verknüpfung dieser drei Ebenen, was sich im engen Sinne der Definitionen für den Physikunterricht als schwer erweist, da in diesem häufig mit rein abstrakten, symbolischen Begriffen hantiert wird.

Bruners lernpsychologische Einteilung ist Grundlage für viele andere Klassifizierungen. Speziell für den

Physikunterricht ist die Einteilung nach Prediger und Wessel (vgl. Abb.1) hilfreich [18].

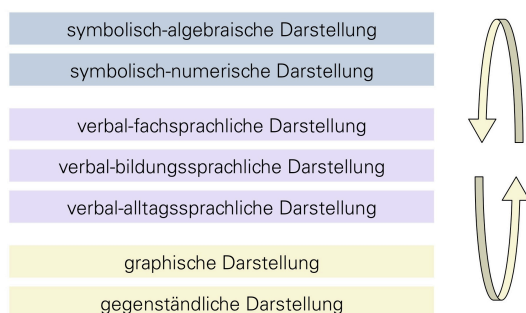


Abb.1: Darstellungsformen im Physikunterricht nach Prediger & Wessel (2012) [18]

Hier wird grob nach gegenständlichen, sprachlichen und mathematischen Darstellungen unterteilt. In Rückbezug auf Bruner handelt es sich bei den sprachlichen und mathematischen Darstellungen um symbolische Darstellungen. Diese Klassifizierung lässt sich in Unterkategorien aufschlüsseln. Die gegenständliche Ebene wird in gegenständliche und graphische Darstellungen unterteilt. Nach Bruner finden sich hier die ikonischen (graphisch) und ansatzweise die enaktiven (gegenständlich) Repräsentationen wieder, wenn man davon ausgeht, dass der Lernende z.B. in einem Schülerexperiment die Möglichkeit hat, mit dem Gegenstand direkt zu interagieren.

Ein Wechsel von Darstellungsformen gilt allgemein als lernförderlich und wird explizit von Prediger & Wessel, aber auch von Leisen [10] gefordert.

Auffallend ist, dass alle Autoren sprachliche und mathematische Darstellungen differenzieren. Diese Trennung stößt an ihre Grenzen, wenn man das Sprechen über mathematische Darstellungen betrachtet. Physikalische Fachsprache und sprachliches Handeln im Unterricht ist häufig auch dann mathematisch, wenn es weder explizit numerisch noch algebraisch ist. Dies ist in der engen Verknüpfung mathematischer Strukturen mit der Naturwissenschaft Physik begründet, die es in vielen Inhaltsbereichen nahezu unmöglich macht, *nicht-mathematisch* über Physik zu sprechen.

Im Folgenden sollen nun die Rolle der Sprache und der Mathematik im Physikunterricht als für diese Arbeit besonders relevante Darstellungsformen näher betrachtet werden.

1.2 Sprache im Physikunterricht

In den letzten Jahren haben sich immer mehr Fachdidaktiker mit der Bedeutung der Sprache für den Physikunterricht beschäftigt (z.B. Leisen [11], Apolin [1]). Diese Arbeiten beschäftigen sich zentral mit den unterschiedlichen Sprachformen, die im Physikunterricht verwendet werden, und ihrer didaktischen Bedeutung für den Lernprozess. Zunächst lassen

sich die Sprachformen immer in Fachsprache und Alltagssprache unterteilen.

Fachsprachlichkeit ist zum einen Lernziel des Physikunterrichtes, da korrektes Verstehen und Verwenden der Fachsprache zur fachbezogenen Kommunikationskompetenz zählt, zum anderen stellt sie die SchülerInnen aber auch vor eine Verstehenshürde, die es zu überwinden gilt. Betrachtet man die unterschiedlichen Sprachformen des Physikunterrichtes rein sprachwissenschaftlich, so lässt sich in Anlehnung an Hoffmann [6] eine vertikale Schichtung verschiedener Sprachebenen ausmachen. Diese vertikale Sprachschichtung orientiert sich am Maß der Abstraktheit eines sprachlichen Registers (bezeichnet in der Sprachwissenschaft eine funktionsgebundene Sprachform, die von einer bestimmten Gruppe gesprochen wird; vgl. auch Janßen (2013) [8], S.9 f.). Da Formeln ihre Bedeutung in Formelsymbolen darstellen, die wiederum für innerhalb einer Fachsprache streng definierte Fachtermini stehen, können Formeln als hoch abstrakte, bedeutungsgeladene Ausdrücke gewertet werden. Die Entschlüsselung dieser Semantik durch den Lernenden benötigt die Unterstützung einer Lehrkraft. Diese Unterstützung kann beispielsweise durch Registerwechsel, also Darstellung des Inhaltes auf unterschiedlichen sprachlichen Ebenen, der Lehrkraft erfolgen.

Die Diskussion, wie mit Fachsprache im Physikunterricht umgegangen werden sollte, ist nicht neu. Bekannt sind z.B. die unterschiedlichen Ansätze von Wagenschein [23] und Muckenfuß [14], die auch bei der Vermittlung von Formeln (als ein Kernelement der physikalischen Fachsprache) berücksichtigt werden sollten. Während Wagenschein die Fachsprache als Ziel des Lernprozesses setzt, stellt sie bei Muckenfuß mehr eine notwendige Brücke zum Verstehen dar. Erst wenn der Lernende in der Lage ist, seine Erkenntnisse in die Alltagssprache rückzuübersetzen, hat er den Inhalt wirklich verstanden (Vgl. Abb.2).

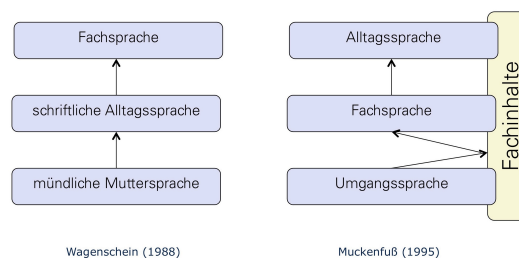


Abb.2: Sprachebenen im Physikunterricht nach Wagenschein (1988) [23] und Muckenfuß (1995) [14]

Überträgt man diese Vorstellung auf das Verstehen von Formelinhalten, so vertrete ich mit Muckenfuß die Ansicht, dass zum Verstehen einer Formel die Fähigkeit gehört, den Formelinhalt in eine nicht-algebraische Ausdrucksform zu übertragen. In ersten Schritten muss die Semantik ihrer Symbole ent-

schlüsselt werden. Diese Einzelbedeutungen müssen anschließend in eine Gesamtsemantik überführt und unter Nutzung anderer sprachlicher Register beschrieben werden.

1.3 Mathematisierung im Physikunterricht

Formeln sind nicht nur eine typische Darstellungsform in der Physik sondern Ausdruck der Mathematisierung der Physik. Die Mathematik ist in der Arbeits- und Ausdrucksweise der Wissenschaft Physik tief verwurzelt. Mit Hilfe der Mathematik und somit auch mit Hilfe von Formeln kann die Physik logische, stringente Aussagen machen. Diese Aussagen werden objektiv und empirisch überprüfbar. Außerdem hilft die Mathematik, abstrakte Größen darzustellen und sie handhabbar zu machen. Insbesondere Formeln helfen, mehrere abstrakte Größen kurz und prägnant darzustellen. Dies führt zu einer kognitiven Entlastung (vgl. Krey [9], S.55 f.). Der Physiker muss nicht immer die vollständige, abstrakte Bedeutung einer Größe kommunizieren oder mitdenken. Er kann Formeln ohne diese semantische Tiefe handhaben.

Während eine Formel in ihrer Oberflächenstruktur oder Syntax immer mathematische Beziehungen zwischen verschiedenen physikalischen Größen ausdrückt, kann sie in ihrer semantischen Struktur innerhalb einer physikalischen Theorie oder in ihrer historischen Entwicklung unterschiedliche Zusammenhänge beschreiben (vgl. auch [17]):

- a) Sie kann ein physikalisches Gesetz ausdrücken.
Beispiel: $F = m \cdot a$ als Ausdruck des zweiten Newtonschen Grundgesetzes)
- b) Sie kann das Ergebnis experimenteller Datensätze kurz und prägnant zusammenfassen
Beispiel: Im Physikunterricht werden Formeln häufig aus Experimenten abgeleitet. Das Gesetz von Hooke wird aus der Messung der elastischen Längenausdehnung einer Feder in Abhängigkeit von der wirkenden Kraft abgeleitet: $D = \Delta F / \Delta l$
- c) Sie kann einen empirischen Zusammenhang ausdrücken.
Beispiel: Das Gesetz des radioaktiven Zerfalls $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$
- d) Sie kann einen physikalischen Prozess beschreiben, indem sie die Veränderungen zeit- oder ortsabhängiger Größen darstellt.
Beispiel: Zusammenhang von Ort und Zeit bei der geradlinig-gleichförmigen Bewegung $s(t) = v \cdot t$
- e) Sie kann eine neue physikalische Größe definieren.
Beispiel: $p = F/A$ definiert die physikalische Größe Druck. (Dieses Beispiel zeigt zugleich die didaktischen Schwierigkeiten, die eine solche Definitionsgleichung für das Verständnis einer Größe bedeuten kann, da diese Gleichung eine gute Vorstellung des Auflagedruckes vermittelt,

das Verständnis des statischen Druckes aber eher erschwert. (Vgl. hierzu Wodzinski [24])

Das Verhältnis von Oberflächenstruktur und komplexer physikalisch-mathematischer Semantik wirft ein Problem auf, das Hund treffend auf den Punkt bringt: „Jedem, der Physik studiert, tritt ja ein sehr ernstes Dilemma entgegen. Er möchte Physik ‚verstehen‘, und er möchte Physik ‚handhaben‘ lernen, sie vielleicht sogar weiterbilden. Versucht er, alles zu verstehen, so kommt er nie dazu, es zu handhaben; beschränkt er sich auf das zweite (er muß ja an sein Weiterkommen im Beruf denken), so versteht er die Dinge nicht ganz, mit denen er umgeht.“ ([7], S.11) Diese zwei Seiten der Mathematik in der Physik werden von Pietrocola (2008) mit technischen und strukturellen Fähigkeiten beschrieben, die ein Physiktreibender erlernen muss [15]. In der Schule wird diese strukturelle Rolle der Physik aber häufig vernachlässigt (Uhdén [22]) und auch SchülerInnen beschreiben speziell die Bedeutung von Formeln häufiger technisch als strukturell (Oese [16]). Dies deutet darauf hin, dass Formeln im Unterricht vor allem für Berechnungen und rein technisches Manipulieren genutzt werden, selten aber über ihre Bedeutung innerhalb einer physikalischen Theorie gesprochen wird.

Andere Untersuchungen haben explizit gezeigt, dass SchülerInnen die Beschreibung eines Formelinhaltes sehr schwer fällt, sie also die Formelbedeutung nicht richtig verstanden haben oder ihnen der Registerwechsel von der algebraischen Darstellung zu einer verbalsprachlichen schwerfällt (Strahl et al. [20]; Bagno et al. [2]). Der Beitrag von Strahl et al. in diesem Tagungsband [21] zeigt, dass auch Lehramtsstudierende der Physik Schwierigkeiten haben, eine Formelbedeutung verbal zu beschreiben und sich bei der Strukturierung einer Formel in einigen Fällen lediglich auf ihre Oberflächenmerkmale, nicht auf die physikalische Formelbedeutung, zu konzentrieren scheinen.

In Bezug auf Muckenfuß [14] fehlt somit die Rückübersetzung von der Fachsprache zur Alltagssprache, die das wirkliche Verstehen eines Inhaltes sicherstellt.

2. Forschungsdesiderat

Die Schwierigkeiten, die SchülerInnen in den genannten Erhebungen mit der Beschreibung einer Formelbedeutung haben, legen die Vermutung nahe, dass die Beschreibung von Formeln in einem strukturellen Sinn häufig vernachlässigt wird. Eine Möglichkeit der Stärkung eines strukturellen Verständnisses für Formeln, das über rein technisches Berechnen und Manipulieren hinausgeht, ist die Verknüpfung algebraischer mit verbalsprachlichen Darstellungsformen. Welchen Stellenwert eine solche Verknüpfung im Unterricht hat, soll im Rahmen des hier vorgestellten Promotionsvorhabens untersucht werden.

3. Forschungsfragen

1. Wie häufig und in welcher Form werden Formeln von Lehrkräften im Unterricht versprachlicht?
 - a) Welche Versprachlichtungen werden im Unterricht genutzt?
 - b) Wie häufig werden Formeln im Unterricht versprachlicht?
 - c) Welche Arten der Versprachlichtung werden im Unterricht wie häufig genutzt?
 - d) In welcher Form werden Formeln durch Lehrkräfte sprachlich interpretiert?
2. Lassen sich typische Pattern identifizieren, nach denen Lehrkräfte Formeln versprachlichen?
 - a) Nutzen Lehrkräfte verschiedene Arten der Versprachlichtung im Unterrichtsverlauf in bestimmter Reihenfolge?
 - b) Welche Vermittlungsstrategien haben Lehrkräfte bezüglich der Vermittlung von Formelbedeutungen?

4. Ebenenmodell der Versprachlichtung von Formeln

Um die von LehrerInnen genutzten Versprachlichtungen klassifizieren zu können, wurden deduktiv Kategorien gebildet. Diese orientieren sich an der vertikalen Schichtung von Fachsprachen nach Hoffmann [6] und klassifizieren die genutzten Darstellungen einer Formel nach höherer Symbolhaftigkeit und damit einhergehend einem höherem Abstraktionsgrad.

Abbildung 3 zeigt die Struktur des Ebenenmodells und die grundlegende Erscheinungsform der einzelnen Ebenen:

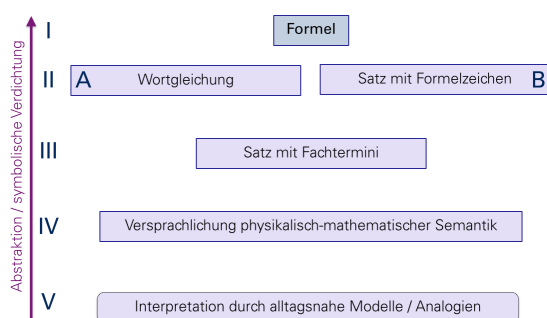


Abb.3: Ebenenmodell der Versprachlichtung von Formeln

Auf Ebene I steht die Formel als semantisch stark verdichtetes, symbolisches Konstrukt. In den Ebenen II und III werden die Formelzeichen in ihre fachsprachlichen Termini übersetzt. Ebene IV und V sind Interpretationen der Formel, hier sind immer mehrere Möglichkeiten denkbar und eine Übersetzung dieser Aussagen in eine Formel ist nicht in jedem Fall ohne Zuhilfenahme weiterer Informationen möglich.

Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden (Vgl. Abb.4): In Ebene II werden zunächst entweder

die mathematischen oder die physikalischen Symbole in die zugehörigen Termini überführt. Da die mathematischen Symbole nicht als solche ausgesprochen werden können, findet sich die Wortgleichung (IIA) nur in der Schriftsprache: in Lehrbüchern und an der Tafel, während die Aussagen „I entspricht der Summe aus I_1 und I_2 “ (IIB) auch mündlich möglich ist („I entspricht der Summe aus I-eins und I-zwei“).

Ebene III enthält keine verkürzten Symbole mehr, statt ihrer werden die entsprechenden Fachtermini verwendet. Die Aussage enthält die gleiche Information wie die Formel in Ebene I, ist jedoch weniger verkürzt. Durch Einsetzen der Formelzeichen ist eine Übersetzung von dieser Ebene zur Formel ohne Heranziehen weiterer Informationen möglich. Sprachlich ist diese Aussage rein fachsprachlich und noch immer auf einem sehr hohen Abstraktionsniveau, da die Bedeutung der einzelnen Fachtermini komplex ist und die mathematische Beziehung zwischen ihnen selbstständig verstanden werden muss.

In Ebene IV beginnt die Interpretation der Formel. In diesem Beispiel wird die physikalische Situation genannt, in der die Formel gültig ist („in einem verzweigten Stromkreis“) und es wird Bezug zu einem konkreten Messverfahren oder zu einem Experiment hergestellt. Die Aussage enthält außerdem eine Art „Wertung“ der Formel: Die Formel beschreibt, was in einer Messung passiert. Alternativ kann hier eine Formel z.B. als Gesetz, Definitionsgleichung oder empirische Aussage klassifiziert werden oder auch das mathematische Verhältnis der verwendeten physikalischen Größen z.B. in Form von je-desto-Aussagen näher erläutert werden. In jedem Fall wird der Formel als Interpretationshilfe mindestens eine weitere Information hinzugefügt, die ohne das nötige Wissen nicht direkt aus der Formel ablesbar ist. Die Formel wird z.B. in den Kontext einer physikalischen Theorie gestellt. Sprachlich kann diese Ebene noch hohe fachsprachliche Anteile enthalten. Es ist aber auch möglich, dass der Lehrer alltagssprachliche Einflüsse nutzt oder syntaktisch einfachere Satzstrukturen nutzt. Mit Leisen [11] kann diese Sprachstufe als Unterrichtssprache benannt werden.

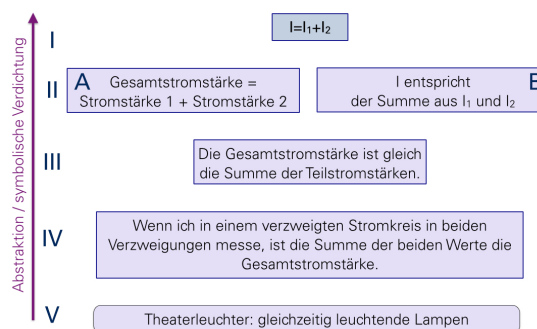


Abb.4: Versprachlichtung einer Formeln auf allen Ebenen

Eine Versprachlichtung in Ebene V bedeutet eine weitergehende Interpretation der Formel, die mit

einem Registerwechsel (von Fach- oder Unterrichtssprache zu einem höheren Anteil an Alltagssprache) einhergeht. Im genannten Beispiel wurde die Formel auf ein konkretes Alltagsbeispiel bezogen: Dass sich die Stromstärke in einem verzweigten Stromkreis aufteilt, wird mit einem Theaterleuchter verglichen, an dem gleichzeitig viele Lampen leuchten. Während die Stromstärke in der Zuleitung sehr hoch ist, teilt sie sich im Leuchter auf die einzelnen Lampen auf. Durch die Anwendung auf ein konkretes Beispiel, eine Modellbildung oder das Aufzeigen einer Analogie, fokussiert sich die Lehrkraft immer auf bestimmte Eigenschaften. Wie bei jeder Interpretation gehen andere Informationen zugunsten dieser Fokussierung verloren. Diese Übersetzung der Formel fügt somit Inhalte hinzu, verliert aber gegenüber den anderen Ebenen an Genauigkeit. Dies zeigt sich auch in dem Registerwechsel in eine andere Sprachform, da die Exaktheit der Fachsprache hier nicht mehr gewährleistet werden kann.

5. Erhebungsplan

Das Ebenenmodell wurde durch Lehrbuchanalysen und erste Unterrichtsaufzeichnungen pilotiert. Es zeigte sich, dass die deduktiv aus sprachwissenschaftlichen Grundlagen begründeten Ebenen prinzipiell geeignet sind, die Beschreibungen von Formelinhalten zu beschreiben. In den Ebenen IV und V zeigte sich erwartungsgemäß eine hohe Variationsbreite. In der Hauptstudie soll diese näher analysiert werden.

In der Hauptstudie soll eine Stichprobe von insgesamt 10 Lehrkräften aus Mittelschule und Gymnasium im Unterricht der Sekundarstufe 1 untersucht werden. Thematisch konzentriert sich die Erhebung auf Einführungs-, Erarbeitungs- und Übungsstunden des Ohm'schen Gesetzes und des Geschwindigkeits-Zeit-Gesetzes der geradlinig gleichförmigen Bewegung. Die Auswertung der Lehrersprache erfolgt mithilfe des Ebenenmodells. Die Ebenen IV und V, die einen stärkeren interpretativen Charakter aufzeigen, sollen zusätzlich qualitativ auf die Existenz bestimmter Pattern untersucht werden.

Die Lehrkräfte sollen zusätzlich interviewt werden, um die Entscheidungen für bestimmte Interpretationen nachvollziehen zu können und mit ihrem Wissen über Formeln im Speziellen und der Mathematisierung im Physikunterricht im Allgemeinen abgleichen zu können. Mithilfe der Unterrichtsaufzeichnungen und der Ergebnisse der Interviews können ggf. im Anschluss verschiedene Lehrertypen in der Vermittlung einer Formelbedeutung identifiziert werden.

6. Erste Ergebnisse aus Lehrbuchanalysen

Das genutzte Ebenenmodell wurde unter anderem im Rahmen einer Abschlussarbeit [19] an der Technischen Universität Dresden durch Lehrbuchanalysen validiert. Hierzu wurden exemplarisch das jeweils in Sachsen zugelassene Lehrbuch des Cornel-

sen-Verlages für das Gymnasium [12] und die Mittelschule [13] der Klassenstufen sieben und acht (Physik und Physik Plus) im Themenbereich Elektrizitätslehre analysiert.

Es zeigte sich, dass die Ebenen prinzipiell gut geeignet sind, um genutzte Versprachlichungen zu klassifizieren und näher zu beschreiben. Alle Ebenen konnten in den Texten identifiziert werden. Algebraische und natürlichsprachliche Darstellungen waren in etwa gleich häufig vertreten. Lediglich die Ebene IIA (Wortgleichung) wurde sehr selten vorgefunden. Außerdem zeigte sich erwartungsgemäß eine leichte Tendenz zu stärker algebraisch orientierten Darstellungsformen in Klasse acht, die mit wachsenden mathematischen Kenntnissen und Kompetenzen der SchülerInnen einhergehen sollte (Vgl. Abb.5). Insbesondere die unteren Ebenen (IV und V) zeigten eine große Variationsbreite, die bei der Haupterhebung näher untersucht und auf mögliche Muster untersucht werden soll.

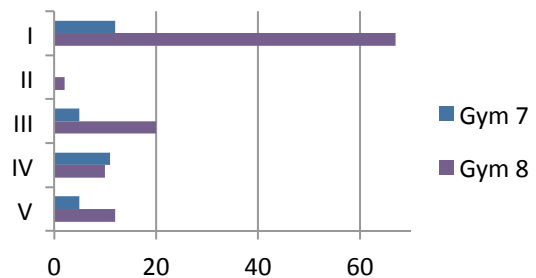


Abb.5: Verteilung der Versprachlichungsebenen im Lehrbuch Cornelsen Physik Klasse 8 im Themenbereich Elektrizitätslehre

7. Ausblick

Nach der Auswertung der Pilotaufnahmen im Unterricht und der damit einhergehenden Verbesserung der Erhebungsinstrumente und Auswertungsmethoden, soll der Interviewleitfaden entwickelt werden und die Erhebung zur Hauptstudie erfolgen.

Auf lange Sicht sollen die Ergebnisse der Unterrichtsanalysen Lehrkräften verschiedene Möglichkeiten aufzeigen, Formelbedeutungen zu vermitteln. Gegebenenfalls kann in einer folgenden Arbeit der Effekt verschiedener Versprachlichungen auf das Formelverständnis von SchülerInnen untersucht werden.

8. Literatur

- [1] Apolin, Martin (2002): Die Sprache in Physikschulbüchern unter besonderer Berücksichtigung von Texten zur speziellen Relativitätstheorie.
- [2] Bagno, Esther; Berger, Hana; Eylon, Bat-Sheva (2009): How to promote the Learning of Physics from Formulae? In: GIREP-EPEC & PHEC S.77-83, Url:

- (http://physics.le.ac.uk/girep2009/ConferenceProceedings/GIREP2009_ConferenceProceedings_Volume2.pdf#page=85)
- [3] Bruner, Jerome (1974): Entwurf einer Unterrichtstheorie. Berlin: Berlin Verlag Arno Spitz
- [4] Born, Max (1965): Symbol und Wirklichkeit II. In: Physikalische Blätter 21/2 S.53-63
- [5] Faraday, Michael (1857) in einem Brief an Maxwell, zitiert nach Gingras, Yves (2001): What did mathematics do to physics? In: History of Science S.397
- [6] Hoffmann, Lothar (1987): Kommunikationsmittel Fachsprache. Eine Einführung. 3., durchgesehene Auflage. Berlin: Akademie-Verlag (=Sammlung Akademie-Verlag Bd.44. Sprache)
- [7] Hund, Friedrich (1972): Geschichte der physikalischen Begriffe. Mannheim: Bibliographisches Institut AG.
- [8] Janßen, Wiebke (2013): Auf dem Weg zu Fach- und Sprachkompetenz. Analyse von Lehrbuchtexten der Sekundarstufe 1 zum Thema Elektrizitätslehre unter sprachwissenschaftlichen und physikdidaktischen Gesichtspunkten (Masterarbeit) url: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-158006>
- [9] Krey, Olaf (2012): Zur Rolle der Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender. Berlin: Logos (=Studien zum Physik- und Chemielernen Bd. 130).
- [10] Leisen, Josef (2005): Wechsel der Darstellungsformen. Eine wichtige Strategie im kommunikativen Physikunterricht. In: NiU-Ph 3/16 S.10-11
- [11] Leisen, Josef (2005): Muss ich jetzt auch noch Sprache unterrichten? Sprache und Physikunterricht. In: NiU 3/16 S.4-9
- [12] Mikelskis, Helmut F.; Wilke, Hans-Joachim (Hrsg.) (2005): Physik Plus, Gymnasium Klasse 7, Sachsen. Berlin: Cornelsen Verlag
- [13] Mikelskis, Helmut F.; Wilke, Hans-Joachim (Hrsg.) (2005): Physik, Klasse 7, Mittelschule Sachsen. Berlin: Cornelsen Verlag
- [14] Muckenfuß, Heinz (1995): Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Berlin: Cornelsen
- [15] Oese, Eric (2012): Analyse eines Fragebogens zur Untersuchung der Rolle der Mathematik im Physikunterricht für Klasse 8. unveröffentlichte Masterarbeit an der Technischen Universität Dresden, Professur Didaktik der Physik (unveröffentlicht)
- [16] Pietrocola, Maurício (2008): Mathematic as Strucutural Language of Physical Thoughts. International Comission on Physics Eduacation 2008.
- [17] Pospiech, Gesche & Oese, Eric (2013): The Use of Mathematical Elements in Physics – View of Grade 8 Pupils. In: ICPE-EPEC Proceedings S.199-205
- [18] Prediger, Susanne & Wessel, Lena (2012): Darstellungen vernetzen. Ansatz zur integrierten Entwicklung von Konzepten und Sprachmitteln. In: Praxis der Mathematik in der Schule 54/45 S.28-33
- [19] Rothe, Paulo (2014): Lehrbuchanalysen hinsichtlich der Versprachlichung von Formeln im Lernbereich der Elektrizitätslehre in den Klassenstufen 7 und 8 in Oberschulen und Gymnasien. Bachelorarbeit an der Technischen Universität Dresden, Professur Didaktik der Physik (unveröffentlicht)
- [20] Strahl, Alexander; Schleusner, Ulf; Mohr, Matthias & Müller, Rainer (2010): Wie Schüler Formeln gliedern – eine explorative Studie. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 9/1 (S.18-24)
- [21] Strahl, Alexander et al. (2015): Wie Studierende Formeln gliedern? In: Phy-Did-B 2015
- [22] Uhden, Olaf (2012): Mathematisches Denken im Physikunterricht / Theorieentwicklung und Problemanalyse. Berlin: Logos (=Studien zum Physik- und Chemielernen Bd.133)
- [23] Wagenschein, Martin (1988): Naturphänomene sehen und verstehen. Genetische Lehrgänge. Hrsg. von Hans Christoph Berg. 2., korrigierte Auflage. Stuttgart: Klett.
- [24] Wodzinski, Rita (2000): Zustandsgröße Druck. Zur Einführung des Druckbegriffs in der Sekundarstufe 1. In: NiU 11/57 S.32-34
- Beigefügte Medien:**
- Poster „Versprachlichung von Formeln“