

Formelverständnis in der Physik: erste Ergebnisse einer Untersuchung

Alexander Strahl^{*1}, Rainer Müller*

* TU-BS, IfDN, Abteilung Physik und Physikdidaktik,
Pockelsstraße 11, 38106 Braunschweig

Kurzfassung

Das Arbeiten mit oder besser noch das Verstehen von Formeln im Physikunterricht ist von elementarer Bedeutung. Viele Zusammenhänge können ohne Formeln zwar qualitativ erfasst, aber nicht quantitativ gebraucht werden. Die Benutzung von Formeln ist in vielen Klausuren Grundvoraussetzung für das Lösen von Aufgaben. Trotzdem zeigt sich oft, dass Formeln bei Schülern und Studenten Unbehagen auslösen und sie zwar zur Anwendung kommen, aber nicht verstanden werden.

Um das Verständnis von Formeln in physikalischen Zusammenhängen zu ergründen wurden Interviews durchgeführt. Hauptbestandteil der Interviews war ein Fragebogen mit 50 Fragen. Die Interviews wurden mit Studenten durchgeführt, die Physik nicht als Hauptfach haben, aber mit Physik während Ihres Studiums in Berührung kommen.

Es zeigt sich, z.B. dass Formeln nicht grundsätzlich abgelehnt werden, aber ihr Zusammenhang nicht immer begriffen wird. Sie werden oft nur zur Anwendung gebraucht, nicht aber um sich physikalischen Inhalte zu erarbeiten.

Die durchgeführten Interviews sind explorativer Natur und sollen Hinweise auf weiterführende Forschungsfragen geben.

1. Vorideen

Formeln sind ein wesentlicher Bestandteil physikalischer Texte. Im Physikunterricht werden sie in unterschiedlichen Zusammenhängen benutzt. So können sie zur Wissensvermittlung dienen, um Sachverhalte zu vertiefen oder zu erklären. Mit Formeln ist es möglich zutreffende Zukunftsvoraussagen zu treffen, aber auch Zusammenhänge zwischen verschiedenen Beziehungen zu verknüpfen. Mit Formeln lassen sich Aufgaben lösen, dies wird in Klassenarbeiten oft zur Leistungskontrolle eingesetzt.

Eine naheliegende Vermutung ist, dass der hohe Grad an Mathematisierung im Physikunterricht wesentlich zum Desinteresse am Fach Physik in Schule und Studium beiträgt (Zur Unbeliebtheit des Faches Physik siehe z.B. Sasol-Studie [Sas05]). Im Gegensatz zu dieser Vermutung stellte sich in [MH06] heraus, dass die Einstellung von Schülerinnen und Schülern zu Formeln insgesamt positiv ist. Um die Ursachen für dieses recht unerwartete Ergebnis näher zu untersuchen wurden Einzelinterviews mit Studierenden des Faches Chemie durchgeführt.

2. Vorüberlegungen zur Beziehung zwischen Mathematik und Physik

Die Mathematik wird von vielen Physikern und Philosophen als Sprache der Physik angesehen. Im Gegensatz zu Formeln der reinen Mathematik tragen physikalische Formeln eine Aussage über physikalische Sachverhalte. Die Buchstaben in Formeln haben vorgegebene Bedeutungen und stehen mit ande-

ren Größen in Beziehung. In mathematischer Hinsicht handelt es sich bei allen drei Formeln um eine Geradengleichung.

$$a) \quad U = R \cdot I$$

$$b) \quad y(x) = a \cdot x$$

$$c) \quad F = m \cdot a$$

Abb.1: Geradengleichungen

Anders als die mittlere Formel besitzen die beiden anderen Formeln aber einen physikalischen Sinn, der sich nicht allein im linearen Zusammenhang zwischen den Größen der Gleichung erschöpft: Gerade die Begriffe Spannung oder Kraft sind nur über ein elaboriertes physikalisches Beziehungsgeflecht zu verstehen (Spannung zwischen zwei Punkten; Kraft, die von einem auf einen anderen Körper ausgeübt wird).

3. Vorresultate

In der Untersuchung von Müller und Heise [MH06] wurde versucht die Einstellung von Schülern zu Formeln zu ermitteln. Hierfür wurden 50 Aussagen formuliert. Die befragten Schüler konnten über eine Prozentskala ihre Ablehnung oder Zustimmung kundtun. Die Unterteilung erfolgte in Zehn-Prozentschritten. Die letzten 12 Aussagen bezogen sich auf das Selbstkonzept der Schüler (ähnlich wie in

¹ Korrespondierender Autor: Alexander Strahl – a.strahl@tu-bs.de

[DSS+02]).

Die Faktorenanalyse in dieser Untersuchung brachte nur einen klar interpretierbaren Faktor, der 10,5% der Varianz aufklärte und sich als positive Gesamteinstellung zu Formeln interpretieren lässt (Reliabilität 0,81).

3.1 Probleme bei der Auswertung

Die Schwierigkeiten bei der Auswertung des Fragebogens könnten sich möglicherweise aus folgenden Gründen ergeben: Zum einen könnte es sein, dass den untersuchten Schülern das Formelkonzept noch nicht hinreichend geläufig ist oder Aussagen teilweise zu unpräzise oder unverständlich erscheinen. Auf Grund der Schwierigkeit, die sich aus der Analyse des Fragebogens ergab wurden und werden hierzu Einzelinterviews angefertigt, die zum einen die Probleme des Fragebogens klären sollen, aber auch über Assoziationen und Begründungen die Einstellungen der Probanden zu Formeln aufzeigen sollen. Diese Interviews wurden mit Studierenden, die als Vordiplomsnebenfach Physik hatten (Chemikern), durchgeführt. Es wurden Studenten gewählt, da die Formelerfahrung von Schülern möglicherweise zu gering ist. Die studentische Probandengruppe lässt sich am ehesten als „fortgeschrittenen Novizen“ einordnen.

4. Interviews

Die Interviews wurden auf Video aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Sie sind in drei Teile unterteilt. Dem Hauptteil ist ein freier Teil vorangestellt, in dem Fragen und Aussagen beantwortet wurden, die nicht in dem Aussagenteil von [MH06] enthalten waren. Zusätzlich sollte es die Interviewpartner etwas auflockern und in die Situation des Interviews einführen. Hier könnten sie ebenfalls freie Assoziationen zu Formeln mitteilen. Der Hauptteil bestand aus den 50 Aussagen, die schon in [MH06] benutzt wurden. Hier sollten nicht nur die Aussagen bewertet, sondern auch freie Bekundungen zu den Aussagen mitgeteilt werden. Wenn den Probanden eine Aussage problematisch erschien oder sie Schwierigkeiten beim Beantworten hatten, sollte dies ebenfalls angegeben werden. Am Ende wurden noch allgemeine Auffälligkeiten zu Formeln, dem Fragebogen und dem Interview aufgenommen. Durchschnittlich dauerte ein Interview 1 Stunde +/- 15 min. Generell ergibt sich bei der Auswertung der Interviews, dass die Probanden Formeln als hilfreich ansehen. Die Ergebnisse aus [MH06] werden hierdurch bestätigt. Insgesamt ist eine etwas stärkere Aussagestärke abzulesen, d. h. die Aussagen werden im Durchschnitt klarer beantwortet. Die meisten interviewten Studenten gaben an dass sie Probleme mit einigen Formulierungen im Fragebogen hatten und dass ihnen nicht klar war welche Art, Struktur oder Komplexität die „Formel“ hat. Die im Fragebogen bei einigen Fragen angegebenen Beispiele wurden von einigen Studenten als nicht treffend bewertet (so

wurde z.B. das Beispiel Energie in der Aussage (Item 12): *Ich verstehe Formeln oft nicht, weil manche Größen etwas Abstraktes, nicht Sichtbares repräsentieren (z.B. Energie), als nicht treffend angesehen, denn gerade Energie sei keine abstrakte Größe.*

4.1 Einzelvergleiche

Im Folgenden sollen für einige Einzelitems ausführlicher auf Äußerungen der Probanden eingegangen werden. Die Prozentangaben entsprechen der jeweils angekreuzten Antwort der Probanden. Zum Vergleich wird im Aufgabenkopf das Antwortverhalten der Schüler aus [MH06] angegeben.

3. *Das schwierigste in der Physik sind die Formeln.* – 34,7% [MH06]

- Judith {Antwort 10%}:
Nein, also die Aussage trifft auch nicht zu. Würde ich sagen.
- Tanja {Antwort 90%}:
Ja, so ziemlich.
- Christina {Antwort 10%}:
Spontanantwort Nein.
Strahl: Oh, interessant.
Christina: Das glaube ich nicht. Für mich ist das schwierigste die Vorstellung manchmal. ... Die Formeln gut, die sind irgendwo aufgeschrieben, die sind belegt, die sind irgendwie nachgewiesen. Das ist was Festes. ... Aber irgendwelche Modelle zur Vereinfachung, ... finde ich noch mit am schwierigsten, das auch irgendwie zu glauben.
- Karsten {Antwort 0%}:
Das ist für mich persönlich nicht so, weil man Formeln mathematisch noch nachvollziehen kann und irgendwelche Sachverhalte aber nicht unbedingt. ... Wenn man die Formel versteht, hat man den Sachverhalt irgendwie trotzdem nicht verstanden.

Bis auf eine verneinten die Probanden die Aussage. Sie sehen also nicht die Formeln als das Schwierigste in der Physik an, sondern „die Vorstellung“, das Verstehen der Sachverhalte.

10. *Formeln sind hilfreich.* – 72,6% [MH06]

- Judith {Antwort 100%}:
Ja, das trifft eigentlich schon zu.
- Tanja {Antwort 0%}:
Nein.
- Christina {Antwort 100%}:
Da ist ja die Aussage ganz passend. Ja. Eindeutig ja.
- Karsten {Antwort 90%}:
Weil schon die Tatsache, dass ich das offensichtlich finde ...

Sowohl die Schüler, als auch die Studenten bestätigen diese Aussage. Formeln werden als hilfreich angesehen.

11. *Formeln sind abschreckend.* – 29,1% [MH06]

- Judith {Antwort 50%}:
Das kommt auf die Formel drauf an, also habe ich eine Formel, äh mit 3 Integralen, dann denk ich mir schon so „Oh, hm“ also dann geht man doch ein bisschen vorsichtiger ran und anders ran und denkt: „Mein Gott, was ist das denn?“
- Tanja {Antwort 80%}:
Ja, das ist schon abschreckend. Ich weiß nicht was ich dazu noch sagen soll.
- Christina {Antwort 50%}:
Teils teils.
- Karsten {Antwort 10%}:
Nö. Solange auf der Seite nicht nur Formeln stehen nicht.

Hier sind die Aussagen der Studenten unklar, weil der Grad der Schwierigkeit der Formel in der Fragestellung für sie nicht deutlich wird.

17. *Der Umgang mit Formeln fällt mir leichter, wenn anschauliche Beispiele für die Variablen gegeben werden.* – 74,6%. [MH06]

- Judith {Antwort 100%}:
Ja.
- Tanja {Antwort 100%}:
Das ist auf jeden Fall so, wenn man weiß, mit was man arbeitet, dann kann man da ein bisschen besser mit umgehen.
- Christina {keine Antwort; Beispiele}:
Da möchte ich bitte ein Beispiel für angegeben haben, weil ich mit anschaulichen Beispielen für die Variablen nichts anfangen kann, wie das irgendwie aussehen soll.
- Karsten {Antwort 60%}:
Der Sachverhalt fällt leichter und das Einprägen der Formel fällt eventuell leichter. ... Wenn es einfach um die Rechnung geht, dann ist es relativ egal sag ich mal.

Aus diesen Antworten wird klar, dass es wichtig erscheint gute Beispiele für die Verwendung von Variablen zu geben, damit sie anschaulicher werden.

23. *Meist liegt es am mangelnden mathematischen Verständnis, wenn mir die Formeln schwierig erscheinen.* – 32,6% [MH06]

- Judith {Antwort 50%}:
(Es konnte keine klare Aussage gefunden werden, obwohl viel dazu gesagt wurde.)
- Tanja {Antwort 70%}:
Ja, also, das ist schon ein Grund. Das kommt halt drauf an, ob die, also wie gesagt, ob die komplex ist oder ob einfach diese Buchstaben sind und man sie überhaupt nicht zuordnen kann.
- Christina {Antwort 30%}:
Ähm, nö. Ich meine bei manchen Sachen ist es schon mathematisches Verständnis. Was fehlt, aber größtenteils liegt es, glaube ich, an der Formel selbst.

- Karsten {Antwort 100%}:
Ja. An sich sind die Formeln etwas mathematisches, d.h. wenn ich irgendwie nicht damit klar komme, dann liegt es eigentlich eher an der Mathematik.

Hier beantworten die Studenten die Frage tendenziell anders als die Schüler, die eher meinen, dass die Mathematik nicht das Problem bei Formeln ist. Dieser Unterschied kann an den beiden Probandengruppen liegen, da der Komplexitätsgrad und damit meiste die Mathematisierung mit der Zeit wächst.

Die im vorangegangenen beschriebenen Vergleiche sind auf Formeln bezogen, zusätzlich wurden in [MH06] andere Items mit erfasst, auf die hier ebenfalls eingegangen werden soll. Als Beispiel soll die Genderfrage aufgezeigt werden, die bei den Schülern mit 38,8 % eher verneint wurde, aber doch Tendenzen zum Unentschieden (50%) aufweist. Bei den Studenten ist die Frage nach der Geschlechterrolle ebenfalls unklar.

2. *Physik ist eher etwas für Jungen als für Mädchen.* – 38,8% [MH06]

- Judith {Antwort 0%}:
Nein, es gibt so viele Mädchen, die technisch begabt sind und die physikalisch begabt sind und sich dafür interessieren, das ist eine etwas veraltete Aussage, würde ich sagen.
- Tanja {Antwort 50%}:
Na da sag ich auf jeden Fall das ist egal. Das hat mich früher immer geärgert, dass es Leute gibt, wo gesagt wird, hier die werden besser benotet, weil ist ja was für Jungen, oder so.
- Christina {Antwort 80%}:
Ja, würde ich zustimmen. Einfach weil ich denke, dass Jungs eher so einen Durchblick für Zusammenhänge haben, Formelzusammenhänge. ... Aber ich finde Mädchen mutig, die das studieren.
- Karsten {Antwort 80%}:
Tja, keine Ahnung.

4.2 Weitere Ergebnisse

Zusätzlich zu den Antworten auf die Items können aus den Interviews weiterführende Ergebnisse oder Hinweise herausgelesen werden.

Als sehr wichtig wird das Verwenden einheitlicher Formelbuchstaben angesehen. Dieses Ergebnis lässt sich mit folgenden Passagen illustrieren.

- Judith: ... wenn ich sowieso Schwierigkeiten habe das zu verstehen, dann les ich in dem einen Buch nach und der Autor von dem zweiten Buch nimmt dann andere Buchstaben dafür, dann ist das schon wieder son son Unsicherheitsfaktor.
- Tanja: ... das F ... dann ist es mal Kraft, ... und dann kommt das immer darauf an, welches Buch man liest. [lacht] ...

Strahl: Und ist das ein Problem?

Tanja: Ja.

- Christina: ..., wenn man sich da mal durchsetzen könnte, dass dann auch alle mal den gleichen Buchstaben nehmen, ...
- Karsten: ... Es wäre schon schöner, wenn alles einheitlich wär, auch von Professor zu Professor ändert sich das ja, ...

Konsistenz bei der Variablen- und Einheitenbezeichnung wird als sehr wichtig angesehen. Obwohl es eine DIN-Norm (DIN-Norm 1304 „Gebrauch von Formelzeichen“ und DIN-Norm 1313 „Gebrauch von Physikalischen Größen und Gleichungen“ [Din78], [Din84]) für Formeln und das SI-System gibt, halten sich viele Bücher nicht an die konventionelle Schreibweise. (nur ein Beispiel: In einem einzelnen Buch werden die Symbole E , W , U , K , E_{Kin} , ... für Energie verwendet [HRW03]).

Weiterhin ergibt sich aus den Interviews, dass Einheiten als wichtig und hilfreich empfunden werden:

- Judith: Ja, definitiv, ist die Hälfte, kann man sich viel dran herleiten.
- Christina: ... Weg zur Zeit, also Geschwindigkeitsgesetz. Das ist so, also wenn ich mir das auch in Worten merken kann, finde ich es leichter mir diese Formel zu merken.

Aus den Interviews ergeben sich erste Hinweise, wie man Formeln in Texte einarbeiten sollte, um die Verständlichkeit des Textes und der Formel zu erhöhen.

- Judith: ... ich lese mir dann immer den Text an und gucke mir dann die Formel an.
- Christina: Und wenn das dann im Text noch klein mit erklärt ist, dann lese ich das zwar erst aber betrachte die Formel eigentlich erst hinterher. Also erstmal den groben Zusammenhang, was so los ist und dann die Formel entsprechend dazu.
- Karsten: ... also ich bin zumindest jemand, der immer nach und nach beides liest, also Text und Formel gleichzeitig. ...
Strahl: Wenn eine Formel im Textblock vorkommt, magst du das oder ist es dir lieber wenn sie extra steht?
Karsten: Es ist wesentlich besser wenn sie extra steht. Also wenn sie direkt in nen Text eingebettet ist, dann ist es meistens eher verwirrend.

5. Zusammenfassung und Fazit

Die hier vorgestellten Resultate sollten als erste Ergebnisse gewertet werden, die noch nicht den Charakter der Endgültigkeit besitzen.

Als wichtigstes Ergebnis ist festzuhalten, dass Formeln sowohl von Schülern, als auch Chemiestudenten als wichtig und hilfreich angesehen werden. Über die Ursachen für diese Diskrepanz zur landläu-

figen Meinung über Formeln können aber erst ausführlichere Untersuchungen Klarheit schaffen.

Ein weiteres Ergebnis ist das Problem der Formelzeichen. Die Probanden fanden es problematisch, wenn Formelbezeichnungen sich z.B. von Buch zu Buch (oder schlimmer im Buch selbst) ändern. Einheiten werden von den Probanden als hilfreich angesehen. Das Einheitenkonzept ist ein erster Hinweis darauf, dass Formeln nicht nur auswendig gelernt werden, sondern selbst kreiert oder wenigstens rekonstruiert werden.

Um die Verständlichkeit zu erhöhen sollten Formeln und Text klar getrennt sein. Die verwendeten und abgedruckten Formeln sollten miteinander verbunden sein und im Text erläutert werden. Umformungen und Einsetzungen sollten nicht unerläutert eingebaut werden, da ansonsten die Nachvollziehbarkeit leidet.

6. Literatur

- [CFG81] Chi, M.T.H.; Feltovich, P.J.; Glaser, R.; (1981) Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science* 5, 121
- [Din78] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hg.): DIN-Taschenbuch 22 [a], 5. Geänderte Aufl. – Normen für Größen und Einheiten in Naturwissenschaft und Technik, Beuth Verlag, Berlin (1978)
- [Din84] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hg.): DIN-Taschenbuch 202 [b], 6. Aufl. – Einheiten und Begriffe für physikalische Größen, Beuth Verlag, Berlin (1984)
- [DSS+02] Dickhäuser, Oliver; Schöne, Claudia; Spinath, Birgit; Stiensmeier-Pelster, Joachim (2002) Die Skalen zum akademischen Selbstkonzept: Konstruktion und Überprüfung eines neuen Instrumentes, In: *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie* 23 (2002), S. 393-405
- [HRW03] Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl (2001) *Physik* Wiley-VCH, 1. Auflage (2003)
- [MH06] Müller, Rainer; Heise, Elke (2006) Formeln in physikalischen Texten: Einstellung und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern. In: *PhyDid*, (2006), 2/5, S. 62-70
- [Sas05] Sasol-Studie (2005) Zu den beliebtesten Schulfächern. Web: <http://www.presseportal.de/story.htx?nr=667021&firmid=57801> (Stand: 05.04.2007)