

Formeln in physikalischen Texten: Einstellung und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern

Rainer Müller⁺, Elke Heise*

+ Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, TU Braunschweig, Pockelsstraße 11, 38106 Braunschweig;

* Institut für Pädagogische Psychologie, TU Braunschweig, Bültenweg 74/75, 38106 Braunschweig

(Eingegangen: 24.11.2005; Angenommen: 17.07.2006)

Kurzfassung

Wir berichten über die Ergebnisse einer Untersuchung zur Verwendung von Formeln in Texten aus der Physik. In einem ersten Teil wurde die Beurteilung physikalischer Formeln durch Schülerinnen und Schüler eines Gymnasiums untersucht. Dabei zeigte sich eine insgesamt positive Einstellung zu Formeln. Der zweite Teil beschäftigte sich mit dem Einfluss von Formeln auf das Textverständnis. Ein physikalischer Text mit reiner Wortformulierung und ein inhaltsgleicher Text mit Formeln wurden in Bezug auf die Verständnisleistung der Schülerinnen und Schüler verglichen. Bei der Formelversion des Textes ergaben sich signifikant bessere Leistungen als bei der Wortversion.

1. Formeln im Physikunterricht

Der Umgang mit Formeln ist ein wesentlicher Bestandteil des Physikunterrichtes. Betrachtet man die vorherrschenden Handlungsmuster im Unterricht, können vor allem die beiden folgenden Tätigkeiten als charakteristisch für die Physik angesehen werden:

- (1) das Experimentieren;
- (2) das Lösen von Aufgaben mit Hilfe von Gleichungen und Formeln.

In diesem Artikel geht es um den zweiten Punkt: die Verwendung von Formeln im Physikunterricht. Während das Experimentieren in ähnlichem Umfang wie in der Physik auch in den anderen Naturwissenschaften vorkommt, spielen Formeln vor allem im Mathematikunterricht eine große Rolle. Allerdings gibt es eine Reihe von Unterschieden zwischen der Formelverwendung in den Fächern Physik und Mathematik. Anders als in der Mathematik, wo der Umgang mit Formeln in allen Phasen des Unterrichts üblich ist, werden in der Physik Formeln vorwiegend zur Leistungskontrolle eingesetzt. Während der „normale“ Physikunterricht vom Experiment dominiert ist, weisen Klassenarbeiten selten experimentelle Anteile auf, sondern werden weitgehend von Rechnungen geprägt.

In der Physik werden Formeln als symbolische Sprache benutzt. Formeln wird eine semantische Bedeutung zugewiesen; sie stellen Beziehungen zwischen Größen mit physikalischem Sinngehalt her. Wenn man im Mathematikunterricht einen Ausdruck wie $4/x = 7/(x-3)$ nach x auflösen muss, wird man keine wie immer geartete Bedeutung suchen. Dagegen bedeutet die physikalische Formel $F = m a$ etwas völlig anderes als $U = R I$, obwohl die beiden

Formeln in ihrer mathematischen Gestalt identisch sind.

In diesem Artikel werden zwei Fragestellungen im Zusammenhang mit Formeln im Physikunterricht untersucht:

(a) Beurteilung von Formeln durch Schülerinnen und Schüler: Werden physikalische Formeln als hilfreich und nützlich oder als schwierig und abschreckend bewertet? Gibt es Aspekte der Formelverwendung in der Physik, die Schülerinnen und Schüler als besonders schwierig einschätzen?

(b) Formelverständnis: Können Schülerinnen und Schüler einem physikalischen Text mit Formeln erfolgreicher Information entnehmen als einem Text, in dem der gleiche Sachverhalt ausschließlich in Worten erklärt ist?

Eine Beurteilung von Formeln erfolgte bereits im Zusammenhang mit der IPN-Interessenstudie: Schülerinnen und Schüler wurden befragt, welche unterrichtlichen Tätigkeiten sie als interessant bzw. weniger interessant einschätzen [1]. Experimentelle Tätigkeiten, die mit eigenem Handeln verbunden sind (Geräte zerlegen/zusammenbauen, Versuche aufbauen, Versuche durchführen, messen), stehen in der Liste der beliebten Tätigkeiten ganz oben. Am Ende der Liste unter den als uninteressant eingestuften Tätigkeiten steht an drittletzter Stelle auch „Berechnen, Aufgaben lösen“, also der Umgang mit Formeln.

Der Einfluss der Mathematisierung auf die Motivation im Chemieunterricht wurde von Höner [2] untersucht. Die Chemie wurde als ein Fach mit hohem Mathematisierungsgrad eingeschätzt. Es wurde ein Zusammenhang zwischen der Beliebtheit von Mathematik und Chemie festgestellt: Wer Mathematik

mag, hat auch eher Interesse an Chemie und umgekehrt. Höner hebt hervor, dass Chemie häufiger als Mathematik als etwas Abstraktes und schwer Verstehbares angegeben wurde.

Innerhalb der empirisch-psychologischen Problemlöseforschung wird der Umgang mit physikalischen Formeln bei der Lösung physikalischer Probleme insbesondere im Experten-Novizen-Paradigma thematisiert. So zeigen mehrere Untersuchungen, dass Experten physikalische Probleme an Hand der zugrunde liegenden physikalischen Prinzipien klassifizieren, während Novizen sich stärker von Oberflächenmerkmalen leiten lassen [3]. Auch in der Auswahl bestimmter Problemlöseoperatoren und in der Reihenfolge ihrer Anwendung unterscheiden sich erfahrene von weniger erfahrenen Problemlösern [4]. Für eine erfolgreiche Lösung physikalischer Probleme ist vor allem das Zusammenspiel von qualitativen und quantitativen Repräsentationen des Gegenstandsbereiches nützlich [5].

Die vorliegende Studie befasst sich mit der Verarbeitung von quantitativen Informationen. Zur theoretischen Beantwortung der Frage, was es bedeutet, quantitative Information in Form einer physikalischen Gleichung zu verstehen, zieht Sherin [6] sein Konzept der „symbolischen Formen“ heran. Diese können als strukturelle Grundbausteine einer Formel aufgefasst werden, die jeweils mit einem konzeptuellen Schema verknüpft sind, welches die Bedeutung des formalen Ausdrucks beschreibt. Wenn sich z. B. in einem Problem der Mechanik zwei gegeneinander gerichtete Kräfte gegenseitig aufheben, kann dies in einer Formel ausgedrückt werden, deren mathematische Gestalt der symbolischen Form „competing terms“ entspricht. Sherin vergleicht die symbolischen Formen in Formeln mit diSessa's p-prims [7] in der „intuitiven Physik“ (etwa Ohm's p-prim). Er illustriert das Konzept der symbolischen Formen mit Passagen aus Videotranskriptionen, in denen jeweils zwei Studierende physikalische Probleme zu lösen versuchen.

Einen stärker empirisch orientierten Zugang zur Frage des Formelverständnisses verfolgten DeLucas und Larkin [8]. Studierende (40 undergraduates) lasen einen physikalischen Text in einer von zwei Versionen: In der ersten Version wurde ein Sachverhalt mit Hilfe von Formeln dargestellt, in der zweiten Version wurde der gleiche Sachverhalt in Worten ausgedrückt. Im Anschluss an die Lektüre beantworteten die Probanden Fragen zum Inhalt des Textes aus drei Kategorien (a) reine Reproduktionsaufgaben, (b) Transfer beim Anwenden der gelesenen Information in einem anderen Zusammenhang, (c) Anwenden einer physikalischen Relation, die im Text benutzt wird. Während in den Kategorien (a) und (b) kein signifikanter Unterschied gefunden wurde, schnitten im Bereich (c) die Studierenden besser ab, die die Textversion ohne Formeln gelesen hatten.

Ein ähnlicher Zugang wie in [8] wird in unserer Studie verfolgt. An einer Gruppe von Schülerinnen und Schülern wurden folgende Fragestellungen untersucht: Glauben die Befragten, dass sie Texte mit Formeln besser verstehen als Texte, in denen die äquivalente Information nicht mit Formeln, sondern in Worten formuliert ist? Welchen Zusammenhang weist diese Einschätzung mit den tatsächlichen Leistungen auf? Kann Information besser aus einem Text mit Formeln oder aus einem in Worten formulierten Text entnommen werden? Darüber hinaus wurden die Schülerinnen und Schüler zu verschiedenen Aspekten ihrer Einstellung zu Formeln befragt.

2. Anlage der Untersuchung

2.1 Beurteilung der Formelverwendung im Physikunterricht

Im ersten Teil der Untersuchung sollte identifiziert werden, welche Aspekte des Gebrauchs von physikalischen Formeln Schülerinnen und Schüler als schwierig einschätzen. Dazu musste in einem Fragebogen die Zustimmung oder Ablehnung zu einer Anzahl vorgegebener Aussagen ausgedrückt werden. Um die Items des Fragebogens zu gewinnen, wurde in einer Voruntersuchung eine Gruppe von ca. 20 Lehramtsstudierenden gebeten, ihre Schwierigkeiten im Umgang mit physikalischen Formeln schriftlich zu artikulieren. Aus den Antworten wurde eine Anzahl von Aussagen formuliert, die verschiedene mögliche Schwierigkeiten bei der Verwendung von physikalischen Formeln widerspiegeln.

Zusätzlich wurden einige Aussagen formuliert, die die Einstellung zu Formeln und zum Fach Physik insgesamt durch globale Urteile (z. B. „Formeln sind abschreckend“, „Physik macht mir Freude“) ausdrücken. Alle Aussagen, die in der Untersuchung zu beurteilen waren, sind im Anhang in Tabelle 5 abgedruckt.

Bei jeder Aussage im Fragebogen konnten die Befragten das Ausmaß ihrer Zustimmung durch Ankreuzen auf einer graphischen Skala angeben, die von 0 („Die Aussage trifft überhaupt nicht zu“) in Zehnerschritten bis 100 („Die Aussage trifft vollständig zu“) reichte. Diese in Analogie zu einem „Metermaß“ gestaltete Skala erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Antwortkategorien als gleichabständig wahrgenommen werden und man intervallskalierte Daten erhält [9].

Als Indikator des Leistungsstandes wurde zusätzlich die letzte Zeugnisnote in Mathematik und Physik erfragt.

2.2 Textverständnis mit und ohne Formeln

Als Grundlage für den zweiten Teil der Untersuchung diente der physikalische Text „Die erste Blutdruckmessung“, der in zwei Fassungen formuliert wurde (beide sind im Anhang in Tabelle 6 abgedruckt): (1) In der ersten Version wird ein Sachverhalt unter Benutzung von Formeln und Formelzeichen erläutert, ohne dass eine zusätzliche Erklärung in Worten gegeben wird. Das Textverständnis beruht

in dieser Fassung auf der Interpretation der Formeln. (2) In der zweiten Version wird die äquivalente Information in Worten gegeben, ohne dass Formeln oder Formelzeichen verwendet werden. Um den Text zu verstehen, müssen die physikalischen Zusammenhänge aus den Wortformulierungen entnommen werden. Da die gegebene Information in beiden Texten identisch sein soll, geht es in der Wortversion nicht nur um die Darstellung qualitativer Zusammenhänge, sondern es sollen Proportionalitäten und Antiproportionalitäten quantitativ aufgezeigt werden. Daher ist es unvermeidbar, dass die Formulierungen in dieser Version etwas „sperrig“ ausfallen.

Das Textverständnis wurde mit vier Fragen ermittelt, die sich auf die im Text beschriebenen physikalischen Zusammenhänge bezogen (die Fragen sind im Anhang in Tabelle 7 abgedruckt). Die zur Beantwortung der Fragen nötigen Verständnisleistungen erstreckten sich vom einfachen Ablesen einer Information aus den Formeln bzw. den entsprechenden Wortformulierungen bis zum Erkennen und Anwenden etwas komplexerer Zusammenhänge (antiproportionale Abhängigkeit der Steighöhe von der Dichte des Blutes; Unabhängigkeit der Steighöhe von der Querschnittsfläche der Röhre). Jede der vier Aufgaben wurde bei vollständig korrekter Lösung mit einem Punkt bewertet, so dass insgesamt maximal vier Punkte erreichbar waren. Anders als in [8] konnte während der Bearbeitung der Aufgaben der Text verwendet werden.

Im Anschluss an die Aufgabebearbeitung wurden die Schülerinnen und Schüler um eine Einschätzung der subjektiven Aufgabenschwierigkeit gebeten. Um zu prüfen, ob die Formel- oder die Textversion subjektiv bevorzugt wird, wurde in der Formelversion zusätzlich das Item „Es wäre einfacher für mich gewesen, wenn die Formeln in ganzen Sätzen ausformuliert gewesen wären“ vorgegeben. In der Wortversion lautete das entsprechende Item: „Es wäre einfacher für mich gewesen, wenn ich mit Formeln hätte arbeiten können“.

2.3 Stichprobe

Untersucht wurden 105 Schülerinnen und Schüler (63 männlich, 41 weiblich, bei einer Person fehlt die Angabe des Geschlechts) aus den Jahrgangsstufen 10 (3 Klassen; 41 Jungen, 22 Mädchen) und 11 (2 Klassen; 22 Jungen, 19 Mädchen) eines niedersächsischen Gymnasiums. In allen Klassen gehörte Physik noch zum Pflichtunterricht, d. h. es bestand noch keine Möglichkeit zum Abwählen. Da die physikalischen Inhalte der verwendeten Texte zu den in Klasse 9 verbindlichen Unterrichtsinhalten gehören, sollten sie der hier untersuchten Stichprobe vertraut sein.

Innerhalb jeder Klasse erfolgte die Zuordnung der Schülerinnen und Schüler auf die beiden Versuchsbedingungen (Formel- oder Wortversion) zufällig.

2.4 Untersuchungsdurchführung

Die Untersuchung wurde im zweiten Halbjahr des Schuljahres 2004/05 von einer externen Versuchsleiterin jeweils im Rahmen einer Physikstunde im Klassenverband unter Anwesenheit des Fachlehrers durchgeführt. Die Versuchsdurchführung nahm insgesamt etwa 45 Minuten in Anspruch. Zunächst bearbeiteten die Schülerinnen und Schüler den Fragebogen vollständig anonym. Nachdem die Fragebögen von der Versuchsleiterin eingesammelt worden waren, wurden die Texte mit den zu bearbeitenden Aufgaben verteilt. Für die Bearbeitung der Aufgaben standen den Schülerinnen und Schülern 20 Minuten zur Verfügung.

3. Ergebnisse

3.1 Beurteilung von Formeln

Die Mittelwerte aller Antworten (Mittelung über alle Schülerinnen und Schüler) sind in Tabelle 5 abgedruckt. Die in der Einleitung geschilderten Befunde zur Beliebtheit physikalischer Tätigkeiten ließen erwarten, dass die Schülerinnen und Schüler den Formeln im Physikunterricht überwiegend ablehnend gegenüberstehen. Diese Erwartung wird von unseren Ergebnissen nicht gestützt. Im Gegenteil In den Schülerantworten (Items 3 - 11) werden Formeln als „hilfreich“ eingeschätzt (Zustimmung 72,6 auf der Skala von 0 bis 100); sie „fassen wichtige Beziehungen übersichtlich zusammen“ (70,4). Aussagen wie „Formeln sind abschreckend“ (29,1) oder „Wenn in einem Text viele Formeln vorkommen, traue ich mich gar nicht erst heran“ (25,9) werden überwiegend abgelehnt.

Um die Items zur Beurteilung von Formeln zu Dimensionen zu gruppieren, wurden diese einer Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenmethode mit anschließender Varimax-Rotation unterzogen. Items, bei denen eine Zustimmung ein negatives Urteil ausdrückt (z. B. Item 36: „Es ist verwirrend, dass sowohl Variablen als auch Konstanten mit Buchstaben bezeichnet werden“), wurden vor der Berechnung invertiert ($X' = 100 - X$). Die Größe der Eigenwerte und der Scree-Test legen eine 5-Faktoren-Lösung nahe, die insgesamt 50,5% der Varianz aufklärt. Da diese Lösung jedoch inhaltlich nicht gut interpretierbar ist und auch keine andere inhaltlich befriedigende Lösung gefunden werden konnte, wird auf eine Darstellung der vollständigen Analyse hier verzichtet (die Ergebnisse sind auf Anfrage bei den Autoren erhältlich). Interessant für die weiteren Analysen ist jedoch der klar interpretierbare erste Faktor, der eine Varianz von 15,0% aufklärt. Die folgenden Items lassen sich diesem Faktor in sofern eindeutig zuordnen, als sie auf ihm jeweils Ladungen von mindestens 0,50 und auf allen anderen Faktoren der 5-Faktoren-Lösung jeweils Ladungen von weniger als 0,30 aufweisen (Ladungen auf dem ersten Faktor in Klammern):

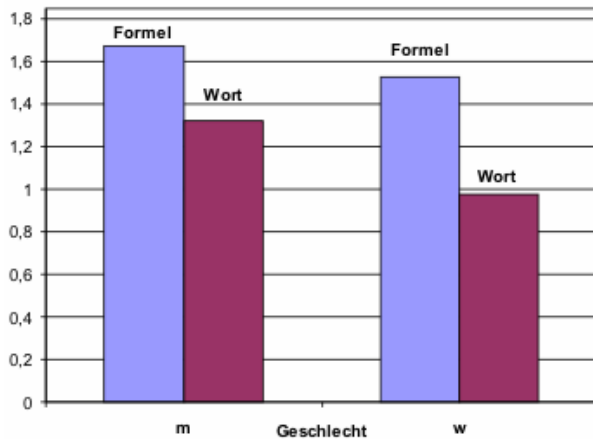


Abb. 3 : Mittelwerte der erreichten Punkte in Abhängigkeit von der Textversion (vgl. Tab. 1)

- Item 3: *Das Schwierigste an Physik sind die Formeln.* (0,79; Item invertiert)
- Item 4: *Formeln sind mir zu abstrakt.* (0,70; Item invertiert)
- Item 5: *Ich fände Physik einfacher, wenn nicht so viele Formeln vorkämen.* (0,73; Item invertiert)
- Item 7: *Formeln fassen wichtige Beziehungen übersichtlich zusammen.* (0,58)
- Item 10: *Formeln sind hilfreich.* (0,71)

Der erste Faktor beschreibt somit ein *Gesamturteil über Formeln*. Die aus den fünf Items gebildete Skala weist eine zufriedenstellende Reliabilität von $\alpha = 0,81$ auf. Auf dieser Skala, auf der bedingt durch die Invertierung von „negativen“ Items hohe Werte positive Ausprägungen des entsprechenden Merkmals anzeigen, beträgt der Mittelwert in unserer Stichprobe $M = 65,7$ ($SD = 20,8$) und zeigt damit insgesamt eine positive Einstellung zu Formeln an.

3.2 Textverständnis mit und ohne Formeln

Die Frage, ob Schülerinnen und Schüler einem physikalischen Text mit Formeln erfolgreicher Information entnehmen können als einem Text, in dem die gleiche Information in Worten formuliert ist, stand im Mittelpunkt des zweiten Teils der Untersuchung. Die Ergebnisse der Aufgaben zum Textverständnis, die im Anschluss an die Lektüre gestellt wurden, sind in Tabelle 1 und Abbildung 3 gezeigt. Dargestellt sind die mittleren erreichten Punktzahlen, differenziert nach Textversion und Geschlecht. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse erbringt einen signifikanten Haupteffekt der Textversion, $F(1,100) = 4,87$, $p = 0,03$; partielles Eta-Quadrat = 0,05, d. h. Schülerinnen und Schüler mit der Formelversion schnitten signifikant besser ab als diejenigen mit der Wortversion. Der Haupteffekt des Faktors Geschlecht, $F(1,100) = 1,44$, $p = 0,23$ und die Interaktion Geschlecht x Version, $F(1,100) = 0,24$, $p = 0,62$ sind dagegen nicht signifikant.

Auffällig ist, dass die erreichten Punktzahlen generell eher niedrig sind (Mittelwert insgesamt 1,39 von

	Jungen	Mädchen
Formelversion	1,67 (1,24) n = 32	1,53 (0,83) n = 18
Wortversion	1,32 (0,96) n = 31	0,98 (0,83) n = 23

Tab. 1: Mittelwerte der erreichten Punkte in Abhängigkeit von der Textversion (Standardabweichungen in Klammern)

	Jungen	Mädchen
Formelversion	51,9 (27,76) n = 32	57,2 (27,61) n = 18
Wortversion	53,0 (31,42) n = 30	65,7 (25,21) n = 21

Tab. 2: Mittlere Einschätzungen der subjektiven Aufgabenschwierigkeit (Standardabweichungen in Klammern)

	Jungen	Mädchen
Formelversion	33,1 (37,3) n = 32	28,9 (32,7) n = 18
Wortversion	60,7 (35,2) n = 30	70,0 (27,6) n = 21

Tab. 3: Mittlere Zustimmung zu der Aussage, dass die andere Version einfacher gewesen wäre (Standardabweichungen in Klammern)

4 erreichbaren Punkten). Bei jeder der vier Aufgaben wurden je nach Korrektheit und Vollständigkeit der Lösung 0, 0,5 oder 1 Punkte vergeben. Der Anteil derjenigen Schülerinnen und Schüler, die jeweils 0 Punkte erreichten, beträgt 26,7% bei Aufgabe 1, 63,8% bei Aufgabe 2, 89,5% bei Aufgabe 3 und 66,7% bei Aufgabe 4. Mit Ausnahme von Aufgabe 1 wiesen die Aufgaben somit in unserer Stichprobe eine relativ hohe Schwierigkeit auf.

Hinsichtlich der subjektiv eingeschätzten Aufgabenschwierigkeit (Tabelle 2) zeigten die Mädchen zwar etwas höhere Werte als die Jungen, jedoch wurde dieser Unterschied statistisch nicht signifikant ($p = 0,12$). Auch der Unterschied zwischen Wort- und Formelversion ist nicht signifikant ($p = 0,41$).

Tabelle 3 zeigt die mittleren Antworten auf die Frage, ob die jeweils andere Version einfacher gewesen wäre. Hier zeigt sich wiederum ein signifikanter Haupteffekt der Textversion, $F(1,97) = 24,24$, $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,20. Die Schüler und Schülerinnen, die mit der reinen Wortversion gearbeitet hatten, waren deutlich stärker der Auffassung, dass ihnen die Bearbeitung leichter gefallen wäre, wenn sie mit Formeln hätten arbeiten können,

als umgekehrt in der Formelgruppe eine formellose Textversion gewünscht wurde. Der Haupteffekt des Geschlechts, $F(1, 97) = 0,13$, $p = 0,72$, sowie die Interaktion, $F(1, 97) = 0,95$, $p = 0,33$, sind nicht signifikant.

Dass die berichteten Unterschiede zwischen den beiden experimentellen Gruppen (Formel- vs. Wortgruppe) nicht auf präexperimentelle Leistungsunterschiede zurückgeführt werden können, zeigt ein Vergleich der mittleren Zeugnisnoten. Weder die Physiknoten (Formelgruppe: $M = 3,18$; $SD = 0,92$; Wortgruppe: $M = 3,33$; $SD = 1,01$; $p = 0,42$) noch die Mathematiknoten (Formelgruppe: $M = 2,88$; $SD = 1,02$; Wortgruppe: $M = 2,83$; $SD = 1,15$; $p = 0,83$) unterscheiden sich in den beiden Gruppen signifikant (zweiseitige t-Tests).

3.3 Zusammenhang zwischen Einstellung und Leistung

Um zu prüfen, ob zwischen der Beurteilung von Formeln und der tatsächlichen Leistung ein Zusammenhang dahingehend besteht, dass Schüler und Schülerinnen mit einer positiveren Einstellung zu Formeln auch bessere Leistungen in der Formelbedingung erbringen, wurde die Stichprobe anhand des Medians der beschriebenen Skala *Gesamturteil über Formeln* geteilt ($Md = 68$). In Tabelle 4 sind die mittleren Leistungen in Abhängigkeit von der Einstellung zu Formeln und der bearbeiteten Textversion dargestellt.

	posit. Einstellung	negat. Einstellung
Formelversion	1,80 (1,12) n = 25	1,45 (1,10) n = 22
Wortversion	1,12 (0,74) n = 21	1,22 (1,06) n = 30

Tab. 4: Mittelwerte der erreichten Punkte in Abhängigkeit von der Einstellung zu Formeln und der Textversion (Standardabweichungen in Klammern)

Wenn die Daten der sieben Personen, deren Einstellungswerte mit dem Median der Skala übereinstimmen, aus der Auswertung entfernt werden, beruhen die Vergleiche auf einem Stichprobenumfang von $N = 98$. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse erbringt einen signifikanten Haupteffekt der Textversion, $F(1,94) = 4,81$, $p = 0,03$; partielles Eta-Quadrat = 0,05. In der Formelversion sind die Leistungen besser als in der Wortversion. Der Haupteffekt des Faktors Einstellung, $F(1,94) = 0,35$, $p = 0,56$ und die Interaktion Version x Einstellung, $F(1,94) = 1,12$, $p = 0,29$ sind dagegen nicht signifikant.

4. Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung entsprechen nicht der gängigen Auffassung, dass Formeln im Physikunterricht als abschreckend empfunden werden. In der Befragung bringen die Schülerinnen und Schüler klar eine insgesamt positive

Einstellung zu Formeln zum Ausdruck. So sind sie z. B. der Auffassung, dass Formeln hilfreich sind und physikalische Beziehungen übersichtlich zusammenfassen.

Dieser Befund muss der in der IPN-Studie gefundenen Unbeliebtheit der Unterrichtstätigkeiten „Berechnen, Aufgaben lösen“ nicht unbedingt widersprechen. Möglicherweise wird die Nützlichkeit von Formeln zum Bestehen der Aufgaben in Prüfungen erkannt, obwohl die Tätigkeit des Rechnens als solche ungeliebt ist.

In den Aufgaben zum Textverständnis schneiden die Schülerinnen und Schüler – unabhängig von ihrer positiveren oder negativeren Einstellung zu Formeln – mit der Formelversion des Textes signifikant besser ab als diejenigen mit einer reinen Wortversion. Die Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler weist in die gleiche Richtung: Die Zustimmung zur Aussage, dass die andere Version leichter zu bearbeiten gewesen wäre, war bei den Schülerinnen und Schülern mit der Wortversion deutlich höher.

Die insgesamt niedrige mittlere Punktzahl, die in den Verständnistests erreicht wurde, zeigt, dass es trotz der Überlegenheit der Formelversion immer noch schwierig ist, physikalische Texte so zu verstehen, dass quantitative Zusammenhänge wiedergegeben werden können. Mit den Items des Fragebogens in Tabelle A.1 gelang es noch nicht hinreichend, die dafür verantwortlichen Faktoren zu identifizieren. Hier sind noch weitere Untersuchungen erforderlich. Es ist geplant, diese Aspekte u. a. in offenen Einzelbefragungen eingehender zu untersuchen.

Auf den ersten Blick scheinen unsere Ergebnisse den Resultaten von Dee-Lucas und Larkin [8] zu widersprechen, die zumindest in einem Bereich eine bessere Verständlichkeit des formellosen Textes feststellten. Der folgende Unterschied in den beiden Untersuchungsdesigns scheint uns jedoch bedeutsam: In der vorliegenden Untersuchung wurden die Aufgaben von den Schülerinnen und Schülern mit Hilfe des Textes gelöst, während die Fragen zum Text in [8] aus dem Gedächtnis bearbeitet werden mussten. Somit stand in unserer Untersuchung das Verstehen eines unmittelbar vorliegenden Textes (mit oder ohne Formeln) im Mittelpunkt des Interesses. Dagegen wurde in [8] die weiter gehende Fragestellung untersucht, inwiefern die vorher gelesene Information soweit verstanden und im Gedächtnis gespeichert werden konnte, dass im Anschluss ihre Reproduktion und Anwendung gelang. Um diese beiden Fragestellungen sowie weitergehende Aspekte des Formelverständnisses in einem vereinheitlichten Modell zu erfassen, ist ein erhebliches Maß an weiterer Forschung erforderlich. Darüber hinaus sind in künftigen Untersuchungen auch mögliche schulformspezifische Unterschiede zu klären.

5. Dank

Wir danken dem Braunschweiger Zentrum für Gender Studies für finanzielle Unterstützung und Frau Natalia Hippel für Hilfe bei der Durchführung und Auswertung der Studie.

6. Literatur

- [1] P. Häußler et al., Perspektiven für die Unterrichtspraxis, IPN, Kiel (1998), S. 166
- [2] K. Höner, Mathematisierungen im Chemieunterricht – ein Motivationshemmnis?, *ZfDN* **2**, 51-70 (1996).
- [3] M. T. H. Chi, P. J. Feltovich, R. Glaser, Categorization and representation of physics problems by experts and novices, *Cognitive Science* **5**, 121 (1981).
- [4] J. H. Larkin et al., Models of competence in solving physics problems, *Cognitive Science* **4**, 317 (1980).
- [5] R. Plötzner, Flexibilität im Problemlösen und Lernen. Lengerich: Pabst (1998).
- [6] B. L. Sherin, How students understand physics equations, *Cognition and Instruction* **19**, 479 (2001).
- [7] A. A. diSessa, Toward an epistemology of physics, *Cognition and Instruction* **10**, 165 (1993).
- [8] D. Dee-Lucas, J. H. Larkin, Equations in scientific proofs: effects on comprehension, *American Educational Research Journal* **28**, 661 (1991).
- [9] R. Westermann, Empirical tests of scale type for individual ratings, *Applied Psychological Measurement*, **9**, 265 (1985).
- [10] Die im Text verwendete Grafik findet sich ohne Quellenangabe auf zahlreichen Internetseiten, z. B. <http://www.uihealthcare.com>. Es war uns nicht möglich, eine Originalquelle dafür zu finden.

Anhang: Untersuchungsmaterialien

Item	Mittelw	Item	Mittelw
1. Physik macht mir Freude.	45,0	23. Meist liegt es am mangelnden mathematischen Verständnis, wenn mir die Formeln schwierig erscheinen.	32,6
2. Physik ist eher was für Jungen als für Mädchen.	38,8	24. Meist wird einem erklärt, woher Größen in Formeln (z.B. Konstanten) kommen.	50,3
3. Das Schwierigste in Physik sind die Formeln.	34,7	25. Es ist schwierig, gedankliche Verbindungen zwischen den Buchstaben in den Formeln und den entsprechenden Größen in der Natur herzustellen.	41,3
4. Formeln sind mir zu abstrakt.	35,2	26. Es stört mich nicht, dass es manchmal verschiedene Buchstaben für dieselbe Variable gibt.	42,1
5. Ich fände Physik einfacher, wenn nicht so viele Formeln vorkämen.	45,1	27. Es ist nicht schwierig, sich die Bedeutung der Buchstaben zu merken.	57,1
6. Ich habe keine Angst vor Formeln.	71,6	28. Es ist verwirrend, dass ähnliche Formelzeichen manchmal unterschiedliche Bedeutungen haben.	60,7
7. Formeln fassen wichtige Beziehung übersichtlich zusammen.	70,4	29. Es macht mir nichts aus, wenn Formeln nicht in der gleichen Gestalt erscheinen, wie ich sie gelernt habe.	51,2
8. Es fällt mir schwer, mir Formeln zu merken.	42,1	30. In der Mathematik ist klarer vorgegeben, wie man mit Formeln umgeht.	57,7
9. Wenn in einem Text viele Formeln vorkommen, traue ich mich gar nicht erst heran.	25,9	31. In der Schule wird im Physikunterricht schon vorausgesetzt, dass man mit Formeln umgehen kann, es wird einem nicht erklärt.	56,3
10. Formeln sind hilfreich.	72,6	32. Ich weiß, in welchem Zusammenhang man eine bestimmte Formel anwenden darf und wo nicht.	51,8
11. Formeln sind abschreckend.	29,1	33. Dass sich physikalische Größen stärker beeinflussen als mathematische, macht das Verständnis von Formeln schwieriger.	51,2
12. Ich verstehe Formeln oft nicht, weil manche Größen etwas Abstraktes, nicht Sichtbares repräsentieren.	39,0	34. Dass die Variablen eine Einheit haben, erleichtert das Verständnis der Formeln.	56,8
13. Eine einzelne Formel geht noch, aber viele auf einmal sind zuviel.	46,2	35. Je mehr Variablen in einer Formel stehen, desto schwieriger ist sie zu verstehen.	60,5
14. Griechische Buchstaben in einer Formel machen mir nichts aus.	72,2	36. Es ist verwirrend, dass sowohl Variablen als auch Konstanten mit Buchstaben bezeichnet werden.	45,9
15. In der Mathematik haben Variablen wie x und y keine Bedeutung. Das macht es einfacher, mit den Formeln umzugehen.	54,4	37. Vor lauter Symbolen erkennt man oft nicht, welche von ihnen für die jeweilige Rechnung relevant sind	49,7
16. Man weiß, dass die Formeln in der Physik eine Bedeutung haben, versteht diese aber oft nicht.	47,6	38. Buchstaben in einer Formel sind mir lieber als Zahlenwerte	43,3
17. Der Umgang mit Formeln fällt mir leichter, wenn anschauliche Beispiele für die Variablen gegeben werden	74,6		
18. Eine vorgegebene Formel verstehen kann ich noch, aber wie man darauf kommt, verstehe ich nicht.	57,1		
19. Mir ist meistens klar, in welchem Sachzusammenhang eine Formel gebraucht wird.	58,2		
20. Es sind oft zu viele Variablen, die man sich merken muss.	49,7		
21. Es ist für mich kein Problem, mir die Einheiten von Konstanten zu merken.	46,8		
22. Die Formeln selbst verstehe ich ja, aber ich weiß nicht, wie ich sie anwenden soll.	40,7		

Tab. 5: Fragebogen zur Einschätzung von Formeln in der Physik. Spalte 2 und 4 enthalten die über alle Schülerinnen und Schüler gemittelten Antworten (0 = vollst. Ablehnung; 100 = vollst. Zustimmung)

Die erste Blutdruckmessung

Die erste Blutdruckmessung war noch eine recht blutige Angelegenheit. Sie wurde 1726 in London von Stephen Hales durchgeführt, indem er einen spitzen hohlen Gänsekiel in die Halsschlagader eines Pferdes stach (Bild). Das Blut stieg in einer senkrecht stehenden Glasröhre, die mit dem Gänsekiel verbunden war, 8 Fuß (= 2,44 m) hoch.

Je höher der Blutdruck $[p]$ in der Halsschlagader, umso höher steigt das Blut in der Glasröhre. Das Blut steigt so hoch, bis am Fuß der Glasröhre der Druck der „Blutsäule“ so groß ist wie der Blutdruck in der Ader.



Um den Wert des Blutdrucks p zu bestimmen, berechnet man zuerst die Gewichtskraft F_G des Blutes in der Glasröhre:

$$F_G = m \cdot g$$

(m = Masse, Ortsfaktor $g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Für die Masse m des Blutes gilt:

$$m = \rho \cdot V.$$

Dabei ist ρ seine Dichte und V das Volumen. Die Glasröhre hat die Gestalt eines Zylinders, deshalb kann man V wie folgt ermitteln:

$$V = A \cdot h$$

(A = Querschnittsfläche, h = Steighöhe).

Fasst man das alles zusammen, gilt für die Gewichtskraft F_G des Blutes in der Röhre:

$$F_G = \rho \cdot A \cdot h \cdot g.$$

Damit können wir nun den Druck p am Fuß der Glasröhre ermitteln. Es gilt

$$p = \frac{F_G}{A}.$$

Beim Einsetzen von F_G kürzt sich die Querschnittsfläche A heraus:

$$p = \frac{F_G}{A} = \frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot h}{A} = \rho \cdot g \cdot h.$$

Die Steighöhe h der Blutsäule ist demnach proportional zum Blutdruck p ,

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g},$$

so dass man den Blutdruck aus der Steighöhe berechnen kann.

Um den Wert des Blutdrucks zu bestimmen, berechnet man zuerst die Gewichtskraft des Blutes in der Glasröhre. Sie ist das Produkt aus Masse und Ortsfaktor ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Die Masse des Blutes ist gleich seiner Dichte multipliziert mit dem Volumen. Die Glasröhre hat die Gestalt eines Zylinders, deshalb ist das Volumen gleich dem Produkt aus Querschnittsfläche und Steighöhe.

Fasst man das alles zusammen, entspricht die Gewichtskraft des Blutes in der Röhre also dem Produkt aus Dichte, Querschnittsfläche, Steighöhe und Ortsfaktor.

Damit können wir nun den Druck am Fuß der Glasröhre ermitteln. Er ist gleich der Gewichtskraft des Blutes in der Röhre geteilt durch ihre Querschnittsfläche. Wenn wir die oben ermittelte Gewichtskraft einsetzen, kürzt sich die Querschnittsfläche heraus. Der Druck ist daher gleich dem Produkt aus Dichte, Steighöhe und Ortsfaktor. Die Steighöhe der Blutsäule ist demnach proportional zum Blutdruck (sie ist gleich dem Blutdruck geteilt durch das Produkt aus Dichte und Ortsfaktor), so dass man den Blutdruck aus der Steighöhe berechnen kann.

Setzen wir die Zahlenwerte ein (die Dichte von Blut ist $[\rho =] 1,065 \text{ kg/m}^3$), ergibt sich ein Druck von $[p =] 25,5 \text{ kPa}$ bzw. 192 mmHg (das ist die Einheit, in der Blutdrücke gewöhnlich angegeben werden). Der Blutdruck des Pferdes ist also etwas höher als beim Menschen (normalerweise bis 140 mmHg).

Tab. 6: Formel- und Wortversion des in der Untersuchung verwendeten Textes. Die Passagen am Anfang und Ende des Textes sind (bis auf die in eckige Klammern gesetzten Formelzeichen, die nur in der Formelversion vorkommen) in beiden Versionen identisch; die mittlere Passage entspricht im linken Teil der Formelversion, im rechten Teil der Textversion [10].

1. Welche beiden Konstanten musst du kennen, um aus der Steighöhe $[h]$ des Blutes den Blutdruck $[p]$ des Pferdes zu berechnen?
2. Wie hoch würde die Blutsäule steigen, wenn die Dichte $[\rho]$ des Blutes doppelt so groß wäre?
3. Wie hoch würde die Blutsäule steigen, wenn man ein Rohr mit der doppelten Querschnittsfläche $[A]$ nehmen würde?
4. Wie groß wäre die Gewichtskraft $[F_G]$ der Blutsäule im Rohr, wenn man ein Rohr mit der doppelten Querschnittsfläche $[A]$ nehmen würde?

Tab. 7: Fragen zum Überprüfen des Textverständnisses. Die in eckige Klammern gesetzten Formelzeichen kommen nur in der Formelversion vor.