

Wie Studierende Formeln gliedern?

Alexander Strahl*, Dirk Hemme⁺, Markus Herbst*, Rainer Müller⁺

*Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Physik

⁺Technische Universität Braunschweig, IFdN, Abt. Physik & Physikdidaktik

alexander.strahl@sbg.ac.at, dirk.hemme@gmx.de, markus.herbst@sbg.ac.at, rainer.mueller@tu-bs.de

Kurzfassung

Die vorgestellte Studie behandelt das Verhalten von Studierenden gegenüber Formeln. Hierbei wurde untersucht wie Studierende vorgelegte Formeln aufteilen, gliedern sowie nach eigenen Vorstellungen neu zusammensetzen und interpretieren. Die Arbeit stellt eine Erweiterung einer bereits mit Schülerinnen und Schülern durchgeführten Studie dar.

Die in der ersten Studie gefundenen Kategorien, in denen Formelbestandteile eingeteilt wurden, konnten bestätigt und um zwei Unterkategorien erweitert werden. Die Neustrukturierung der Formeln ergab ähnliche Ergebnisse wie in der ersten Studie. Die Interpretation der Formeln zeigt auch bei Studierenden ein heterogenes Feld.

1. Einleitung

Man wird wohl kein Physikbuch, sei es Fach- oder Schulbuch, finden können, in welchem gar keine Formel auftaucht. So findet sich sogar in vielen nicht-physikalischen Büchern mindestens die weltbekannteste, wenn auch nicht immer verstandene, physikalische Formel: $E = m \cdot c^2$.

Formeln stellen, soweit sie standardisiert sind, ein effektives Mittel zur Kommunikation dar. Doch inwieweit können SchülerInnen bzw. Studierende damit umgehen oder sie verstehen? Die vorliegende Untersuchung stellt einen Versuch dar, Strukturelemente von Formeln induktiv zu identifizieren. Sie wurde mit Studierenden des Unterrichtsfaches Physik durchgeführt und ist eine Weiterführung einer Untersuchung an SchülerInnen.

2. Untersuchung

Der theoretische Hintergrund der Studie wurde bereits in [1] dargelegt. Wie dort dienten die folgenden drei Forschungsfragen als Ausgangspunkt der Studie:

1. Werden Formeln bei Anwendern in Untereinheiten oder immer als Ganzes wahrgenommen?
2. Falls es Untereinheiten gibt, lassen sich diese in Kategorien zusammenfassen?
3. Sind die Probanden in der Lage, den Inhalt einer Formel zu interpretieren?

2.1. Probanden

Die erste, in [1] beschriebene, Untersuchung erfolgte mit SchülerInnen (Jahrgangsstufen 12 und 13), die zweite – hier vorgestellte – mit Studierenden des Unterrichtsfaches Physik. An der Untersuchung nahmen insgesamt 16 Studierende (12 Frauen und 4

Männer) auf freiwilliger Basis teil. Auswahlkriterium hierbei war das Studieren des Unterrichtsfaches Physik. Alle Probanden hatten während ihrer eigenen Schulzeit das Fach Physik mindestens bis zur 10. Klasse belegt und zudem mindestens eine Grundveranstaltung zur Physik besucht. Eine persönliche Charakterisierung der Probanden erfolgte durch Fragen zum Interesse an den einzelnen naturwissenschaftlichen Fächern (5-stufige Skala), zur Einschätzung des persönlichen physikalischen Könnens, zur letzten Schulnote in Physik sowie der Klassenstufe und zum Studiengang.

So erfolgte beispielsweise folgende Einstufung:

MARIE strebt das Lehramt für Realschule an und befindet sich im Bachelorstudiengang (BA: LA/RS). In der 11. Klasse war ihre letzte Note 1. Ihr Interesse an der Physik beschreibt sie als sehr groß und für die Biologie als groß. Mäßig hingegen ist ihr Interesse an der Chemie und Mathematik. Zu ihrem physikalischen Können schreibt sie folgendes: „*Mein physikalisches Können schätze ich so ein, dass ich mich in die Themen, die mir noch nicht bekannt sind, ohne große Probleme einarbeiten kann. Wenn ich mir allerdings eine schulische Note geben müsste, würde ich mein physikalisches Können mit 2 - 2,3 bewerten.*“

NINA belegt das Bachelorstudium für das Lehramt Grundschule (BA: LA/GS). Ihr Interesse an der Physik schätzt sie als groß, der Chemie sowie der Biologie als mäßig und der Mathematik als groß ein. Ihre letzte Schulnote mit 8 Punkten bekam sie in der 13. Klasse. Ihr Können beschreibt sie dabei kurz und prägnant: „*Ein physikalisches (Grund-)Verständnis ist vorhanden*“.

MARK studiert Realschullehramt im Bachelor (BA: LS/RS). Seine letzte Note in Physik sind 7 Punkte in der 13. Klasse. Sein Interesse an der Physik beschreibt er als groß, an der Mathematik als sehr groß, an der Chemie als gering und an der Biologie als mäßig. Seine eigenen physikalischen Fähigkeiten beschreibt er wie folgt: „*Gutes Grundlagenwissen auf dem man aufbauen kann*“.

Eine detaillierte Beschreibung aller Probanden ist im Zusatz zu finden [2].

2.2. Konzeption der Befragung

In einem persönlichen Interview wurden die Probanden gebeten, die ihnen vorgelegten Formeln zu zerschneiden und zu gruppieren, umzustrukturieren und zu beschreiben. Dies dauerte in der Regel 30-45 Minuten. Das Interview wurde auf Video aufgezeichnet und später ausgewertet.

Generell handelte es sich bei der Befragung um halbstandardisierte Interviews (vgl. Flick [3]), wobei eine offene Gesprächsführung entlang eines Leitfadens (den unten angeführten Punkten *a* bis *c*) erfolgte. Vorstellungen des Interviewers sollten auf diese Weise nicht auf die Probanden übertragen werden und umgekehrt durch Nachfragen (z.B. „*Warum hast du diese Bestandteile nach vorne gezogen?*“) deren Vorgehensweise besser nachvollzogen können. Den Probanden wurde jeweils genügend Zeit eingeräumt, um sich mit der Aufgabe und den Formeln zu befassen. Lediglich bei Problemen (z.B. Unverständnis, etc.) wurden individuell weiterführende Fragen gestellt oder kleine Hilfestellungen gegeben, welche zum direkten Nachdenken anregen sollten. Für das Umstrukturieren der Formeln (Teilbereich *b*) wurde eine abgewandelte Form der Struktur-Lege-Technik (vgl. Flick [3]) angewandt, wobei auf eine vollständige Transkription der Interviews verzichtet wurde.

a) Zerschneiden der Formeln

Die Probanden erhielten eine Formel auf Papier und wurden aufgefordert, diese mit einer Schere in für sie sinnvolle Bestandteile zu zerschneiden und – nach von ihnen selbst gewählten Kriterien – zu sortieren.

„*Bitte zerschneide die vor dir liegende Formel in für dich sinnvolle Bestandteile und bilde Häufchen aus Bestandteilen, welche für dich zusammen gehören!*“

Im Anschluss sollten die Probanden erläutern, warum sie sich für diese Sortierung entschieden und welchen Titel sie den einzelnen „Häufchen“ geben würden.

Dieser Vorgang wurde für alle Formeln wiederholt und es konnte überprüft werden, ob sich wiederkehrende Muster der Sortierung und Benennung finden.

b) Umstrukturieren der Formeln

Im zweiten Teil galt es, aus den einzelnen Bestandteilen die Formeln wieder zusammensetzen. Hierbei war es nicht von Bedeutung, die ursprünglich

vorgelegte Version zu bilden, sondern es sollte eine den Probanden angenehme Form gefunden werden.

„*Bitte versuche die vor dir liegenden Schnipsel in eine dir bekannte oder für dich angenehme bzw. sinnvolle Form zu bringen!*“

Auch dies wurde für alle Formeln wiederholt. Das Ziel dabei war, Untereinheiten, welche die Probanden als zusammengehörig betrachten (Chunks) zu identifizieren [4].

c) Beschreiben des Formelinhalts

Abschließend war es die Aufgabe jedes Probanden, die jeweiligen Formeln mit Worten physikalisch zu beschreiben. Hierbei sollten einzelne Bestandteile mit physikalischen Begriffen (z.B. Stromstärke, etc.) benannt werden und der physikalische Zusammenhang hinter der mathematischen Gestalt der Formel beschrieben werden.

„*Kannst du die Formel oder einzelne Bestandteile der Formel näher benennen bzw. beschreiben?*“

Das Beschreiben des Formelinhalts wurde ebenfalls für alle Formeln wiederholt.

2.3. Auswahl der Formeln

Die Auswahl der Formeln erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten:

- Die Formellängen wurden variiert, um zu erfassen, ob und inwiefern ein Proband sich davon abschrecken oder irritieren lässt.
- Die Anzahl an Vorfaktoren wurde variiert, um festzustellen, ob die Probanden die Vorfaktoren als semantische Gruppe erfassen oder gar Aussagen über die Tiefenstruktur der Formel machen können.
- Die Struktur bzw. Darstellung von Vorfaktoren wurde variiert. So sollten außer Zahlen und Buchstaben auch Sonderformen (griechische Buchstaben, Indizes, etc.) vorkommen.
- Letztlich sollte den Probanden die Formel (oder zumindest einzelne Bestandteile) bekannt sein.

Die Formeln wurden aus der vorangegangenen Untersuchung [1] übernommen:

$$W = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2, \quad \{1\}$$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I}{2 \pi r} \quad \text{und} \quad \{2\}$$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n^2}{l} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad \{3\}$$

Während die beiden ersten Formeln aus dem Standardstoff der Jahrgangsstufen 10 bzw. 12 stammen (Energie einer gespannten Feder; magnetische Flussdichte eines stromdurchflossenen Leiters), ist die dritte Formel den Probanden mit Sicherheit unbekannt, da sie physikalisch nicht korrekt ist. Bereits eine Einheitenkontrolle würde zeigen, dass diese Formel so nicht richtig sein kann. Ebenfalls hätte ein Gleichsetzen der Formeln {2} und {3} gezeigt, dass

zumindest eine der beiden falsch ist. Dies dient somit in struktureller Hinsicht dazu, eine Einsicht über den Umgang der Probanden mit unbekanntem Formeln zu gewinnen. Korrekt wäre die Formel {3} in der Literatur als „magnetische Flussdichte einer langen stromdurchflossenen Spule“ zu finden mit:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n}{l} \cdot I.$$

Für die Befragung der Studierenden wurden die oben angeführten Formeln {1} – {3} um drei weitere Formeln (Gravitationskraft; Coulomb'sches Gesetz; allgemeine Schwingungsgleichung) ergänzt:

$$F_G = G_N \frac{m_E \cdot M_S}{r_{E-S}^2}, \quad \{4\}$$

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad \text{und} \quad \{5\}$$

$$A(t) = A_0 \sin(\omega t + \varphi). \quad \{6\}$$

Da jeder Proband mindestens eine Grundvorlesung der Physik besucht hat, kann man davon ausgehen, dass die Formeln bereits einmal gesehen bzw. einzelne Bestandteile bekannt sind.

Nachdem im Teilabschnitt *b* (Umstrukturieren der Formeln) von den Probanden verlangt wurde die Formeln nach ihren Vorstellungen zusammensetzen, wurden ihnen diese nicht in der obig angeführten „Standardform“ {1} – {6} präsentiert, sondern in einer unkonventionellen Anordnung, um so zu verhindern, dass die Probanden Chunks oder Strukturelemente sofort erkennen:

$$W = D \cdot \frac{1}{2} \cdot s^2, \quad \{7\}$$

$$B = \frac{\mu_r \cdot I \cdot \mu_0}{\pi \cdot r \cdot 2}, \quad \{8\}$$

$$B = \frac{n^2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta I \cdot \mu_r}{\Delta t \cdot l}, \quad \{9\}$$

$$F_G = M_S \cdot G_N \cdot \frac{1}{r_{E-S}^2} \cdot m_E, \quad \{10\}$$

$$F = \frac{Q_2 \cdot Q_1}{\epsilon_0 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon_r \cdot 4} \quad \text{und} \quad \{11\}$$

$$A(t) = \sin(\varphi + t \cdot \omega) \cdot A_0. \quad \{12\}$$

3. Ergebnisse & Interpretation

3.1. Zerschneiden der Formeln

Im ersten Teil der Studie wurden die Probanden ersucht, die Formeln zu zerschneiden und deren Bestandteile nach eigenem Befinden zu sortieren. Die Probanden wurden explizit darauf hingewiesen „nichts falsch machen“ zu können und dass es ihnen

selbst überlassen ist, in wie viele Teile die Formel zerschnitten wird oder dies überhaupt zu tun.

Die in der ersten Untersuchung [1] gefundenen Haupt- und Unterkategorien konnten bestätigt werden, wobei sich zwei weitere Unterkategorien (*physikalische Größen* und *Rechenzeichen*) ergaben, welche in der ersten Untersuchung nicht identifiziert werden konnten (in der folgenden Liste kursiv):

- Oberflächenmerkmale
 - Zahlen
 - Konstanten
 - Variablen
 - *physikalische Größen*
- Funktion
 - abhängige Variablen
 - mathematisch (z.B.: Ableitungen)
 - Ergebnis einer Berechnung
 - *Rechenzeichen*
- Bedeutung
 - physikalische Bedeutung
- Sonstige
 - physikalische Bedeutung

In einer weiteren Kategorie *unklar* finden sich Nennungen, bei denen sich die Studierenden nicht sicher waren, was die Formeln bedeuten, wie sie jene bezeichnen sollen oder eine Einordnung nicht möglich war. Eine detaillierte Übersicht des Antwortverhaltens der Probanden findet sich in den Tabellen des Zusatzes [2].

Zur Illustration werden in der Folge einige Aussagen ausführlicher vorgestellt:

MARIE (BA: LA/RS) schaute sich die Formeln immer erst einen Augenblick an, bevor sie begann die Formeln in ihre Bestandteile zu zerschneiden. Insgesamt bildete sie jeweils nur drei Gruppen: i) die Gruppe der Zahlen mit den Elementen $\frac{1}{2}$, 2, 1, 4, ii) die Gruppe der Dinge „die für eine Gleichung wichtig sind“ mit $=$, \cdot , \div , $+$, $($, und $)$ sowie alle anderen Bestandteile, bis auf *sin*, benannte sie als „Bezeichnungen“. iii) Mit ΔI und Δt nannte Marie noch zusätzlich die Gruppe der „Zeitabhängigen“ und *sin* bekam die eigene Gruppe „Sinus“.

NINA (BA: LA/GS) unterteilte die Formeln im Wesentlichen in die Gruppen „Zahl“, „Konstanten“, „Variablen“ und „was ich raus haben will“. In Formel {2} beschrieb sie *I* als „konstant für ein Feld“ und *B* als abhängig von *r*. In Formel {3} sah sie ΔI , Δt als „abhängig voneinander“. Ab Formel {4} beschrieb sie die Bestandteile in ihren Funktionen. So waren M_S , m_E „Massen“, Q_1 , Q_2 , r^2 „Ladungen mit einem Abstand“, $1 / r_{E-S}^2$ ein „Abstand“ und $\sin(\varphi + t \cdot \omega)$ der „Sinus“.

MARK (BA: LS/RS) bildete seine ersten Gruppen erst auf direktes Nachfragen und nach rein optischen Merkmalen. So bildete er bei Formel {1} die Gruppe

„Großbuchstaben“, „Kleinbuchstaben“ und „Zahl“. Ab Formel {2} sprach er bei $B=$, F_G , F von „Gesuchten“ und bei μ_0 , μ_r , G_N , ε_0 , ε_r von „Konstanten“. In Formel {2} und {5} benannte Mark $2\pi r$ und $4\pi r^2$ als die Gruppe „Kreis“.

3.2. Umstrukturieren der Formeln

Im zweiten Teil war es Aufgabe der Probanden, die von ihnen produzierten Formelschnipsel wieder zusammenzulegen. Hierbei musste jedoch nicht die Originalform gefunden werden, sondern die Probanden sollte eine ihnen sinnvoll erscheinende Reihenfolge wählen.

Bis auf sehr wenige Ausnahmen haben alle eine neue Darstellung der Formel gelegt. So legte NICOLE trotz kompletten Zerschneidens der Formel {4} sie wieder in ihre Ausgangsform, was an ihrer Gruppierung liegen könnte, da sie die Großbuchstaben auf einer Seite des Tisches, und die Kleinbuchstaben auf der anderen sortierte. JANINE wollte die Formel {2} unverändert lassen, da diese Formel nach ihrer Meinung bereits „kompakt genug“ war.

ad Formel {1}

Bei der Formel {1} gab es ein sehr klares Ergebnis. So entschieden sich 14 Probanden für die Form $W = D \cdot \frac{1}{2} \cdot s^2$. In der Literatur ist es diese Form, welche am häufigsten zu finden ist. Lediglich NICOLE und KATRIN entschieden sich, die vorgegebene Struktur aufzulösen und neben der Reihenfolge der Bestandteile auch das Gesamtbild der Formel zu verändern. So entstand die Form $W = D \cdot s^2 / 2$. NICOLE begründete dies mit einer „kompakteren“ Form der Formel.

Bei der Datenauswertung wurden verschiedene „Grundmuster“ (wie z. B. „Zahl · Bruch“) erkennbar, in denen die Probanden die Formelbestandteile bausteinartig zusammensetzten. Wenn man innerhalb dieser Grundmuster von der Reihenfolge der Bestandteile absieht, ergibt sich eine deutliche Reduktion der Anzahl unterschiedlicher Antworten. Weil diese weniger breitgefächerten Ergebnisse aussagekräftiger erscheinen, werden die so identifizierten Grundmuster im Folgenden mit angegeben.

Die Formel {1} war von dieser Reduktion aufgrund ihrer geringen Komplexität nicht betroffen. 14 Probanden entschieden sich für die Form $W = \text{Zahl} \cdot \text{Bruch}$ und 2 Probanden (NICOLE und KATRIN) für $W = \text{Bruch}$.

ad Formel {2}

Nach dem Zusammensetzen der Formel {2} entschieden sich 7 Probanden für die Formel $B = (\mu_0 \mu_r I) / (2\pi r)$. 3 Probanden entschieden sich dafür die Struktur eines Bruches zu durchbrechen und 2 Brüche der Form $B = [(\mu_0 \mu_r) / (2\pi)] \cdot (I/r)$ zusammenzulegen. Für die Formel $B = (I \mu_0 \mu_r) / (2\pi r)$ entschieden sich 2 Probanden. 4 weitere Variationen wurden jeweils von einem Probanden gelegt.

Ergab Formel {2} bezüglich noch 7 verschiedene Darstellungsmöglichkeiten, so bleiben nach Identifi-

kation der Grundmuster nur noch 4 verschiedene Varianten, wobei eine davon, die Formel als Gesamtbruch $B = \text{Bruch} \cdot \text{Bruch}$, von 11 Probanden bevorzugt wird. 3 Probanden präferieren die Darstellung $B = \text{konst} \cdot \text{Bruch} \cdot \text{Bruch}$. DIANA entschied sich für die Form $B = \text{Zahl} \cdot \text{Bruch}$ und ERIK für eine Darstellung mit dem Kreisumfang im Nenner eines Bruches multipliziert mit den Variablen bzw. Konstanten.

ad Formel {3}

Bei der Formel {3} ergab sich mit 10 unterschiedlichen Versionen ein sehr breites Spektrum an gelegten Formeln. So haben sich 5 Probanden für die Formel $B = (\mu_0 \mu_r n^2 \Delta I) / (l \Delta t)$ und jeweils 2 Probanden für die Formel $B = (n^2 \mu_0 \mu_r \Delta I) / (l \Delta t)$ bzw. $B = (n^2 \mu_r \Delta I \mu_0) / (\Delta t \cdot l)$ entschieden. 7 weitere Variationen wurden jeweils von einem Probanden gelegt. JANINE war hierbei die einzige, welche die Formel nicht umgestellt hatte, da sie in dieser Form für sie bereits „kompakt genug“ war.

Die Formel {3} umfasste nach Identifizieren der Grundmuster nur noch 4 verschiedene Möglichkeiten (anstatt 10). Und auch hier ergab sich mit der Form $B = \text{Bruch}$ eine sehr deutliche Präferenz, welche von 11 Probanden gelegt wurde. Die Formen $B = \text{konst} \cdot \text{Vorfaktor} \cdot \text{Bruch}$ (z.B. NINA) und $B = \text{konst} \cdot \text{Vorfaktor} \cdot \text{Bruch} \cdot \text{Bruch}$ wurden von jeweils 2 Probanden gelegt. Für die Form $B = \text{Bruch} \cdot \text{Bruch}$ entschied sich lediglich ERIK.

ad Formel {4}

Die Formel {4} wurde in 11 verschiedenen Variationen gelegt. Dabei legten 5 Probanden die Formel $F_G = G_N \cdot [(M_S m_E) / (r^2 E_S)]$ und 2 Probanden die Formel $F_G = m_E \cdot M_S \cdot (G_N / r^2 E_S)$. Für die restlichen 9 Formeln entschied sich jeweils ein Proband.

Bei dieser Formel ergab das Betrachten der Grundmuster mit 4 statt 11 Varianten die größte Reduktion. 2 Formen stechen dabei besonders hervor. So wählten jeweils 6 Probanden die Form $F_G = \text{Konstante} \cdot \text{Bruch}$ bzw. $F_G = \text{Größen} \cdot \text{„Abstand“}$ (z.B. NINA). Jeweils zweimal wurden die restlichen Möglichkeiten gelegt. So legte zum Beispiel TANJA die Form $F_G = \text{Massen} \cdot \text{Bruch}$ und KATRIN die Form $F_G = \text{Bruch}$. Letzteres Ergebnis überrascht ein wenig, da in den beiden vorangegangenen Formeln ({2} und {3}) die Form eines kompakten Bruches klar favorisiert wurde.

ad Formel {5}

Die Formel {5} wurde von den Probanden in 7 verschiedenen Möglichkeiten gelegt. Dabei stachen 3 Formeln heraus. So legten 5 Probanden die Formel $F = (Q_1 \cdot Q_2) / (4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r r^2)$, 4 Probanden die Formel $F = [I / (4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r)] \cdot [(Q_1 \cdot Q_2) / r^2]$ und 3 Probanden die Formel $F = (Q_1 \cdot Q_2) / (4\pi r^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r)$. Die anderen 4 Formeln wurden wiederum nur von einem Probanden gelegt.

Die Formel {5} lieferte bezüglich der Form ein bereits bekanntes Ergebnis. So wählten 9 Probanden (z.B. MARIE) die Form $F = \text{Bruch}$. Mit etwas Ab-

stand und von 5 Probanden gelegt, folgt $F = konst \cdot Vorfaktor \cdot Bruch$. DIANA legte als Einzige die Form $F = Zahl \cdot Bruch$ und ANJA die Form $F = physikal\ Konstanten \cdot Bruch$.

ad Formel {6}

Die Formel {6} lieferte ein relativ ausgeglichenes Ergebnis mit einem leichten Hang zur Formel $A(t) = A_0 \cdot \sin(\varphi + t \cdot \omega)$, welche 6 Probanden legten. Von 4 Probanden wurden jeweils die Formeln $A(t) = A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ und $A(t) = \sin(t \cdot \omega + \varphi) \cdot A_0$ gelegt. Die Formel $A(t) = A_0 \cdot \sin(\varphi + t \cdot \omega)$ wurde von 2 Probanden konstruiert.

Die Formel {6} wurde nun in 2 verschiedene Darstellungsformen gebracht. Zum Einen die Form $A(t) = Konstante \cdot Sinus$, welche von 14 Probanden gewählt wurde und zum Anderen die Form $A(t) = Sinus \cdot Konstante$. Letztere Form wurde von 2 Probanden gelegt.

Eine detaillierte Auflistung aller Schreibweisen zu den einzelnen Formeln findet sich im Zusatz [2].

Die Betrachtung der Grundmuster lieferte eindeutiger und weniger gestreute Ergebnisse, da nun die Reihenfolge der einzelnen Bestandteile nicht mehr ins Gewicht fiel. Vergleicht man die gewonnenen Erkenntnisse, so kann man sehen, dass es sich dabei auch um die Darstellungsformen handelt, wie sie auch in der Literatur verwendet werden. Dies könnte auch eine Erklärung für das abweichende Muster in der Formel {4} sein. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der Großteil der Probanden mit dieser Formel bereits in Berührung gekommen ist, wenn auch nicht in exakt dieser Darstellung.

Niemand bemerkte, dass Formel {3} nicht stimmen kann.

Ebenso wie in der ersten Untersuchung [1] decken sich die Ergebnisse mit jenen beliebter Schreibweisen von Formeln [6, 7], wo sich über die Hälfte der Befragten für die Schreibweise auf einem durchgehenden Bruchstrich entschied.

3.3. Beschreiben des Formelinhalts

Im letzten Teil sollten die Probanden den physikalischen Inhalt sowie die einzelnen Bestandteile der Formeln mit eigenen Worten beschreiben.

Exemplarisch wird im Weiteren das Antwortverhalten einiger Probanden wiedergegeben.

MARIE (BA: LA/RS) beschreibt Formel {1}: „*W ist die Energie, D ist für mich eine Federkonstante und s ein Weg – dementsprechend ergibt die Formel für so keinen Sinn*“. Formel {2} beschreibt „*die Magnetfeldstärke*“. Formel {3} beschreibt „*das Magnetfeld einer Spule*“. Die einzelnen Bestandteile werden richtig benannt. Formel {4} beschreibt „*die Gravitationskraft zwischen Sonne und Erde*“. Formel {5} beschreibt „*die Coulombkraft*“ und Formel {6} beschreibt „*die Amplitude in der Abhängigkeit von der Zeit – bei der Schwingung*“.

NINA (BA: LA/GS) beschreibt einzelne Bestandteile der Formel {1} wie folgt: „*Federkonstante [zeigt auf D], Sekunde zum Quadrat [zeigt auf s^2], W ist die Arbeit*“. Sie berechnet „*die Schwingung einer Feder*“. Formel {2} beschreibt „*ein magnetisches Feld*“. Formel {3} beschrieb wieder ein „*magnetisches Feld*“ und die einzelnen Bestandteile werden benannt. Formel {4} wurde in einzelnen Bestandteilen benannt und berechnet „*die Gewichtskraft von der Erde zur Sonne, oder so*“. Formel {5} beschreibt eine „*Kraft, 2 Ladungen und einen Abstand*“. In Formel {6} werden $A(t)$, A_0 als „*Schwingungsdauer*“ benannt.

MARK (BA: LA/RS) beschrieb Formel {1} in einzelnen Bestandteilen. „*s ist ja immer sowas wie eine Strecke, D ist die Federkonstante*“. W bleibt unbenannt. Formel {2} wurde zum Teil beschrieben: „*Kreis [zeigt auf den Nenner], Strom vermutlich [zeigt auf I], B ist irgendein Feld, Magnetfeld sage ich mal*“. Formel {3} wurde wieder in Bestandteilen beschrieben: „*Länge, irgendein Feld*“. Formel {4} berechnet die „*Kraft, die das eine auf das andere ausübt*“. Formel {5}: „*Kraft, zwei Ladungen, Kreisfläche und etwas metallisches/ magnetisches*“. Formel {6} beschreibt die „*Amplitude zu einem bestimmten Zeitpunkt*“.

Es zeigte sich, dass kein einziger Studierender so weit in die inhaltliche Deutung der Formel vorgegangen war, als dass er mit Hilfe seines Vorwissens auf einen Fehler in der Formel schließen und dadurch die Formel {3} als falsch identifizieren konnte. Ein heterogenes Bild zeigt sich bei der Interpretation der Formeln. Die einzelnen Formelbuchstaben konnten oft den physikalischen Größen zugeordnet werden. Schwieriger wurde es den Formeln Bedeutung und Namen zuzuordnen.

4. Fazit

Die bei Schülerinnen und Schülern gefundenen Kategorien konnten durch die Befragung Studierender bestätigt und erweitert (*in kursiv*) werden:

- **Oberflächenmerkmale** (Zahlen, Konstanten, Variablen, *physikalische Größen*)
- **Funktionen** (Abhängigkeiten, mathematisch, Ergebnis, *Rechenzeichen*)
- **Bedeutung** (physikalisch)
- **Sonstiges** (unklar)

Aufgrund der unkonventionellen Darstellungen der Formeln {7-12} lässt sich schließen, dass die gewählten Schreibweisen aus dem persönlichen Strukturempfinden der einzelnen Probanden heraus entstanden, anstatt übliche, ihnen vorher bekannte Schreibweisen wiederzugeben.

Von 26 interviewten Personen (Studie 1: n=10 SchülerInnen; Studie 2: n=16 Studierende) konnte nur einer die physikalisch falsche Formel identifizieren.

Die Versprachlichung stellt einen wichtigen Punkt für das Verständnis dar. Sie verknüpft eine mathe-

matische Struktur mit einer physikalischen Bedeutung. [7] Doch stellte sich für viele Befragte die Interpretation bzw. Versprachlichung als schwierig heraus. Einige konnten noch nicht einmal die Formelbuchstaben den physikalischen Größen zuordnen. Eine Einheitenanalyse wurde von niemandem durchgeführt.

5.Literatur

- [1] Strahl, A.; Schleusner, U.; Mohr M.; Müller, R. (2010): Wie Schüler Formeln gliedern – eine explorative Studie. PhyDid A 2010
- [2] Zusatzmaterial:
http://www.strahl.info/veroeffentlichungen/2015_PhyDid_B_Wie_Studierende_Formeln_gliedern_Zusaetze.pdf
- [3] Flick, U. (2007): Qualitative Sozialforschung. Rowohlt's Enzyklopädie
- [4] Stindt, F.; Müller R.; Strahl, A. (2014): Chunks in Chemie- und Physikaufgaben. PhyDid B <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/537>
- [5] Strahl A.; Müller R. (2009): $U=R \cdot I$ oder $R=U/I$ - Untersuchungen zur Darstellung von Formeln. In: CD zur DPG Frühjahrstagung - Fachverband Didaktik der Physik 2009 V. Nordmeier, A. Oberländer (Hg.) Berlin
- [6] Strahl A.; Grobe J., Müller R. (2010): Was schreckt bei Formeln ab? – Untersuchung zur Darstellung von Formeln, In: PhyDid B
- [7] Janßen, W. (2015): Versprachlichung von Formeln – Die Bedeutung von Formeln und ihre Vermittlung. In: PhyDid B