Mathematik im Physikunterricht

ANGELA REISNER
REISNERAN@STUD.SBG.AC.AT

Zusammenfassung

Im Folgenden wird die Rolle der Mathematik im Physikunterricht zur Diskussion gestellt. Dazu wird in Kapitel 2 ein Überblick gegeben, welche Bedeutung der Mathematik in der Physik im Allgemeinen zukommt und in welchen Punkten sie einen Mehrwert für Schüler/innen bringen kann. Kapitel 3 beschäftigt sich mit der Frage nach dem grundsätzlichen Interesse der Schüler/innen in Bezug auf Mathematik im Physikunterricht und wie sie sich gegenüber Formeln im Physikunterricht positionieren. Das abschließende Kapitel behandelt Probleme von Schüler/innen beim Umgang mit Mathematik. Außerdem werden Möglichkeiten dargeboten, wie mathematische Beispiele im Physikunterricht sinnvoll eingesetzt werden können.

1 Einleitung

Die Mathematik als Bestandteil des Physikunterrichts steht vermehrt unter Beschuss. Nur ein kleiner Teil der Schüler/innen im Alter zwischen zwölf und sechzehn Jahren ein starkes Interesse für die Mathematisierung im Physikunterricht zeigen (vgl. Häußler, Hoffmann, Langeheine, Rost & Sievers, 1996). Als Gründe dafür werden der hohe Mathematisierungs- und Abstraktionsgrad im Physikunterricht genannt. Außerdem ist ein Drängen zu einem stärker qualitativ orientierten Unterricht hin zu spüren (vgl. Strahl & Franz, 2013).

Der Forderung nach einem zunehmend qualitativ orientierten Unterricht steht jedoch die Physik als Naturwissenschaft entgegen, deren Arbeitsweisen durchaus von der Mathematik geprägt sind. Diese dürfen den Schüler/innen laut Physiklehrplan für die AHS-Oberstufe nicht vorenthalten werden:

> *„Die Schülerinnen und Schüler sollen […] aktiv die spezifische Arbeitsweise der Physik und ihre Bedeutung als Grundlagenwissenschaft erkennen[…]".*
>
> *(BMBF, 2014, S. 1)*

Es werden daher folgende Fragen aufgeworfen: Ist der Einsatz von Mathematik im Physikunterricht überhaupt sinnvoll? Wenn ja, wie kann dieser so gestaltet werden, dass Schüler/innen davon profitieren?

2 Die Rolle der Mathematik in der Physik

Über die Frage, was Physik eigentlich ist, haben sich sowohl Physiker/innen, als auch Physikdidaktiker/innen den Kopf zerbrochen. Krey (2012) zieht nach Betrachtung einiger Ansätze den Schluss, dass die Frage nach der Natur der Physik äußerst schwierig zu beantworten sei. Es ist jedoch eine Tatsache, dass heutige Physik mathematisiert vorliegt. Ein Modell dazu, wie Mathematik in die Physik eingebettet werden kann, liefert Ludwig (1985, zit. nach Krey, 2013). Ihm zufolge besteht eine physikalische Theorie aus drei Teilen: Der Wirklichkeit, einer mathematischen Theorie und einer Abbildungsvorschrift zwischen den beiden (siehe Abb.1). Somit wird dem Übersetzungsprozess zwischen Wirklichkeit und mathematischer Theorie eine zentrale Bedeutung zugeordnet (vgl. Krey, 2013).

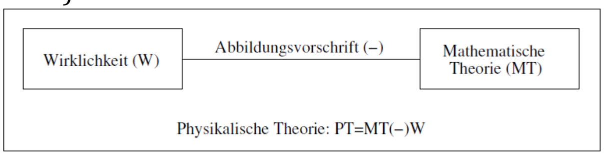

Abb.1 – Vereinfachte Darstellung des Aufbaus einer Physikalischen Theorie nach Ludwig (1985, zit. nach Krey, 2012, S. 41)

Unabhängig davon, wie man sich zu der Frage nach der Natur der Physik positioniert, ist anzuerkennen, dass viele bedeutende Physiker/innen die Mathematik als essentiell für eine physikalische Theorie erachten (vgl. Uhden, 2012). Exemplarisch werden hier Feynman und Galilei zitiert:

> *„[…]it is impossible to explain honestly the beauties of the laws of nature in a way that people can feel, without their having some deep unterstanding of mathematics. „*
>
> *Feynman (1985, zit. nach Uhden, 2012, S. 7)*

> *„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben."*
>
> *Galilei (1896, zit. nach Krey, 2012, S. 38)*

Eine zentrale Rolle spielen dabei die konkreten Funktionen der Mathematik innerhalb der Physik. Die nachstehenden fünf Punkte sind Krey (2013) zu entnehmen und beschränken sich auf die Aspekte des Umgangs mit Mathematik, welche auch gemeinsam mit Schüler/innen im Physikunterricht thematisiert werden können.

Kognitive Entlastung

Durch Verwendung von Zeichensystemen können physikalische Zusammenhänge dargestellt und durch ein festgelegtes Regelsystem innerhalb der Mathematik manipulierbar gemacht werden. Unter diesen Zeichensystemen können Rechensteine, algebraische Notationen oder auch grafische Darstellungen verstanden werden (vgl. Krey, 2012). Dabei müssen die Gleichungen in Hinsicht auf physikalische Begriffe und reale Zusammenhänge interpretierbar bleiben.

Exaktheit

Bei der Mathematisierung eines Begriffes muss dieser mit Präzision definiert und eindeutig festgelegt werden. Dabei verringern sich die Interpretationsmöglichkeiten dieses Begriffs, was zu einer einfacheren Kommunikation im wissenschaftlichen Kontext führt.

An die Exaktheit der präzise formulierten Begriffe muss man sich jedoch gewöhnen, da die im Alltag herkömmliche Interpretationsfreiheit verloren geht. Es wird eine Idealisierung des Begriffs vorgenommen, die Details ausblendet.

Kommunikation

Wenn davon ausgegangen werden kann, dass Sender und Empfänger mit den verwendeten Zeichensystemen vertraut sind, wird die wissenschaftliche Kommunikation fehlerfreier und effizienter. In der Physik sind vor allem zwei Arten von Darstellungen von Bedeutung: die algebraische Notationen und grafische Darstellungen.

Objektivität

Objektivität meint in diesem Zusammenhang nicht Subjektunabhängigkeit, sondern Intersubjektivität. Unter Intersubjektivität versteht man die Merkmale „Kommunizierbarkeit" und „prinzipielle Nachprüfbarkeit". Die so verstandene Intersubjektivität kann durch mathematische Darstellungen unterstützt werden.

Weitere Funktionen

Eine weitere Funktion, die der Mathematik in der Physik zukommt, ist die Strukturierungsfunktion, bei der physikalisches Wissen axiomatisch angeordnet wird. Ein Beispiel hierfür bilden die Newton'schen Gesetze in der Mechanik.

Fazit

Abschließend kann man festhalten, dass eine mathematische Ausbildung ein vielversprechendes Rezept für das Vorankommen physikalischer Forschung zu sein scheint (vgl. Krey, 2012) und dass Schüler/innen unter Berücksichtigung der genannten Punkte ebenfalls einen Mehrgewinn durch den Einsatz von Mathematik im Physikunterricht erfahren können. Dies kann durch folgende Aussagen zusätzlich noch unterstrichen werden.

> *„Dass die(se) Mathematisierbarkeit des durch die Physik herausgehobenen Naturzusammenhangs ein Faktum ist, über das wir nur staunen können […], ist eines der kostbarsten Ziele des physikalischen Unterrichts. Dass er oft das Gegenteil bewirkt, muss uns zu denken geben."*
> *Wagenschein (zit. nach Pospiech, 2009, S. 164)*

3 Interessen der Schüler/innen

Den Vorteil, den Schüler/innen durch Mathematisierung im Unterricht davontragen, steht, wie auch im zuletzt angeführten Zitat schon angesprochen, das Interessensprofil der Schüler/innen entgegen. Laut IPN-Interessensstudie sind Schüler/innen keine „kleinen Forscher", die nach Regelmäßigkeiten oder Gesetzen suchen, sondern sie fragen vielmehr nach den Anwendungen der Physik (vgl. Häußler, Bünder, Duit, Gräber & Mayer, 1998). Das wird durch eine Untersuchung von Häußler et al. (1996) bestätigt, in der herausgefunden wurde, dass sich Schüler/innen in drei Interessensgruppen einteilen lassen:

- Typ A: ist an allem interessiert, was die Physik bietet. Dieser Typ interessiert sich nicht nur für die Physik um der Physik willen, sondern auch für ihre Anwendungen und ihre gesellschaftlichen Folgen. Sein Interesse ist auch dann noch hoch, wenn es darum geht, etwas zu berechnen.
- Typ B: Er interessiert sich hauptsächlich für den Bereich Mensch und Natur. Fragen aus diesem Bereich beziehen sich auf Anwendungen der Physik auf Naturphänomene und den menschlichen Körper.
- Typ C: Er interessiert sich hauptsächlich für gesellschaftliche Fragen.

Typ A gehören nur 20% der Befragten an (wovon der Großteil männlich ist), während Typ B 55% und Typ C 25% zukommen (vgl. Häußler et al., 1996; Häußler et al., 1998; Strahl & Preißler, 2014).

Da Berechnungen und das Lösen von Aufgaben zu den unbeliebtesten Tätigkeiten im Unterricht gehören (vgl. Häußler et al., 1998), ist es wider Erwarten so, dass Schüler/innen Formeln als überwiegend positiv einschätzen.

Formeln im Physikunterricht

In einer Studie von Müller und Heise (2006) wurden zwei Fragestellungen im Bezug auf Formeln im Physikunterricht untersucht:

- Beurteilung von Formeln durch Schüler/innen: Werden physikalische Formeln als hilfreich und nützlich oder als schwierig und abschreckend bewertet? Gibt es Aspekte der Formelverwendung in der Physik, die Schüler/innen als besonders schwierig einschätzen?
- Formelverständnis: Können Schüler/innen einem physikalischen Text mit Formeln erfolgreicher Information entnehmen als einem Text, in dem der gleiche Sachverhalt ausschließlich in Worten erklärt ist?

Als Grundlage für die erste Fragestellung wurde ein Fragebogen entwickelt. Einerseits wurden Lehramtsstudierende gebeten, ihre Probleme mit Formeln anzugeben. Aus den Antworten wurden Items für den Fragebogen entwickelt. Andererseits wurden Aussagen formuliert, die allgemeine Einstellungen zu Formeln und zum Fach Physik abfragen sollen (z.B.: „Physik macht mir Freude“, „Formeln sind abschreckend“).

Zur Beurteilung der zweiten Fragestellung wurde ein Text in zwei Versionen ausgegeben (einmal mit und einmal ohne Formeln). Das Textverständnis wurde mit Fragen ermittelt, die sich auf die, im Text beschriebenen, physikalischen Zusammenhänge bezogen.

Getestet wurden 105 Schüler/innen aus den Jahrgangsstufen 10 und 11 eines niedersächsischen Gymnasiums.

Die Ergebnisse der Studie lassen sich in nachstehenden Punkten zusammenfassen:

- Schüler/innen empfinden Formeln als hilfreich.
- Schüler/innen sind der Meinung, dass Formeln wichtige Beziehungen zusammenfassen.
- In den Aufgaben zum Textverständnis schneiden Schüler/innen, unabhängig von ihrer Einstellung zu Formeln, bei der Formelversion des Textes signifikant besser ab, als jene mit reiner Wortversion (wobei anzumerken ist, dass die erreichte Punktezahl bei den Fragen zu beiden Texten generell eher niedrig ist).

Die Autoren Müller und Heise (2006) weisen darauf hin, dass dieses Ergebnis nicht im Widerspruch zu der von IPN belegten Abneigung gegenüber der Tätigkeit „Aufgaben lösen und Berechnungen durchführen“ stehen muss. Die Nützlichkeit von Formeln kann von Schüler/innen erkannt werden, obwohl sie die Tätigkeit des Rechnens eher als abschreckend empfinden.

In einer Fortsetzungsstudie von Strahl, Mohr, Schleuner und Müller (2009) wurde bestätigt, dass Schüler/innen Formeln nicht als unverständlich ansehen. Selbsteinschätzungen von Schüler/innen ergaben sogar, dass diese meinen, sowohl den physikalischen als auch den mathematischen Inhalt von Formeln zu verstehen. Diese Selbsteinschätzung kollidiert allerdings mit einer mündlichen Befragung, die parallel von Schleusner, Mohr, Strahl und Müller (2009, zit. nach Strahl et al., 2009) durchgeführt wurde.

Eine weitere Studie von Strahl, Grobe und Müller (2010) ergab, dass die Länge einer Formel direkt proportional dazu ist, ob sie als abschreckend empfunden wird.

Lösungsstrategien von Schüler/innen beim Bearbeiten von mathematischen Aufgaben

Zuletzt ist in diesem Abschnitt noch die Frage zu klären, wie Schüler/innen nun mit den von ihnen zwar als sinnvoll erachteten, aber trotzdem unbeliebten Formeln umgehen.

Dazu entwickelte Tuminaro (2004, zit. nach Krey, 2013) sechs „epistemic games“, die strukturierte Aktivitätsphasen beschreiben, welche durch Benutzung besonderer Formen von Wissen gekennzeichnet sind. Eine Auswahl der „epistemic games" ist in Tabelle 1 zu sehen.

Durch Kenntnis solcher Handlungsstrategien wird Lehrenden ein Mittel in die Hand gegeben, um die Lösungsstrategien ihrer Schüler/innen zu analysieren und diesen Strategien passend zu begegnen. (vgl. Krey, 2013). Leider zeigen Schüler/innen oftmals die oberflächliche Strategie des „Einsetzen und Losrechnens“ (vgl. Uhden & Pospiech, 2013). Damit Schüler/innen auf eine Strategie wie die genannte „Abbildung bedeutsamer Zusammenhänge auf algebraische Notation“ zurückgreifen können, müssen diese die Fähigkeit besitzen, Beziehungen aus der Realität in die Mathematik übertragen zu können (vgl. Krey, 2013). Genau in diesem Punkt treten bei Schüler/innen häufig starke Probleme auf.

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Bildliche Analyse	Grafische Darstellungen stehen im Mittelpunkt der Lösungsversuche. Mit ihrer Hilfe wird eine Situation dargestellt, analysiert und die Aufgabe gelöst.
Einsetzen und Losrechnen	Gleichung, die gegebene und gesuchte Größen miteinander verbindet (evtl. unter Zuhilfenahme einer weiteren Gleichung) wird umgestellt. Einsetzen, ausrechnen, fertig.
Abbildung bedeutsamer Zusammenhänge auf algebraische Notation	Wesentliche Größen der physikalischen Realität werden identifiziert und dann so in einer Gleichung angeordnet, dass diese ihre realen Zusammenhänge abbildet. Dann werden die Symbole manipuliert und das Ergebnis wird auf die reale Situation zurückbezogen.

Tab.1 – Kurzbeschreibung von drei der sechs „epistemic games" nach Tuminaro (2004, zit. nach Krey, 2013, S. 10)

Fazit

Nach den Ergebnissen der vorgestellten Studien sehen Schüler/innen zwar den Nutzen von Formeln und empfinden diese als hilfreich für das Verständnis von physikalischen Inhalten, haben aber weder Spaß daran Aufgaben zu lösen noch Berechnungen anzustellen. Oft greifen sie aus diesem Grund und wegen Problemen bei der Übersetzung zwischen Realität und mathematischer Darstellung auf die Lösungsstrategie „Einsetzen und Losrechnen" zurück. Aufgrund der Ausführungen im ersten Kapitel soll die Mathematik ein Bestandteil des Physikunterrichts sein. Es drängt sich somit die Frage auf, wie, ohne auf die Motivation der Schüler/innen verzichten zu müssen, Mathematik im Physikunterricht eingesetzt werden kann bzw. wann es sinnvoll ist Schüler/innen mit Mathematik zu konfrontieren.

4 Mathematik sinnvoll einsetzen

Für einen neuen Umgang mit der Mathematik im Physikunterricht erachtet es Uhden (2013, S. 13) als sinnvoll, *„den beschreibenden Charakter der Mathematik und damit die Übersetzungsprozesse zwischen physikalischer Bedeutung und mathematischer Struktur in den Vordergrund zu stellen."*

Dabei erfolgt ein Übergang von einer quantitativ eingesetzten Mathematik zu einem eher qualitativen Zugang, der als „konzeptuell-mathematische Physik" bezeichnet werden soll (ebd.). Es werden also die vorwiegend quantitativen Rechenaufgaben, die eher „technische Fähigkeiten" fördern, gegen einen Zugang getauscht, der sich an „strukturellen Fähigkeiten" orientiert. Damit ist Mathematisierung und die Interpretation als qualitativer Übersetzer zwischen physikalischer Bedeutung und einer mathematischen Struktur gemeint (ebd.).

In der Physik sind insbesondere Übersetzungsprozesse zwischen Realität und grafischer Darstellung, sowie zwischen Realität und algebraischer Notation von Bedeutung (vgl. Krey, 2013). Die grafischen Darstellungen sind (vor allem bei leistungsschwachen) Schüler/innen durchaus beliebt (ebd.) und es wird betont, dass das Entwickeln eigener grafischer Darstellungen Voraussetzung für ein tieferes Verständnis wissenschaftlicher, physikalischer Inhalte ist (vgl. Sherin, 2000, zit. nach Krey, 2013).

Mit algebraischen Repräsentationsformen werden vor allem Gleichungen und Formeln assoziiert. Laut Krey (2013, S. 9) ist das *„flexible Wechseln zwischen solchen Notationen, die Fähigkeit solche Darstellungen zu interpretieren und zu konstruieren […] Teil dessen, was physikalische Kompetenz ausmacht, und müssen gelehrt und gelernt werden."*

Dabei stellt Krey (2013) fest, dass ein Ungleichgewicht zwischen konzeptuellem Verständnis und mathematischer Darstellung vorherrscht und betont, dass dieses nicht durch einen verstärkt formalen und algorithmischen Umgang mit Mathematik behoben werden kann. Stattdessen sollen sich konzeptionelles Verstehen und mathematisches „Ausdrücken" ergänzen.

Konkrete Beispiele dazu werden in den folgenden Abschnitten besprochen.

Probleme der Schüler/innen beim Übersetzen zwischen Physik und Mathematik

Wenn im Physikunterricht eine Hinwendung zu einem stärker strukturell orientierten Umgang mit Mathematik stattfinden soll und Schüler/innen genau in der Übersetzung zwischen Realität und mathematischen Strukturen Probleme haben, ist es sinnvoll sich etwas genauer mit den hierbei auftretenden Schwierigkeiten auseinanderzusetzen. Daher wurde in einer

Studie, die von Uhden (2012) durchgeführt wurde, beobachtet, wie Schüler/innen mit konzeptuell-mathematischen Physikaufgaben umgehen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen auf, dass Schüler/innen oftmals erhebliche Defizite beim Verständnis der physikalischen Bedeutung mathematischer Strukturen haben. Als Beispiel wird von Uhden (2013) die Beschleunigung genannt, bei dem die Schüler/innen zwischen dem Begriff der Beschleunigung und der Änderungsrate der Geschwindigkeit einen Unterschied sehen. Nach Krey (2013, S. 8) wird aber genau dieses Verständnis gefordert, um Übersetzungsprozesse zwischen algebraischen Notationen und der Realität zu ermöglichen: *„Der Umgang mit physikalischen Gleichungen erfordert ein Verständnis für die Bedeutung der verwendeten Symbole und zwar bei allen Übersetzungsprozessen – sowohl bei Konstruktions- als auch Interpretationsprozessen*.“

Ein weiteres Problem stellt die Null dar, die nicht, wie gewollt, als „keine Bewegung“ oder Ruhe aufgefasst wird, sondern vielmehr als „Nichts“ bezeichnet wird (vgl. Uhden, 2013).

Bei Übersetzungsprozessen zwischen grafischen Repräsentationsformen und der Realität ergeben sich für Schüler/innen ebenfalls Probleme. Krey (2013) nennt ein Beispiel aus der Mechanik, bei dem sich das Zuordnen von Beschleunigungs-Zeit-Diagrammen zu den dargelegten Prozessen als schwierig herausstellt. Als möglicher Grund dafür kann die Tatsache genannt werden, dass die Sinnhaftigkeit zweidimensionaler Koordinatensysteme nicht von Schüler/innen nachempfunden wird, sondern von Lehrer/innen einfach als selbstverständliche Darstellungsform eingeführt wird (vgl. Krey, 2013).

Die eben genannten Schwierigkeiten ließen sich nach Krey (2013) deutlich verringern, wenn grafische Repräsentationsformen mit Schüler/innen langsam entwickelt und miteinander verglichen werden und immer wieder versucht wird, zwischen realer Situation und deren grafischer Repräsentation zu übersetzen.

„Insgesamt zeigt sich, dass Formeln und mathematische Strukturen oftmals nicht sinnvoll mit physikalischer Bedeutung verbunden werden (können)“ (Uhden, 2013, S. 14). Durch die im Unterricht gängigen Aufgabenformate, bei denen vor allem Berechnungen angestellt werden, können diese Schwierigkeiten nicht behoben werden. Deshalb würde es sich empfehlen, eine veränderte Beispielkultur einzuführen.

Konzeptuell-mathematische Aufgabenformate

Die Forderung an die im Folgenden vorgestellten Aufgabenformate ist die Förderung von strukturellen Fähigkeiten.

Die Umsetzung der konzeptuell-mathematischen Physik lässt sich einerseits durch verstärktes Interpretieren von Formeln realisieren und andererseits durch die Umkehrrichtung, also das Mathematisieren. Uhden (2013) stellt einige Aufgabenformate vor, die jeweils interpretierende oder mathematisierende Funktion haben. Die kommenden Punkte stellen eine Auswahl dieser Aufgabenformate vor.

1. <u>Funktionelle Abhängigkeiten analysieren:</u>

Bei dieser Art von Aufgabenstellung wird betrachtet, welches physikalische Verhalten bzw. welche Abhängigkeiten beschrieben werden. Uhden (2013) nennt als Beispiel das ideale Gasgesetz. Die Formel $pV = nRT$ kann dahingehend betrachtet werden, wie sich der Druck ändert, wenn das Volumen bei konstanter Temperatur verändert wird:

> *„Wir sehen zwei unterschiedlich große Behälter, die schon seit längerer Zeit in dem gleichen Raum stehen und beide das gleiche Gas enthalten. Wie unterscheiden sich die beiden Gasdrücke in den beiden Behältern?“*
>
> *(Uhden, 2013, S. 14)*

Allgemein kann jede Formel auf ihr physikalisches Verhalten hin interpretiert werden, anstatt dass Berechnungen mit ihnen angestellt werden. Neben dem idealen Gasgesetz präsentiert Uhden (2013) noch folgende Aufgabenstellung:

Interpretationsaufgabe

Die Gleichung für den reibungslosen freien Fall lautet $\frac{1}{2}gt^2$.

- Um welchen Faktor vergrößert sich der Weg, wenn die Zeit um einen Faktor c zunimmt?
- Erkläre, wie eine Gleichung zur Beschreibung des freien Falles auf dem Mond aussehen müsste.
- Erläutere (wenn möglich unter der Verwendung des Ergebnisses aus der ersten Aufgabe), wie lang die Strecke auf dem Mond ist, die dort in 6 Sekunden zurückgelegt wird, im Vergleich zu der Strecke, die derselbe Körper auf der Erde in 3 Sekunden fällt.

Kasten 1 – Interpretationsaufgabe zum freien Fall (nach Uhden, 2013, S. 14).

Wenn der Zusammenhang einer mathematischen Beschreibung mit dem physikalischen

Verhalten im Blick bleibt, können viele Aufgaben zur Interpretation entwickelt werden.

2. Interpretieren von Grenzfällen:

Bei der Interpretation von Grenzfällen werden die Begriffe *Null* und *Unendlich* zur Diskussion gestellt und es werden die Zusammenhänge zwischen physikalischem Verhalten und mathematischer Struktur besonders anschaulich gezeigt. Lässt man beispielsweise eine Variable gegen Null gehen wird dadurch das Verhalten des Systems bei Vernachlässigung eben dieser Variable beschrieben. Durch Veränderungen von Größen entsteht nach Uhden (2013) eine Art Dynamik, die physikalische Vorgänge erfahrbar machen.

In Kasten 2 wird eine Standard-Schulbuchaufgabe mit einer Interpretationsaufgabe verglichen.

Standardaufgabe

Berechne den Gesamtwiderstand zweier parallel geschalteter Widerstände für

- $R_1 = 10\Omega, R_2 = 20\Omega$
- $R_1 = 1\Omega, R_2 = 20\Omega$

Interpretation von Grenzfällen

Betrachte die Formel zur Berechnung des Gesamtwiderstandes bei zwei parallel geschalteten Widerständen. Wie verändert sich der Gesamtwiderstand, wenn einer der Einzelwiderstände gegen Null geht? Was bedeutet das anschaulich und weshalb ist das Ergebnis sinnvoll?

Kasten 2 – Vergleich einer Standardaufgabe mit einer Aufgabe zur Interpretation von Grenzfällen (nach Uhden, 2013, S. 15).

Bei dieser Interpretationsaufgabe wird die beschreibende Funktion der Formel in den Vordergrund gestellt und die Schüler/innen werden aufgefordert einen direkten Zusammenhang zwischen mathematischer und physikalischer Beschreibung herzustellen.

3. Umfangreiche Interpretation einer Formel:

Es besteht die Möglichkeit ein umfassendes Arbeitsblatt in Bezug auf eine Formel zu erstellen. Als Beispiel könnten die von Uhden (2013) genannten Punkte von Schüler/innen bearbeitet werden:

- Symbole benennen
- Einheiten hinschreiben und Übereinstimmungen beider Seiten der Gleichung zeigen
- Abhängigkeit der Größen voneinander erläutern (siehe 1.)
- Bedeutung der Formel bzw. Terme erklären
- Grenzfälle benennen und interpretieren (siehe 2.)
- Bedingungen der Anwendbarkeit der Formel und Spezialfälle aufschreiben (z.B. $F = mg$ als Spezialfall der Formel $F = ma$ unter der Bedingung des freien Falls ohne Luftwiderstand)
- Grafische Darstellung der Formel (und evtl. der Spezial- und Grenzfälle) und deren Interpretation

Diese Fragen sollen zu einem besseren Verständnis einer Formel führen und können anhand von Reflexionsfragen in Kleingruppen diskutiert werden.

4. Formel aufstellen:

Beim Aufstellen von Formeln zu physikalischen Zusammenhängen kann ein guter Einblick in die Methodik von mathematischen Beschreibungen gegeben werden. Dabei ist zu beachten, dass die Formel den Schüler/innen noch nicht bekannt sein soll, damit kein bereits gelerntes Wissen abgefragt wird.

Ein Beispiel dazu ist das Aufstellen der Gleichung für den Luftwiderstand beim freien Fall (siehe Kasten 3). Dieses Beispiel wurde bereits an Schüler/innen getestet und hat laut Uhden (2013) zu intensiven physikalischen Diskussionen geführt.

In manchen Fällen ist eine experimentelle Überprüfung des gefundenen Zusammenhangs ebenfalls möglich.

Aufgabe zum Mathematisieren

Lässt man auf der Erde einen Körper fallen, muss man noch den Einfluss der Luftwiderstandskraft berücksichtigen. Diese hat eine bremsende Wirkung, was man durch eine Teilbeschleunigung a_{Luft} beschreiben kann. Ihr sollt die Gleichung für a_{Luft} aufstellen, wobei ihr auf folgendes Wissen zurückgreifen könnt: a_{Luft} ist proportional oder indirekt proportional zu

- ρ („Rho"): Dichte der Luft
- A: Querschnittsfläche des Körpers in Bewegungsrichtung
- m: Masse des Körpers
- v^2: Quadrat der Geschwindigkeit des Körpers

Wie muss demnach die Gleichung für a_{Luft} aussehen?

Kasten 3 – Aufgabe zum Aufstellen einer Formel anhand physikalischen Verhaltens (nach Uhden, 2013, S. 16).

5. Natürliche Aufgabenstellung ohne Zahlenwerte:

Dieser letzte Punkt ist nicht unbedingt als mathematisch-konzeptuell einzustufen, bietet aber eine Möglichkeit mit bereits vorhandenen Physikaufgaben so umzugehen, dass die „gegeben-gesucht-Strategie" für Schüler/innen nicht mehr anwendbar ist und eine stärkere Verbindung zur physikalischen Situation angestrebt werden kann.

Es reicht oft schon konkrete Zahlenwerte zu streichen. Schüler/innen müssen eigenständig Werte abschätzen, was zu einer lebensnahen Formulierung der Aufgabenstellung führt, die einen Bezug zur Erfahrungswelt der Schüler/innen hat.

Anhand von Beispielen (wie in Kasten 4) können auch Fehlergrenzen und Messgenauigkeiten zur Diskussion gestellt werden.

Natürliche Aufgabenstellung ohne Zahlenwerte

Du willst eine zweispurige Landstraße (eine Fahrspur in jede Richtung) in normalem Schritttempo überqueren. Wie weit müssen die fahrenden Autos, die von links kommen, und wie weit müssen die fahrenden Autos, die von rechts kommen, mindestens von dir entfernt sein, um ein gefahrloses Überqueren der Straße zu ermöglichen?

Kasten 4 – Natürliche Aufgabenstellung ohne Zahlenwerte (nach Uhden, 2013, S. 17).

Schüler/innen haben laut Uhden (2013) keine Probleme mit dieser Art von Aufgabenstellung, gelangen zu realistischen Werten und fertigen sogar Skizzen zur Unterstützung an.

5 Zusammenfassung

Es wurde diskutiert, dass der Einsatz von Mathematik im Physikunterricht aufgrund von verschiedenen innermathematischen Eigenschaften sinnvoll ist. Auch Schüler/innen erkennen die Sinnhaftigkeit von Formeln und erachten diese oftmals als hilfreich. Trotzdem empfinden sie die Tätigkeiten „Berechnen" und „Lösen von Aufgaben" als negativ.

Das spiegelt sich auch in Problemen beim Umgang mit Mathematik im Physikunterricht wider, vor allem bei der Übersetzung zwischen Realität und mathematischer Beschreibung.

Mithilfe eines sinnvollen Einsatzes von Mathematik kann diesen Problemen entgegengewirkt werden. Es soll dazu von reinen Rechenaufgaben abgesehen und eher konzeptuell-mathematische Beispiele behandelt werden. Möglichkeiten bieten Beispiele, welche interpretierende oder mathematisierende Funktionen erfüllen.

6 Literatur

BMBF (2014). Lehrplan Physik für die AHS-Oberstufe. https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf?4dzgm2 (letzter Zugriff: 09.12.2014).

Häußler, P., Bünder, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis.* Kiel: IPN.

Häußler, P., Hoffmann, L., Langeheine, R., Rost, J. & Sievers, K. (1996). Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3*, 57-69.

Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender.* Unveröffentlichte Dissertation, Universität Potsdam.

Krey, O. (2013). Didaktische Aspekte des Umgangs mit Mathematik im Physikunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule, 2/62*, 5-12.

Müller, R. & Heise, E. (2006). Formeln in physikalischen Texten: Einstellung und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern*. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 2/5*, 62-70.

Pospiech, G. (2009). Die Rolle der Mathematik im Physikunterricht der Sekundarstufe I. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (S.164-166). Berlin: LIT-Verlag.

Strahl, A. & Franz, R. (2013). Geliebter Feind – die Formel in der Schulphysik. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule, 2/62*, 18-22.

Strahl, A., Grobe, J. & Müller, R. (2010). *Was schreckt bei Formeln ab? – Untersuchung zur Darstellung von Formeln.* PhyDid-B. http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/169/ (letzter Zugriff: 09.12.2014).

Strahl, A., Mohr, M., Schleuner, U. & Müller, R. (2009). Beuteilung von Formeln durch Schüler – eine Fragebogen-Untersuchung. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (S.170-172). Berlin: LIT-Verlag.

Strahl, A. & Preißler, I. (2014).*Fachdidaktik der Naturwissenschaften und besonderer Berücksichtigung der Physik*. Braunschweig: BoD.

Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht. Theorieentwicklung und Problemanalyse.* Unveröffentlichte Dissertation, Universität Dresden.

Uhden, O. & Pospiech, G. (2013). Die physikalische Bedeutung der mathematischen Beschreibung. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule, 2/62*, 13-18.