

Wie viel Mathematik braucht und verträgt das Schulfach Physik?

Claudia von Aufschnaiter
Didaktik der Physik, JLU Gießen



Physik und Mathematik...

... aus der Perspektive der Physik:

„**Mathematics is the language of physics**, it is an expression of scientific thought and not solely a communicating instrument. In the construction of physical models, **mathematics helps structuring our ideas regarding the physical world**, and lends its own structure to scientific thought.“

(Silva, unpublished 2007, Hervorhebungen durch CvA)

„Mathematik ist außerdem die gemeinsame Sprache der Naturwissenschaften [...]“

(Schavan, 23.01.2008 zur Eröffnung des Jahrs der Mathematik)



Physikunterricht in der Praxis?!



Foto: dpa
Schulbuchauszug:
Dorn + Bader Physik Sek I

ZUSAMMENFASSUNG: LADUNG - STROM - SPANNUNG

Das ist wichtig

1. Stromstärke: $I = \frac{Q}{t}$ Einheit: $1 \text{ A} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}}$

Bei einem konstanten Strom kann die durch einen Leiterquerchnitt fließende Ladung Q berechnet werden mittels der Gleichung:

$$Q = I \cdot t$$

2. Die Spannung U ist die Ursache für das Fließen von Ladung. Jedes Volt gibt Ladungsenergie von einer Energiequelle an, je größer die Spannung ist.

3. Widerstand: $R = \frac{U}{I}$ Einheit: $1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}$

Der elektrische Widerstand R beschreibt die Eigenheit eines Leiters, den Fluß von Ladungen zu hemmen. Je höher R ist, desto größer ist die Spannung bei gegebener Stromstärke.

Die Stromstärke hängt also ab von:

- der Spannung U (direkt) und
- dem Widerstand R des Stromleiters.

Der elektrische Widerstand R hängt von der Form und dem Material des Leiters ab. Bei einem Draht mit der Länge l und der Querschnittsfläche A gilt:

- R ist proportional mit l : $R \propto l$
- R ist umgekehrt proportional zu A : $R \propto \frac{1}{A}$

Wenn der Widerstand R eines Leiters konstant ist, gilt in der Kommunikation und Messtechnik bei konstanter Temperatur (in der Regel) die folgende Gleichung:

$$I = \frac{U}{R}$$

Bei einem Material steigt der Widerstand R bei Kalte mit R mit zunehmender Temperatur.

4. Parallelschaltung von Widerständen

An allen Zweigstellen R liegt die gleiche Spannung U . Die Stromstärke I ist in jedem Kreis additiv mit der Gesamtstromstärke:

$$I_{\text{Gesamt}} = I_1 + I_2 + \dots = \left(\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots \right) \cdot R$$

Für den Ersatzwiderstand R_{Ersatz} parallel geschalteter Widerstände gilt:

$$\frac{1}{R_{\text{Ersatz}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Ergebnisse TIMSS

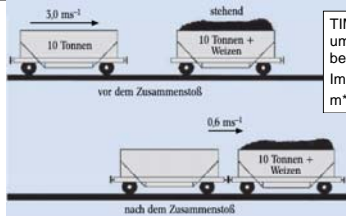
„Die relativen Stärken der deutschen Schüler liegen bei schematischen Routineaufgaben, die formalmathematisch gelöst werden können, während die eigenständige Anwendung des Wissens selbst in einem nur leicht variierten Aufgabenkontext kaum noch gelingt.“

„Besonders schwierig sind Aufgaben, bei denen physikalische Begriffe ins Spiel kommen, die im Alltagsverständnis anders belegt sind. Die „Überwindung von Fehlvorstellungen“ erwies sich beim TIMSS-Test zur voruniversitären Physik als höchste Stufe physikalischer Kompetenz [...]“

Schecker, H. & Klieme, E. (2001). Mehr denken, weniger rechnen. Konsequenzen aus der internationalen Vergleichsstudie TIMSS für den Physikunterricht. Phys. Blätter, 57(7/8), 113-117. [SK01]



Physikaufgaben [aus SK01]

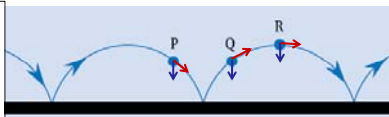


TIMSS III: „Benutze die Informationen, um die Masse des Weizens zu bestimmen.“

Impuls (vor Stoß) = Impuls (nach Stoß)

$$m \cdot v(\text{vor}) + (m + x) \cdot 0 = (2m + x) \cdot v(\text{nach})$$

TIMSS III: Ein Ball bewegt sich von links nach rechts. Gefragt wird nach der Richtung der Beschleunigung. Schüler zeichnen in der Regel Pfeile in Richtung der momentanen Bewegung.



Erleben des Physikunterrichtes

Warum hast du Physik in der Oberstufe ausgewählt?

Mathematik liegt mir nicht so (6/24)

Wie müsste ein PU gestaltet sein, damit er deinen Erwartungen entspricht?

Viele Versuche machen, Praxis, anschaulich (16/27)

Nicht so trocken (8/27)

IPN-Interessenstudie Physik (1984-1989):

Sachinteresse

(Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. Kiel: IPN.)



IPN-Interessenstudie

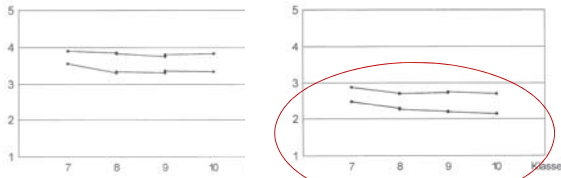


Abb. 4.16: Sachinteresse an Naturphänomenen

Abb. 4.19: Sachinteresse am Berechnen

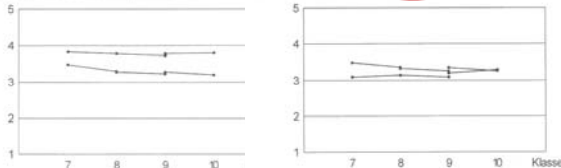


Abb. 4.17: Sachinteresse an Geräten der Medizin

Abb. 4.20: Sachinteresse am Diskutieren und Bewerten

Physiklernen und Mathematisierung I

„Richtige“ Physik scheint ohne Mathematik nicht denkbar.

- Es ist (deshalb) „praktisch“, beide Fächer für das LA zu studieren.
- Es ergibt sich (damit) „automatisch“ ein eher mathematisch orientierter Physikunterricht.
- Es liegt (deshalb) auch nahe, den Mathematikunterricht mit physikalischen Beispielen „anzureichern“.

Physiklernen und Mathematisierung II

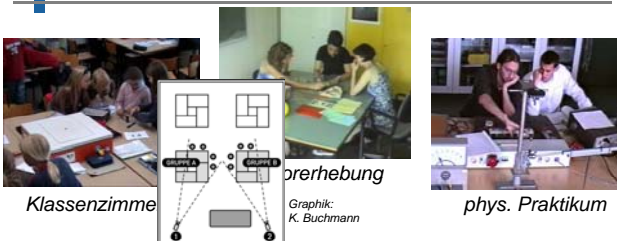
„Richtige“ Physik kommt nicht immer gut an.

- (Deutsche) Schüler können (eher einfache) Aufgaben formal bearbeiten, verstehen aber nicht die „dahinter liegenden“ physikalischen Begriffe (Konzepte).
 - Die Mathematisierung der Physik ist für Schüler häufig eher abschreckend.
 - (Und die „Physikisierung“ des Mathematikunterrichts stößt auch nicht immer auf Gegenliebe...)
- Was soll der Physikunterricht leisten? („Mathematik im Kontext“ vs. Begriffsbildung)
- Auf welchem Wege erschließen sich Schüler physikalische Konzepte – und wie werden dabei Mathematisierungen genutzt?

Gliederung

- 1 Mathematisierung der Physik – Unterschiedliche Perspektiven
- 2 Lernverläufe von Schülern in physikalischen Lehr-Lernsituationen
- 3 Physiklernen im Wechselspiel von Qualitäten und Quantitäten
- 4 Plakative Aussagen und Fragestellungen zum weiter Diskutieren und als Anregung für (gemeinsame) Forschungsprojekte

Videoaufzeichnung von Lerneraktivitäten



Fokus auf Gruppenaktivität, aber in frontalen Phasen sind auch alle Beiträge aus der Klasse (inkl. Lehrer) gut hörbar.

Nebenerhebungen: Concept-Maps, Befragungen zum Interesse und zum situativen Erleben

Untersuchte Probanden

Schüler von Klasse 6-13 in Feld- und Laborstudien (Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Optik)

Studierende des Diplomstudienganges Physik im physikalischen Grundpraktikum und in Laborstudien (Elektrizitätslehre)

Doktoranden der Physik in Laborstudien (Elektrizitätslehre)

→ In der Regel Kleingruppen von 2-4 Personen

Verfahren und Kriterien der Auswertung

Transkriptbasierte Detailanalysen und Kodierungen am Video

Analysekriterien

- Handlungen (u.a. lesen, schreiben, experimentieren...)
- Inhaltliche Aspekte (je nach Themenfeld)
- Zeitliche Strukturierung
- Konzeptualisierungsniveau
- Erfahrungsbezug
- Inhaltliche Ausdifferenzierung
- Interaktionsverläufe, Erleben, ... (je nach Forschungsfrage)



Videograph

(Auswertung & Screenshot C. Rogge)



Verfahren und Kriterien der Auswertung

Transkriptbasierte Detailanalysen und Kodierungen am Video

Analysekriterien

- Handlungen (u.a. lesen, schreiben, experimentieren...)
- Inhaltliche Aspekte (je nach Themenfeld)
- Zeitliche Strukturierung
- **Konzeptualisierungsniveau**
- Erfahrungsbezug
- Inhaltliche Ausdifferenzierung
- Interaktionsverläufe, Erleben, ... (je nach Forschungsfrage)



Konzeptualisierung - Niveaus

Exploratives Vorgehen: Phänomene erkunden, probeweise messen; konkrete Objekte, Situationen und Phänomene beschreiben. „*Ich mach's mal irgendwie*“

Intuitiv-regelbasiertes Vorgehen: Versuchsausgänge vermuten, relevante Sachverhalte betonen, Bezeichnungen systematisch benutzen. „*Ich weiß, wie das geht/was ich jetzt sagen muss*“

Explizit-regelbasiertes Vorgehen: Über Phänomene, Objekte und Ereignisse generalisieren, theoriebasiert erklären; Generalisierungen/Erklärungen zur Vorhersage von Ereignissen nutzen. „*Alle ... haben ...*“ „*Immer wenn... dann ...*“



Konzeptualisierung – Beispiele Mathematik?

Exploratives Vorgehen: „Ich addiere mal 7 auf beiden Seiten.“ „Vielleicht geht das mit einer binomischen Formel.“ „Lass uns doch mal die Punkte im Graphen verbinden.“ „Was das a da soll, weiß ich nicht.“ „Jetzt könnte man vielleicht dieses f' machen?“

Intuitiv-regelbasiertes Vorgehen: „Für diese Aufgabe muss ich erst die Ableitung bilden und dann die Nullstellen bestimmen.“ „Bestimmt sollen wir gleich auch die Achsen beschriften.“ „Das musst du rechnen wie die Aufgabe von gestern.“

Explizit-regelbasiertes Vorgehen: „Bei einer Kurvendiskussion müssen immer die erste und zweite Ableitung gebildet sowie zugehörige Nullstellen bestimmt werden.“ „(-3)*(-5) ergibt einen positiven Wert, da Minus mal Minus immer Plus ist.“ „Der Graph von x hoch irgendwas verläuft sowohl oberhalb als auch unterhalb der x-Achse, wenn der Exponent ungerade ist.“



Konzeptentwicklung

- Aus vielfältigen Explorationen physikalischer Kontexte erfassen die Schüler intuitiv die unterliegenden Regelmäßigkeiten (wissen, wie es geht/was man sagen muss, aber nicht warum). (> 80% der Zeit)
 - Nur sehr langsam werden Verallgemeinerungen aus ähnlichen Phänomenen und Beschreibungen erschlossen.
 - In weiteren Explorationen werden diese Konzepte zunächst wiederholt entdeckt und erst später als „Hypothesen“ genutzt.
 - Für Schüler nicht aus Phänomenen/Situationen erfahrbare Erklärungen werden erst sehr spät im Lernprozess konzeptuell verstanden bzw. selten expliziert. (< 5% der Zeit)
- Die Entwicklung/das Verstehen physikalischer Erklärungen wird bei zu frühem Angebot solcher Erklärungen eher behindert als befördert.



Konsequenzen für Lernmaterial

Schülererfahrungen als Ausgangs- und Schwerpunkt von gelingenden Lernprozessen begreifen und entsprechend anlegen

- Angestrebte Konzeptualisierungen in Aufgabenserien entwickeln: Schülern das selbstständige Entdecken von Gesetzmäßigkeiten ermöglichen
- Zunächst vor allem auf erfahrbare Verallgemeinerungen abzielen, der Erfahrung nicht zugängliche Erklärungen relativ spät abgeben/einfordern
- Wiederholtes Entdecken von Konzepten ermöglichen und zulassen
- Erfolgserleben häufig ermöglichen (alle 3-5 Minuten sollte „was klappen“)

Eine Aufgabenserie...

1.1

Nehmt eine Schere aus der Materialkiste. Wie warm fühlt sich die Schere an?

Fühlen sich alle Teile der Schere gleich warm an?

Tipp: Haltet die Schere kurz an die Handaußenfläche oder an die Wange.

Eine Aufgabenserie...

1.2

Untersucht beliebige Gegenstände aus der Materialkiste danach, wie warm sie sich anfühlen. Fangt mit den Klötzen an. **Achtet darauf, dass ihr die Gegenstände immer nur kurz anfasst.**

Schreibt jeweils mindestens 3 Gegenstände auf, die sich

- eher warm anfühlen: _____

- normal anfühlen: _____

- eher kalt anfühlen: _____

Eine Aufgabenserie...

1.3

Welche Temperaturen würdet ihr den Gegenständen von Karte 1.2 zuordnen? Versucht, prob zu schätzen!

- eher warm entspricht ungefähr _____ Grad
- normal entspricht ungefähr _____ Grad
- eher kalt entspricht ungefähr _____ Grad

- eher kalt anfühlen: _____

Eine Aufgabenserie...

1.4

Nehmt das Oberflächenthermometer (siehe rechtes Bild) aus der Materialkiste. Schaut auf Infokarte 1 nach, wie man dieses Thermometer benutzt.

Messt nun die Temperatur von dem Griff und den Schneiden der Schere.

Temperatur des Griffs: _____ °C
Temperatur der Schneiden: _____ °C

Messt jetzt auch die Temperaturen der anderen Gegenstände, bei denen ihr bei Karte 1.2 gefühlt habt, wie warm sie sich anfühlen.

_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C

Wenn ihr fertig seid, legt die Gegenstände wieder zurück in die Material-Kiste!

Eine Aufgabenserie...

1.5

Was stellt ihr fest, wenn ihr die gemessenen Temperaturen von Karte 1.4 miteinander vergleicht? Berücksichtigt dabei, dass man mit den Thermometern nur auf 1°C genau messen kann! Beispiel: Wenn ein Gegenstand eine Temperatur von ca. 24,2 °C und ein anderer eine Temperatur von ca. 25,1°C hat, geht man davon aus, dass beide die gleiche Temperatur haben.

Vergleicht jetzt die gemessenen Temperaturen mit euren geschätzten Temperaturen der Gegenstände (siehe Karte 1.3). Was stellt ihr fest?

_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C
_____ °C _____ °C

Wenn ihr fertig seid, legt die Gegenstände wieder zurück in die Material-Kiste!

Eine Aufgabenserie...

1.6

Welche Materialien täuschen uns Menschen, wenn wir ihre Temperatur fühlen wollen?

Temperatur haben.

Vergleiche jetzt die gemessenen Temperaturen mit euren geschätzten Temperaturen der Gegenstände (siehe Karte 1.3). Was stellt ihr fest?

Sperrt dabei, wie warm sie sich anfühlen!

_____ °C _____ °C
 _____ °C _____ °C
 _____ °C _____ °C
 _____ °C _____ °C

Wenn ihr fertig seid, legt die Gegenstände wieder zurück in die Material-Kiste!



Eine Aufgabenserie...

1.7

Halte das Oberflächenthermometer in die Luft und messt so die Lufttemperatur des Raumes.

Lufttemperatur des Raumes: _____ °C

Vergleiche die Lufttemperatur mit den Temperaturen der Gegenstände, die ihr bei Karte 1.4 gemessen habt. Berücksichtige dabei, dass man mit den Thermometern nur auf 1°C genau messen kann! Was beobachtet ihr?

Erkläre eure Beobachtung

_____ °C _____ °C

Wenn ihr fertig seid, legt die Gegenstände wieder zurück in die Material-Kiste!



Eine Aufgabenserie...

1.8

Achtung! Bearbeitet diese Karte, ohne die Kühlbox zu öffnen!

In der Kühlbox liegen ein Holzklötz, ein Styroporklotz, ein Steinklotz und ein Aluminiumklotz. An jedem Klotz ist ein Thermometer befestigt, so dass man die Temperatur des jeweiligen Klotzes ablesen kann. Es liegt auch noch ein Thermometer lose in der Kühlbox auf dem Boden. An diesem Thermometer kann man die Lufttemperatur ablesen.

Überlegt, ohne den Versuch auszuführen: Welche Temperaturen werden die verschiedenen Thermometer anzeigen?

Erkläre eure Beobachtung

_____ °C _____ °C
 _____ °C _____ °C

Wenn ihr fertig seid, legt die Gegenstände wieder zurück in die Material-Kiste!



Eine Aufgabenserie...

1.9

Öffnet nun den Deckel der Kühlbox. Nehmt das Thermometer auf dem Boden kurz heraus und bestimmt die Lufttemperatur in der Kühlbox.

Lufttemperatur in der Kühlbox: _____ °C

Nehmt nacheinander kurz die Klötze mitsamt den Thermometern heraus und bestimmt die Temperaturen der jeweiligen Klötze.

Styroporklotz: _____ °C Aluminiumklotz: _____ °C
 Holzklötz: _____ °C Steinklotz: _____ °C

Legt die Klötze nach dem Messen wieder zurück in die Kühlbox, schließt den Deckel und lasst die Kühlbox eingeschaltet!

Was stellt ihr fest? Berücksichtigt, dass man mit allen Thermometern nur auf 1°C genau messen kann!

_____ °C _____ °C

Wenn ihr fertig seid, legt die Gegenstände wieder zurück in die Material-Kiste!



Eine Aufgabenserie...

Info 2

Was lange zusammen steht, hat die gleiche Temperatur

Befinden sich verschiedene Gegenstände seit längerer Zeit in einem Raum mit einer bestimmten Lufttemperatur, so haben alle Gegenstände die Temperatur des Raumes.

Aufgabe: Welche Temperatur hätten die Gegenstände aus der Materialkiste, wenn es in diesem Raum 30°C warm wäre?

Styroporklotz: _____ °C Aluminiumklotz: _____ °C
 Holzklötz: _____ °C Steinklotz: _____ °C

Legt die Klötze nach dem Messen wieder zurück in die Kühlbox, schließt den Deckel und lasst die Kühlbox eingeschaltet!

Was stellt ihr fest? Berücksichtigt, dass man mit allen Thermometern nur auf 1°C genau messen kann!

_____ °C _____ °C

Wenn ihr fertig seid, legt die Gegenstände wieder zurück in die Material-Kiste!



Und eine Aufgabenserie aus der Mathematik

2. Rechengesetze erkennen, erklären und benutzen

Unterrichtsbeispiel 1 **Konstanz der Summe (1)**

IQ:



Wie viele Kinder sitzen in der Klasse?



Noch einmal: Wie viele Kinder sitzen in der Klasse?

- Welche Aufgabe ist leichter? Warum?
- Was ist geschehen?

10



Und eine Aufgabenserie aus der Mathematik

2. Rechengesetze erkennen, erklären und benutzen
Unterrichtsbeispiel 1 Konstanz der Summe (1)

IQ:

2. Rechengesetze erkennen, erklären und benutzen
Unterrichtsbeispiel 1 Konstanz der Summe (2)

IQ:

Wieviel Sitze hat sie ja bei euch?

Auf der einen Tribüne sitzen 59 Kinder, auf der anderen 38. Wie viele sind es insgesamt?

$$59 + 38 =$$

$$60 + 37 =$$

Mathematisierung v. Schulphysik - v. Aufschnaiter, JLU Gießen 29.01.2008

31

Und eine Aufgabenserie aus der Mathematik

2. Rechengesetze erkennen, erklären und benutzen
Unterrichtsbeispiel 1 Konstanz der Summe (1)

IQ:

2. Rechengesetze erkennen, erklären und benutzen
Unterrichtsbeispiel 1 Konstanz der Summe (2)

IQ:

2. Rechengesetze erkennen, erklären und benutzen
Unterrichtsbeispiel 1 Konstanz der Summe (3)

IQ:

Umbauaufgaben
Baue die folgenden Aufgaben so um, dass sie leicht zu lösen sind.

$$38 + 39 + 40 + 41 + 42 =$$

$$1263 + 87 + 39 + 39 + 22 =$$

Eigenproduktionen
Danke für deinen Nachbarn oder deine Nachbarn einige Additionsaufgaben aus die, wie $59+38$, aus die, wie vorteilhaft zu lösen sind.

Mache es dir leicht
Mache nur die Aufgaben die vorteilhaft zu lösen sind.
 $199 + 732 =$
 $256 + 677 =$
 $4267 + 249 =$

Mathematisierung v. Schulphysik - v. Aufschnaiter, JLU Gießen 29.01.2008

32

Und eine Aufgabenserie aus der Mathematik

IQ:
Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen

Auffaktveranstaltung zur Illustration der Bildungsstandards Mathematik
15./16. März 2006
Marja van den Heuvel-Panhuizen, IQB

Mathematisierung v. Schulphysik - v. Aufschnaiter, JLU Gießen 29.01.2008

33

Gliederung

- 1 Mathematisierung der Physik – Unterschiedliche Perspektiven
 - 2 Lernverläufe von Schülern in physikalischen Lehr-Lernsituationen
 - 3 Physiklernen im Wechselspiel von Qualitäten und Quantitäten – Snapshots!
 - 4 Plakative Aussagen und Fragestellungen zum weiter Diskutieren und als Anregung für (gemeinsame) Forschungsprojekte
- Mathematisierung v. Schulphysik - v. Aufschnaiter, JLU Gießen 29.01.2008

34

Bearbeitung von Physikaufgaben

„Schüler verfolgen häufig folgende Strategien, um Aufgaben zu lösen [...]:

- **Rückwärtssuche:** Man suche nach einer Formel, in der die gesuchte Größe und die gegebenen Größen stehen, stelle diese nach der gesuchten Größe um und setze ein (vgl. [Aufgabe Masse Weizen]).“
 - Explorieren, welche Formel „passt“ bzw. intuitiv-regelbasiert eine passende Formel zuweisen.
 - **„Orientierung an bekannten Beispielen:** Man erinnere sich an ähnliche, bereits gelöste Aufgaben und orientiere sich an deren Lösung.“ [SK01, 114].
 - Intuitiv-regelbasiert auf die „richtigen“ Lösungswege zugreifen.
- Mathematisierung v. Schulphysik - v. Aufschnaiter, JLU Gießen 29.01.2008

35

Welt der Phänomene (WP) – Welt der Formeln (WF)...

- ... Ergebnisse einer Studie mit Nachhilfeschülern der Physik
- Bei der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben neigen die Schüler dazu, nur in der Welt der Formeln zu handeln.
 - Ein selbstständiger Wechsel zwischen den beiden Welten gelingt den Schülern kaum.
 - Die Bearbeitung von algorithmischen Physikaufgaben auch in der Welt der Phänomene muss mehrfach initiiert werden, bevor Schüler solche Betrachtungen im entsprechenden Themengebiet selbst anstellen.
 - Das Anspruchsniveau der Aufgaben darf nur sehr langsam steigen
- Mathematisierung v. Schulphysik - v. Aufschnaiter, JLU Gießen 29.01.2008

36

Schoster, A. (1998). Bedeutungsentwicklungsprozesse beim Lösen algorithmischer Physikaufgaben. Eine Fallstudie zu Lernprozessen von Schülern im Physiknachhilfeunterricht während der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben. Berlin: Logos.

Welt der Phänomene (WP) – Welt der Formeln (WF)...

... und Studierende im physikalischen Praktikum?

„Studierende beschäftigen sich sehr selten mit den für die Interpretation der Ergebnisse wichtigen Formeln des jeweiligen Versuches.“

WF→WP: Was haben die Formeln im Skript mit den Versuchen zu tun?

„Studierende sprechen sehr selten über die mathematischen Zusammenhänge des jeweiligen Versuches.“

WP→WF: Was müsste man in diesem Zusammenhang rechnen?

Haller, K. (1999). *Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum.* Berlin: Logos. (S. 106)

Fazit?

Die „Zugriffe“ auf Mathematisierungen erfolgen nicht auf der Basis eines konzeptuellen physikalischen Verständnisses, sondern aufgrund mehr oder weniger erfahrungsbasierter Zuweisungen von bewährten Lösungsalgorithmen.

Eine Verbindung zwischen Mathematisierung und physikalischen Sachverhalten wird ohne explizite Anregung nicht geleistet.

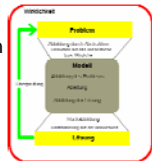
Mathematik und Physik stehen im Lernprozess eher nebeneinander, als dass sie miteinander verbunden werden.

Gliederung

- 1 Mathematisierung der Physik – Unterschiedliche Perspektiven
- 2 Lernverläufe von Schülern in physikalischen Lehr-Lernsituationen
- 3 Physiklernen im Wechselspiel von Qualitäten und Quantitäten – Snapshots!
- 4 Plakative Aussagen und Fragestellungen zum weiter Diskutieren und als Anregung für (gemeinsame) Forschungsprojekte

Schlussfolgerungen und Forschungsfragen

- Es kommt darauf an, in der Physik und der Mathematik den jeweiligen Lernprozess optimal zu unterstützen.
 - Beschreiben die Konzeptualisierungsverläufe (explorativ-intuitiv-explizit) auch Lernprozesse in der Mathematik?
- Es kommt darauf an, Verbindungen zwischen der Physik und der Mathematik zu initiieren.
 - Was kennzeichnet erfolgreiche Übergänge im Modellierungskreislauf?
- Es kommt darauf an, Wechsel zwischen der WP und der WF für Schüler „sinnhaft“ zu machen
 - Wann verlangen Schüler von sich aus Formeln und Quantifizierungen?



Wieviel Mathematik braucht und verträgt...?

- Wenn es im Physikunterricht auf die Begriffsbildung ankommt, muss die Mathematisierung dieser Begriffsbildung nachlaufen (Qualität vor Quantität)
- Wenn es im Physikunterricht auf die Begriffsbildung ankommt, ist mindestens im Physikunterricht der Sekundarstufe I vergleichsweise wenig „Platz“ für die Mathematik
- Aber... Einfache algorithmische Aufgaben helfen Schülern und Lehrern zu einem (vermeintlich) erfolgreichen Physikunterricht.