

1. Die Naturwissenschaft Physik und ihre Ziele und Methoden

Rainer Hauser

August 2012

1 Einleitung

1.1 Was unterscheidet verschiedene Wissenschaften?

Jede Wissenschaft hat

- Objekte, die sie untersucht,
- Ziele, die sie verfolgt,
- Methoden, die sie einsetzt,
- Kriterien, die sie festlegt,
- ...

und unterscheidet sich dadurch von anderen Wissenschaften. So auch die Physik.

Biologen etwa untersuchen Lebewesen, interessieren sich für Steine also nur deshalb, weil Flechten darauf wachsen, während Geologen Gestein untersuchen und sich somit für Lebewesen nur interessieren, wenn sie versteinert sind. Physiker hingegen untersuchen die Fallgesetze unabhängig davon, ob der Gegenstand, den sie fallen lassen, ein Stein, ein Lebewesen oder sonst etwas ist.

1.2 Beziehung zwischen Mathematik und Physik

Mathematik und Physik haben sich immer Hand in Hand entwickelt, denn die Mathematik bekommt von der Physik Anregungen, welche ungelösten Probleme interessant sein könnten, und die Physik braucht die Mathematik, um die Natur und ihre Gesetze zu beschreiben. Trotz der Verwandtschaft bestehen auch wesentliche Unterschiede zwischen Mathematik und Physik.

Die Mathematik bekommt zwar Anregungen aus der Natur, verallgemeinert die Objekte der realen Welt aber so, dass sie nicht mehr diesen wirklichen Objekten entsprechen. Zahlen sind dafür ein Beispiel. Während in der Mathematik Zahlen einfach abstrakte Objekte sind, auf denen man nach gewissen Gesetzen operiert, haben sie in der Physik die Bedeutung von messbaren Grössen. Entsprechend sind sie immer nur ungenau, wobei aber ihre Genauigkeit von den eingesetzten Messinstrumenten abhängt.

2 Ziele und Methoden der Physik

2.1 Ziel der Physik

Das Ziel der Physik ist es, Gesetzmässigkeiten in der Natur zu finden und in Form von mathematischen Zusammenhängen zu formulieren.

2.2 Methoden der Physik

Physik basiert immer auf *Beobachtungen*, die gemessen werden können und damit quantitativer Natur sein müssen. Durch *Experimente* werden gezielt solche Beobachtungen ermöglicht, und die gemachten

Messungen liefern Messreihen. Die *Wiederholbarkeit* der Experimente ist eine unabdingbare Voraussetzung dafür, dass ein Befund von Physikern akzeptiert wird. Kann ein Experiment nicht von anderen Gruppen nachvollzogen werden, ist es kein gültiges Experiment.

Messungen und Experimente führen zu *Hypothesen*, die in Form von mathematischen Formeln und Gleichungen geschrieben werden. Eine Hypothese ist gültig, solange die daraus abgeleiteten Voraussagen zutreffen und so die Hypothese dem Kriterium experimenteller Überprüfbarkeit standhält. Viele überprüfte Hypothesen werden schliesslich in eine *Theorie* zusammengefasst. Die Physik erklärt die Natur nicht, liefert aber mathematisch formulierte Modelle für Teile der Natur, die Voraussagen ermöglichen.

3 Eigenschaften von Messgrössen

3.1 Masszahl und Masseinheit

Das Resultat jeder Messung ist eine *Messgrösse*, die das Produkt einer Masszahl und einer Masseinheit ist: $\text{Messgrösse} = \text{Masszahl} \cdot \text{Masseinheit}$.

Für die Masseinheit der Messgrösse schreibt man $[\text{Messgrösse}] = \text{Masseinheit}$.

Beispiel:

Hat man mit dem Messband eine Strecke s als 4.35 Meter gemessen, so ist die Masszahl 4.35 und die Masseinheit 1 Meter (m). Es gilt somit $[s] = m$, und die Messgrösse ist $s = 4.35 \text{ m}$.

3.2 Einheiten

Für die Längenmessung werden auf der Welt verschiedenste Einheiten benutzt. Neben der sogenannten metrischen Einheit Meter mit ihren abgeleiteten Einheiten wie Kilometer und Zentimeter, für die $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ und $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ gilt, gibt es auch beispielsweise die im englischen Sprachraum häufig benutzte Meile (mile), für die $1 \text{ mile} = 1760 \text{ yards}$ und $1 \text{ yard} = 36 \text{ inches}$ gilt, was bedeutend weniger praktisch ist als die Umrechnung bei der metrischen Einheit Meter. (Wenn Firmen, die zusammenarbeiten, nicht dieselben Einheiten benutzen, ohne das zu merken, kann das teuer werden. Der Mars Climate Orbiter ist 1999 unbeabsichtigt verglüht, weil die NASA in Meter, die Hersteller des Navigationssystems aber in amerikanischen Einheiten gerechnet haben.)

In der Physik werden Längen in Meter gemessen, weil in der Physik nur die sogenannten *SI-Einheiten* (von *Système International d'unités*) benutzt werden, zu denen neben dem Meter (m) für Längen auch das Kilogramm (kg) für Massen und die Sekunde (s) für die Zeit gehören. (Es gibt noch vier weitere SI-Einheiten, die später eingeführt werden, wenn sie benötigt werden.)

Aus den SI-Einheiten können auch zusammengesetzte Einheiten beispielsweise für Flächen, Volumen, Geschwindigkeiten und Dichten abgeleitet werden, die manchmal eigene Namen bekommen:

Fläche A	Quadratmeter m^2
Volumen V	Kubikmeter m^3
Geschwindigkeit v	Meter pro Sekunde $\frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Dichte ρ	Kilogramm pro Kubikmeter $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

3.3 Probleme mit Zahlen in der Physik

Wenn man Längenangaben nur in Meter macht, können die gemessenen Grössen unübersichtlich klein oder gross werden:

Durchmesser eines Atomkerns	0.000000000000000175 m
Distanz zur Andromeda-Galaxie	23 636 000 000 000 000 000 m

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, mit diesem Problem umzugehen:

1. Mit der sogenannten *wissenschaftlichen Schreibweise* kann man auch sehr grosse und sehr kleine Zahlen leicht verständlich darstellen.

2. Mit zusätzlichen Einheiten wie Millimeter oder Nanometer für kleine Längen oder wie Kilometer und Megameter für grosse Längen können solche Zahlen in eine überschaubare Form gebracht werden.

Es gibt noch ein weiteres Problem mit grossen Zahlen. Wie viele der 23 Ziffern der Distanz zur Andromeda-Galaxie sind wirklich korrekt bestimmt und wie viele sind nur gerundet?

3.4 Wissenschaftliche Schreibweise

In der wissenschaftlichen Schreibweise werden Masszahlen als eine Zahl z mit $-10 < z < +10$ multipliziert mit einer Zehnerpotenz für die Grössenordnung geschrieben: $z \cdot 10^n$ (mit $n \in \mathbb{Z}$).

Beispiel:

Der Durchmesser eines Atomkerns kann als $1.75 \cdot 10^{-15}$ m und die Distanz zur Andromeda-Galaxie als $2.3636 \cdot 10^{22}$ m geschrieben werden.

3.5 Signifikante Ziffern

Diese Notation hat den zusätzlichen Vorteil, dass sie auch das Problem mit der Genauigkeit löst. Ist die Distanz zur Andromeda-Galaxie als $2.3636 \cdot 10^{22}$ m gegeben, so kann man davon ausgehen, dass die angegebenen Ziffern als korrekt bestimmt und damit als zuverlässig zu betrachten sind. Die Grösse wird mit so vielen Stellen nach dem Komma angegeben, wie als zuverlässig angenommen werden können. Man nennt diese zuverlässigen Ziffern *signifikante Ziffern*.

Die Anzahl signifikanter Ziffern einer Messgrösse bestimmt man, indem man alle gegebenen Ziffern ausser führenden Nullen zählt. Sind alle Grössen in wissenschaftlicher Schreibweise gegeben, so ist die Anzahl der signifikanten Stellen einfach die Anzahl der Stellen der Zahl z , während die Zehnerpotenz nicht beachtet zu werden braucht.

Beispiel:

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist $299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, wird aber oft vereinfacht als $300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ angegeben. In wissenschaftlicher Schreibweise kann dieser vereinfachte Wert als $3.00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ geschrieben werden, sodass man sofort sieht, dass die Ziffer 3 vor und die beiden Nullen nach dem Komma signifikant sind. Man lässt die beiden Nullen bewusst stehen, weil sie angeben, dass mit ihnen zuverlässig gerechnet werden kann, obwohl man sie in der Mathematik weglassen würde.

3.6 Berechnungen

Wenn man zwei gemessene Längen hat, von denen die eine mit einem einfachen Messband als 2.51 m auf einen Zentimeter genau bestimmt worden ist, während die andere durch ein Präzisionsinstrument als 1.76324 m auf den Hundertstel eines Millimeters genau ermittelt worden ist, so macht es wenig Sinn, diese beiden Längen zum Ergebnis 4.27324 m zusammenzuzählen, denn die hintersten drei Ziffern sind zwar bei der einen Grösse zuverlässig gemessen, nicht aber bei der anderen. Würde man die erste Länge auch mit demselben Präzisionsinstrument messen, bekäme man vielleicht 2.51479 m, sodass die Summe der beiden Längen mit gleicher Präzision gemessen 4.27803 m ergeben würde. Es hat also keinen Sinn, zwei Längen, die mit unterschiedlicher Präzision gemessen wurde, einfach unbesehen zu addieren. Es ist sinnvoller, die präzisere Grösse auf dieselbe Anzahl Stellen wie bei der weniger präzisen Grösse zu runden. In diesem Fall würde man also 2.51 m und 1.76 m addieren, was das glaubwürdigere Ergebnis 4.27 m ergibt, das keine falsche Präzision vorgaukelt. Ähnliche Überlegungen gelten auch für andere Berechnungen. Ob die Grössen addiert, subtrahiert, multipliziert oder dividiert werden, spielt dabei keine grosse Rolle. Wichtig ist, dass man das Schlussergebnis auf eine vernünftige Anzahl Stellen rundet. Es gibt wissenschaftliche Theorien für die Fehlerrechnung, aber im Folgenden genügt uns eine einfache Konvention.

Konvention:

Bei Berechnungen mit mehreren verschiedenen gemessenen Grössen wird unabhängig davon, ob addiert, subtrahiert, multipliziert oder dividiert wird, das Schlussergebnis auf so viele Stellen gerundet, wie die in der Berechnung benutzte Messgrösse hat, welche die kleinste Anzahl signifikante Ziffern hat. Das Ergebnis hat also nie mehr signifikante Stellen als die in der Rechnung benutzten Grössen.

Beispiel:

Die Dichte ρ werde aus der Masse m und dem Volumen V berechnet, wobei das Volumen aus der Grundfläche A und der Dicke d als $V = A \cdot d$ bestimmt wird. Folgende Grössen seien gegeben: $m = 1.550 \text{ kg}$, $A = 2.35 \text{ m}^2$ und $d = 0.37 \text{ m}$. Weil die Dicke d die Grösse mit der kleinsten Anzahl signifikanter Stellen ist, wird sie benutzt, um die Anzahl signifikanter Stellen des Schlussresultates zu bestimmen, das damit nur zwei signifikante Stellen hat:

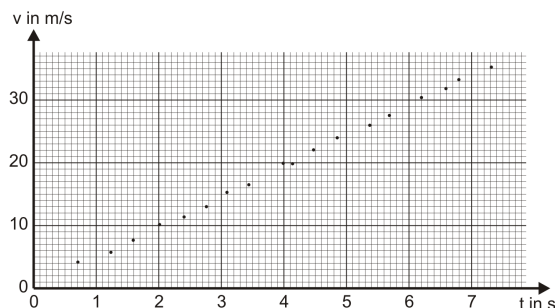
Wir rechnen $\rho = \frac{m}{A \cdot d} = \frac{1.550 \text{ kg}}{2.35 \text{ m}^2 \cdot 0.37 \text{ m}} = 1.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, obwohl der Taschenrechner 1.782633698 liefert.

4 Mathematische Hilfsmittel

4.1 Diagramme

Damit aus einem Koordinatensystem ersichtlich ist, welche Grössen eingetragen worden sind, müssen die Achsen sowohl mit den Einheiten wie auch mit den entsprechenden Grössen beschriftet werden.

Das nebenstehende Diagramm zeigt eine Messreihe, bei der eine Geschwindigkeit zu mehreren Zeiten gemessen und eingetragen worden ist. Die als Punkte eingezeichneten Messwerte liegen in diesem Beispiel so, dass sie vermutlich eine Gerade bilden.



4.2 Gleichungen

Proportionale Abhängigkeiten, wie man sie bei der obigen Messreihe vermutet, lassen sich durch die Gleichung $y = a \cdot x$ beschreiben, wobei x und y die beiden abhängigen Grössen sind und a der Proportionalitätsfaktor ist. Im obigen Beispieldiagramm ist x die Zeit t gemessen in Sekunden und y die Geschwindigkeit v gemessen in Meter pro Sekunde. (Der Proportionalitätsfaktor a dürfte ungefähr 5 sein, wie man aus dem obigen Diagramm leicht abschätzen kann.)

Die proportionalen Abhängigkeiten zwischen zwei Grössen sind häufig, aber es gibt auch andere Beziehungen wie quadratische oder exponentielle Abhängigkeiten. Lässt man beispielsweise einen Stein fallen, so nimmt der zurückgelegte Weg im Quadrat zur seit dem Loslassen vergangenen Zeit zu.

4.3 Vektoren

Viele physikalische Grössen wie die Geschwindigkeit haben eine Richtung und lassen sich nicht allein mit einer Zahl beschreiben. Solche Grössen werden als Vektoren modelliert und können als Pfeile dargestellt werden. Die nebenstehende Figur zeigt einen Vektor \vec{v}_1 in (a), denselben Vektor \vec{v}_1 multipliziert mit der Zahl 2 in (b) sowie einen zweiten Vektor \vec{v}_2 addiert zum ursprünglichen Vektor \vec{v}_1 in (c).

