

Teil I: Grundlagen

Dieser einleitende Teil des Buchs besteht nur aus dem vorliegenden Kapitel. In ihm geht es um das Wesen der Physik, ihre Arbeitsweise, ihre Beziehung zu den anderen Naturwissenschaften und um die Frage, wie man physikalische Ergebnisse darstellt.

1 Einführung in die Physik

In diesem Kapitel...

- Was ist Physik?
- Physik: Experiment und Theorie
- Wenn eine exakte Lösung nicht möglich ist, muss man sich ihr annähern
- Größen und ihre Einheiten

In diesem ersten Kapitel geht es zunächst um eine Definition der Physik und deren Abgrenzung zu den anderen Naturwissenschaften. Daran anschließend wird die Arbeitsweise der Physik näher erläutert. Der dritte Teil des Kapitels beschäftigt sich dann mit physikalischen Größen und ihren Einheiten sowie mit der Darstellung von physikalischen Größen und Ergebnissen.

Was ist Physik?

Das Wort *Physik* stammt aus dem Griechischen und bedeutet Naturlehre. Insofern ist die Physik die Lehre von der uns umgebenden Welt. Dies ist ein gewaltiges Thema. Um diese Aufgabe zu bewältigen, hat die Physik eine Methodik entwickelt, die einzigartig ist und im Prinzip von allen anderen Naturwissenschaften übernommen wurde, die sich letztendlich auch aus der Physik entwickelt haben:

- Am Anfang einer physikalischen Untersuchung steht eine Beobachtung oder vorzugsweise ein Experiment (zum Unterschied siehe unten).
- Die Ergebnisse werden in mathematischer Form dargestellt.
- Auf der Basis dieser in mathematischer Form vorliegenden Ergebnisse wird ein theoretisches Modell entwickelt, das diese Resultate erklären kann.

- Dieses Modell wird dann dazu benutzt, weitere Experimente zu planen und durchzuführen, die das Modell entweder stützen oder es im Gegenteil stürzen.

Die Physik, die anderen Naturwissenschaften und die Mathematik

Bis in das 18. oder sogar das 19. Jahrhundert hinein wurden alle Naturwissenschaften als Physik bezeichnet. Erst danach begannen sich – zunächst die Chemie und die Biologie – erste Bereiche als eigenständige Wissenschaften abzuspalten. Später folgten beispielsweise die Geologie und die Astronomie. Seitdem ist eine lange Liste von Naturwissenschaften entstanden, die ursprünglich unter dem Namen Physik firmierten.

Im 20. Jahrhundert hat sich diese Entwicklung auch bei den weiterhin unter dem Dach der Physik verbleibenden Gebieten weiter fortgesetzt. Man unterschied zunächst zwischen experimenteller und theoretischer Physik. Als ich in den 1970er Jahren Physik zu studieren begann, gab es Vorlesungen zur Atomphysik, Kernphysik, Festkörperphysik, Thermodynamik, Quantenmechanik, Halbleiterphysik und noch viele mehr.

Die Themen der Physik sind mittlerweile so zahlreich geworden, dass es unmöglich ist, in allen Gebieten auch nur einigermaßen auf dem Laufenden zu bleiben. Dies gilt natürlich umso mehr für den Gesamtbereich Naturwissenschaften.

Nichtsdestoweniger sollte man sich immer bewusst sein, dass alle Naturwissenschaften einen gemeinsamen Ursprung haben: die Physik. Dies hat große Auswirkungen auf die Methodik aller Naturwissenschaften; Die Herangehensweise an eine Aufgabenstellung ist stets physikalisch:

- Ausgangspunkt ist immer die Beobachtung oder vorzugsweise das Experiment.
- Konzentration auf das Wesentliche
- Vernachlässigung sekundärer Effekte
- Mathematische Darstellung der Ergebnisse

Es gibt noch einen weiteren Punkt, in dem die Physik gewaltige Auswirkungen auf die anderen Naturwissenschaften hat: Die Bereitstellung von Messverfahren. Ohne Mikroskope, ohne Druckmessgeräte und Barometer, ohne Durchflussmessgeräte und Pumpen, die von der Physik entwickelt wurden, können Wissenschaften wie die Chemie, die Biologie usw. nicht arbeiten.

Über allem thront die Mathematik

Die Physik benutzt, wie die anderen Naturwissenschaften auch, die Mathematik, um ihre Ergebnisse darzustellen, zu ordnen und zu systematisieren. Ohne die Mathematik wäre die Physik reichlich chaotisch; eigentlich wäre sie unmöglich. Allerdings ist diese Beziehung nicht auf eine Richtung beschränkt. Im 17. Jahrhundert führte die Entwicklung der Physik zur Einführung der Differentialrechnung in der Mathematik; zu Beginn des 20. Jahrhunderts führte Einsteins allgemeine Relativitätstheorie zu wichtigen Weiterentwicklungen innerhalb der Mathematik.

Daher wird auch in diesem Buch die Physik mithilfe der Mathematik dargestellt. Allerdings habe ich mich bemüht, die Darstellung so einfach wie möglich zu halten.

Physik: Experiment und Theorie

Die Physik versucht, die uns umgebende Welt zu beschreiben. Dazu bedient sie sich verschiedener Hilfsmittel:

- Sie beobachtet die Natur.
- Sie führt Experimente durch.
- Sie versucht, die bei Beobachtungen und Experimenten gewonnenen Erkenntnisse mithilfe der Mathematik zu Theorien zusammenzufassen. Anhand solcher Theorie können auch Vorhersagen über weitere Zusammenhänge gewonnen werden, die dann aber experimentell überprüft werden müssen.

Beobachtung und *Experiment* sind keineswegs das Gleiche. Bei einer Beobachtung wird lediglich das Ergebnis eines bestimmten Prozesses notiert. Bei einem Experiment werden die Bedingungen vorgegeben: Was soll untersucht werden? Unter welchen Bedingungen soll das Experiment erfolgen? Zudem sollten bei einem Experiment störende Einflüsse (wie etwa die Reibung) weitgehend vermieden werden.

Es gibt das landläufige Vorurteil, dass die Physik kompliziert ist und dass sie ihre Komplexität auch bewusst pflegt, um sich von anderen Wissenschaften abzuheben. Die Physik mag (manchmal) kompliziert sein. Dies liegt am Thema, das sie beschreibt. Die uns umgebende Welt kann sehr kompliziert sein. (In diesem Buch versuche ich, die Zusammenhänge so einfach wie möglich

darzustellen). Aber die Physik verkompliziert sie nicht. Im Gegenteil: Wann immer es geht, versucht sie sich auf das Wesentliche zu konzentrieren und alle störenden Randeffekte auszublenden.

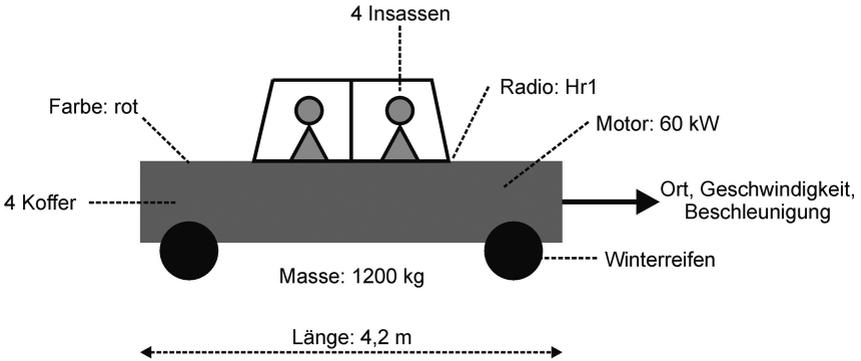


Abbildung 1.1 Ein Auto

Betrachten Sie das Auto in Abbildung 1.1.

- Viele der Eigenschaften, die dort angegeben sind, sind physikalisch äußerst uninteressant (Farbe, Radiosender).
- Wenn das Fahrzeug in einen Unfall verwickelt ist, braucht man zur Beschreibung u.a. die Abmessungen, die benutzten Reifen usw.
- Wenn man Reibungseffekte beschreiben will, sind Form und Größe (zur Berechnung des c_W -Werts) sowie die Reifen von Interesse.
- Die Physiker lieben es, solange es geht, auch die Reibung zu vernachlässigen. Damit reduziert sich das schöne Auto aus Abbildung 1.1 zu einem einzelnen Punkt, dem sogenannten *Massenpunkt* (Abbildung 1.2), der nur eine Masse, einen Ort, eine Geschwindigkeit und eine Beschleunigung besitzt.

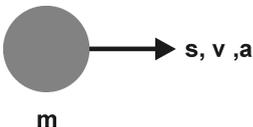


Abbildung 1.2 Ein Massenpunkt

Physiker sind bequem. Um Schreib-, Rechen- und Kopfarbeit so gering wie möglich zu halten, versuchen sie, die Beschreibung so einfach wie möglich zu halten und alle störenden, sekundären Einflüsse zu vernachlässigen. Wenn die Physik dennoch manchmal kompliziert ist, liegt es daran, dass die beschriebenen Systeme selbst kompliziert sind. Dieses Buch konzentriert sich vorwiegend auf einfache Systeme.

Wenn es erforderlich ist, führt die Physik auch Näherungen durch.

■ Wenn eine exakte Lösung nicht möglich ist, muss man sich ihr annähern

Die folgende Darstellung wird viele Leser, die die Physik für kompliziert halten, wahrscheinlich ziemlich überraschen. Die Physik ist durchaus bereit, auf Genauigkeit zu verzichten, wenn dadurch eine Aufgabe leichter oder überhaupt erst lösbar wird. Wenn sich ein Physiker eine komplexe Formel anschaut, fragt er sich: Brauche ich das alles? Kann ich nicht einige Terme streichen, die für das Endergebnis irrelevant sind?

Physiker haben keine Probleme damit, irrelevante Termen zu streichen. Diese Vorgehensweise wird *Näherung* genannt. Im Folgenden werden drei einfache Beispiele für Näherungen aufgeführt:

- Betrachten Sie die folgende Gleichung:

$$y = (x + \Delta x)^2$$

Dabei soll Δx deutlich kleiner als x sein. Rechnet man das Quadrat aus, ergibt sich:

$$y = x^2 + 2x\Delta x + \Delta x^2$$

Da Δx klein ist, ist Δx^2 sehr klein. Um ein Zahlenbeispiel zu geben: Wenn $x = 4$ und $\Delta x = 0,2$ ist, ergibt sich:

$$y = 4^2 + 2 \cdot 4 \cdot 0,2 + 0,2^2 = 16 + 1,6 + 0,04 = 17,64$$

Daher kann der Term Δx^2 in dieser Gleichung durchaus vernachlässigt werden, ohne das Endergebnis stark zu verfälschen. Es sei denn, man ist in der Lage, so viele Stellen auch genau zu messen.

- Betrachten Sie den folgenden Term, der in vielen physikalischen Gleichungen auftaucht:

$$y = 1 + \frac{a}{b}$$

Wenn b sehr viel größer ist als a , ist der Bruch klein, man kann ihn also gegenüber der 1 vernachlässigen. Wenn auf der anderen Seite a sehr viel größer ist als b , kann man hingegen die 1 vernachlässigen, ohne einen großen Fehler einzuführen.

- Bei den trigonometrischen Funktionen \sin und \tan kann man für kleine Winkel die Funktion durch deren Argument ersetzen:

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$$

Dabei muss der Winkel im Bogenmaß angegeben sein. Für Winkel $< 10^\circ$ ist diese Näherung erstaunlich genau (Aufgabe 1.3). Diese Näherung wird in diesem Buch häufiger verwendet.

Größen und ihre Einheiten

Unabhängig davon, ob ein Messergebnis durch Beobachtung oder Experimente gewonnen wurde, muss man es so darstellen, dass es mit anderen Ergebnissen verglichen werden kann. Dazu sind zumindest zwei Angaben erforderlich, eine Zahl und eine Einheit, also etwa 2 m, 4,5 V oder 6,31 kg.

Tipp

Wenn es sich bei der darzustellenden Größe um einen Vektor handelt, die Größe also gerichtet ist, dann muss auch die Richtung angegeben werden. Dies kann beispielsweise durch die Angabe der Komponenten des Vektors in kartesischen Koordinaten erfolgen:

$$\mathbf{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,0 \\ 4,1 \\ -1,7 \end{pmatrix} \text{ m/s}$$

Wenn man wissenschaftlichen Ansprüchen genügen will, sollte man schließlich noch versuchen, die Fehlergrenze des gemessenen Werts abzuschätzen und mit anzugeben. Ein Ergebnis sollte dann also folgendermaßen aussehen:

$$t = 2,02 \pm 0,01 \text{ s}$$

Warnung

Es macht keinen Sinn, Stellen eines Messergebnisses anzugeben, die über die *Fehlergrenze* hinausgehen. In diesem Beispiel ist die folgende Angabe sinnlos und sogar unwissenschaftlich:

$$t = 2,019365 \pm 0,01 \text{ s}$$

Dies gilt im Übrigen nicht nur für die Physik, sondern für alle Wissenschaften.

Die heute gesetzlich zugelassenen Einheiten der physikalischen Größen werden durch das *SI-System* (Système international d'unités) geregelt. Es besteht aus sieben Grund- oder Basisgrößen und zahlreichen von ihnen abgeleiteten Größen. Diese Basisgrößen und ihre Einheiten sind in Tabelle 1.1 zusammengestellt. Mit Ausnahme der Lichtstärke mit ihrer Einheit Candela werden alle Basisgrößen und ihre Einheiten im Laufe dieses Buchs definiert. Neben diesen Basisgrößen gibt es zahlreiche weitere Größen in der Physik.

Größe	Einheit	Abkürzung	Definition
Länge	Meter	m	Kapitel 2
Masse	Kilogramm	kg	Kapitel 3
Zeit	Sekunde	s	Kapitel 2
Stromstärke	Ampere	A	Kapitel 12
Temperatur	Kelvin	K	Kapitel 7
Lichtstärke	Candela	Cd	–
Stoffmenge	Mol	mol	Kapitel 6

Tabelle 1.1 Die sieben Grundgrößen des SI-Systems und ihre Einheiten

Einige von ihnen, aber bei Weitem nicht alle, werden Sie in diesem Buch kennenlernen. Jede dieser Größen besitzt ihre eigene Einheit, die sich aber

aus den sieben Grundeinheiten bilden lässt. So gilt beispielsweise für die Geschwindigkeit v , die als Weg pro Zeiteinheit definiert ist:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad [v] = \frac{m}{s}$$

Die Angabe $[v]$ in eckigen Klammern bedeutet, dass nicht die Größe Geschwindigkeit, sondern deren Einheit gemeint ist. Derartige Größen nennt man *abgeleitete Größen*. In vielen Fällen besitzen die Einheiten von abgeleiteten Größen eigene Namen (die der Geschwindigkeit allerdings nicht).

Warnung

Man kann Größen mit verschiedenen Einheiten zwar miteinander multiplizieren oder durcheinander dividieren, aber niemals addieren oder subtrahieren (analog zu Äpfeln und Birnen).

Zahlen und ihre Darstellung

In der Physik tauchen häufig sehr große bzw. sehr kleine Zahlen auf. Daher werden zwei Methoden benutzt, die es erlauben, diese Zahlen einfacher darzustellen und so sehr viel Schreibarbeit zu sparen:

- Die Verwendung von Vorsilben
- Die Darstellung mithilfe von Zehnerpotenzen

Die erste Möglichkeit ist, zur Abkürzung Einheiten mit Vorsilben zu benutzen. Sie können sowohl zur Vergrößerung als auch zur Verkleinerung dienen. Die wichtigsten Vorsilben sind in Tabelle 1.2 zusammengestellt (es gibt noch weitere mit sehr seltsamen Namen).

Vergrößerung							
Deka	Hekto	Kilo	Mega	Giga	Tera		
da	h	k	M	G	T		
10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}		
Verkleinerung							
Dezi	Zenti	Milli	Mikro	Nano	Pico	Femto	Atto
d	c	m	μ	n	p	f	a
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}

Tabelle 1.2 Vorsilben zur Darstellung von Einheiten

Diese Vorsilben vor Einheiten spielen auch im alltäglichen Leben eine Rolle. Längen werden in mm, cm oder km angegeben, Massen z.B. in kg. Wenn die Verwendung von Vorsilben an ihre Grenzen gelangt, verbleibt noch eine Möglichkeit, die Schreibweise abzukürzen: Man benutzt Angaben in Zehnerpotenzen. Die folgenden Schreibweisen sind daher gleichwertig:

$$1000 \text{ m} = 1 \text{ km} = 1 \times 10^3 \text{ m}$$

Im alltäglichen Leben ist dies zumeist nicht erforderlich, in der Physik aber lebensnotwendig. Die Masse eines Elektrons beträgt $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$. Stellen Sie sich vor, Sie müssten alle diese Nullen hinschreiben und dann auch mit ihnen rechnen.

Tipp

Die Taste für die Eingabe der Zehnerpotenzen ist auf Ihrem Taschenrechner zumeist mit EXP oder E gekennzeichnet.

AUF EINEN BLICK

- Physik ist die Lehre von der uns umgebenden Natur. Sie zeichnet sich durch eine einzigartige Methodik aus, die auch von den anderen Naturwissenschaften übernommen wurde.
- Die Physik verwendet die Mathematik, um ihre Ergebnisse zu ordnen und auszuwerten.
- Die Physik versucht, die zu beschreibenden Systeme auf das Wesentliche zu reduzieren.
- Wenn eine exakte Lösung einer Gleichung nicht möglich oder unnötig kompliziert ist, arbeitet die Physik durchaus mit Näherungen.
- Es gibt sieben Basisgrößen im SI-System.
- Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von abgeleiteten Größen.
- Jede physikalische Größe besitzt eine Einheit, die stets mit angegeben werden muss.
- Zur Abkürzung der Schreibweise von Zahlen verwendet man entweder Vorsilben vor den Einheiten oder die Darstellung mithilfe von Zehnerpotenzen.

■ Übungsaufgaben zu diesem Kapitel

— Aufgabe 1

Die Kraft ist das Produkt aus Masse und Beschleunigung, die Arbeit das Produkt aus Kraft und Weg. Wie lauten die Einheiten von Kraft und Arbeit?

— Aufgabe 2

Bei der Messung der Dicke eines Drahtes ergibt sich $d = 0,002$ m. Stellen Sie dieses Ergebnis mithilfe von Vorsilben bzw. Zehnerpotenzen dar.

— Aufgabe 3

Schätzen Sie ab, bis zu welchem Winkel α die Näherung $\sin \alpha \approx \alpha$ sinnvoll ist.