

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Zum Skript

Das vorliegende Skript bildet Grundlage und Gerüst zur Vorlesung *Einführung in die Physik für Studierende der Agrarwissenschaften und Ökotrophologie*. Der Inhalt lehnt sich an Teile der Skripten *Physik für Naturwissenschaftler und Mediziner* (Universität Kiel) und *Physik für Mediziner* (Universität Zürich).

Es soll den Studierenden erlauben, der Vorlesung zu folgen, ohne sich durch zuviel Schreibearbeit ablenken zu lassen. Hingegen kann und will es die Vorlesung nicht ersetzen und ist deshalb nicht als Lehrmittel konzipiert.

Der Inhalt umfasst die Grundlagen der klassischen Physik. Vom Stoff her wird gegenüber einem guten Physik-Unterricht der Schule nicht sehr viel Neues präsentiert. Allerdings ist die Betrachtungsweise etwas allgemeiner.

Die Studierenden sollen wenigstens einen Einblick in die physikalische Denkweise bekommen. Dazu gehört vor allem die Vorstellung vom dreidimensionalen Raum, von der Zeit und von Größen, die in Raum und Zeit kontinuierlich veränderlich sind. Ohne die Begriffe Vektor, Differential und Integral werden wir deshalb nicht auskommen. Zwar sind diese von der Schule her aus der Vektor-, Differential- und Integralrechnung bekannt, ihre Kombination und Erweiterung auf allgemeine physikalische Größen ist jedoch neu und bedarf der Gewöhnung.

Detaillierte Kenntnisse von Differential- und Integralrechnung werden hier nicht vorausgesetzt. Hingegen werden wir die Grundregeln der Vektorrechnung benutzen, wobei der Ortsvektor eine zentrale Rolle spielt.

1.2 Physik, Experiment und Einheiten

Ursprünglich war die Physik (physikos, gr.: die Natur betreffend) die Wissenschaft von allen Erscheinungen in der Natur. Alexander von Humboldt (1769 - 1859) war wohl einer der letzten Naturforscher, der dieser Definition entsprach. Mittlerweile gibt es viele Teildisziplinen, darunter Astronomie, Chemie, Biologie und Medizin.

Die Physik als exakte Naturwissenschaft beschäftigt sich mit der Erforschung der unbelebten Natur. Sie hat zum Gegenstand nur messbare Dinge oder Vorgänge. Zusammenhänge zwischen

diesen Dingen oder Vorgängen werden als physikalische Gesetze meist in der Sprache der Mathematik ausgedrückt. Für die Erkennung und Aufstellung von Gesetzen benutzt der Physiker das Experiment, also einen gezielt eingeleiteten, kontrollierten physikalischen Vorgang. Wird aus vielen physikalischen Einzelmessungen ein physikalisches Gesetz hergeleitet, spricht man vom induktiven Verfahren. Beim deduktiven Verfahren wird aus gesicherten Gesetzen durch logische Folgerungen ein weiteres Gesetz gewonnen, das allerdings durch Experimente noch bestätigt werden muss. Dabei werden manchmal unbeweisbare, aber durch Erfahrung nicht widerlegte Aussagen als Axiome vorangestellt. Unanschauliche, weil aus dem Bereich der alltäglichen Erfahrung herausfallende Vorgänge werden häufig durch Modelle veranschaulicht. Meist geben sie nur einzelne Aspekte der tatsächlichen Erscheinung angemessen wieder.

Damit basiert die Physik also auf der Messung. Man entdeckt Physik, indem man physikalische Größen zu messen lernt. Zu diesen Größen gehören etwa Länge, Zeit, Masse, Temperatur, Druck und elektrischer Strom.

In jeder Messung wird die zu messende Größe mit einer anderen Größe der gleichen Art, der Maßeinheit, verglichen. Das Resultat lässt sich dann darstellen als

$$\text{Physikalische Größe} = \text{Zahlenwert} \times \text{Einheit}$$

oder in Symbolen

$$G = \{G\} \times [G]. \quad (1.1)$$

Die Wahl der Maßeinheit ist an sich willkürlich; sie geschieht aus reinen Zweckmäßigkeitsgründen. Man muss nicht für jede physikalische Größe eine Maßeinheit festsetzen, da sich die meisten physikalischen Größen über recht einfache Gesetze ineinander umrechnen lassen. Unter dem Gesichtspunkt der Zweckmäßigkeit wählt und vereinbart man gewisse Basisgrößen, auf die alle anderen Größen zurückgeführt werden können. Die Einheit einer abgeleiteten Größe lässt sich dann durch die Einheiten der Basisgrößen, die Basiseinheiten, ausdrücken. Je nach Wahl der Basisgrößen erhält man die verschiedenen Maßsysteme. Seit langem gebräuchlich sind das Physikalische Maßsystem (cgs-System) mit Länge, Masse und Zeit als Basisgrößen und Zentimeter, Gramm und Sekunde als Basiseinheiten und das Technische Maßsystem (MKSA-System) mit Länge, Kraft, Zeit und Stromstärke als Basisgrößen und Meter, Kilopond, Sekunde und Ampère als Basiseinheiten. Für die Bundesrepublik Deutschland ist seit dem 5. Juli 1970 das Internationale Einheitensystem (Système International d'Unités, SI) mit den unten definierten SI-Einheiten gesetzlich vorgeschrieben.

Basisgröße Länge mit Basiseinheit Meter (m)

Die Basiseinheit 1 Meter ist diejenige Länge der Strecke, die Licht im Vakuum in der Zeit $\frac{1}{299\,792\,458}$ s zurücklegt.

Basisgröße Masse mit Basiseinheit Kilogramm (kg)

Die Basiseinheit 1 Kilogramm ist die Masse des Internationalen Kilogrammprototyps (dies ist ein im Bureau International de Poids et Mesures aufbewahrter Zylinder aus Platin und Iridium).

Basisgröße Zeit mit Basiseinheit Sekunde (s)

Die Basiseinheit 1 Sekunde ist das 9 192 631 770 fache der Periodendauer der beim Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustands von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entstehenden Strahlung.

Basisgröße Stromstärke mit Basiseinheit Ampère (A)

Die Basiseinheit 1 Ampère ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen elektrischen Stroms,

der, durch zwei im Vakuum parallel im Abstand vom 1 m voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigen Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je 1 m Leiterlänge elektrodynamisch die Kraft $\frac{1}{5\,000\,000}$ kg m s⁻² hervorrufen würde.

Basisgröße Temperatur mit Basiseinheit Kelvin (K)

Die Basiseinheit 1 Kelvin ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.

Basisgröße Stoffmenge mit Basiseinheit Mol (mol)

1 Mol bezeichnet die Anzahl von Teilchen eines Stoffes, die ebenso groß wie die Teilchenzahl in 12 g des Kohlenstoffisotops ¹²C ist.

Basisgröße Lichtstärke mit Basiseinheit Candela (cd)

Die Basiseinheit 1 Candela ist die Lichtstärke, mit der $\frac{1}{600\,000}$ m² der Oberfläche eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur des beim Druck 101 325 kg m⁻¹ s⁻² erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche leuchtet.

Um Vielfache und Teile von Einheiten einheitlich darzustellen, bedient man sich folgender Vorsilben.

Vorsilbe	Kürzel	Potenz
Yotta	Y	10 ²⁴
Zetta	Z	10 ²¹
Exa	E	10 ¹⁸
Peta	P	10 ¹⁵
Tera	T	10 ¹²
Giga	G	10 ⁹
Mega	M	10 ⁶
Kilo	k	10 ³
Hekto	h	10 ²
Deka	da	10 ¹
Dezi	d	10 ⁻¹
Zenti	c	10 ⁻²
Milli	m	10 ⁻³
Mikro	μ	10 ⁻⁶
Nano	n	10 ⁻⁹
Pico	p	10 ⁻¹²
Femto	f	10 ⁻¹⁵
Atto	a	10 ⁻¹⁸
Zepto	z	10 ⁻²¹
Yocto	y	10 ⁻²⁴

Statt $1,27 \times 10^{-9}$ m schreibt man also bequemer 1,27 nm.

Jede Messung einer physikalischen Größe ist mit Fehlern behaftet. Letztere sind systematischer und zufälliger Natur. Systematische Fehler weisen stets eine Abweichung der Messwerte vom (unbekannten) wahren Wert in eine Richtung auf. Diese Fehler hängen mit der Messapparatur zusammen. So liefert etwa eine falsche Millimeteerteilung auf einem billigen Lineal stets zu große oder zu kleine Längen. Zufällige Fehler lassen sich durch eine Vielzahl von Messungen in gewissen Grenzen einschränken. Nehmen wir an, dass jemand die Länge eines Gegenstandes

bestimmen möchte. Er führt die Messung n Male durch und erzielt die Messwerte x_1, \dots, x_n . Als Annäherung an den wahren Wert verwendet er den Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k. \quad (1.2)$$

Als ein Maß für die Streuung der Messwerte um diesen (arithmetischen) Mittelwert kann die Standardabweichung

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (1.3)$$

dienen. Als Endergebnis seiner Längenmessung gibt er dann

$$x = \bar{x} + \Delta x \quad (1.4)$$

an. Der wahre Wert der Länge liegt nun mit hoher Wahrscheinlichkeit zwischen $\bar{x} - \Delta x$ und $\bar{x} + \Delta x$. Nehmen wir an, dass unser Jemand sieben Messungen mit den Ergebnissen

x_k in Metern
5,90
5,87
5,93
5,92
5,88
5,96
5,85

erzielt hat. Dann lautet der Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{5,90 + 5,87 + 5,93 + 5,92 + 5,88 + 5,96 + 5,85}{7} \text{ m} \approx 5,90 \text{ m.}$$

Die Standardabweichung ergibt sich analog zu

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(5,90 - 5,90)^2 + (5,87 - 5,90)^2 + \dots + (5,85 - 5,90)^2}{7 \cdot 6}} \text{ m} \approx 0,01 \text{ m.}$$

Als Endergebnis wird formuliert:

$$x = (5,90 \pm 0,01) \text{ m.}$$

Die Streuung der Messwerte macht sich also in der zweiten Stelle nach dem Komma bemerkbar. Es ist daher sinnlos, den Mittelwert auf mehr Stellen nach dem Komma anzugeben. Bedenken Sie dies, wenn Sie ein Endergebnis auf Ihrem Taschenrechner ablesen!