Wie benutze ich. . . dieses Buch?

Auch wenn wir davon ausgehen, dass ihr das Buch, bevor ihr das hier lest, sowieso schon mindestens einmal durchgeblättert oder -gescrollt habt, wollen wir, um Missverständnisse zu vermeiden und euch eine kleine Gebrauchsanweisung an die Hand zu geben, die einzelnen Buchelemente exemplarisch kurz erläutern.

> **Klartext:** Wenn ihr über den Klartext stolpert, wollen wir euch einen bestimmten Sachverhalt entweder in einfachen Worten ein wenig „unphysikalisch" erklären oder euch noch mal ganz klar auf einen wichtigen Punkt hinweisen, den man gar nicht genug betonen kann. Der Klartext soll euch zur Erklärung im Text einfach eine weitere Hilfestellung geben. Manchmal weist er auch darauf hin, dass man eine bestimmte Berechnung vielleicht gar nicht so genau wissen muss oder dass eine bestimmte Gleichung nur der Komplettheit halber aufgeführt wurde.

Im Text gibt es außerdem verschiedene Arten von Formeln. Zunächst gibt es unnummerierte Formeln wie

$$
\begin{aligned}
1 + \frac{\cancel{2}}{\cancel{2}} &= 2\,, \\
1 + 1 &= 2\,, \\
1 &= 2 - 1\,.
\end{aligned}
$$

Diese Formeln sind in der Regel nicht so wichtig und werden meistens für Umformungen oder Herleitungen verwendet. Man sieht darin zum Beispiel gerne mal die eine oder andere Kürzung, um klar zu machen, was vom einen Schritt auf den anderen passiert ist, oder in Blau Entsprechungen, wo man den gleichen Term irgendwo anders wieder findet. Häufig passiert das bei Formelersetzungen. Im Text wird dann manchmal ebenso in Blau auf die entsprechende Ersetzung hingewiesen oder diese genauer erläutert.

Darüber hinaus gibt es die standardmäßigen nummerierten Formeln, wie

$$2 + 2 = 4\,, \tag{1}$$

die einen weitaus wichtigeren Sachverhalt kennzeichnen sollen. Diese Formeln sollte man sich auf alle Fälle anschauen und am besten auch verstanden haben.

Die Krönung des Ganzen bilden die sogenannten *Definitionen*. Diese sind blau hinterlegt, und es gibt sie in nummerierter und unnummerierter Version.

$$3 + 3 = 6 \tag{2}$$

WELTFORMEL

In der Regel sind die unnummerierten Definitionen Textumgebungen, die einen besonders wichtigen Merksatz oder ein besonderes Prinzip kurz erläutern:

$$42\,.$$

SINN DES LEBENS

Die Unterschriften unter den Definitionsumgebungen erinnern euch noch mal daran, um was für ein physikalisches Prinzip oder um was für eine Formel es sich genau handelt.

Aber es gibt noch mehr: Euch sind sicher schon die wunderschönen blauen und grauen Kästen im Buch aufgefallen. Auch sie erfüllen unterschiedliche Zwecke:

0.1) Wie rechne ich... 4+4=8?

In der „Wie rechne ich"-Umgebung rechnen wir euch besonders wichtige Aufgaben, die euch im entsprechenden Kontext immer wieder begegnen werden, einmal komplett mit allem Drum und Dran vor und erklären euch, wie man bei der Lösung einer solchen Aufgabe überhaupt vorzugehen hat. Falls wir in einem solchen Beispiel konkrete Zahlenwerte einsetzen, runden wir meist auf entsprechend signifikante Stellen. Was signifikante Stellen genau bedeuten, behandeln wir ausführlicher in Kapitel 26 beim Praktikum. Nach einem Rundungsschritt wird schließlich auch mit den gerundeten Werten weitergerechnet.

0.1) Wie zeichne ich... eine Linie?

In der „Wie zeichne ich"-Umgebung machen wir prinzipiell das Gleiche, nur eben mit Zeichnungen oder Skizzen, die von euch verlangt werden, wie zum Beispiel beim korrekten Zeichnen elektrischer oder magnetischer Feldlinien.

Mathematischer Hintergrund 0.1: Elementare Addition

In den Mathe-Kästen führen wir an den entsprechenden Stellen, besonders am Anfang des Buchs, wichtige mathematische Grundlagen ein, die ihr im betreffenden Kontext oder von nun an ständig braucht. Wir geben euch also das mathematische Werkzeug gleich mit auf den Weg.

Exkurs 0.1: Herleitung der Weltformel

In den Exkurs-Kästen gehen wir ein wenig genauer auf bestimmte physikalische Details[a] ein, die für euch in der Regel aber nicht zum Verständnis unmittelbar wichtig sind. Dies umfasst zum Teil zwar Dinge, die meist eher für Physiker relevant sind, können aber eben auch in der einen oder anderen Nebenfächler-Vorlesung vorkommen. Wenn euch das entsprechende Thema dann tatsächlich auch einmal interessiert, findet ihr hier des Öfteren weiterführende Informationen.

[a] *Just the tip!* – ***Sterling Archer***

Anwendung 0.1: Der Warp-Antrieb in Biologie, Medizin, Chemie und Geologie

Hier wird es für euch besonders interessant. Die Anwendungskästen sind dazu da, auf Anwendungen in anderen naturwissenschaftlichen Fachgebieten oder im Alltag einzugehen. So finden sich im Buch immer wieder Anwendungskästen, die sich an die angehenden Biologen, Chemiker, Geowissenschaftler, Mediziner oder eben auch Physiker richten.

Spickzettel: Quantengravitation

Last but not least sollen euch die Spickzettelkästen am Ende des Kapitels das Zettelschreiben für die Klausur erleichtern. Sie listen die wichtigsten Formeln und Sachverhalte noch mal kompakt zum Lernen auf. Manchmal verirrt sich auch der eine oder andere Spickzettelkasten mitten in ein Kapitel, wenn es sinnvoll ist, etwas besonders Wichtiges schon einmal verfrüht zu rekapitulieren.

zum Video[1]

Da die Physik euch auch weiter verfolgen soll, wenn ihr das Buch aus der Hand legt, haben wir ein paar Videos zu einzelnen Themenbereichen für euch gedreht. In diesen Videos seht ihr uns bei äußerst spektakulären Physikexperimenten, die euch ein paar der Konzepte noch etwas besser veranschaulichen sollen. Manchmal rechnen wir euch auch die ein oder andere Aufgabe vor oder erklären euch ein wichtiges physikalisches Konzept noch mal im Detail. Ihr entdeckt dann im jeweiligen Abschnitt auf der rechten Seite einen QR-Code, der euch zum passenden Video führt.

Aufgaben

0.1 Dimensionskompaktifizierung in der Superstringtheorie

Die Aufgaben folgen schließlich am Ende des Kapitels. Sie sollen die wichtigsten Aufgabentypen für euch zum Üben bereitstellen und euch somit möglichst perfekt für eure Zettel und für die bevorstehende Klausur wappnen. Natürlich gibt es unzählige Aufgaben, die sich eure Professoren oder Tutoren ausdenken, um euch das Leben schwer zu machen, und vielleicht auch ein wenig euer Verständnis für die Physik zu verbessern, und selbstverständlich können wir hier niemals alle aufführen. Allerdings haben wir dennoch versucht, zumindest die gängigsten und wichtigsten Aufgabentypen einmal abzudecken, damit ihr euch keine Sorgen zu machen braucht.

Lösungen

0.1 Dimensionskompaktifizierung in der Superstringtheorie

Zuletzt findet ihr nach allen Aufgaben schließlich die entsprechenden Lösungen. Damit ihr nicht so einfach abspicken könnt, müsst ihr generell zur vorsorglichen Strafe ein wenig blättern. Auch die Lösungen der Aufgaben sollen euch im Stile der „Wie rechne ich“-Umgebung auf bestimmte Schwierigkeiten hinweisen und euch alles stellenweise ein wenig genauer als vielleicht nötig erklären. Genauso rechnen wir hier meist mit auf signifikante Stellen gerundeten Werten.

Nun, da alles zur Benutzeroberfläche geklärt ist, bleibt uns nur noch viel Erfolg bei eurer Vorlesung und eurem etwaigen Praktikum zu wünschen und zu hoffen, dass ihr durch diesen Dschungel an grafischen Elementen vielleicht ein wenig intuitiver und motivierter an den einen oder anderen Sachverhalt herangeführt werdet.

Nur Mut! Ihr bekommt das schon hin!

Euer Christoph, Niklas und Tim.

[1] https://www.physiktutorium.de/videos/trailer

Teil I

Klassische Mechanik

1 Grundlagen

Übersicht

Nature and Nature's Laws lay hid in Night:
God said, Let Newton be! and all was Light.
Grabspruch für Isaac Newton von Alexander Pope

In diesem Kapitel führen wir die Newton'sche Mechanik ein, zentrale Begriffe wie *Kraft* und *Masse* werden erst definiert und danach erst einmal untersucht. Es ist kein Zufall, dass so ziemlich jedes Physikbuch, das etwas auf sich hält, mit der Mechanik anfängt. Zum einen hat die moderne Physik ihre historischen Wurzeln in der Erforschung der Bewegung von Körpern („Kinematik"), zum anderen lernen wir hier auf vergleichsweise intuitive Art wichtige Werkzeuge der Mathematik kennen, die in der gesamten Physik Anwendung finden.

Manche Erkenntnisse der Mechanik können anfangs doch fremd erscheinen, da unsere menschliche Erfahrung und Gewohnheit gewissen Beschränkungen unterliegt: Wir verbringen unser gesamtes Leben auf einem Planeten, der auf uns ständig eine Schwerkraft ausübt, wir sind umgeben von Luft, die etwa Experimente mit fallenden Gegenständen verfälschen kann, und unsere menschliche Zeitwahrnehmung ist sowieso sehr subjektiv. Dass wir in einer Art Spezialfall von System leben, nämlich in einem, in dem wir eine konstante Kraft von „unten" erfahren, und dass diese *genau die gleiche Kraft* ist, welche die anderen Planeten und Monde auf ihren Bahnen hält, ist eine wissenschaftliche Erkenntnis von Newton, deren Bedeutung kaum überschätzt werden kann.

Andererseits sind die Gegenstände der Mechanik (wie Geschwindigkeit oder Beschleunigung) sehr intuitiv zugänglich, wenn man sich mal klargemacht hat, dass wir sie eigentlich täglich erfahren, wenn wir mit dem Fahrrad in Bewegung pro-

blemlos balancieren oder in der anfahrenden Straßenbahn fast umfallen, aber so etwas häufig aus purer Gewohnheit ausblenden.
Das Problem ist erfahrungsgemäß oft nur, dass eine mathematisch korrekte Formulierung der Mechanik keine alltägliche und erst recht keine auf den ersten Blick zugängliche ist. Eine Fähigkeit, die also im Laufe dieses Kapitels auch aufgebaut werden soll, ist, mathematische Formulierungen richtig zu interpretieren; und das ist eine Frage der *Übung* und nicht des Talents!
Dazu muss man es natürlich auch richtig erklärt bekommen, und das ist unser Job. Also, keine Panik, die Mathematik ist euer Freund, sie ist das Bindeglied zwischen Beobachtungen und Vorhersagen, und wir stellen euch langsam einander vor.

1.1 Einheiten, Größenordnungen, Zahlenwerte

Bevor wir uns in die Mechanik stürzen, müssen wir zuerst ein paar Abmachungen über das Messen treffen. Woher sollen wir als Autoren denn wissen, dass eine Länge, über die der Physikprofessor schwadroniert, dieselbe ist, die ihr als Leser messt? Ihr wisst vielleicht, dass in vielen englischsprachigen Ländern Entfernungen in Fuß und Meilen gemessen werden. Das ist natürlich genauso zulässig, wie in Zentimetern und Kilometern zu messen, man muss sich nur darauf einigen, was ein Zentimeter – oder auch eine Meile – tatsächlich ist.
Um also sinnvolle Messungen durchzuführen und sie mit anderen vergleichen zu können, müssen wir uns auf ein einheitliches System einigen, mit dem wir messen. Die Einheiten dieses Systems müssen möglichst nachvollziehbar definiert werden: Beispielsweise entspricht 1 Jahr der Umlaufzeit der Erde um die Sonne.
Die in den Naturwissenschaften geläufigsten Einheiten sind die des sogenannten internationalen Systems SI (Système Internationale d'unités), siehe Tabelle 1.1. Mithilfe dieser können wir nun andere, davon abgeleitete Einheiten definieren. Zum Beispiel ist eine Geschwindigkeit bekanntlich Strecke pro Zeit, also m/s. Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, c, ist hier per Definition beispielsweise 299.792.458 m/s.
Oft spielt das ganz genaue Ergebnis keine große Rolle, und wir interessieren uns nur für die ersten signifikanten Stellen einer Größe. Dafür werden im SI-System gewisse Präfixe benutzt, die in Tabelle 1.2 zusammengefasst sind. So wird c zu ca. 300.000 km/s, eine Strecke, die leichter vorzustellen ist.

Physikalische Größe	Name der Einheit	Symbol	Definition
Länge	Meter	m	Ein 299792458-tel der Strecke, die Licht im Vakuum in einer Sekunde zurücklegt.
Zeit	Sekunde	s	Die Dauer von 9.192.631.770 Perioden der Strahlung, die dem Übergang der beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustands von Caesium-133 entspricht.
Masse	Kilogramm	kg	Das aus der Quantenmechanik stammende Planck'sche Wirkungsquantum h ist auf $6{,}62607015 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{s}/(\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2)$ festgelegt; durch die Definitionen von Meter und Sekunde ist damit auch das Kilogramm genau bestimmt.
Elektrischer Strom	Ampere	A	Diejenige Stromstärke, die durch einen Fluss von einer Elementarladung e in einer Sekunde beschrieben wird.
Temperatur	Kelvin	K	Eine Temperatur, deren Energiegehalt $1{,}380649 \cdot 10^{-23}\,\mathrm{J}$ ($1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2/\mathrm{s}^2$) beträgt.
Stoffmenge	Mol	mol	Diejenige Stoffmenge, die aus exakt $N_\mathrm{A} = 6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ Teilchen besteht.
Lichtstärke	Candela	cd	Die Intensität einer Lichtquelle, die monochromatisch (also mit genau einer einzigen Lichtfrequenz) bei $540 \cdot 10^{12}$ Hertz leuchtet und deren Energiedichte $1/683\,\mathrm{W}$ pro Steradiant ist, entspricht $1\,\mathrm{cd}$.

Tab. 1.1: Die SI-Basiseinheiten mit den neuen Definitionen der Basiseinheiten seit dem 20. Mai 2019.

Faktor	Name	Symbol	Faktor	Name	Symbol
$10^1 = 10$	Deka-	da	$10^{-1} = 0{,}1$	Dezi-	d
$10^2 = 100$	Hekto-	h	$10^{-2} = 0{,}01$	Zenti-	c
$10^3 = 1000$	Kilo-	k	$10^{-3} = 0{,}001$	Milli-	m
$10^6 = 1.000.000$	Mega-	M	$10^{-6} = 0{,}000001$	Mikro-	μ
10^9	Giga-	G	10^{-9}	Nano-	n
10^{12}	Tera-	T	10^{-12}	Piko-	p
10^{15}	Peta-	P	10^{-15}	Femto-	f
10^{18}	Exa-	E	10^{-18}	Atto-	a
10^{21}	Zetta-	Z	10^{-21}	Zepto-	z
10^{24}	Yotta-	Y	10^{-24}	Yocto-	y

Tab. 1.2: Einheitenpräfixe.

Dabei muss man darauf achten, nicht den Bezug zur Größe einer Zahl zu verlieren. Unser Universum ist etwa 13,7 Milliarden Jahre alt. Das sind ungefähr 432.339.120.000.000.000 Sekunden. Diese Zahl klingt imposanter als $0{,}4 \cdot 10^{18}\,\mathrm{s}$ oder gar „knapp eine halbe Exasekunde“, was alles mathematisch das Gleiche ist. So verhält sich eine Sekunde (1 s) zum Alter des Universums ($0{,}4 \cdot 10^{18}\,\mathrm{s}$) ungefähr so wie eine Attosekunde ($1 \cdot 10^{-18}\,\mathrm{s}$) zur Sekunde. Einige Attosekunden lang sind auch die kürzesten Laserpulse, die in der modernen Physik erzeugt werden können. Man muss sich also im Klaren sein, was Größenordnungen bedeuten. Unser intuitives Verständnis hat oft Probleme, mit solch großen oder kleinen Zahlen zurechtzukommen.

Ein weiteres Beispiel ist die Avogadro-Zahl, $N_\mathrm{A} \approx 6{,}022 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$. Eine Stoffmenge, die $6{,}022 \cdot 10^{23}$ Teilchen besitzt, heißt 1 mol. Bis zur Neudefinition der SI-Einheiten 2019 (siehe Tabelle 1.1) stand geschrieben, dass 1 mol Kohlenstoff (^{12}C) eine Masse von genau 12 g haben sollte – das hing auch irgendwie mit der atomaren Massenzahl zusammen, die neben dem Elementsymbol im Periodensystem der Elemente steht. Darauf kommen wir aber später im Buch noch mal zu sprechen. Dieses N_A ist eine unvorstellbar große Zahl und trotzdem in der Chemie alltäglich. Um einen Kontext für diesen Faktor von 10^{23} zu geben, stelle man sich alle Sterne in der Milchstraße vor: das sind so ca. 200 Milliarden, also $2 \cdot 10^{11}$. Man geht davon aus, dass es im beobachtbaren Universum ca. 100 Milliarden Galaxien gibt. Unter der Annahme, dass diese aus ungefähr so vielen Sternen wie die Milchstraße bestehen, kommen wir auf $100 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{11}$ Sterne, also ca. $2 \cdot 10^{22}$ Sterne. *Im gesamten Universum.* Diese Zahl ist immer noch um einen Faktor 30 kleiner als die Anzahl von Kohlenstoffatomen in läppischen 12 Gramm Kohlenstoff.

Ein anderer Vergleich wären die Verbindungen zwischen den Neuronen in einem menschlichen Hirn, die Synapsen genannt werden. Das sind nicht wenige, im Durchschnitt sind es 100 Billionen pro Erwachsenen-Gehirn, also $1 \cdot 10^{14}$. Zurzeit leben auf unserem Planeten um die 7,5 Milliarden Menschen, also $7{,}5 \cdot 10^9$. Rechnen wir also alle Synapsen aller heute lebenden Menschen zusammen, $7{,}5 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{14} = 7{,}5 \cdot 10^{23}$, kommen wir endlich an die Avogadro-Zahl heran. In jedem Bleistift-Viererpack sind also ungefähr so viele Kohlenstoffatome vereint, wie es zurzeit Synapsen in allen menschlichen Gehirnen gibt.

1.2 Impuls

Eine alltägliche Größe, die jeder kennt, ist die Geschwindigkeit. Wir werden für sie das Symbol $\vec{v}$ benutzen. Gemessen wird die Geschwindigkeit von der Polizei in km/h, also Kilometer pro Stunde. Physiker messen und rechnen oft mit m/s, weil wir uns, wie im obigen Abschnitt erklärt, auf gewisse Grundeinheiten einigen müssen.
Nun ist die Geschwindigkeit aber eine tückische Größe! Ein Zug mit 30 km/h ist viel gefährlicher als eine Hausfliege mit 30 km/h. Warum das so ist, ist uns allen klar: Die Fliege ist viel leichter als der Zug, deshalb würde ihr Aufprall einem menschlichen Körper fast nichts ausmachen. Also gibt uns die Geschwindigkeit

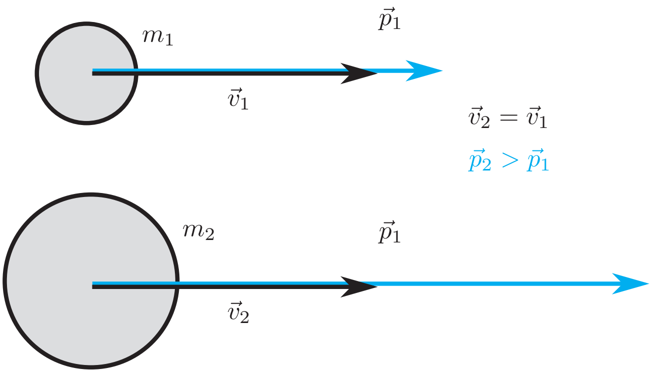

Abb. 1.1: Obwohl die Geschwindigkeiten beider Körper gleich sind, $v_1 = v_2$, sind die Impulse bei verschiedenen Massen $m_1 \neq m_2$ verschieden, denn $\vec{p} = m\vec{v}$.

nicht die gesamte Information über einen möglichen Sachschaden. Wir wissen nämlich nicht, wie schwer der auf uns zukommende Gegenstand ist!
Deshalb führen wir den *Impuls* (Symbol: $\vec{p}$) ein, indem wir einfach Masse (m) und Geschwindigkeit ($\vec{v}$) multiplizieren:

$$\vec{p} = m\vec{v}\,. \tag{1.1}$$

Mehr zu Vektoren könnt ihr übrigens im Mathe-Anhang lesen – oder im Mathe-Kasten 1.1 ein paar Seiten weiter.
Die Einheit des Impuls ist logischerweise kg·m/s; noch ein Hinweis zur Schreibweise: Ihr werdet oft sehen, dass die Einheit von einer Größe folgendermaßen angegeben wird: $[\vec{p}] = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m/s}$. Die eckigen Klammern haben nichts anderes zu bedeuten als „Die Einheit von $\vec{p}$ ist“. Man verhindert so die Verwechslung mit „Der Wert von $\vec{p}$ ist“.

Zurück zur Unterscheidung von Fliege und Zug – ein Güterzug mit

$$m = 4000\,\mathrm{t} = 4.000.000\,\mathrm{kg}$$

und

$$|\vec{v}| = 6\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \approx 1{,}67\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

besitzt einen Impuls von

$$|\vec{p}| = 4.000.000\,\mathrm{kg} \cdot 1{,}67\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 6{,}68 \cdot 10^6\,\frac{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,,$$

wobei wir hier mit dem gerundeten Geschwindigkeitsbetrag gerechnet haben. Eine Stubenfliege mit

$$m = 20\,\mathrm{mg} = 20 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{kg}$$

und derselben Geschwindigkeit hat nun einen Impuls von

$$|\vec{p}| = 20 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{kg} \cdot 1{,}67\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 3{,}34 \cdot 10^{-5}\,\frac{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,.$$

Anhand dieser Ergebnisse sieht man sofort, was einen schädlicheren Effekt auf ein Testsubjekt hätte.

1.1) Wie rechne ich... in m/s, wenn nur km/h gegeben ist?

Dazu müssen wir uns nur klarmachen, wie viele Sekunden in einer Stunde und wie viele Meter in einem Kilometer sind:

$$1\,\mathrm{km} = 1000\,\mathrm{m}; \quad 1\,\mathrm{h} = 60\,\mathrm{min} = 60 \cdot 60\,\mathrm{s} = 3600\,\mathrm{s}$$

$$\rightarrow \text{ es sind } 1000\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{km}} \text{ und } 3600\,\frac{\mathrm{s}}{\mathrm{h}}\,.$$

Nun nehmen wir die Geschwindigkeit in km/h und arrangieren unsere beiden Faktoren so, dass sich die Einheiten passend wegkürzen. Als Beispiel nehmen wir mal an, wir haben einen Schnellzug mit 360 km/h:

$$360\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} = 360\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \cdot \frac{1000\,\mathrm{m/km}}{3600\,\mathrm{s/h}} = 360 \cdot \frac{1000}{3600}\,\frac{\cancel{\mathrm{km}}}{\cancel{\mathrm{h}}} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\cancel{\mathrm{km}}} \cdot \frac{\cancel{\mathrm{h}}}{\mathrm{s}}$$

$$= \frac{360 \cdot 1000}{3600\,\mathrm{m/s}} = \frac{360}{3{,}6\,\mathrm{m/s}} = 100\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,.$$

Wir erhalten hier den berühmten Faktor 3,6, mit dem man von km/h in m/s umrechnen kann. Um sich zu merken, ob man teilen oder multiplizieren muss, kann man im Kopf behalten, dass ein Auto, das in einer 30er-Zone verbotenerweise mit 36 km/h unterwegs ist[a], genau 10 m/s zurücklegt, und https://www.springer.com/9783662472446

Tutorium Physik fürs Nebenfach
Übersetzt aus dem Unverständlichen
Kommer, Christoph, **Tugendhat**, Tim, **Wahl**, Niklas
1. Aufl. 2015, XVIII, 772 S. 286 Abb. in Farbe.
ISBN 978-3-662-47244-6