Physik

FOS Bayern

Vorklasse

Autoren:

Josef Dillinger
Michael Schittenhelm

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 87881

Autoren des Buches „Physik FOS Bayern – Vorklasse“

Josef Dillinger Hausen
Michael Schittenhelm Hof

Lektorat:
Josef Dillinger

Bildentwürfe: Die Autoren

Bilderstellung und -bearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

1. Auflage 2024
Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN: 978-3-8085-8788-1

Layout und Satz: Daniela Schreuer, 78224 Singen
Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagfoto: © Silkstock – © thingamajiggs – © JWS – © Montree – stock.adobe.com
Druck: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, 48268 Greven, www.ld-medienhaus.de

Vorwort zur 1. Auflage

Das Buch „Vorklasse Physik“ deckt alle Lernbereiche des LehrplanPLUS für die Fachoberschul(FOS)-Vorklasse 10 und die Berufsoberschul(BOS)-Vorklasse 11 im Fach Physik in Bayern ab. Dementsprechend werden im Kapitel 1 die Grundlagen der Mechanik (Mechanik I und II laut LehrplanPLUS), im Kapitel 2 die Grundlagen der Elektrizitätslehre, im Kapitel 3 die Grundlagen der Wärmelehre und im Kapitel 4 die Grundlagen der Optik beschrieben.

In den oben genannten Kapiteln werden die grundlegenden physikalische Gesetze und Theorien des jeweiligen Lernbereichs beschrieben. Mithilfe der physikalischen Gesetze werden Berechnung und qualitative Erklärungen in verschiedenen Sachzusammenhängen durchgeführt. Ziel ist es, dass die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass die Natur tatsächlich durch physikalische Gesetze und Theorien abgebildet wird und somit physikalische Vorgänge der Natur gewissenmaßen vorhersagbar bzw. erklärbar sind. In diesem Buch wird außerdem darauf Wert gelegt, dass die physikalischen Gesetze nicht nur angewendet werden, sondern dass die Schülerinnen und Schüler erfahren, wie man durch Experimente bzw. durch deren Auswertung auf die jeweiligen physikalischen Gesetze kommt.

Die einzelnen physikalischen Zusammenhänge sind in diesem Buch jeweils kleinschrittig, schülergerecht und bildhaft beschrieben. Das Buch kann somit als Nachschlagwerk für Schülerinnen und Schüler außerhalb des Unterrichts eingesetzt werden, aber auch als Informationsquelle in einer schüleraktiven Erarbeitungsphase während des Unterrichts verwendet werden.

Wir wünschen Ihnen viel Freude mit unserem Buch und interessieren uns für Ihre Meinung! Teilen Sie uns Verbesserungsvorschläge, Kritik – gerne auch Lob – mit:

lektorat@europa-lehrmittel.de

München, Frühjahr 2024 Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 – Mechanik

1.1 Einführung in die Physik

Die Naturwissenschaft Physik beschreibt wissenschaftlich mittels Theorien und Gesetzen grundlegende Vorgänge und Phänomene in der unbelebten Natur. Dabei beschränkt sich die Physik auf Vorgänge, bei denen keine stofflichen Umwandlungen stattfinden, wie es beispielsweise beim Verbrennen von Holz der Fall ist. Die Sprache, mit der die Physik die Natur beschreibt, ist die Mathematik. Erkenntnisse aus der Physik werden in der Technik und den Ingenieurswissenschaften verwendet, um Maschinen, Anlagen und Apparaturen zu entwickeln. Die Physik wird üblicherweise in verschiedene Gebiete untergliedert, eine gebräuchliche Untergliederung zeigt **Tabelle 1**. Oft werden die Teilgebiete noch nach Klassischer Physik und Moderner Physik unterschieden, damit sind die Teilgebiete der Physik gemeint, die sich seit ca. 1900 entwickelt haben und einen neuen Blick auf die Natur enthalten.

Tabelle 1: Teilgebiete der Physik

Klassische Physik	Moderne Physik
Mechanik	Quantenmechanik
Thermodynamik	Relativitätstheorie
Elektromagnetismus	Festkörperphysik
Akustik	Atom- und Kernphysik
Optik	Astrophysik

Der physikalische Erkenntnisprozess

Ziel der Physik ist es, natürliche Prozesse und Vorgänge eindeutig zu beschreiben. Um ablaufende Prozesse zu verstehen und anschließend mithilfe von Formeln und Gleichungen eindeutig zu beschreiben, sind gezielte Beobachtungen und Messungen notwendig. Natürlich kann man nicht warten, bis die gewünschten natürlichen Vorgänge in der freien Natur von selbst ablaufen. Vielmehr ist es notwendig, diese künstlich nachzuahmen. Dies geschieht durch physikalische Experimente. Ein weiterer Vorteil von künstlich erzeugten Prozessen (Experimenten) besteht darin, dass stets die gleichen Bedingungen herrschen. In **Bild 1** ist der Aufbau eines physikalischen Experiments aus dem aus 18. Jahrhundert zu sehen. Mithilfe dieses Experiments versuchte man, Erkenntnisse in der Elektrizitätslehre zu gewinnen.

Experimente
Experimente stehen bei der physikalischen Erkenntnisgewinnung im Mittelpunkt.

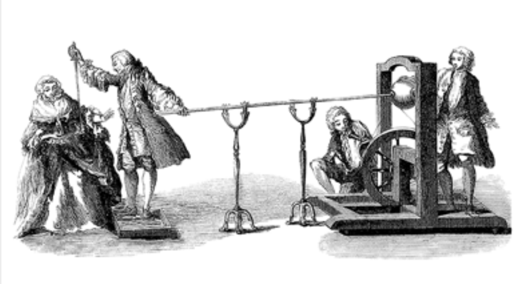

Bild 1: Experiment zur Elektrizität aus dem 18. Jahrhundert

Führt eine große Anzahl von Experimenten unter gleichen Versuchsbedingungen stets zum gleichen Ergebnis, dann kann man daraus schließen, dass auch der nächste Versuch zu diesem Ergebnis führt. Man folgert aufgrund der Wiederholbarkeit des Versuchs, dass die Versuchsaussage (unter gewissen Bedingungen) allgemeingültig ist. Die allgemeingültigen Versuchsaussagen werden als physikalische Gesetze oder Naturgesetze bezeichnet. Physikalische Gesetze sind durch Formeln und Gleichungen, also mithilfe der Mathematik, eindeutig beschrieben.

Physikalische Gesetze
Physikalische Gesetze beschreiben eindeutig mithilfe der Mathematik in der Natur ablaufende physikalische Prozesse.

Die Beschreibung eines umfassenden physikalischen Bereichs mit einer Vielzahl von Naturgesetzen nennt man Theorie. Mithilfe der Logik können häufig Erkenntnisse und ganze Theorien aus einem physikalischen Teilbereich auf einen anderen Teilbereich übertragen werden. Sie müssen aber immer durch Experimente bestätigt werden.

Physikalische Theorie
Die Beschreibung eines größeren physikalischen Bereichs mittels physikalischer Gesetze wird als physikalische Theorie bezeichnet.

1.2 Eigenschaften von Körpern

In der Physik werden häufig Körper und ihr Verhalten näher untersucht. Im physikalischen Sinne ist ein Körper eine Menge von räumlich begrenzter Materie. Dabei kann die Materie im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand vorliegen. Möchte man ausdrücken, dass sich der betrachtete Körper im festen Aggregatzustand befindet, spricht man von einem Festkörper. Flüssigkeiten sind dementsprechend Körper im flüssigen Zustand und Gase sind Körper im gasförmigen Aggregatzustand.

Physikalische Körper
In der Physik wird eine räumlich begrenzte Menge an Materie als Körper bezeichnet.

Körper besitzen unabhängig vom Aggregatzustand Eigenschaften. Im Folgenden werden zwei grundlegende Eigenschaften eines Körpers betrachtet, nämlich die Masse und die Dichte.

1.2.1 Masse von Körpern

Jeder Körper besitzt eine bestimmte Masse. Aufgrund seiner Masse ist jeder Körper schwer und träge. Schwer bedeutet hier, dass ein Körper in der Lage ist, sich oder andere Körper zu beschleunigen. Träge bedeutet, dass ein Körper seinen momentanen Zustand nur ändert, wenn eine Kraft auf ihn wirkt. Von alleine macht er das nicht.
Ein Beispiel zur Verdeutlichung der Begriffe *schwer* und *träge* ist ein Apfel, der sich vom Ast eines Baumes löst. Aufgrund seiner schweren Masse wird er Richtung Erdboden beschleunigt. Liegt er dort, bewegt er sich aufgrund seiner trägen Masse von alleine nicht weiter.

Schwere und Trägheit der Masse
Jeder Körper ist wegen seiner Masse schwer und träge.

Rechnen mit der Masse

In physikalischen Gesetzen wird die Masse durch den Formelbuchstaben m beschrieben. Die Standardeinheit einer Masse sind Kilogramm (kg). Neben dieser Einheit sind die Einheiten Gramm (g) und Tonne (t) gebräuchlich.

Es gilt:

$1000\text{ g} = 1\text{ kg}; \quad 1000\text{ kg} = 1\text{ t}.$

Bestimmung mit der Masse

Die Masse eines Körpers wird mithilfe einer Waage ermittelt. In Bild 1 ist eine Balkenwaage zu sehen.

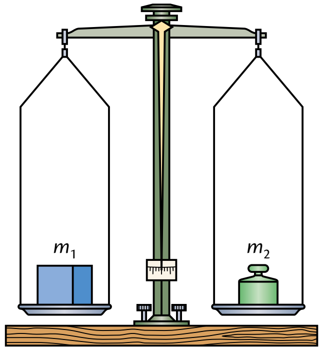

Bild 1: Balkenwaage

1.2.2 Dichte eines Körpers

Die Dichte eines Körpers gibt an, welche Masse ein Körper pro Volumeneinheit hat. Ihr Formelzeichen ist der griechische Buchstabe ϱ, als Einheit für die Dichte dienen $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ bzw. $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Dichte eines Körpers

$$\varrho = \frac{m}{V}$$

ϱ … Dichte m … Masse V … Volumen

Beispielaufgabe
Ein Würfel aus Stahl hat eine Kantenlänge von 20,0 mm und eine Masse von 62,8 g (**Bild 2**).

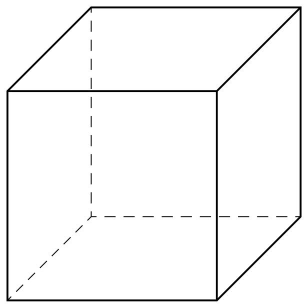

Bild 2: Würfel aus Stahl

Berechnen Sie die Dichte von Stahl in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Lösung:

$$\varrho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3} = \frac{62{,}8\text{ g}}{(2\text{ cm})^3} = 7{,}85\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Anmerkung

Die Einheiten $\frac{kg}{dm^3}$ bzw. $\frac{g}{cm^3}$ sind gleichwertig, wie die folgende Rechnung zeigt:

$$\frac{kg}{dm^3} = \frac{1000\ g}{1000\ cm^3} = \frac{g}{cm^3}.$$

1.2.3 Experimentelle Herleitung der Formel für die Dichte – direkte Proportionalität

Im letzten Abschnitt wurde beschrieben, dass sich die Dichte eines Stoffes mit der Formel $\varrho = \frac{m}{V}$ berechnen lässt. In der Physik geht es jedoch primär nicht um das Anwenden von Formeln, sondern die Physik beschäftigt sich vielmehr mit der Fragestellung: „Wie kommt man auf diese Formel bzw. das Naturgesetz?“. Daher wird anhand dieser Formel exemplarisch gezeigt, wie man sie mittels eines Experiments herleitet.

Ermittlung der Dichte von Stoffen

Versuchsziel

Ermittlung des physikalischen Zusammenhangs zwischen dem Volumen eines Körpers und seiner Masse.

Versuchsaufbau

Auf der linken Seite einer Balkenwaage (**Bild 1**) befindet sich ein ungefüllter Glaszylinder. Auf dem Glaszylinder ist eine Skala aufgedruckt, über die ein eingefülltes Volumen abgelesen werden kann. Auf der rechten Seite der Balkenwaage befinden sich Massestücke, und zwar so viele, dass die Balkenwaage im Gleichgewicht ist.

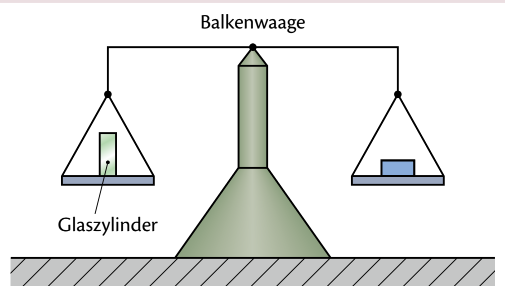

Bild 1: Balkenwaage im Gleichgewicht

Versuchsdurchführung

Es werden zunächst 20 ml, also 0,02 dm³, feiner Quarzsand in den Glaszylinder gefüllt. Durch das Auflegen von zusätzlichen Massenstücken auf der rechten Seite der Balkenwaage wird die Masse der Sandfüllung bestimmt. Danach werden erneut 20 ml feiner Quarzsand in den Glaszylinder gefüllt, und es wird die gesamte Masse der Sandfüllung ermittelt. Dieser Vorgang wird weitere fünf Mal mit je einer zusätzlichen Sandfüllung von 20 ml durchgeführt.

Versuchsauswertung

In **Tabelle 1** sind die Messwerte aufgeführt, die man bei einer Versuchsdurchführung erhalten hat.

Tabelle 1: Messwerte zur Dichtebestimmung

***V* [dm³]**	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100
***m* [kg]**	0,029	0,062	0,089	0,122	0,150

Grafische Auswertung

Um die Messwerte grafisch auszuwerten, trägt man sie in ein Diagramm ein (**Bild 2**). Die unabhängige Größe – hier das Volumen – wird auf der horizontalen Achse und die abhängige Größe – hier die Masse – wird auf der senkrechten Achse angetragen.

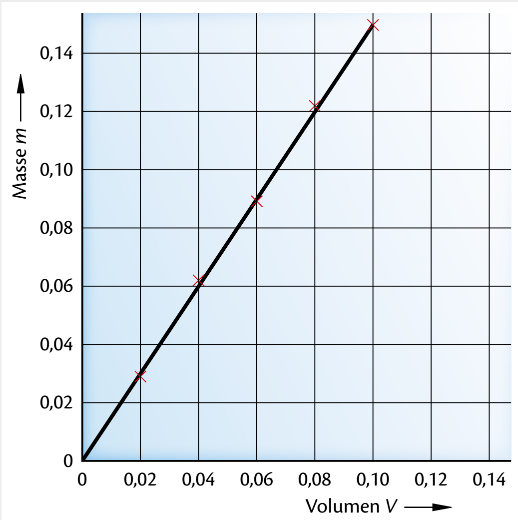

Bild 2: Grafische Darstellung der Messwerte

Man erkennt, dass die Messpunkte näherungsweise auf einer Ursprungshalbgeraden liegen. Dies ist ein Kennzeichen dafür, dass die betrachteten physikalischen Größen (hier m und V) direkt proportional zueinander sind.

Man schreibt: $m \sim V$.

Grafischer Nachweis für direkte Proportionalität
Liegen die Messwerte zweier physikalischer Größen näherungsweise auf einer Ursprungshalbgeraden, dann sind die beiden physikalischen Größen direkt proportional zueinander.

Direkte Proportionalität zwischen der Masse m und dem Volumen V bedeutet, dass sich

- die Masse verdoppelt, wenn sich das Volumen verdoppelt,
- die Masse verfünffacht, wenn sich das Volumen verfünffacht,
- die Masse halbiert, wenn sich das Volumen halbiert usw.

Folgerung aus der direkten Proportionalität
Da sich die Masse im gleichen Verhältnis (proportional) wie das Volumen verändert, führt man einen Proportionalitätsfaktor ϱ ein. Aus der direkten Proportionalität $m \sim V$ ergeben sich damit die folgenden Gleichungen:

$$m \sim V \rightarrow m = \varrho \cdot V \Leftrightarrow \varrho = \frac{m}{V}$$

Der Proportionalitätsfaktor hat meist eine reale Bedeutung. Im vorliegenden Fall entspricht der Proportionalitätsfaktor ϱ der Dichte.

$$\varrho = \frac{m}{V}$$

(1) Der Proportionalitätsfaktor entspricht der Steigung der Ursprungshalbgeraden.
(2) Der verwendete Sand im Beispiel hat eine Dichte von etwa $1{,}5\ \text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

$$\varrho = \frac{m}{V} = \frac{0{,}150\ \text{kg}}{0{,}100\ \text{dm}^3} = 1{,}5\ \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

Rechnerische Auswertung
Alternativ zur grafischen Auswertung kann auch rein rechnerisch nachgewiesen werden, dass zwei physikalische Größen direkt proportional zueinander sind.

Zwei physikalische Größen sind direkt proportional zueinander, wenn sie quotientengleich sind. Quotientengleich bedeutet, dass der Quotient der Größen – hier $\frac{m}{V}$ – für jedes Messpaar näherungsweise konstant ist. Anhand von **Tabelle 1** erkennt man, dass dies für die Messpaare (m I V) der Fall ist.

Tabelle 1: Messwerte mit Quotient aus Masse und Volumen

V [dm³]	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100
m [kg]	0,029	0,062	0,089	0,122	0,150
$\frac{m}{V}$	1,45	1,55	1,49	1,52	1,5

Es gilt: $\frac{m}{V}$ = konstant.

Diese Konstante entspricht dem Proportionalitätsfaktor ϱ, der in der grafischen Auswertung erläutert wurde. Es kann also ebenso gefolgert werden:

$$\varrho = \frac{m}{V}$$

Quotientengleichheit bei direkter Proportionalität
Zwei physikalische Größen, die direkt proportional zueinander sind, sind quotientengleich.

Unabhängig davon, ob die Messdaten grafisch oder rein rechnerisch ausgewertet werden, das Ergebnis ist stets das gleiche:

Der Quotient aus der Masse m und dem Volumen V eines Körpers ist stets konstant. Dieser Quotient wird Dichte ϱ genannt.

$$\varrho = \frac{m}{V}$$

Der im Experiment verwendete Sand hat eine Dichte von etwa $1{,}5\ \text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Masse und Dichte

1. Ein Metallstück hat ein Volumen von $8{,}2\ \text{dm}^3$ und eine Masse von 65 kg.
   a) Berechnen Sie die Dichte des Metallstücks und bestimmen Sie ggf. mithilfe des Internets, um welchen Werkstoff es sich handelt.
   b) Berechnen Sie die Masse des Werkstücks, wenn es aus Kupfer wäre.

$$\left(\varrho_{Cu} = 8{,}9\ \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}\right)$$

2. Während eines kalten und schneereichen Winters bildet sich auf einer Garage mit einem Flachdach eine 35 cm hohe Schneeschicht. Das Flachdach hat eine Grundfläche von 55 m^2. Berechnen Sie die Masse der gesamten Schneedecke auf der Garage. Gehen Sie davon aus, dass der Schnee eine Dichte von 100 $\frac{kg}{m^3}$ hat.
3. Ein Zylinder aus Aluminium $\left(\varrho = 2{,}7\ \frac{kg}{dm^3}\right)$ hat eine Masse von 2300 g und ist 15 cm lang. Berechnen Sie den Radius des Zylinders.

1.3 Bewegungen von Körpern

In diesem Kapitel wird die sogenannte Bewegungslehre näher untersucht. Die Bewegungslehre lässt sich in die Bereiche Kinematik und Dynamik unterteilen. Die Dynamik beschäftigt sich damit, weshalb sich Körper bewegen bzw. weshalb Körper ihren Bewegungszustand ändern. Die Kinematik hingegen hat das Ziel, die Bewegung eines Körpers mithilfe von Formeln und Gleichungen eindeutig zu beschreiben. Die Kinematik beschreibt somit beispielsweise, mit welcher Geschwindigkeit sich ein Körper zu einem Zeitpunkt bewegt bzw. an welchem Ort sich ein Körper zu einem Zeitpunkt befindet.

Kinematik: Wie bewegen sich Körper?
Dynamik: Warum bewegen sich Körper?

In diesem Kapitel wird hauptsächlich die Kinematik behandelt. Im nächsten Kapitel wird die Dynamik erläutert.

1.3.1 Bedeutung des Bezugssystems

Um die Bewegung eines Körpers eindeutig zu beschreiben, muss ein Bezugssystem festgelegt werden. Der Nullpunkt des Bezugssystems wird während des kompletten Beobachtungsvorgangs nicht verändert. Wird beispielsweise die Bewegung eines Leistungsschwimmers, der vom linken zum rechten Beckenrand schwimmt, beobachtet, dann empfiehlt es sich, den linken Beckenrand als Bezugsnullpunkt zu wählen. Aussagen wie: „Nach 12 Sekunden war der Schwimmer bei 30 m“, bedeutet somit, dass der Schwimmer nach 12 Sekunden 30 m vom Bezugsnullpunkt entfernt war.

Bezugssystem
Der Nullpunkt des Bezugssystems muss vor einer Beobachtung eindeutig festgelegt werden.

In der Bewegungslehre werden Festkörper meist nicht als ausgedehnte Körper betrachtet. Vielmehr werden Festkörper idealisiert als sogenannte Punktmasse angesehen. Man nimmt also vereinfacht an, dass die gesamte Masse eines Körpers in dessen Schwerpunkt vereinigt ist. Dementsprechend stellt man den Körper als Punkt dar. Das ist zwar eine vereinfachte, aber dennoch in vielen Fällen ausreichend genaue Darstellung eines Körpers.

Reduzierung auf eine Punktmasse
Ausgedehnte, also dreidimensionale Körper werden in der Bewegungslehre als Punktmassen betrachtet.

1.3.2 Geradlinige, gleichförmige Bewegungen

Unter einer geradlinigen, gleichförmigen Bewegung eines Körpers versteht man eine gerade Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit.

Gleichförmige Bewegung
Bei einer gleichförmigen Bewegung des Körpers ändert sich die Geschwindigkeit des Körpers nicht. Die Geschwindigkeit bleibt somit konstant.

In dieser Beschreibung einer gleichförmigen Bewegung wird die physikalische Größe *Geschwindigkeit* benutzt. Dieser Begriff ist aus dem Alltag bekannt, und jeder hat eine Vorstellung, welche Bedeutung das Wort Geschwindigkeit umgangssprachlich hat. Im Folgenden wird nun erläutert, wie die physikalische Größe Geschwindigkeit definiert ist.

Definition Geschwindigkeit

Um zu erläutern, was man in der Physik unter dem Begriff Geschwindigkeit versteht, betrachten wir das folgende Experiment.

Geschwindigkeit

Versuchsaufbau
Auf einer Luftkissenbahn (**Bild 1** auf Seite 10) befindet sich ein Gleiter. Der Gleiter kann sich auf dem Luftkissen dieser Bahn (näherungsweise) mit konstanter Geschwindigkeit bewegen. Auf der Bahn befinden sich im Abstand von jeweils 20 cm Lichtschranken mit elektronischen Stoppuhren. Beim Passieren der ersten Lichtschranke beginnen alle Stoppuhren zu laufen. Wird eine weitere Lichtschranke vom Gleiter passiert, bleibt die zugehörige Stoppuhr stehen.

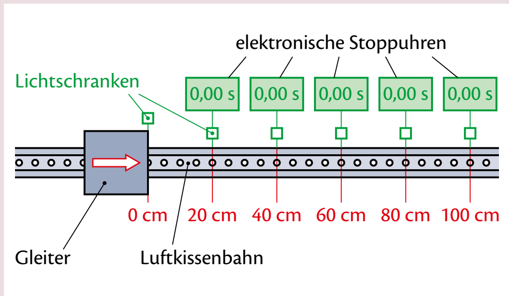

Bild 1: Luftkissenbahn von oben

Versuchsdurchführung
Ein Gleiter wird durch leichtes Anstoßen mit der Hand in Bewegung versetzt. Beim Passieren der ersten Lichtschranke beginnen alle Stoppuhren zu laufen. Der Gleiter passiert nach und nach jede weitere Lichtschranke und stoppt somit alle Messuhren.

Versuchsauswertung
Die Messwerte eines solchen Versuchs sind in **Tabelle 1** zusammengestellt. Δs steht für den zurückgelegten Weg des Gleiters und Δt für die dafür benötigte Zeit.

Tabelle 1: Messwerte zur Geschwindigkeitsbestimmung

Δs [m]	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0
Δt [s]	0,27	0,53	0,82	1,10	1,36

Trägt man die Messwerte in ein sogenanntes Zeit-Ort-Diagramm ein, so erhält man näherungsweise eine Ursprungshalbgerade (**Bild 2**).

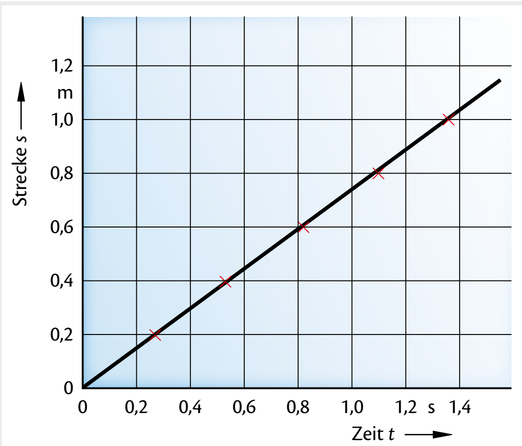

Bild 2: Zeit-Ort-Diagramm

Da sich diese Ursprungshalbgerade ergibt, kann gefolgert werden, dass der zurückgelegte Weg Δs und die dafür benötigte Zeit Δt direkt proportional sind: $\Delta s \sim \Delta t$.
Direkt proportional bedeutet auch hier, dass der Quotient aus Δs und Δt konstant ist. Das dies näherungsweise der Fall ist, kann man **Tabelle 2** entnehmen.

Tabelle 2: Rechnerische Auswertung der Messwerte

Δs [m]	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0
Δt [s]	0,27	0,53	0,82	1,10	1,36
$\frac{\Delta s}{\Delta t}$	0,74	0,75	0,73	0,73	0,74

Folgerung aus der direkten Proportionalität
Allgemeine Folgerung
Der Quotient $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ ist ein Maß dafür, wie schnell sich ein Körper bewegt. Man nennt diesen Quotienten Geschwindigkeit (Formelzeichen v).

Geschwindigkeit v
Der Quotient aus dem zurückgelegten Weg Δs und der dafür benötigten Zeit Δt wird Geschwindigkeit v genannt.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Einheit der Geschwindigkeit
Die Standardeinheit der Geschwindigkeit ist $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.
Eine weitere gebräuchliche Einheit der Geschwindigkeit ist $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$.

Bei einer gleichförmigen Bewegung werden Wegabschnitte Δs mit gleicher Länge in gleichen Zeitabschnitten Δt zurückgelegt. Damit ist auch der Quotient v immer gleich. Bei einer gleichförmigen Bewegung ist also die Geschwindigkeit konstant.

Folgerung für dieses Experiment
Der Gleiter bewegt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0,74 ms^{-1}. Das bedeutet, dass er pro Sekunde 0,74 m zurücklegt.

Die Steigung der Ursprungshalbgeraden im Zeit-Ort-Diagramm (**Bild 2**) entspricht der Geschwindigkeit des Gleiters.

Geschwindigkeit als gerichtete Größe

In der Physik werden physikalische Größen in richtungsunabhängige und richtungsabhängige Größen unterteilt. Richtungsunabhängige Größen nennt man auch skalare Größen, sie sind dann gegeben, wenn die messbare Eigenschaft nicht von einer Richtung abhängt. Beispiele für skalare Größen sind die Masse eines Körpers oder die Temperatur. Beide Größen sind durch die Angabe ihres Betrags (Wertes) eindeutig gegeben. Beispielsweise haben Tomaten eine Masse von 520 g, oder Wasser hat eine Temperatur von 81 °C. Anders sieht es bei der Geschwindigkeit aus. Die Angabe der Geschwindigkeit ist erst dann eindeutig, wenn neben ihrem Betrag auch ihre Richtung genannt ist. Betrachten wir beispielsweise die Aussage: „Das Flugzeug fliegt mit einer Geschwindigkeit von 600 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ in Richtung Osten". Diese Aussage ist erst durch die Angabe der Richtung vollständig. Physikalische Größen, die nur durch ihren Betrag und ihre Richtung eindeutig beschrieben werden, werden richtungsabhängige oder vektorielle Größe genannt. Man kennzeichnet sie durch einen Pfeil über den Formelbuchstaben; wenn der Betrag gemeint ist, werden Betragsstriche gesetzt. Das Formelzeichen für die Geschwindigkeit ist also $\vec{v}$; wenn man den Betrag meint, schreibt man $|\vec{v}|$. Man kann allerdings auch vereinbaren, dass der Betrag der Geschwindigkeit mit v bezeichnet wird (also ohne Pfeil und Betragsstriche), was in diesem Buch so gehandhabt werden soll. In dem oben genannten Beispiel wird somit die Geschwindigkeit des Flugzeugs mit $v = 600\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ angegeben.

Diagramme bei der gleichförmigen Bewegung

Mithilfe von Diagrammen können Bewegungsvorgänge dargestellt werden. Ein wichtiges Diagramm in der Bewegungslehre ist das sogenannte Zeit-Ort-Diagramm. Ein solches Diagramm haben wir bereits kennengelernt (**Bild 1**).

Es wurde ein Gleiter auf einer Luftkissenbahn betrachtet, der sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von $0{,}74\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ bewegt. Aus dem Zeit-Ort-Diagramm, das diese Bewegung beschreibt (**Bild 1**), kann man den Ort s entnehmen, an dem sich der Gleiter zu einer gewissen Zeit t befindet. Möchte man beispielsweise wissen, wo sich der Gleiter zum Zeitpunkt $t = 1{,}0$ s befunden hat, kann

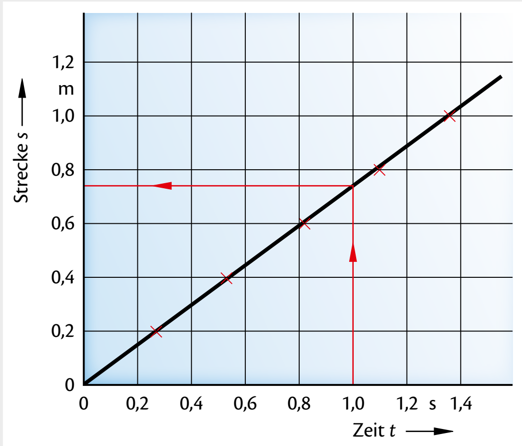

Bild 1: Zeit-Ort-Diagramm

man dies aus dem Diagramm ablesen und erhält den Ort $s = 0{,}73$ m. Da der Ort des Gleiters von der gewählten Zeit t abhängig ist, schreibt man: $s\,(1{,}0\text{ s}) = 0{,}73$ m. Damit ist eindeutig beschrieben, dass der Gleiter zum Zeitpunkt $t = 1{,}0$ s einen Abstand von 0,73 m von seinem Startpunkt (Bezugsnullpunkt) hatte.

Außerdem lässt sich aus dem Zeit-Ort-Diagramm die Geschwindigkeit des Körpers ermitteln. Die Steigung der Geraden entspricht der Geschwindigkeit des Körpers. In unserem Beispiel beträgt die Geschwindigkeit des Körpers konstant $v = 0{,}74\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zeit-Ort-Diagramm

(1) Aus dem Zeit-Ort-Diagramm lässt sich der Ort s entnehmen, an dem sich ein Körper zu einem Zeitpunkt t befunden hat.

(2) Die Steigung der Kurve im Zeit-Ort-Diagramm entspricht der Geschwindigkeit des Körpers zum betrachteten Zeitpunkt.

Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Körper bewegt, wird grafisch in einem sogenannten Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm dargestellt. In **Bild 1** auf Seite 12 ist das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm der Bewegung des Gleiters auf der Luftkissenbahn zu sehen. Die Gerade verläuft waagrecht. Schließlich bewegt sich der Gleiter mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v = 0{,}74\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

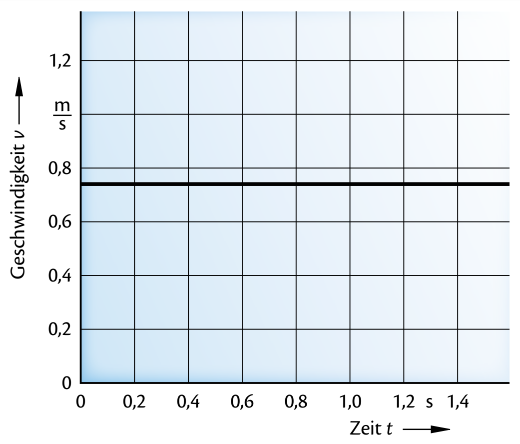

Bild 1: Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm

Aus dem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm kann der zurückgelegte Weg eines Körpers in einem Zeitintervall Δt ermittelt werden. Möchte man beispielsweise wissen, welchen Weg der Gleiter zwischen den Zeitpunkten $t_1 = 0{,}4$ s und $t_2 = 0{,}8$ s zurückgelegt hat, dann muss die Fläche unterhalb des Graphen im Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm zwischen $t_1 = 0{,}4$ s und $t_2 = 0{,}8$ s ermittelt werden (**Bild 2**).

Ermittlung der Maßzahl der Fläche:

$A = 0{,}4 \cdot 0{,}74 = 0{,}30$

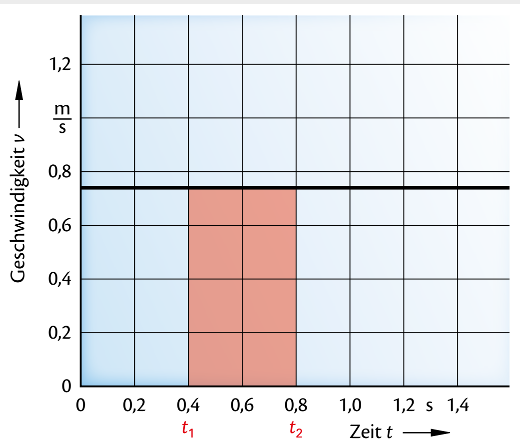

Bild 2: Ermittlung des zurückgelegten Wegs aus dem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm

Die Fläche hat eine Maßzahl von 0,30. Das bedeutet, dass der Gleiter zwischen $t_1 = 0{,}4$ s und $t_2 = 0{,}8$ s eine Wegstrecke von 0,30 m zurückgelegt hat.

Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm

- Aus dem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm lässt sich die Geschwindigkeit v entnehmen, mit der sich ein Körper zu einem Zeitpunkt t bewegt.
- Die Fläche unterhalb der Kurve im Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm entspricht dem zurückgelegten Weg eines Körpers in einem betrachteten Zeitintervall Δt.

Relativbewegung zweier gleichförmig bewegter Körper

Als nächstes betrachten wir nicht die Bewegung eines einzelnen Körpers, sondern die Bewegung von zwei Körpern relativ zueinander. Wir berechnen, an welchem Ort bzw. zu welchem Zeitpunkt sich zwei Körper treffen, die an unterschiedlichen Orten, zu unterschiedlichen Zeiten und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten starten. Betrachten wir dazu folgendes Beispiel:

Relativbewegung zweier Körper

In **Bild 3** sind zwei Gleiter zu sehen, die sich auf einer Luftkissenbahn reibungsfrei und somit mit konstanter Geschwindigkeit bewegen können.

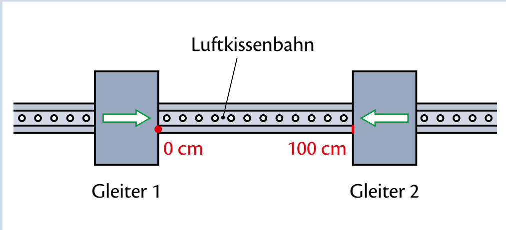

Bild 3: Luftkissenbahn

Der Gleiter 1 bewegt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v_1 = 0{,}80\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nach rechts. Im Abstand von 1,0 m befindet sich ein zweiter Gleiter (Gleiter 2). Dieser Gleiter 2 startet seine Bewegung 0,50 s nach Gleiter 1 und bewegt sich dann mit einer Geschwindigkeit von $v_2 = 0{,}60\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nach links.

a) Stellen Sie die Bewegungen der beiden Gleiter in einem gemeinsamen Zeit-Ort-Diagramm dar. Ermitteln Sie aus diesem Diagramm den Ort und den Zeitpunkt, an denen sich die beiden Gleiter treffen.

b) Berechnen Sie den exakten Zeitpunkt t_T, an dem sich die beiden Gleiter treffen.

c) Berechnen Sie den exakten Ort s_T, an dem sich die beiden Gleiter treffen.

Lösung:

a) Bevor die Bewegungen grafisch dargestellt werden können, wird der Bezugsnullpunkt für Ort und Zeit festgelegt:

Bezugsnullpunkt für die Zeit:
$t_0 = 0{,}0$ s ist der Startzeitpunkt des Gleiters 1.

Bezugsnullpunkt für den Ort:
$s_0 = 0{,}0$ m ist der Startpunkt des Gleiters 1.

Die Bewegung des Gleiters 1 lässt sich durch eine steigende Ursprungshalbgerade mit der Steigung 0,8 darstellen (**Bild 1**).

Die Bewegung des Gleiters 2 beginnt 0,50 s nach dem Start von Gleiter 1, also zum Zeitpunkt $t_2 = 0{,}50$ s. Da sich der Gleiter 2 mit einer konstanten Geschwindigkeit von $0{,}6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf Gleiter 1 zubewegt, wird die Bewegung von Gleiter 2 durch eine fallende Gerade mit der Steigung −0,6 im Zeit-Ort-Diagramm dargestellt (**Bild 1**).

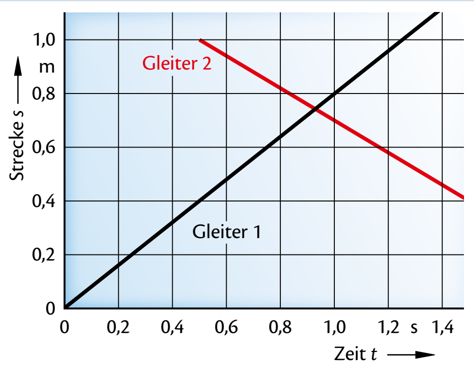

Bild 1: Gemeinsamens Zeit-Ort-Diagramm

Aus diesem Diagramm kann grafisch entnommen werden, dass sich die beiden Gleiter etwa zum Zeitpunkt $t = 0{,}92$ s am Ort $s = 0{,}74$ m treffen. Da diese beiden Werte zeichnerisch ermittelt wurden, sind sie relativ ungenau. Es liegen Zeichen- und Ableseungenauigkeiten vor.

b) Um den Zeitpunkt, an dem sich die beiden Gleiter treffen, exakt zu berechnen, müssen die Bewegungen der beiden Gleiter mathematisch beschrieben werden.

Bewegung des Gleiters 1
Die Gerade, die die Bewegung des Gleiters 1 beschreibt, ist eine Ursprungshalbgerade mit der Steigung $v_1 = 0{,}80\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$s_1(t) = 0{,}80\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$

s_1 gibt den Ort des Gleiters 1 zum Zeitpunkt t an.

Bewegung des Gleiters 2
Die Gerade, die die Bewegung des Gleiters 2 beschreibt, ist eine um 0,50 nach rechts und um 1,0 nach oben verschobene Gerade mit der Steigung $v_2 = -0{,}60\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$s_2(t) = -0{,}60\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (t - 0{,}50\text{ s}) + 1{,}0\text{ m}$

s_2 gibt den Ort des Gleiters 2 zum Zeitpunkt t an.

Berechnung der Schnittstelle
Um den Zeitpunkt zu ermitteln, an dem sich der Gleiter 1 und der Gleiter 2 am gleichen Ort befinden, müssen die Funktionsterme $s_1(t)$ und $s_2(t)$ gleichgesetzt werden:

$$\begin{aligned}
s_1(t) &= s_2(t)\\
0{,}80\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t &= -0{,}60\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (t - 0{,}50\text{ s}) + 1{,}0\text{ m}\\
\Leftrightarrow\quad 0{,}80\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t &= -0{,}60\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t + 1{,}3\text{ m}\\
\Leftrightarrow\quad 1{,}4\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t &= 1{,}3\text{ m}\\
\Leftrightarrow\quad t_T &= 0{,}93\text{ s}
\end{aligned}$$

Zum Zeitpunkt $t_T = 0{,}93$ s treffen sich die beiden Gleiter.

c) Um zu berechnen, an welchem Ort sich die beiden Gleiter treffen, wird der Zeitpunkt $t_T = 0{,}93$ s in einen der beiden Terme $s_1(t)$ oder $s_2(t)$ eingesetzt:

$s_1(0{,}93\text{ s}) = 0{,}80\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0{,}93\text{ s} = 0{,}74\text{ m}$

bzw.

$$\begin{aligned}
&s_2(0{,}93\text{ s})\\
&= -0{,}60\,\tfrac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (0{,}93\text{ s} - 0{,}50\text{ s}) + 1{,}0\text{ m}\\
&= 0{,}74\text{ m}
\end{aligned}$$

Die beiden Gleiter treffen sich am Ort 0,74 m, also 0,74 m vom Startpunkt des Gleiters 1 entfernt.

Beschreibung einer gleichförmigen Bewegung, die zeitlich und örtlich versetzt beginnt

Eine gleichförmige Bewegung, die zum Zeitpunkt t_A und am Ort s_A beginnt, (wobei t_A und s_A nicht die Bezugsnullpunkte der Zeit und des Orts sind) lässt sich durch die folgende Gleichung beschreiben:

$$s(t) = s_A + v \cdot (t - t_A)$$

Gleichförmige Bewegung

1. Die Oberfläche eines 1500 mm langen Werkstücks soll gefräst werden. Der An- und Überlauf betragen jeweils $l_A = l_Ü = 60$ mm. Es wird mit einer Vorschubgeschwindigkeit von $v = 300 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ gefräst.
   a) Berechnen Sie die benötigte Fräszeit für diesen Arbeitsschritt.
   b) Berechnen Sie die nötige Vorschubgeschwindigkeit, wenn der Fräsvorgang (inkl. An- und Überlauf) insgesamt 5 Minuten dauern soll.

2. Ein Werkstück wird zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ s mithilfe eines Greifers auf ein kontinuierlich laufendes Förderband gestellt. Aus prozesstechnischen Gründen muss das Werkstück in 4,85 s genau 11,7 m befördert werden.
   a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der das Förderband betrieben werden muss.
   b) Erstellen Sie ein Zeit-Ort-Diagramm und ein Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm für die Bewegung des Werkstücks auf dem Förderband.

3. Ein Radfahrer startet in seinem Heimatort Adorf und fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v_A = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in Richtung des Nachbarorts Bort. Die beiden Ortsschilder sind genau 4,2 km voneinander entfernt. Genau zu dem Zeitpunkt, an dem der Radfahrer das Ortsschilds von Adorf passiert, passiert eine Rollerfahrerin das Ortsschild von Bort und fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v_B = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ dem Radfahrer entgegen. Berechnen Sie den Ort und den Zeitpunkt, an denen sich Radfahrer und Rollerfahrerin treffen.

1.3.3 Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegungen

Bisher wurden gleichförmige Bewegungen betrachtet, also Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit. In diesem Kapitel werden nun gleichmäßig beschleunigte Bewegungen untersucht. Bei dieser Art von Bewegungen werden die betrachteten Körper beschleunigt, und zwar so, dass sich ihre Geschwindigkeit gleichmäßig erhöht bzw. gleichmäßig verringert.

Experimentelle Untersuchung einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Um zu verdeutlichen, was eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung auszeichnet und was man unter dem Begriff Beschleunigung versteht, betrachten wir folgendes Experiment.

Experiment zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Versuchsaufbau

Eine Luftkissenbahn ist bezüglich der Horizontalen geneigt (**Bild 1**). Aufgrund dieser Neigung wird ein Gleiter, der sich auf dieser Luftkissenbahn abwärts bewegt, beschleunigt.

Auf der Bahn sind im Abstand von jeweils 20 cm Lichtschranken angebracht, die mit elektronischen Stoppuhren verbunden sind. Mit dem Start des Gleiters beginnen alle Stoppuhren zu laufen. Passiert der Gleiter die Lichtschranken, stoppen die zugehörigen Uhren.

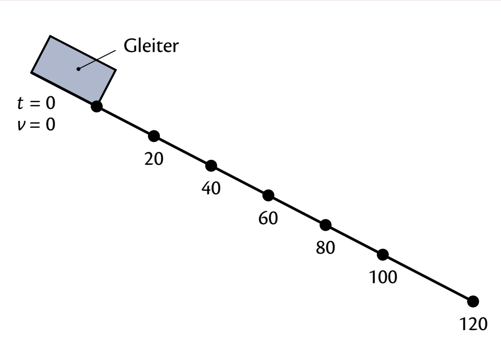

Bild 1: Geneigte Luftkissenbahn

Versuchsdurchführung
Es wird ein Gleiter mit dem vorderen Ende an die Startmarkierung gesetzt und losgelassen. Durch die Neigung der Luftkissenbahn wird der Gleiter in Bewegung versetzt. Damit beginnen alle elektronischen Stoppuhren zu laufen. Der Gleiter passiert nach und nach die einzelnen Lichtschranken, die dabei stoppen. Die Messung endet, wenn der Gleiter die letzte Lichtschranke durchquert hat.

Versuchsauswertung
Die Messwerte sind in **Tabelle 1** zusammengestellt. Δs steht für den zurückgelegten Weg des Gleiters und Δt für die dafür benötigte Zeit.

Tabelle 1: Messwerte zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung

	0	1	2	3	4
Δs [m]	0	0,20	0,40	0,60	0,80
Δt [s]	0	1,88	2,63	3,25	3,78

	5	6			
Δs [m]	1,0	1,2			
Δt [s]	4,21	2,63			

Trägt man die Messwerte in ein Zeit-Ort-Diagramm ein, so erhält man einen Parabelast (**Bild 1**).

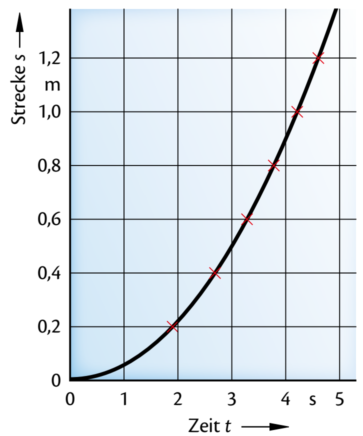

Bild 1: Zeit-Ort-Diagramm

Dem Zeit-Ort-Diagramm kann entnommen werden, dass der Gleiter im gleichen Zeitintervall $\Delta t = 1{,}0$ s eine umso längere Wegstrecke zurückgelegt hat, je länger die Bewegung dauert (**Bild 2**). Wenn im gleichen Zeitintervall eine größere Wegstrecke zurückgelegt wird, dann nimmt die Geschwindigkeit des Gleiters zu. Die Änderung einer Geschwindigkeit wird in der Physik als Beschleunigung bezeichnet.

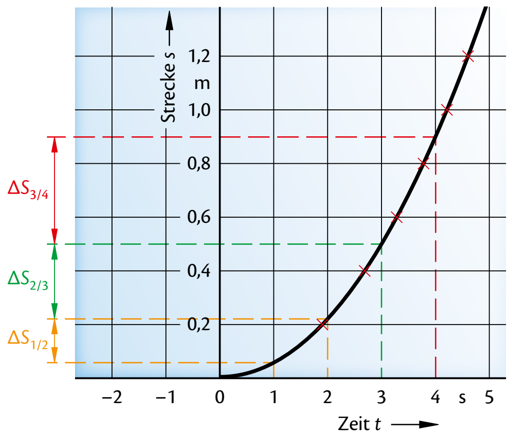

Bild 2: Zunahme der zurückgelegten Wegstrecke pro Sekunde

Folgerung 1 aus dem Experiment
Bei einer beschleunigten Bewegung nimmt die Geschwindigkeit eines Körpers und somit die pro Zeitintervall zurückgelegte Wegstrecke des Körpers zu.

Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit
Aus dem Zeit-Ort-Diagramm kann nicht nur qualitativ gefolgert werden, dass die Geschwindigkeit des Gleiters zunimmt, sondern man kann die Geschwindigkeit und die Geschwindigkeitszunahme des Gleiters auch quantitativ ermitteln.
Da sich die Geschwindigkeit mit der Zeit ändert, muss man bei einer beschleunigten Bewegung zwischen der Durchschnittsgeschwindigkeit in einem Zeitintervall Δt und der Momentangeschwindigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt t unterscheiden.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit des Gleiters zwischen zwei Zeitpunkten t_1 und t_2 wird mithilfe einer Geraden (Sekante) ermittelt. Die Steigung der Sekante entspricht der durchschnittlichen Geschwindigkeit des Gleiters im untersuchten Zeitintervall. Betrachten wir beispielsweise die Zeitpunkte $t_1 = 1{,}0$ s und $t_2 = 4{,}0$ s sowie die zugehörigen Orte $s_1(1{,}0 \text{ s}) = 0{,}055$ m und $s_2(4{,}0 \text{ s}) = 0{,}90$ m. Die Gerade durch diese Messpunkte ist in **Bild 1** auf Seite 16 zu sehen.

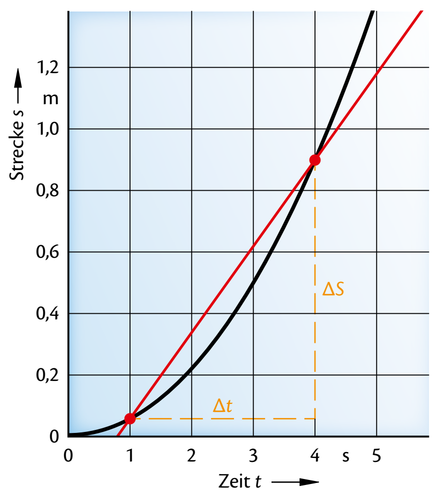

Bild 1: Sekante an den Stellen t_1 = 1,0 und t_2 = 4,0 s

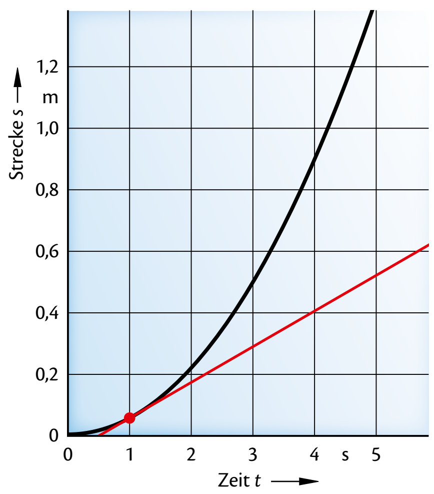

Bild 2: Tangente an der Stelle t = 1,0 s

Die Steigung der Sekante und somit die Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v}$ des Gleiters zwischen t_1 = 1,0 s und t_2 = 4,0 s beträgt 0,28 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, wie man folgender Rechnung entnehmen kann:

$$m_s = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0{,}90\text{ m} - 0{,}055\text{ m}}{4{,}0\text{ s} - 1{,}0\text{ s}} = 0{,}28\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rightarrow \bar{v} = 0{,}28\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Folgerung 2 aus dem Experiment
Die Steigung der Sekante durch zwei Kurvenpunkte im Zeit-Ort-Diagramm entspricht der Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v}$ (mittlere Geschwindigkeit) im betrachteten Zeitintervall Δt.

Wählt man das betrachtete Zeitintervall Δt sehr klein, dann nähert sich die Durchschnittsgeschwindigkeit der tatsächlichen Geschwindigkeit (Momentangeschwindigkeit) des Gleiters an. Macht man gedanklich das Zeitintervall Δt unendlich klein, dann wird aus der Sekante eine Tangente (**Bild 2**). Die Steigung der Tangente entspricht dann der tatsächlichen Momentangeschwindigkeit des Gleiters.

Folgerung 3 aus dem Experiment
Die Steigung der Tangente an einem Kurvenpunkt im Zeit-Ort-Diagramm entspricht der Momentangeschwindigkeit (tatsächlichen Geschwindigkeit) des Körpers zum betrachteten Zeitpunkt t.

(1) Wie man die Steigung einer Tangente an einem Graphen berechnet, ist Lehrstoff des nächsten Schuljahres. Daher wird an dieser Stelle auf die Berechnung der Steigung der Tangente und der Momentangeschwindigkeit verzichtet.

(2) Bei der gleichförmigen Bewegung ist eine Unterscheidung von Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit nicht zwingend notwendig, da die Geschwindigkeit konstant ist. Somit sind in diesem Fall die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Momentangeschwindigkeit gleich.

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Gegeben sind die Messreihen zweier Versuche zu Bewegungsvorgängen.

Versuch 1:

***t* [s]**	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
***s* [m]**	0	5,9	12,1	17,8	23,9	29,1	36,0	42,1

Versuch 2:

***t* [s]**	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
***s* [m]**	0	0,63	2,50	5,60	9,90	15,65	22,49	30,62

a) Zeichnen Sie für beide Versuche ein Zeit-Weg-Diagramm.

b) Begründen Sie, weshalb es sich beim ersten Versuch um eine gleichförmige Bewegung handelt, während es sich beim zweiten Versuch um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt.

c) Bestimmen Sie rechnerisch die mittlere Geschwindigkeit des Bewegungsvorgangs von Versuch 2 zwischen t_1 = 0,5 s und t_2 = 2,5 s. Überprüfen Sie Ihr Ergebnis grafisch.

d) Ermitteln Sie grafisch die tatsächliche Geschwindigkeit des Körpers bei Versuch 2 zum Zeitpunkt t = 2,0 s.

1.4 Kräfte an Körpern

Eine der wichtigsten physikalischen Größe für das alltägliche Leben ist die Kraft, da auf alle Personen und Gegenstände stets Kräfte wirken. Ohne Kräfte sähe unser Alltag sehr anders aus. Läuft man beispielsweise auf einer Baustelle über ein Brett, dann biegt sich dieses Brett mehr oder weniger stark durch (**Bild 1**). Augenscheinlich übt man eine Kraft auf das Brett aus, die zur Folge hat, dass sich das Brett verformt. 2013 brach in Bangladesch eine Textilfabrik, also ein ganzes Gebäude, scheinbar ohne Grund in sich zusammen. Offensichtlich müssen die tragenden Elemente eines Bauwerks Kräfte aufnehmen. Sind die Kräfte zu groß oder die tragenden Elemente geschwächt, treten ungewollte Schäden am Bauwerk auf.

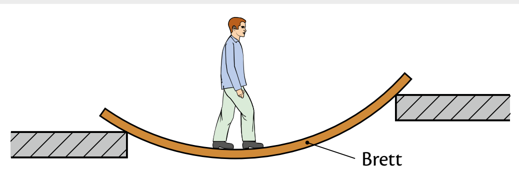

Bild 1: Durchgebogenes Brett

In diesem Kapitel werden Kräfte näher untersucht. Insbesondere wird die Wirkung von Kräften auf Körper beschrieben.

1.4.1 Wirkung von Kräften auf Körpern

Eine Kraft an sich ist nicht sichtbar. Vielmehr kann die Existenz von Kräften lediglich an ihrer Wirkung erkannt werden. Man unterscheidet zwischen der statischen und dynamischen Wirkung von Kräften:

1. **Statische Wirkung**
   Wirkt eine Kraft auf einen nicht beweglichen Körper, dann ändert die Kraft die Form und Gestalt dieses Körpers. Eine Kraft kann also Körper verformen.

2. **Dynamische Wirkung**
   Wirkt eine Kraft auf einen beweglichen Körper, dann ändert sich der Betrag und/oder die Richtung der Geschwindigkeit des Körpers. Eine Kraft kann damit einen Körper beschleunigen.

In der Realität können die beiden Wirkungen von Kräften nicht strikt getrennt werden. Häufig treten sie gemeinsam auf. Betrachtet man beispielsweise einen Auffahrunfall. Die dabei wirkenden Kräfte verursachen eine Verformung der beiden Fahrzeuge. Außerdem werden die beteiligten Fahrzeuge bzw. ihre Insassen durch die wirkenden Kräfte positiv oder negativ beschleunigt (negativ beschleunigt bedeutet abgebremst), was häufig zu einem Schleudertrauma führt.

1.4.2 Die Gewichtskraft

Die Wirkung der Gewichtskraft ist allgemein bekannt. Sie ist verantwortlich dafür, dass alle Körper auf der Erde Richtung Erdmittelpunkt beschleunigt werden. Die Gewichtskraft ist somit ein Maß dafür, wie stark Körper in Richtung des Erdmittelpunktes gezogen werden. Aus dem Alltag ist bekannt, dass die Gewichtskraft eines Körpers von dessen Masse abhängig ist. So erfordert es mehr Kraft, um eine Hantel mit der Masse m = 17 kg anzuheben als eine Hantel mit der Masse m = 11 kg.

Gewichtskraft eines Körpers
Die Gewichtskraft gibt an, wie stark ein Körper in Richtung Erdmittelpunkt gezogen wird. Die Gewichtskraft ist von der Masse des Körpers abhängig.

Masse und Gewichtskraft

Im folgenden Experiment wird der Zusammenhang zwischen der Masse eines Körpers und seiner Gewichtskraft ermittelt.

Experiment zur Gewichtskraft
Mithilfe einer Federwaage (**Bild 1**) wird die Gewichtskraft von Metallplatten ermittelt, die eine Masse von 0,10 kg, 0,20 kg, 0,30 kg, 0,35 kg und 0,40 kg haben.

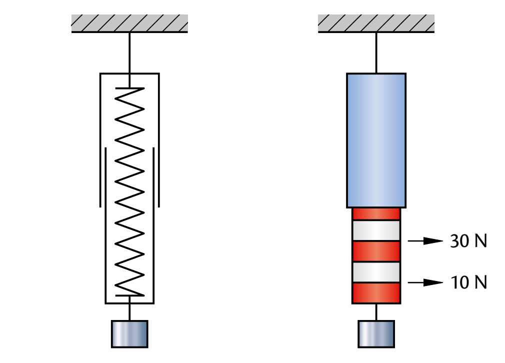

Bild 1: Federwaage

Versuchsauswertung
Die gemessenen Gewichtskräfte der Metallplatten und die zugehörigen Massen sind der **Tabelle 1** zu entnehmen.

Tabelle 1: Messwerte zur Gewichtskraft

	0	1	2	3	4
m [kg]	0,10	0,20	0,30	0,35	0,40
F_G [N]	0,98	2,0	2,9	3,4	3,9

Trägt man die Messwerte in ein Diagramm ein (**Bild 2**), so erkennt man, dass die einzelnen Messpunkte näherungsweise auf einer Ursprungshalbgeraden liegen.

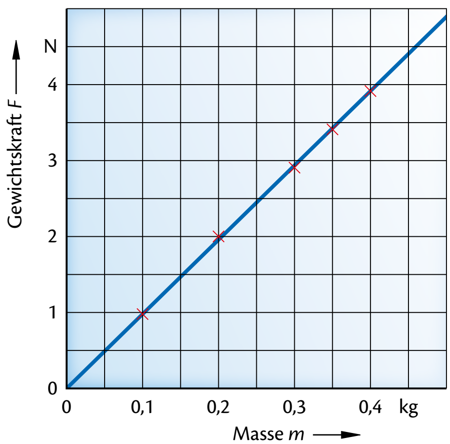

Bild 2: Grafische Darstellung der Messpunkte

Da die Messpunkte auf einer Ursprungshalbgeraden liegen, folgt: Die Gewichtskraft F_G und die Masse m sind direkt proportional zueinander.

$$F_G \sim m$$
$$\rightarrow \frac{F_G}{m} = k \wedge k = \text{konst.}$$
$$\rightarrow F_G = m \cdot k \wedge k = \text{konst.}$$

Die Proportionalitätskonstante k wird in diesem Fall als Ortsfaktor oder Fallbeschleunigung bezeichnet und mit g abgekürzt.

Masse, Gewichtskraft und Ortsfaktor
Die Gewichtskraft F_G eines Körpers mit der Masse m lässt sich mit der folgenden Formel berechnen:
$F_G = m \cdot g$

Der Ortsfaktor im vorliegenden Experiment beträgt $9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$, wie aus der **Tabelle 2** und der anschließenden Rechnung zu entnehmen ist.

Tabelle 2: Auswertung der Messwerte

	0	1	2	3	4
m [kg]	0,10	0,20	0,30	0,35	0,40
F_G [N]	0,98	2,0	2,9	3,4	3,9
$g\ \left[\frac{\text{N}}{\text{kg}}\right]$	9,8	10	9,7	9,7	9,8

Der Durchschnittswert für g in diesem Versuch beträgt:

$$\bar{g} = \frac{9{,}8 + 10 + 9{,}7 + 9{,}7 + 9{,}8}{5} \cdot \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

(1) Die Größe des Ortsfaktors g ist von Ort zu Ort unterschiedlich. In Mitteleuropa beträgt g näherungsweise $g = 9{,}81\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Am Äquator gilt für g etwa $g = 9{,}78\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

(2) Die Standardeinheit einer Kraft ist Newton (N). 1 N ist das gleiche wie $1\ \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Somit ist es möglich, durch Umrechnung der Einheiten den Ortsfaktor g auch in der Einheit $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ anzugeben.

$$1\ \text{N} = 1\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \qquad 1\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Unterschied zwischen Masse und Gewichtskraft
Wir haben bereits festgestellt, dass die Gewichtskraft und die Masse unterschiedliche physikalische Größen sind. In **Tabelle 1** sind die wesentlichen Unterschiede nochmals zusammengefasst.

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Masse und Gewichtskraft

Masse	Gewichtskraft
Die Masse eines Körpers ist unabhängig vom Ort stets gleich.	Die Gewichtskraft eines Körpers ist von Ort zu Ort unterschiedlich.
Die Ermittlung der Größe einer Masse erfolgt durch Vergleich mit Massen, deren Größe bekannt ist, beispielsweise mit einer Balkenwaage.	Die Ermittlung der Größe des Betrags einer Gewichtskraft erfolgt durch Kraftmessung, beispielsweise mit einer Federwaage.
$[m] = 1\,\text{kg}$	$[F_G] = 1\,\text{N}$

Gewichtskraft

1. Ein Goldbarren besitzt eine Masse von $m = 200\,\text{g}$. Berechnen Sie die Gewichtskraft des Barrens in Mitteleuropa und am Äquator.
2. Das Mondfahrzeug der Apollo-15-Mission hat eine Masse von 210 kg. Der Ortsfaktor g auf dem Mond beträgt etwa $\frac{1}{6}$ des Ortsfaktors in Europa. Berechnen Sie die Gewichtskraft des Mondfahrzeugs auf dem Mond.
3. Ein ungefülltes Aquarium hat eine Masse von 80 kg. Berechnen Sie, wie viel Liter Wasser in das Aquarium gefüllt werden können, wenn das mit Wasser gefüllte Aquarium maximal eine Gewichtskraft von 2,0 kN haben soll. Rechnen Sie mit dem Ortsfaktor $g = 9{,}81\,\frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
4. Bei Aufräumarbeiten findet die Familie Thüler eine Rolle aufgewickelten Kupferdrahts mit einem Durchmesser von 2,0 mm. Der aufgewickelte Kupferdraht hat eine Gewichtskraft von $F_G = 0{,}90\,\text{N}$. Berechnen Sie die Länge des Kupferdrahts, ohne ihn abwickeln zu müssen. Rechnen Sie mit einem Ortsfaktor $g = 9{,}81\,\frac{\text{N}}{\text{kg}}$, die Dichte von Kupfer ist $\varrho_{Cu} = 8{,}9\,\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$.

1.4.3 Die Kraft als gerichtete Größe

Damit das Wirken einer Kraft eindeutig beschrieben werden kann, ist es nicht ausreichend, nur die Größe der Kraft zu nennen. Vielmehr ist es notwendig, zusätzlich die Richtung anzugeben, in der die Kraft wirkt. Kräfte gehören somit zu den gerichteten (vektoriellen) Größen, also zu den physikalischen Größen, die durch die Angabe ihrer Größe und ihre Wirkrichtung beschrieben werden.

Kraft als gerichtete Größe
Zur Angabe einer Kraft sind ihre Größe und ihre Wirkrichtung notwendig.

Die Kraft ist eine gerichtete (vektorielle) Größe. Aus diesem Grund schreibt man über den Formelbuchstaben F einen Vektorpfeil ($\vec{F}$) und Betragsstriche $|\vec{F}|$, wenn die Größe der Kraft betrachtet werden soll. Auf diese beiden formal korrekten Schreibweisen soll hier verzichtet werden. Vielmehr wird an dieser Stelle vereinbart, dass mit der Kraft F stets die Größe der Kraft F gemeint ist.

Darstellung von Kräften
Kräfte werden grafisch meist als Pfeile dargestellt. Dabei entspricht die Länge des Pfeils der Größe der Kräfte, die man häufig auch den Betrag der Kraft nennt. Die Richtung des Pfeils entspricht der Wirkrichtung der Kraft. In **Bild 1** ist eine Kraft zu sehen, die unter einen Winkel von 45° auf einen Körper wirkt und deren Betrag 300 N ist. In der Zeichnung wird der Maßstab 1 cm ≙ 100 N verwendet. Somit ist die Länge des Kraftpfeils hier 3 cm.

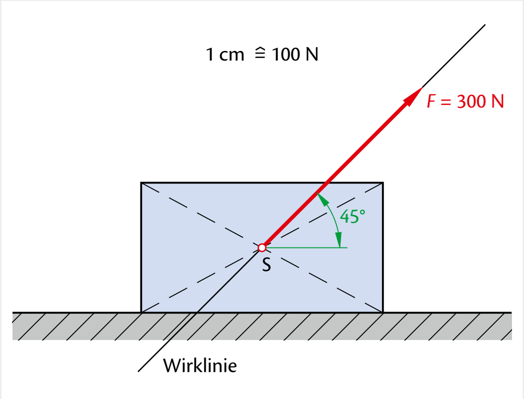

Bild 1: Darstellung einer Kraft als Pfeil

Grafische Darstellung von Kräften
Kräfte werden als Pfeile graphisch dargestellt.
Die Pfeillänge gibt den Betrag der Kraft an.
Die Pfeilrichtung gibt die Wirkrichtung der Kraft an.

Wenn nur die Kraft *F* und ansonsten keine weitere Kraft auf den Körper wirkt, dann bewegt sich der Schwerpunkt des Körpers entlang der Wirklinie nach rechts oben.

Zerlegung von Kräften

Um die Wirkung von Kräften auf Körper detaillierter beschreiben zu können, werden schräg wirkende Kräfte *F* häufig in eine vertikal wirkende und eine horizontal wirkende Kraft zerlegt (**Bild 1**).

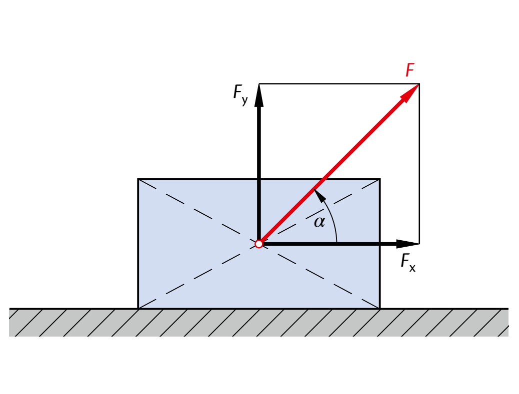

Bild 1: Zerlegung einer Kraft

Die horizontal wirkende Kraft wird häufig mit F_x bezeichnet. Sie verursacht eine horizontale Verschiebung des Körpers. Die vertikal wirkende Kraft wird F_y abgekürzt. Sie verschiebt den Körper vertikal. Beide Kräfte F_x und F_y haben zusammen die gleiche Wirkung auf den Körper wie die Kraft *F*. Die Kräfte F_x und F_y werden in der Technik häufig als *Kraftkomponenten* der Kraft *F* bezeichnet.

Zerlegung von Kräften
Eine Kraft *F* kann in zwei unterschiedlich orientierte Teilkräfte zerlegt werden. Zusammen haben die Teilkräfte die gleiche Wirkung auf den Körper wie die Kraft *F*.

Kräfte können sowohl zeichnerisch als auch rechnerisch in Teilkräfte zerlegt werden. Wie dabei vorzugehen ist, wird in den folgenden Abschnitten erläutert. Zuerst wird beschrieben, wie man zeichnerisch eine Kraft in Teilkräfte aufteilt. Anschließend wird auf die rechnerische Variante eingegangen.

Zeichnerische Zerlegung von Kräften

In **Tabelle 1** ist eine systematische Vorgehensweise beschrieben, mit der eine vorgegebene Kraft *F* in zwei Teilkräfte zerlegt wird, die beliebig orientiert sein können.

Tabelle 1: Anleitung zum zeichnerischen Zerlegen einer Kraft in Teilkräfte

Schritt	Anweisung
1.	Antragen der beiden vorgegebenen Wirklinien durch den Fußpunkt des gegebenen Kraftpfeils.
2.	Die beiden Wirklinien parallel durch die Spitze des Kraftpfeils verschieben. Dabei entsteht ein Parallelogramm.
3.	Die Seiten des Parallelogramms entsprechen den gesuchten Teilkräften.
4.	Über die Länge der einzelnen Kraftpfeile kann mithilfe des Dreisatzes auf die Beträge (Stärke) der Teilkräfte geschlossen werden.

In der folgenden Beispielaufgabe wird eine Kraft gemäß dieser Anleitung zerlegt.

Gegeben ist eine Kraft F = 50 N, die unter einem Winkel von $\varphi = 30°$ zur Horizontalen wirkt (**Bild 2**).

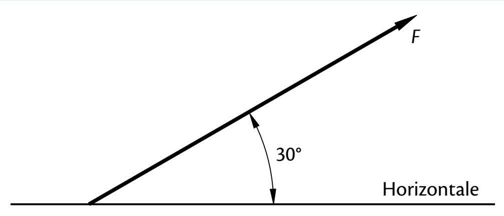

Bild 2: Gegebener Kraftpfeil

Zerlegen Sie diese Kraft *F* in zwei Teilkräfte F_1 und F_2, deren Wirklinien um $\alpha_1 = 10°$ und $\alpha_2 = 110°$ zur Horizontalen geneigt sind.

Lösung:
① Gemäß Anleitung zur Kraftzerlegung aus **Tabelle 1** werden zwei Linien im Winkel von 10° und 110° bezüglich der Horizontalen durch den Fußpunkt des Kraftpfeils gezeichnet (**Bild 1** auf Seite 21).