1 Messen: Längen

Stell Dir vor, Du und Deine Freunde sind auf einer einsamen Insel gestrandet. Ihr wollt Euch eine Unterkunft bauen oder vielleicht sogar ein Floß oder Boot um von der Insel zu entkommen. Dazu teilt Ihr Euch auf. Manche bauen, während andere das passende Holz zuschneiden. Aber wie kann die eine Gruppe der anderen Gruppe klar machen, wie lang die Baumstämme sein müssen, die sie zuschneiden sollen? Ein Lineal, ein Maßband oder einen Faltgliedermaßstab (Zollstock) habt Ihr nicht auf die Insel retten können.

Um eine **Größe** anzugeben brauchen wir eine Vergleichsgröße, die sogenannte **Einheit**. Früher wurden als Längeneinheiten oft Körpermaße verwendet. Die gebräuchlichsten findest Du in der folgenden Tabelle.

A 1.1. Ermittle Werte für gebräuchliche Einheiten aus Deiner Körpergröße.

a) Bestimme die Länge der folgenden Maße deines Körpers und trage sie in die Tabelle ein.
b) Überlege ein Verfahren, wie Du Deine durchschnittliche Schrittlänge bestimmen kannst.

Einheit	Beschreibung	Deine Messung
Fingerbreite	Breite des Zeigefingers	
Zoll	Daumenbreite	
Hand(breit)	Breite der Hand	
Fuß	Fußlänge	
kleine Spanne	Abstand zwischen gespreizter Daumen- und Mittelfingerspitze	
große Spanne	Abstand zwischen gespreizter Daumen- und kleiner Fingerspitze	
Elle	Abstand zwischen Ellbogen und Mittelfingerspitze	
Schritt	Normale Schrittlänge	
Doppelschritt	Doppelte Schrittlänge	
Klafter	Abstand zwischen den Mittelfingerspitzen bei ausgestreckten Armen	
	Abstand zwischen Füßen und Scheitel	
	Abstand zwischen Füßen und den nach oben gestreckten Mittelfingerspitzen	

1.1 Das Meter

Die Länge ist eine sogenannte **Basisgröße** und das Meter die dazugehörige **Basiseinheit**. 1793 legte der französische Nationalkonvent als Längeneinheit das Meter fest, dass sich auf die Größe der Erde bezog. Sie definierten, dass ein Meter der 10 Millionste Teil der Strecke vom Pol zum Äquator, die durch Paris geht, ist. Um den Umgang mit der Einheit zu erleichtern, wurde ein Prototyp – das Urmeter – angefertigt, der im Laufe der Jahre verbessert wurde. Seit 1872 wurde das Meter auch die offizielle Längeneinheit im Deutschen Reich.

Da ein solcher Prototyp vergänglich ist, hat man 1983 das Meter über die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum festgelegt. So legt das Licht in einer Sekunde die Strecke von 299 792 458 m zurück.

Die **Grundeinheit** der Länge ist auch das Meter. Manchmal ist das Meter für Größenangaben aber zu groß oder zu klein. Dann werden Variationen der Einheit durch Verwendung von Größenvorsilben benutzt. Sicherlich sind Dir Kilometer, Zentimeter und Millimeter ein Begriff. Die Vorsilben findest Du in Tabelle 1.1 Links.

A 1.2. Lerne die Größenvorsilben auswendig.

A 1.3. Gebe an, wieviele Meter einen Megameter bzw. einem Gigameter entsprechen.

A 1.4. Gebe an, wieviele Mikrometer bzw. Millimeter man für eine Länge von einem Meter braucht.

1.2 Abgeleitete Einheiten: Quadrat- und Kubikmeter

Von der Basisgröße Länge können direkt die Größen **Fläche** und **Volumen** abgeleitet werden. Die dazu passenden Grundgrößen sind Quadratmeter (m^2) und Kubikmeter (m^3). Da sie ebenfalls vom Meter abgeleitet werden, bezeichnet man sie auch als abgeleitete Größen.

A 1.5. Beschreibe die Flächen ein Ar und ein Hektar durch ein Quadrat.

A 1.6. Beschreibe die Volumen ein Liter und ein Milliliter durch einen Würfel.

Pico	d	$\frac{1}{1\,000\,000\,000\,000}$
Nano	n	$\frac{1}{1\,000\,000\,000}$
Mikro	μ	$\frac{1}{1\,000\,000}$
Milli	m	$\frac{1}{1\,000}$
Zenti	c	$\frac{1}{100}$
Dezi	d	$\frac{1}{10}$
		1
Deka	D	10
Hekto	H	100
Kilo	K	1 000
Mega	M	1 000 000
Giga	G	1 000 000 000
Tera	T	1 000 000 000 000

Ar	1 a	$100\,m^2$
Hektar	1 ha	$10\,000\,m^2$
Liter	1 l	$1\,dm^3 = 1\,000\,cm^3$
Milliliter	1 ml	$1\,cm^3$

Tabelle 1.1: Größenvorsilben (links) und besondere Einheiten (rechts)

2 Spezifische Masse und spezifisches Volumen

Was ist schwerer: ein Kilogramm Eisen oder ein Kilogramm Federn? Natürlich muß die Antwort hier lauten: Beides ist gleich schwer!

Die Antwort ist nicht weiter verwunderlich, da hier die Menge an Eisen oder Federn in einer Einheit der Masse angegeben worden ist. Und die Masse ist nun mal mitverantwortlich für die Schwere eines Körpers.

Wie lautet aber nun die Antwort auf folgende Frage? Was ist schwerer: Eisen oder Federn? Natürlich werden alle aufschreien und sagen: Natürlich das Eisen. Wie kommt das? Die meisten stellen sich dabei vor, daß Eisen und Federn gleich große Körper besitzen, wenn sie gewogen werden.

Experiment 1. Zusammenhang zwischen Masse und Volumen

Material: Elektronische Küchenwaage, Standzylinder, Becherglas, Wasser

Durchführung: Führe den Versuch zügig aus, da bei längerem Stillstand sich die Waage automatisch abschaltet.

1. Lege eine Tabelle mit vier Spalten an. Trage in die erste Spalte das Volumen in Milliliter und in die zweite Spalte die Masse in Gramm ein.

Volumen V [ml]	Masse m [g]		
0	0		
...	...	...	...

2. Fülle das Becherglas mit Wasser. Schalte die Waage an. Stelle den Standzylinder auf die Waage und betätige die Tara-Taste. Die Anzeige der Waage sollte nun auf Null stehen.
3. Fülle nun in 10 ml-Schritten Wasser in den Standzylinder und notiere die Masse. Falls Du mal etwas zu viel Wasser in den Standzylinder gibst, ist das nicht schlimm. Anstatt z.B. 20 ml musst Du dann die tatsächlich eingefüllten 22 ml in der Tabelle notieren.

Auswertung:

1. Zeichne ein Koordinatensystem für Deine Messungen. Dabei trägst Du auf der X-Achse (waagerecht) das Volumen und auf der Y-Achse (senkrecht) die Masse auf. Die beiden Achsen werden mit den Namen der Größen und der verwendeten Einheiten beschriftet. An der X-Achse steht “`V [ml]`” und an der Y-Achse “`m [g]`”. Dieses Diagramm bezeichnet man als Masse-von-Volumen-Diagramm bzw. m(V)-Diagramm (m von V Diagramm). Trage nun alle Deine Messungen in das Diagramm ein. Vergiss dabei nicht den Nullpunkt. Beschreibe den Verlauf Deiner Messpunkte. Versuche eine Gerade durch die Messpunkte zu legen. Durch welchen Punkt muss die Gerade auf jeden Fall gehen.
2. Berechne für jede Messung den Quotienten aus Masse und Volumen $\frac{m}{V}$ und trage ihn in die dritte Spalte ein. Wähle einen sinnvollen Spaltentitel und vergleiche die Quotienten miteinander.
3. Berechne auch für jede Messung den Quotienten aus Volumen und Masse $\frac{V}{m}$ und trage ihn in die vierte Spalte ein. Wähle wieder einen sinnvollen Spaltentitel und vergleiche auch diese Quotienten miteinander.

Die Masse ist ________________________ zum Volumen. $m \sim V$

Der Quotient aus Masse und Volumen ist _________________ . $\frac{m}{V} = \text{const.}$

Diesen Quotienten bezeichnet man auch als ______________________ Masse.

Der Quotient aus Volumen und Masse ist _________________ . $\frac{V}{m} = \text{const.}$

Diesen Quotienten bezeichnet man auch als ________________________ Volumen.

Der Graph des $m(V)$-Diagramms ist eine _____________ . $y = m \cdot x$

Verdoppelt man das Volumen dann ____________________ sich die Masse.

3 Dichte

Wenn wir gleich große Körper von verschiedenen Materialien wiegen, dann können wir auch bestimmen welches Material an sich schwerer ist. Die Masse eines Körpers geteilt durch sein Volumen ergibt eine für den Stoff des Körpers typische physikalische Größe. Diese wird als **spezifische Masse** oder als **Dichte** ϱ[1] bezeichnet.

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} \tag{3.1}$$

$$\varrho = \frac{m}{V} \tag{3.2}$$

Die Einheit der Dichte ergibt sich aus den Einheiten der Masse und des Volumens. Hast Du die Masse in kg und das Volumen in m^3 gemessen, dann ergibt sich für die Einheit der Dichte $[\varrho] = 1\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$. Sinnvoller sind aber andere Einheiten.

$$[\varrho] = 1\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3} = 1\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3} = 1\,\frac{\mathrm{t}}{\mathrm{m}^3} \tag{3.3}$$

Übrigens hat Wasser ca. die Dichte von $1\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3}$, da man sich bei der Festlegung des Urkilogramms an der Masse von einem Liter Wasser orientiert hat.

Experiment 2. Dichtenbestimmung

Material: Waage, Maßstab, Quaderförmige Massenstücke

Durchführung: Messe die Größe und Masse der Probequader. Notiere die Ergebnisse in der Tabelle.

Auswertung: Berechne Oberfläche, Volumen und Dichte der Probequader.

Stoff	Breite	Höhe	Tiefe	Masse	Oberfläche	Volumen	Dichte

Tabelle 3.1: Messergebnisse der Dichtebestimmung

[1] Symbol der Dichte ist der kleine griechische Buchstabe ϱ (rho)

4 Physikalisches Rechnen

“Rechnen! Das ist doch Mathe, ich dachte wir machen Physik.” Eine typische Reaktion, wenn es ums Rechnen in der Physik geht. Physik beschäftigt sich mit der Natur und ihren Gesetzen. In den Klassen 5 und 6 habt ihr in der Physik die Naturgesetze als Phänomene kennengelernt und einfache Regeln formuliert (z.B.: Der Einfallswinkel ist gleich dem Ausfallswinkel). In der Klasse 8 werden unsere Aussagen konkreter. Anstatt qualitativer Aussagen, wie: “Wasser hat eine größere Dichte als Diesel.”, wollen wir nun genaue quantitative Aussagen, wie: “Ein Liter Diesel hat eine Masse von 800 Gramm.”, machen. In diesem Fall brauchen wir dann die Mathematik. Die Mathematik ist ein Hilfsmittel der Physik. Dieses Hilfsmittel muss aber beherrscht werden, da es immer wieder angewendet werden muss, um physikalische Fragen zu klären.

Schauen wir doch mal das folgende Beispiel an.

Ein Klotz mit einem Volumen von $20\,\mathrm{cm}^3$ wiegt $158\,\mathrm{g}$. Bestimme das Material, aus dem der Klotz besteht.

Das Material, aus dem ein Körper besteht, kann man unter anderem über seine Dichte eingrenzen. In Tabelle 4.1 findest Du eine Auswahl von Stoffen mit ihren Dichten. Wir sollten also die Dichte des Klotzes bestimmen.

Erläuterungen	**Schritt**	**Geschrieben**
Als erstes notieren wir die gesuchte Größe.	**Gesucht**	Dichte $\varrho = ?$
Jetzt schauen wir in die Aufgabe und sammeln weitere Informationen. Die Größen Volumen und Masse sind noch gegeben.	**Gegeben**	Volumen $V = 20\,\mathrm{cm}^3$ Masse $m = 158\,\mathrm{g}$
Für die Dichte haben wir eine Formel kennengelernt. Die notieren wir jetzt ebenfalls. Die Formel passt, denn sie liefert die Dichte ρ indem der Quotient aus Masse m und dem Volumen V gebildet wird.	**Formel**	$\varrho = \frac{m}{V}$
Starten wir also die Rechnung.	**Rechnung**	
Aus dem Abschnitt *Gegeben* kennen wir die Masse und das Volumen: $m = 158\,\mathrm{g}$ und $V = 20\,\mathrm{cm}^3$. Wir setzen in die Formel ein.	*Einsetzen*	$\varrho = \frac{m}{V} = \frac{158\,\mathrm{g}}{20\,\mathrm{cm}^3}$
Wir teilen jetzt in Beträge und in Einheiten auf und berechnen das Ergebnis.	*Berechnen*	$= \frac{158}{20} \cdot \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3} = 7{,}9\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$
Als letztes fehlt noch der Antwortsatz	**Antwort**	Die Dichte beträgt $7{,}9\,\mathrm{g/cm}^3$.

Am Schluss schauen wir in die Tabelle mit den Dichtewerten und sehen dort, dass der Klotz vermutlich aus Eisen besteht.

Stoff	ϱ [g/cm^3]	Stoff	ϱ [g/cm^3]	Stoff	ϱ [g/cm^3]
Diesel	0,8	Wasser	1,0	Spiritus	0,8
Quecksilber	13,5	Aluminium	2,7	Beton	2,3
Blei	11,3	Eis (bei 0°C)	0,9	Eisen	7,9
Gold	19,3	Holz (Eiche)	0,9	Kork	0,3
Kupfer	9,0	Holz (Fichte)	0,5	Stahl	7,8
Glas	2,5	Silber	10,5	Zinn	7,3

Tabelle 4.1: Dichten bei 25°C

A 4.1. Ein Barren mit einem Volumen von 100 cm^3 wiegt 1130 g. Bestimme das Material des Barrens.

Um das Material des Barrens zu bestimmen, brauchst Du wieder die Dichte. Löse die Aufgabe nach dem vorgegebenen Schema.

Erläuterungen	Schritt	Geschrieben
Als erstes notieren wir die gesuchte Größe.	**Gesucht**	Dichte $\varrho = ?$
Jetzt schauen wir in die Aufgabe und sammeln weitere Informationen.	**Gegeben**	Volumen $V =$ Masse $m =$
Für die Dichte haben wir eine Formel kennengelernt. Die notieren wir jetzt ebenfalls.	**Formel**	$\varrho = \frac{m}{V}$
Starten wir also die Rechnung.	**Rechnung**	
Wir setzen als erstes in die Formel ein. Aus dem Abschnitt *Gegeben* wissen wir Werte für Masse und Volumen: $m =$ und $V =$.	*Einsetzen*	$\varrho = \frac{m}{V} = \frac{\quad}{\quad}$
Wir teilen die Werte in Beträge und Einheiten auf und berechnen.	*Berechnen*	$= \frac{\quad}{\quad} \cdot \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}$
Als letztes fehlt noch der Antwortsatz	**Antwort**	Die Dichte des Barrens beträgt

Jetzt noch schnell in der Tabelle nachgeschaut: Der Barren besteht wahrscheinlich aus .

A 4.2. Eine Kugel mit einem Volumen von 500 cm^3 wiegt 250 g. Bestimme das Material der Kugel.

Um das Material des Barrens zu bestimmen, brauchst Du wieder die Dichte. Löse die Aufgabe nach dem vorgegebenen Schema.

Gesucht Dichte $\varrho = ?$

Gegeben Volumen $V =$

Masse $m =$

Formel

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

Rechnung

Einsetzen

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

Berechnen

$$= \frac{\quad}{\quad} \cdot \frac{\quad}{\quad} =$$

Antwort Die Dichte der Kugel beträgt

Die Kugel besteht wahrscheinlich aus .

A 4.3. Ein massiver Wanderpokal mit einem Volumen von 1000 cm^3 wiegt 2500 g. Bestimme das Material, aus dem der Pokal gefertigt wurde.

Löse die Aufgabe nach dem bis jetzt geübtem Schema im Heft.

4.1 Wenn es um die Masse geht

Beispiel 4.1. Entgegen aller Sicherheitsvorschriften hat Mathias Messie das Quecksilber aus Thermometern und anderen technischen Geräten gesammelt und eine 1,5 l-Brause-Flasche vollständig damit gefüllt. Bestimme die Masse des gesammelten Quecksilbers.

Erläuterungen	Schritt	Geschrieben
Als erstes notieren wir die gesuchte Größe.	**Gesucht**	Masse $m = ?$
Jetzt schauen wir in die Aufgabe und sammeln weitere Informationen. Das Material ist bekannt, also können wir die Dichte aus Tabelle 4.1 bestimmen.	**Gegeben**	Volumen $V = 1{,}5\,\text{l}$ Dichte $\varrho = 13{,}5\,\text{g/cm}^3$ (Tabelle 4.1)
Die Formel für die Dichte kennen wir. Wir müssen sie nur nach der Masse umstellen.	**Formel**	$\varrho = \frac{m}{V} \quad \Rightarrow \quad m = \varrho \cdot V$
Starten wir also die Rechnung. Die Werte bekommen wir aus *Gegeben*: $\varrho = 13{,}5\,\text{g/cm}^3$ und $V = 1{,}5\,\text{l}$. Wir setzen in die Formel ein, trennen in Beträge und Einheiten auf und vereinfachen. Liter und Kubikzentimeter sind beides Volumeneinheiten. Also können wir umrechnen. Es gilt: $1\,\text{l} = 1\,\text{dm}^3 = 1\,000\,\text{cm}^3$ Wir ersetzen die Einheit Liter und können nun kürzen und den Bruch vereinfachen.	**Rechnung**	$\begin{aligned} m &= \varrho \cdot V \\ &= 13{,}5\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 1{,}5\,\text{l} \\ &= 13{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \text{l} \\ &= 20{,}25 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \text{l} \\ &= 20{,}25\,\frac{\text{g}}{\cancel{\text{cm}^3}} \cdot 1\,000\,\cancel{\text{cm}^3} \\ &= 20{,}25 \cdot 1\,000\,\text{g} = 20{,}25\,\text{kg} \end{aligned}$
Als letztes fehlt noch der Antwortsatz	**Antwort**	Mathias Messie hat 20,25 kg Quecksilber gesammelt.

Beispiel 4.2. Herr Steinreich hat ein Teil seines Goldes in einem Blumentopf mit Volumen $V = 10\,\text{l}$ gegossen um es zu verstecken. Gebe begründet an, warum kein Gelegenheitsdieb das Gold stehlen kann.

Was könnten einen Gelegenheitsdieb wohl daran hindern das Gold mitzunehmen? Ein 10 Liter-Eimer ist nicht sehr groß. Aber was ist mit seiner Masse? Schauen wir doch mal.

Gesucht Masse $m = ?$

Gegeben Volumen $V = 10\,\text{l}$; Aus Tabelle 4.1 folgt die Dichte $\varrho = 19{,}3\,\text{g/cm}^3$

Formel

$$\varrho = \frac{m}{V} \quad \Longrightarrow \quad m = \varrho \cdot V$$

Rechnung

$$\begin{aligned} m &= \varrho \cdot V \\ &= 19{,}3\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 10\,\text{l} = 19{,}3 \cdot 10 \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\text{l} \\ &= 193\,\frac{\text{g} \cdot \text{l}}{\text{cm}^3} = 193\,\frac{\text{g} \cdot 1000\,\cancel{\text{cm}^3}}{\cancel{\text{cm}^3}} \\ &= 193 \cdot 1000\,\text{g} = 193\,\text{kg} \end{aligned}$$

Antwort Die Masse von 10 l Gold beträgt 193 kg.

Ein Gelegenheitsdieb ist kaum in der Lage einen zwar sehr kleinen, aber mit 193 kg sehr schweren Topf einfach so mitzunehmen.

A 4.4. Bestimme die Massen.

a) Eine Betonplatte hat ein Volumen von 12,5 l.

b) Ein Aluminiumblock hat ein Volumen von $750\,\text{cm}^3$.

c) In einer Dose sind 0,33 l Wasser.

4.2 Wenn es um das Volumen geht

Beispiel 4.3. Eine normale Standardhaushaltsleitung (NYM $3 \times 1{,}5^2$) der Länge 100 m enthält 4,05 kg Kupfer. Bestimme das Volumen des Kupfers.

Erläuterungen	Schritt	Geschrieben
Als erstes notieren wir die gesuchte Größe.	**Gesucht**	Volumen $V = ?$
Jetzt schauen wir in die Aufgabe und sammeln weitere Informationen. Das Material ist bekannt, also können wir die Dichte aus Tabelle 4.1 bestimmen. Da die Dichte in g/cm³ und die Masse in kg, rechnen wir die Masse gleich in Gramm um.	**Gegeben**	Masse $m = 4{,}05\,\mathrm{kg} = 4\,050\,\mathrm{g}$ Länge $l = 100\,\mathrm{m}$ Dichte $\varrho = 9{,}0\,\mathrm{g/cm^3}$ (Tab. 4.1)
Die Formel für die Dichte kennen wir. Wir müssen sie nur nach dem Volumen umstellen. Für die Formel benötigen wir nur die Dichte und die Masse. Die Kabellänge wird nicht benötigt.	**Formel**	$\varrho = \frac{m}{V} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{m}{\varrho}$
Starten wir also die Rechnung. Die Werte bekommen wir aus *Gegeben*: $\varrho = 9{,}0\,\mathrm{g/cm^3}$ und $[m] = 4\,050\,\mathrm{g}$. Wir teilen wieder die Rechnung in Betrag und Einheiten auf. Dann berechnen wir erst den Betrag in dem wir 4 050 durch 9 teilen und erhalten 450. Die Berechnung der Einheit ist schwieriger, weil wir einen Doppelbruch haben. Mit der der Regel – *Man dividiert, in dem man mit dem Kehrwert multipliziert.* – vereinfachen wir den Bruch. Nun können wir kürzen und vereinfachen.	**Rechnung**	$\begin{aligned} V &= \frac{m}{\varrho} = \frac{4\,050\,\mathrm{g}}{9{,}0\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}} \\ &= \frac{4\,050}{9{,}0} \cdot \frac{\mathrm{g}}{\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}} \\ &= 450 \cdot \frac{\mathrm{g}}{\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}} \\ &= 450 \cdot \mathrm{g} \cdot \frac{\mathrm{cm^3}}{\mathrm{g}} \\ &= 450 \cdot \cancel{\mathrm{g}} \cdot \frac{\mathrm{cm^3}}{\cancel{\mathrm{g}}} \\ &= 450\,\mathrm{cm^3} \end{aligned}$
Als letztes fehlt noch der Antwortsatz	**Antwort**	Die Kupferleitung hat ein Volumen von $450\,\mathrm{cm^3}$.

Beispiel 4.4. In einer Fabrik soll ein Vorrat von 100 kg Silber in einem Tresor gelagert werden. Im Angebot sind ein Tresor mit 12 Liter Lagerraum, einer mit 60 Liter und einer mit 120 Liter. Bestimme, welchen Tresor die Firma mindestens anschaffen muss, um das Silber sicher zu lagern.

Um diese Frage zu beantworten, müssen wir das Volumen des Silbers bestimmen.

Gesucht Volumen $V =$

Gegeben Masse $m = 100\,\mathrm{kg} = 100\,000\,\mathrm{g}$; Aus Tabelle 4.1 folgt die Dichte $\varrho = 10{,}5\,\mathrm{g/cm^3}$

Formel

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

Berechnung

$$V = \frac{m}{\varrho} = \frac{100\,000\,\mathrm{g}}{10{,}5\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}} = \frac{100\,000}{10{,}5} \cdot \frac{\mathrm{g}}{\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}} \approx 9\,500 \cdot \frac{\mathrm{g}}{\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}} = 9\,500\,\cancel{\mathrm{g}} \cdot \frac{\mathrm{cm^3}}{\cancel{\mathrm{g}}} = 9\,500\,\mathrm{cm^3} = 9{,}5\,\mathrm{dm^3} = 9{,}5\,\mathrm{l}$$

Antwort 100 kg Silber nimmt ein Volumen von 9,5 l ein.

Ganz schön wenig. Hättest Du das gedacht? Also würde der 12-Liter-Tresor ausreichen, wenn die Silberbarren die passende Form haben. Der 60-Liter-Tresor reicht auf jeden Fall.

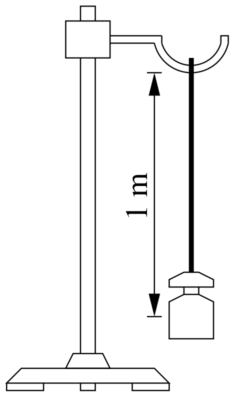
A 4.5. Bestimme die Volumen.

a) Ein Goldbarren mit der Masse 1 t.
b) Ein Eichenbrett mit der Masse 10 kg.
c) Ein Stahlschraube mit der Masse 50 g.

5 Zeitmessung

Experiment 3. Ein Pendel als Zeitmesser

Material: Stativstange, Stativfuß, Haken, Schnur (110 cm), Massestück (50 g)



Aufbau: Bau aus dem Stativfuß, der Stativstange und dem Haken eine Halterung. Binde die Schnur an das Massestück. Befestige dann die Schnur an dem Haken. Dabei soll die Strecke zwischen Haken und der Mitte des Massestücks genau 1 m betragen.

Durchführung: Die Schnur hängt jetzt senkrecht nach unten. Diese Position bezeichnen wir als *Ruhelage*.

Lenke das Massestücke bei gespannter Schnur leicht (ca. 10 cm) aus. Lasse das Massestück los, so dass es vor der Stativstange hin- und her pendelt.

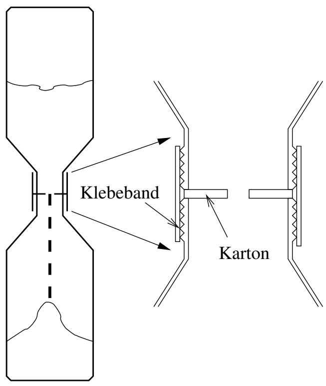
Als eine Pendelzeiteinheit (PZE) bezeichnen wir den Zeitraum zwischen zwei Ruhelagen.

A 5.1. Messe die Zeit zwischen zwei Ruhelage möglichst genau. Beschreibe Deine Vorgehensweise.

A 5.2. Ändere die Fadenlänge so, dass zwischen zwei Ruhelagen möglichst genau eine Sekunde vergeht.

Experiment 4. Eine Sanduhr

Material: Zwei PET-Flaschen (0,5 l), Stück dicker Karton, Klebeband, Sand



Aufbau: Schneide aus dem Stück Karton eine Scheibe aus, die genau auf den Flaschenhals passt. In diese Scheibe schneide ein Loch mit einem Durchmesser von 5 mm.

Fülle eine Flasche bis zum Rand mit feinem Sand. Der Sand sollte eine gleichmäßige Körnung besitzen. Dies kannst Du erreichen, in dem Du den Sand zuerst mit einem gröberen und dann mit einem feineren Sieb bearbeitest.

Lege die Kartonscheibe auf den Flaschenhals und setze die zweite Flasche umgekehrt drauf. Verschließe die Flasche nun mit Klebeband.

Durchführung: Durch Drehen der Sanduhr um 180° wird die Zeitmessung eingeleitet. Der Sand rieselt durch die Öffnung in die untere Flasche. Wenn der komplette Sand durchgelaufen ist, kann durch erneutes Drehen die Zeitmessung wieder gestartet werden.

Kalibrieren: Für genauere Zeitmessungen kannst Du jede Minute eine Strich an der Flasche anbringen, die den Sandstand markiert.

A 5.3. Baue eine Sanduhr, die möglichst genau fünf Minuten lang läuft.

5.1 Zeitmessung mit Filmen und Videos

In jedem Smartphone befindet sich heute mindestens eine Stoppuhr-App. Im Vergleich zu normalen Stoppuhren eignen sich diese aber nicht für sehr genaue Kurzzeitmessungen, da die Bedienung des Touchscreens nicht so intuitiv ist, wie die Knöpfe bei der Stoppuhr. Auch diese ist in ihrer Genauigkeit durch die Reaktionszeit des Stoppenden eingeschränkt. Allerdings gibt es auch beim Smartphone die Möglichkeit kleine Zeiten sehr genau messen zu können. Gemeint ist damit die Video-Funktion der Kamera. Die meisten Kameras machen 30 Bilder pro Sekunde. Es gibt aber auch Kameras, die eine Bildfrequenz f_B von 60, 120 oder sogar 210 fps (eng. frames per second / Bilder pro Sekunde) beherrschen. Filmen wir nun unsere Experiment, so können wir nachträglich in aller Ruhe uns Bild für Bild den Film anschauen und damit sehr exakt Start und Stopp der Zeitmessung bestimmen. Dazu müssen wir nur die Anzahl n der Bilder zwischen Start und Stopp bestimmen und dann durch die Bildfrequenz (Bilder pro Sekunde) teilen.

$$t = \frac{n}{f_\mathrm{B}}$$

Beispiel 5.1. Ein Auto fährt über den Zebrastreifen und wird dabei mit $f_\mathrm{B} = 30\,\mathrm{fps}$ gefilmt. Die Messung startet bei Bild Nr. 67 und endet bei Bild Nr. 73. Die Messung ging also über $n = 73 - 67 = 6$ Bilder. Dann folgt für die Zeit:

$$t = \frac{n}{f_\mathrm{B}} = \frac{6}{30\,\mathrm{fps}} = \frac{1}{5}\,\mathrm{s} = 0{,}2\,\mathrm{s}$$

Das Auto brauchte für die Überquerung des Zebrastreifens 0,2 Sekunden.

5.1.1 Aufgaben

A 5.4. Eine Aufnahme eines Tennisspiels aus dem Fernsehen hat eine Bildfrequenz von $f_\mathrm{B} = 25\,\mathrm{fps}$. Für das Überqueren des Spielfeldes braucht der Tennisball nur 12 Bilder. Berechne die dafür benötigte Zeit.

A 5.5. Eine Stahlkugel und eine Styroporkugel werden gleichzeitig bei Bild Nr. 34 losgelassen. Bei Bild Nr. 48 schlägt die Stahlkugel auf dem Boden auf und bei Bild Nr. 50 die Styroporkugel. Gefilmt wurde mit $f_\mathrm{B} = 30\,\mathrm{fps}$. Berechne jeweils die Zeit für die beiden Kugeln.

A 5.6. Bei einer Verkehrsüberwachung wird eine Kamera mit 60 fps benutzt. Auf einem Ausschnitt erreicht ein LKW die erste Markierung bei Bild Nr. 2456. Bei Bild Nr. 2726 erreicht er die zweite Markierung. Berechne die Zeit, die der LKW für die Strecke zwischen den beiden Markierungen gebraucht hat.

A 5.7. Eine Hochgeschwindigkeitskamera mit 6000 fps beobachtet den Durchschuss einer Kugel durch einen Apfel. Bei Bild Nr. 6745 trifft die Kugel auf den Apfel. Bei 6748 verlässt die Kugel den Apfel. Berechne die Zeit für den Durchflug durch den Apfel.

A 5.8. Für einen Versuch nimmt Professor Phisigma eine rollende Kugel mit 60 fps auf. Alle fünf Bilder wird die zurückgelegte Strecke gemessen. Berechne die Zeit, die zwischen den Messungen vergeht.

A 5.9. Die Position einer Frisbee-Scheibe wird mit Hilfe einer Kamera mit 120 fps bestimmt. Die Position wird nach 20, 40 und 80 Bildern bestimmt. Berechne die dazugehörigen Zeiten.

6 Gedanken zur Geschwindigkeit

A 6.1. Sarah und Theresa haben sich beide übers Handy zum Eisessen verabredet. Beide fahren zur gleichen Zeit los und kommen auch zur gleichen Zeit an der Eisdiele an. Auf der Fahrrad-App können sie sehen, dass Sarah 2,5 km und Theresa 2,9 km gefahren ist. Gebe begründet an, wer von den beiden schneller mit dem Rad gefahren ist.

Wenn Sarah in der gleichen Zeit eine kürzere Strecke fährt als Theresa, dann fährt sie ________________ als Theresa.

Wenn Theresa in der gleichen Zeit eine längere Strecke fährt als Sarah, dann fährt sie ________________ als Sarah.

Ein Radfahrer fährt schneller, wenn er in der gleichen Zeit eine ______________ Strecke gefahren ist.

Ein Radfahrer fährt langsamer, wenn er in der gleichen Zeit eine ______________ Strecke gefahren ist.

A 6.2. Tom und Sebastian laufen zwei Runden im Stadion. Tom braucht 4 min 12 s und Sebastian 4 min 36 s. Gebe begründet an, wer von den beiden schneller gelaufen ist?

Wenn Tom für die gleiche Strecke weniger Zeit braucht als Sebastian, dann läuft er ________________ als Sebastian.

Wenn Sebastian für die gleiche Strecke mehr Zeit braucht als Tom, dann läuft er ________________ als Tom.

Ein Läufer läuft schneller, wenn er für die gleiche Strecke ______________ Zeit braucht.

Ein Läufer läuft langsamer, wenn er für die gleiche Strecke __________ Zeit braucht.

A 6.3. Ein Maß für die Schnelligkeit ist die Geschwindigkeit. Aber wie ist sie definiert? Überlege einfach mal anhand der folgenden Sätze.

Wenn man die doppelte Strecke in der gleichen Zeit zurücklegt, dann ist die Geschwindigkeit ______________ so groß.

Wenn man die halbe Strecke in der gleichen Zeit zurücklegt, dann ist die Geschwindigkeit _________ so groß.

Wenn man die halbe Zeit für die gleiche Strecke benötigt, dann ist die Geschwindigkeit ______________ so groß.

Wenn man die doppelte Zeit für die gleiche Strecke benötigt, dann ist die Geschwindigkeit _________ so groß.

Die Geschwindigkeit ist ______________________ zur Strecke.

Die Geschwindigkeit ist ____________________________ zur Zeit.

$$\Longrightarrow \qquad \text{Geschwindigkeit} = \frac{\qquad}{\qquad}$$

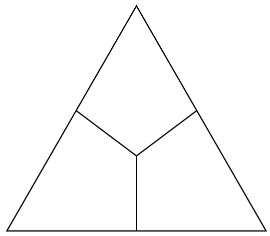
7 Durchschnittsgeschwindigkeit

Die Formeln

$v =$

$s =$

$t =$



Beispiel

Aufgabe: Am 28. Juli 2009 stellte der Deutsche Paul Biedermann in Rom mit 1 Minute und 42 Sekunden einen neuen Weltrekord über 200 m Freistil auf. Berechne seine Durchschnittsgeschwindigkeit.

Gesucht: Geschwindigkeit $v = ?$

Gegeben: Strecke $s = 200\,\mathrm{m}$; Zeit $t = 1\,\mathrm{min}\ 42\,\mathrm{s} = 102\,\mathrm{s}$

Formel und Rechnung:

$$v = \frac{s}{t} \qquad \Longrightarrow \qquad v = \frac{s}{t} = \frac{200\,\mathrm{m}}{102\,\mathrm{s}} = \frac{200}{102} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 1{,}96\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \qquad v = 1{,}96\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Antwort: Seine Durchschnittsgeschwindigkeit betrug 1,96 Meter pro Sekunde.

Aufgaben

1. Franz braucht für den Weg von zu Hause zur Schule 10 Minuten mit dem Fahrrad. Sein Bruder braucht 30 Minuten zu Fuß. Die Schule ist 2,5 km entfernt. Berechne die Durchschnittsgeschwindigkeit von Franz und seinem Bruder auf dem Schulweg.
2. Hans ist 40 Minuten lang mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 20 km/h gefahren. Danach ist er 20 Minuten lang mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 14 km/h gefahren. Berechne die zurückgelegte Strecke und die Durchschnittsgeschwindigkeit.
3. Bernds Vater ist 12 Minuten lang auf einem Autobahnteilstück mit konstant 130 km/h gefahren. Berechne die Streckenlänge.
4. Von Hamburg nach Dessau sind 376 km zu fahren. Nicos Vater schafft eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 110 km/h. Berechne die reine Fahrtzeit ohne Pause.
5. Tim und Julia machen eine Fahrradtour zu einer Physikaustellung. Sie fahren um 10 Uhr ab und kommen 12:15 Uhr dort an. Nach Tims Tachometer haben sie auf der Hinfahrt eine Strecke von 40,5 km zurückgelegt. Um 16 Uhr fahren sie wieder zurück und sind um 18:30 Uhr wieder zu Hause. Sie haben auf dem Rückweg einen Umweg gemacht und sind 49,75 km gefahren. Berechne die jeweiligen Durchschnittsgeschwindigkeiten für die Hin- und die Rückfahrt, sowie für die gesamte Fahrt.
6. Freya und Naja fahren mit dem Tandem zur Schule. Die Entfernung beträgt 12 km. Sie schaffen eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 18 km/h. Bestimme den Zeitpunkt ihrer Abfahrt, wenn sie um 7:45 Uhr an der Schule eintreffen wollen.
7. Der Regionalexpress Stade-Hamburg-Neugraben fährt um 20:26 Uhr in Neugraben los und erreicht Stade um 21:57 Uhr. Die Streckenlänge beträgt 30 km. Bestimme die Durchschnittsgeschwindigkeit des Zuges.
8. Für die Strecke Kiel-Stade (145 km) benötigt Herr Vanhoefer mit dem Auto 1 Stunde und 50 Minuten. Bestimme seine Durchschnittsgeschwindigkeit. Frau Vanhoefer fährt am Freitag im Berufsverkehr die gleiche Strecke. Sie kommt auf eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 60 km/h. Berechne ihre Ankunftszeit, wenn Sie um 13:30 Uhr losgefahren ist.
9. Rudi Raser fährt auf der 20 km langen Strecke die ersten 10 km mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h. Bestimme die Geschwindigkeit auf dem zweiten Streckenabschnitt, wenn er für die gesamte Strecke eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 100 km/h erreichen will.

8 Verkehrskontrolle

Seit 2016 soll in Deutschland vor Schulen, Kitas, Krankenhäusern und Seniorenheimen generell ein Tempolimit von 30 km/h gelten. Vor der Schule befindet sich eine solche Strecke. Aber halten sich die Autofahrer auch daran. Das wollen wir testen.

8.1 Aufnahme der Daten

Material: Stoppuhr, Langes Maßband (30 m oder länger), Notizmaterial

Aufbau: Die Messung erfolgt an einer vielbefahren Straße. Daher bitte die Straße nicht betreten und ausreichend Abstand halten. Rangeln und Schubsen kann zu lebensgefährlichen Unfällen führen.

1. Anfang der Messtrecke festlegen. Dieser sollte so auffällig sein, so dass man auch in größerer Entfernung genau beobachten kann, wann ein Auto diesen passiert. Gut geeignet ist z.B. die Markierung einer Fußgängerampel oder eines Zebrastreifens.
2. Festlegen des Endes der Messtrecke. Bei vielen Schülern, können auch mehrere Endpunkte festgelegt werden.
3. Ausmessen der Entfernung zwischen Anfang und Ende der Messtrecke.

Durchführung: Es wird die Zeit gemessen, die ein Fahrzeug vom Anfang der Messtrecke bis zum Ende braucht.

- Die Stoppuhr wird gestartet, wenn das Fahrzeug die Anfangsmarkierung mit dem Vorderrad überfährt und gestoppt, wenn das Vorderrad den Endpunkt der Strecke erreicht.
- Gestoppt werden nur Fahrzeuge, deren Geschwindigkeit nicht von äußeren Einflüssen, wie z.B. anderes Fahrzeug davor oder Halten an roter Ampel oder Zebrastreifen, beeinflusst wurde.
- Die ermittelte Zeit wird notiert und die Stoppuhr wieder auf Null zurückgesetzt. Dann wird das nächste Auto gestoppt.

Beobachtung: Länge der Messstrecke: ___________ m

Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]	Zeit [s]

8.2 Auswertung mit dem Casio fx-9860GII

Geschwindigkeiten in m/s berechnen und in Liste 2 speichern:
[MENU] → STAT [2] → (Die Zeiten in Spalte `List 1` eintragen) → Cursor auf Spaltenkopf `List 2` → Eingabe: Länge der Messstrecke ÷ `List 1` [EXE]

Umrechnen der Geschwindigkeit von m/s in km/h und in Liste 3 speichern:
Cursor auf Spaltenkopf `List 3` → Eingabe: `List 2` × 3.6 [EXE]

Histogramm zeichnen für die Geschwindigkeit in km/h:
[F1](GRPH) → [F6](SET) → [F1](GPH1): Graph Type: [F6][F1](Hist); XList: [F1](LIST) 3; Frequency: [F1](1); [EXIT] → [F1](GPH1) → Einstellungen Histogramm: Start: 15; Width: 5; [EXE]

Statistische Auswertung:
[F1](1VAR)

$\overline{x}$: Mittelwert
σx: Standardabweichung: Bereich um den Mittelwert ($\overline{x} \pm \sigma x$), in dem sich 68% aller Werte befinden.
n: Anzahl der Werte
`minX`: Kleinster Wert
`Med`: Mittlerer Wert (Median): Die Hälfte der Messwerte liegt unter diesem Wert und die andere Hälfte darüber.
`maxX`: Größter Wert

A 8.1. Werte Deine Daten mit dem Casio fx-9860GII wie oben beschrieben aus.

A 8.2. Folgende Zeiten in Sekunden wurden auf einer 53 m langen Messstrecke vor dem Gymnasium Athenaeum in Stade gemessen.

10,66	6,09	5,66	5,06	5,03	5,00	4,97	4,91	4,82	4,66
4,59	4,52	4,44	4,25	4,00	3,66	3,56	3,37	3,28	3,06

a) Übertrage die Daten in den GTR und bestimme die Geschwindigkeit der Fahrzeuge in m/s und km/h. Übertrage die Werte in einer geeignete Tabelle in Deinen Hefter.
b) Zeichne das Histogramm für die Geschwindigkeit in km/h im GTR und übertrage es in Deinen Hefter. (Histogrammbreite 5 km/h; Startwert 15 km/h)
c) Bestimme die Kenngrößen der Messung: Anzahl der Werte, Minimum, Maximum, Median, Mittelwert und Standardabweichung.

9 Wiederholung: Maßstab

Der Maßstab gibt das Verhältnis einer Strecke in einer Abbildung zur Strecke in der Realität an. Dabei wird zuerst die Strecke in der Abbildung und dann die Strecke in der Realität genannt. So bedeutet z.B. der Maßstab 1:100 (gesprochen 1 zu 100), dass 1 cm in der Abbildung 100 cm bzw. 1 m in der Wirklichkeit bedeutet. Es kann natürlich auch heißen, dass 1 m in der Abbildung 100 m in der Realität entspricht.

9.1 Bestimmung des Maßstabs

Zur Bestimmung des Maßstabs braucht man eine Abbildung und die Länge einer dort abgebildeten Strecke in der Wirklichkeit.

Beispiel Verkleinerung: Auf einem Foto aus den 1970er Jahren ist ein VW Käfer abgebildet. Der Käfer ist auf dem Bild 4,8 cm hoch. Aus der Wikipedia wissen wir, dass der Käfer genau 1,5 m hoch ist. Mit den Angaben füllen wir die folgende Tabelle.

Abbildung : Realität	
4,8 cm : 1,50 m	↓ Einheiten angleichen
4,8 cm : 150 cm	↓ Einheiten entfernen
4,8 : 150	↓ ÷4,8
1 : 31,25	✓

Der Maßstab des Bildes beträgt 1:31,25.

Beispiel Vergrößerung: Auf einem Foto ist neben einer elektronischen Schaltung eine 1 DM-Münze zu sehen. Die Münze hat einen Durchmesser von 24 mm. Auf dem Foto ist sie 6 cm groß abgebildet.

Abbildung : Realität	
6 cm : 24 mm	↓ Einheiten angleichen
60 mm : 24 mm	↓ Einheiten entfernen
60 : 24	↓ ÷24
2,5 : 1	✓

Der Maßstab des Bildes beträgt 2,5:1.

A 9.1. Das Drehleiterfahrzeug der Stader Feuerwehr des Zugs 1 hat eine Fahrzeuglänge (ohne Leiter) von 8,66 m. Bestimme den Maßstab des Fotos aus Abbildung 9.1.

Abbildung 9.1: Drehleiterfahrzeug DLAK 23/12 auf Fahrgestell Mercedes-Benz 1530 F Atego.

A 9.2. Eine Nahaufname einer 5mm-LED ist auf dem Bild 3,5 cm groß. Berechne den Maßstab des Bildes.

A 9.3. Eine Metallschiene mit der Länge von 42 cm ist auf der Abbildung 7 cm lang. Berechne den Maßstab der Abbildung.

9.2 Längen aus der Abbildung bestimmen

Beispiel Verkleinerung: Auf dem Foto mit dem VW Käfer steht neben dem Käfer ein Mann. Der Mann ist auf der Abbildung 5,7 cm groß.

$$\begin{array}{rcll} \text{Abbildung} & : & \text{Realität} & \\ 1 & : & 31{,}25 & \downarrow \times 5{,}7 \\ 5{,}7 & : & 178{,}125 & \downarrow \text{Sinnvoll Runden} \\ 5{,}7 & : & 178 & \downarrow \text{Einheit hinzufügen} \\ 5{,}7\,\text{cm} & : & 178\,\text{cm} & \checkmark \end{array}$$

Der Mann auf dem Foto ist 178 cm groß.

Beispiel Vergrößerung: Auf dem Foto mit der DM-Münze ist eine Leuchtdiode abgebildet. Die LED hat auf der Abbildung einen Durchmesser von 7,5 mm.

$$\begin{array}{rcll} \text{Abbildung} & : & \text{Realität} & \\ 2{,}5 & : & 1 & \downarrow \div 2{,}5 \\ 1 & : & 0{,}4 & \downarrow \times 7{,}5 \\ 7{,}5 & : & 3 & \downarrow \text{Einheit hinzufügen} \\ 7{,}5\,\text{mm} & : & 3\,\text{mm} & \checkmark \end{array}$$

Die LED hat einen Durchmesser von 3 mm.

A 9.4. Eine Abbildung im Maßstab 1:150 zeigt ein 6,9 cm langes Feuerwehrfahrzeug. Berechne die Länge des Fahrzeugs in der Realität.

9.3 Längen aus der Realität in die Abbildung übertragen

Beispiel Verkleinerung: Auf dem Foto mit dem VW Käfer will ein Bildbearbeiter ein Straßenschild in das Bild montieren. Das Straßenschild hat eine Höhe von 2 m.

$$\begin{array}{rcll} \text{Abbildung} & : & \text{Realität} & \\ 1 & : & 31{,}25 & \downarrow \div 31{,}25 \\ 0{,}032 & : & 1 & \downarrow \times 2 \\ 0{,}064 & : & 2 & \downarrow \text{Einheit hinzufügen} \\ 0{,}064\,\text{m} & : & 2\,\text{m} & \downarrow \text{Einheit anpassen} \\ 6{,}4\,\text{cm} & : & 2\,\text{m} & \checkmark \end{array}$$

Das Straßenschild hat auf dem Foto eine Höhe von 6,4 cm.

Beispiel Vergrößerung: Auf dem Foto mit der DM-Münze soll zum Vergleich ein neuer quadratischer IC-Baustein mit der Kantenlänge 6 mm eingezeichnet werden.

$$\begin{array}{rcll} \text{Abbildung} & : & \text{Realität} & \\ 2{,}5 & : & 1 & \downarrow \times 6 \\ 15 & : & 6 & \downarrow \text{Einheit hinzufügen} \\ 15\,\text{mm} & : & 6\,\text{mm} & \checkmark \end{array}$$

Der IC-Baustein ist auf dem Foto 15 mm groß.

A 9.5. In ein Bild im Maßstab 1:45 soll ein 1,2 m langes Straßenschild hineinmontiert werden. Berechne die Länge des Straßenschilds im Bild.

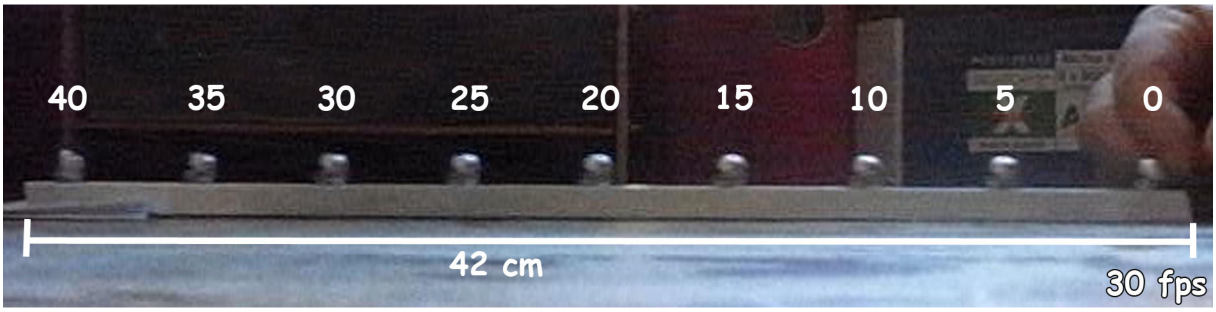


Abbildung 10.1: Überlagerung des Bewegungsablaufs einer rollenden Kugel. Die Zahlen über den Kugeln geben die Bildnummer an. Es wurden 30 Bilder pro Sekunde gemacht. Die Bahnlänge betrug 42 cm.

10 Bewegungsanalyse mit der Kamera

Auf einer geraden Bahn wird eine Kugel gesetzt und angestoßen. Die Kugel rollt die Bahn entlang. Der Vorgang wurde mit einer Kamera aufgenommen. In Abbildung 10.1 wurden ausgewählte Bilder aus dem Film zu einem Bild überlagert. Die Bildnummern wurden über den Kugeln notiert. Die Aufnahme wurde mit 30 fps (fps: frames per second / Bilder pro Sekunde) aufgenommen.

1. Gebe den Maßstab des Bildes an. ....
2. Berechne die Zeit zwischen zwei Bildern des Films. ....
3. Messe den Abstand l zwischen den Kugelbildern und dem Startpunkt im Bild. Trage deine Ergebnisse in Tabelle 10.1 ein.
4. Berechne die zurückgelegte Strecke der Kugel s für jedes Kugelbild aus dem Abstand l unter Verwendung des Maßstabs. Trage dein Ergebnis in Tabelle 10.1 ein.
5. Berechne die vergangene Zeit t seit dem Start für jedes Kugelbild. Trage dein Ergebnis in Tabelle 10.1 ein.
6. Zeichne das s-t-Diagramm. Beschreibe den Verlauf des Graphen.

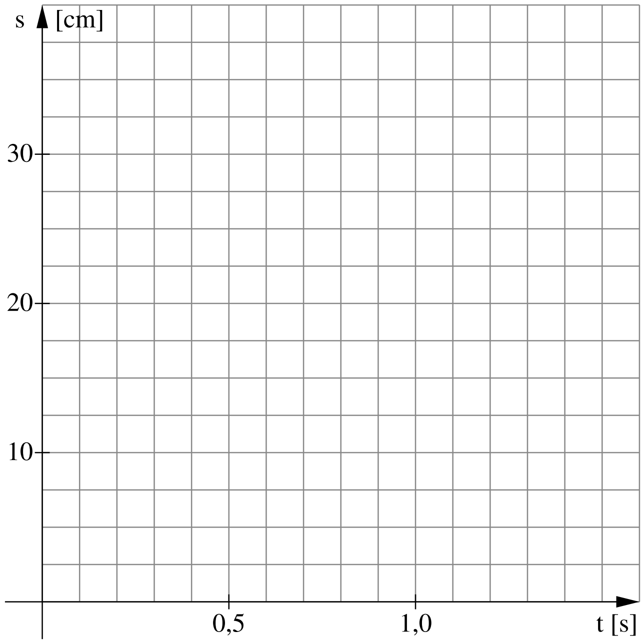


Bild	0	5	10	15	20	25	30	35	40
l [cm]	0,00								
s [cm]	0,0								
t [s]	0,00								

Tabelle 10.1: Auswertungstabelle für die Abbildung 10.1.

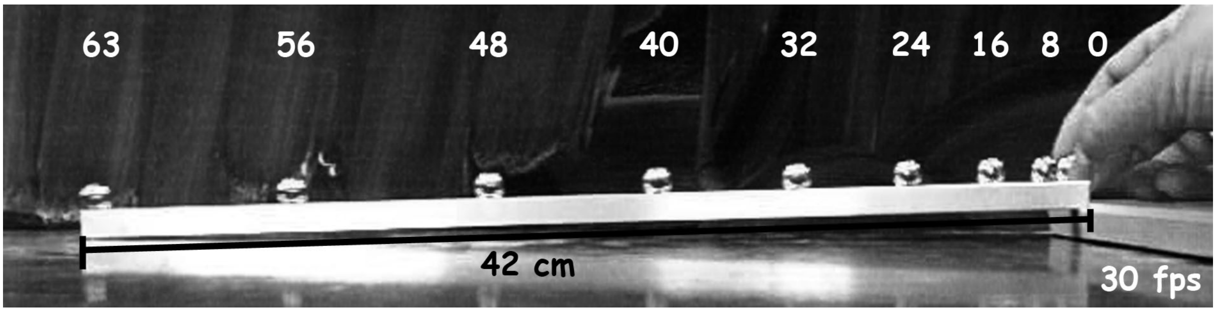


Abbildung 11.1: Überlagerung des Bewegungsablaufs einer abwärtsrollenden Kugel. Die Zahlen über den Kugeln geben die Bildnummer an. Es wurden 30 Bilder pro Sekunde gemacht. Die Bahnlänge betrug 42 cm.

11 Die gleichförmig beschleunigte Bewegung

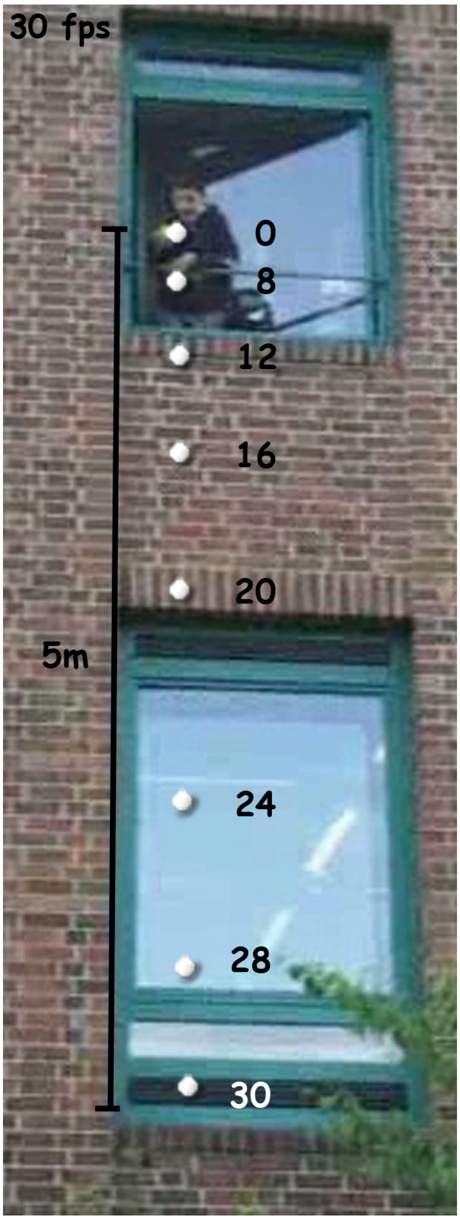
Auf einer geneigten Bahn wird eine Kugel gesetzt und losgelassen. Die Kugel beschleunigt und rollt die Bahn hinunter. Der Vorgang wurde mit einer Kamera aufgenommen. In Abbildung 11.1 wurden ausgewählte Bilder aus dem Film zu einem Bild überlagert. Die Bildnummern wurden über den Kugeln notiert. Es wurden 30 Bilder pro Sekunde aufgenommen.

1. Gebe den Maßstab des Bildes an. ....
2. Messe den Abstand l der Kugeln im Bild vom Startpunkt aus. Trage deine Ergebnisse in Tabelle 11.1 ein.
3. Berechne die zurückgelegte Strecke der Kugel s für jedes Bild aus der gemessenen Strecke und dem Maßstab. Trage dein Ergebnis in Tabelle 11.1 ein.
4. Berechne die vergangene Zeit t seit dem Start. Trage dein Ergebnis in Tabelle 11.1 ein.
5. Zeichne das s-t-Diagramm. Beschreibe den Verlauf des Graphen.
6. Berechne die Länge der Strecke Δs jeweils zwischen zwei Kugelabbildungen. Notiere die Ergebnisse.
7. Berechne den Zeitunterschied Δt zwischen den Bildern. Auch diese Werte trage in Tabelle 11.1 ein.
8. Bestimme aus Δs und Δt die momentane Geschwindigkeit v der Kugel.
9. Zeichne das v-t-Diagramm. Beschreibe den Verlauf des Graphen.
10. Bestimme die Veränderung der Geschwindigkeit aus dem Graphen.

Bild	0	8	16	24	32	40	48	56	63
l [cm]	0,00								
s [cm]	0,0								
t [s]	0,00								
Δs [cm]	—								
Δt [s]	—								
v [cm/s]	0,0								

Tabelle 11.1: Auswertungstabelle für die Abbildung 11.1.

12 Freier Fall



Ein besondere Form der beschleunigten Bewegung ist der freie Fall. Deshalb wird auch die Fallbeschleunigung anstatt mit dem Buchstaben a mit dem Buchstaben g abgekürzt. Es gelten dann die Formeln:

$$v = g \cdot t \tag{12.1}$$

$$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \tag{12.2}$$

1. Ermittle den Maßstab des Bildes rechts.
2. Werte das Bild mithilfe der Tabelle 12.1 aus.
3. Zeichne das $h(t)$-Diagramm.
4. Lege mithilfe des GTR eine Ausgleichskurve durch die Datenpunkte und gebe die Funktion der Ausgleichskurve an.
5. Deute die Ausgleichskurve physikalisch und versuche sie zu korrigieren.
6. Bestimme die Fallbeschleunigung aus dem Funktionsterm der Ausgleichskurve.
7. Bestimme die Fallbeschleunigung durch die Formel 12.2
8. Gebe die ermittelte Fallbeschleunigung an:
   $g =$

Bild	0	8	12	16	20	24	28	30
t [s]	0,00							
l [cm]	0,0							
h [m]	0,00							

Tabelle 12.1: Auswertungstabelle für den freien Fall. Maßstab: ________________

13 Versuch: Gewichtskraft

Material: Stativhalter, Stativstange, Haken, Federkraftmesser, 6 Massestücke (50 g)

Aufbau:

1. Befestige den Stativhalter am Tisch. Die Schraube befindet sich dabei **unter** der Tischplatte.
2. Spanne die Stativstange am Halter ein und befestige oben an der Stativstange den Haken.
3. Justiere den Federkraftmesser mit der oberen Rädelschraube, so dass die Anzeige bei unbelastetem Kraftmesser auf Null steht.
4. Hänge an den Haken den Federkraftmesser. Dabei muss der große Haken oben sein.

Durchführung:

1. Hänge an den Federkraftmesser eine Masse von 50 g. Notiere die von der Masse ausgeübte Kraft in der Tabelle.
2. Hänge nun weitere Massestücke an den Kraftmesser, bis das Ende des Messbereichs erreicht ist. Notiere jeweils zu der angehängten Masse die wirkende Kraft in der Tabelle.
3. Zeichne das $F(m)$-Diagramm (Kraft-in-Abhängigkeit-von-der-Masse-Diagramm).
   a) Welche Größe wird auf der Hochachse abgetragen? ___________
   b) Welche Größe wird auf der Querachse abgetragen? ____________
4. Beschreibe das Diagramm und den Zusammenhang zwischen Kraft und Masse.
5. Berechne den Quotienten[2] aus Kraft und Masse für die Versuche und trage ihn in die Tabelle ein. Beachte dabei die in der Tabelle vorgegebene Einheit.

m [g]	0	50	100	150	200	250	300
m [kg]							
F_G [N]							
F_G/m [N/kg]							

Tabelle 13.1: Messergebnisse: m: Masse; F_G: Federkraft; F_G/m: Quotient aus Kraft und Masse

Der Quotient aus Gewichtskraft und Masse ist ________________.

Die Gewichtskraft ist ________________________ zur ____________.

Den Quotienten aus ___________________________ und ____________ bezeichnet man als *Ortsfaktor*.

Der Ortsfaktor für die Erde beträgt ________N/kg.

Eine Tafel Schokolade ($m = 100\,\mathrm{g}$) übt damit eine Gewichtskraft von ungefähr _______ aus.

Ein Mann ($m = 80\,kg$) belastet den Boden mit einer Gewichtskraft von ___________.

Ein Liter Milch ($m =$ ________) besitzt eine Gewichtskraft von _________.

[2] Der *Quotient aus Kraft und Masse* ist das Ergebnis einer Divison von Kraft durch die Masse!

14 Gewichtskraft

Die bekannteste Form der Kraft ist die Gewichtskraft F_G. Sie wird durch Massen ausgeübt und ist proportional zu dieser. Außerdem hängt sie vom Ort ab.

$$\text{Gewichtskraft} = \text{Masse} \cdot \text{Ortsfaktor} \qquad F_G = m \cdot g \tag{14.1}$$

Ist der Ortsfaktor bekannt, kann man aus der Gewichtskraft die Masse bestimmen.

$$\text{Masse} = \frac{\text{Gewichtskraft}}{\text{Ortsfaktor}} \qquad m = \frac{F_G}{g} \tag{14.2}$$

Um den Ortsfaktor zu bestimmen, misst man die Kraft, die ein Massenstück ausübt.

$$\text{Ortsfaktor} = \frac{\text{Gewichtskraft}}{\text{Masse}} \qquad g = \frac{F_G}{m} \tag{14.3}$$

Aus der Formel kann man die Einheit des Ortsfaktors g bestimmen. Die Grundeinheit der Gewichtskraft F_G ist Newton und die Grundeinheit der Masse m ist Kilogramm. Also ist die Grundeinheit des Ortsfaktors Newton pro Kilogramm oder kurz $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
Die durchschnittlichen Ortsfaktoren für Himmelskörper unseres Sonnensystems sind in Tabelle 14.1 aufgeführt.

A 14.1. Zeichne für jeden Himmelskörper den Kraftpfeil, den eine Masse von 1 kg auf diesem Körper ausüben würde. Verwende dazu den Maßstab 1 cm : 1 N.

A 14.2. Die Astronauten der Apollo 11-Mission trugen Anzüge mit einer Masse von 83 kg. Nehmen wir an, der Astronaut selber besitzt eine Masse von 80 kg.

a) Berechne die Gewichtskraft des Astronauten im Weltraumanzug auf dem Mond.
b) Vergleiche die Gewichtskraft des Astronauten auf dem Mond mit der auf der Erde.
c) Zeichne als Vergleich zwei Kraftpfeile im gleichen Maßstab für jede der Gewichtskräfte.

A 14.3. Eris ist der größte bekannte Zwergplanet unseres Sonnensystems. Er ist nach der griechischen Göttin der Zwietracht und des Streits Eris benannt und hat einen um 100 km größeren Durchmesser als Pluto. In ferner Zukunft landet eine 90 kg schwere Raumsonde auf Eris. In den Landebeinen eingebaute Kraftmesser messen eine Gewichtskraft von 53,1 N. Bestimme den Ortsfaktor auf Eris.

A 14.4. Lehrer Lehman möchte die Masse eines Pakets bestimmen. Leider ist die Waage im Lehrerzimmer defekt. Im Postfach eines Kollegen findet er einen Kraftmesser. Der Kraftmesser zeigt für das Paket eine Gewichtskraft von 27,5 N an. Bestimme die Masse des Pakets.

A 14.5. Das galaktische Kreuzfahrtschiff *Pegasus* ($m = 48000\,\text{t}$) schwebt in 200 m Höhe über der Oberfläche der Venus. Berechne die Kraft, die seine Maschinen aufwenden müssen, damit das Schiff nicht abstürzt.

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Ceres	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto	Mond
g [$\frac{\text{N}}{\text{kg}}$]	3,70	8,87	9,81	3,71	0,27	24,79	10,44	8,87	11,15	0,58	1,62

Tabelle 14.1: Der Ortsfaktor g für Himmelskörper in $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

15 Versuche zur Federkraft

V 15.1. Versuch zur Ausdehnung von Federn in Abhängigkeit von der ausgeübten Kraft.

Material: Stativhalter, Stativstange, Haken, Spiralfeder, 6 Massestücke (50 g), Maßstab

Aufbau:

1. Befestige den Stativhalter am Tisch. Die Schraube befindet sich dabei **unter** der Tischplatte.
2. Spanne die Stativstange am Halter ein und befestige oben an der Stativstange den Haken.
3. Hänge an den Haken die Spiralfeder.

Durchführung:

1. **Messe** die Länge der Feder $l(0\,\text{g})$ im unbelasteten Zustand und **trage** den Wert in die Tabelle unten **ein**. Diese Anfangslänge bezeichnet man auch mit l_0.
2. **Hänge** nun ein Massestück an die Feder. Das Massestück dehnt die Feder so lange, bis die Federkraft F_F und die Gewichtskraft F_G gleich sind. **Messe** erneut die Länge der Feder. **Trage** den Wert in die Tabelle unten **ein**.
3. **Wiederhole** den Versuch mit jeweils einem Massestück mehr.
4. Die Längenänderung Δl ist im unbelasteten Zustand Null. Du berechnest sie, in dem Du Anfangslänge l_0 von der aktuellen Länge l abziehst. **Berechne** die fehlende Werte für Δl und **trage** sie sinnvoll in die Tabelle **ein**.
5. Die Federkraft F_F ist, wie bereits oben beschrieben, gleich der Gewichtskraft F_G der angehängten Massestücke. **Berechne** die Gewichtskraft für die angehängte Masse und **trage** die Ergebnisse als Federkraft F_F in die Tabelle sinnvoll **ein**.
6. **Bestimme** die Quotienten aus Federkraft F_F und Länge l und die Quotienten aus Federkraft F_F und Längenänderung Δl. **Trage** sie sinnvoll in die Tabelle **ein**.
7. **Zeichne** die Diagramme $F_F(l)$ und $F_F(\Delta l)$.
8. **Stelle** eine Hypothese **auf**, wie Federkraft F_F und Länge l bzw. Längenänderung Δl voneinander abhängen.

Der Quotient aus Federkraft und .... ist ....

Die Kraft einer Feder ist .... zur ....

V 15.2. **Wiederhole** den vorherigen Versuch mit einer anderen Spiralfeder und mit einem Gummiband. **Beschreibe** Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Testobjekten.

m [g]	0	50	100	150	200	250	300
l [cm]							
Δl [cm]	0						
F_F [N]	0						
F_F/l [N/cm]							
$F_F/\Delta l$ [N/cm]	/						

Tabelle 15.1: Messergebnisse: m: Masse; l: Federlänge; Δl: Längenänderung im Vergleich zum unbelasteten Zustand; F_F: Federkraft; F_F/l: Quotient aus Gewichtskraft und Federlänge; $F_F/\Delta l$: Quotient aus Gewichtskraft und Längenänderung

16 Das Hookesche Gesetz

Eine auseinandergezogene oder zusammengedrückte elastische Feder übt eine Kraft aus, die sogenannte Federkraft F_F. Die Federkraft ist proportional zu der Längenänderung der Feder. Das Hookesche Gesetz gilt nur im elastischen Bereich. Dehnt man eine Feder zu stark, so verlässt sie den elastischen Bereich und wird eventuell sogar zerstört.

$$\text{Federkraft} = \text{Federkonstante} \cdot \text{Längenänderung} \qquad F_F = D \cdot \Delta l \tag{16.1}$$

Zieht man die Feder mit einer Kraft auseinander, dann ändert sich die Länge der Feder. Teilt man die ausgeübte Kraft durch die dadurch verursachte Längenänderung, dann erhält man die Federkonstante, die eine Eigenschaft der Feder ist.

$$\text{Federkonstante} = \frac{\text{Federkraft}}{\text{Längenänderung}} \qquad D = \frac{F_F}{\Delta l} \tag{16.2}$$

Die Längenänderung der Feder bei Krafteinwirkung ergibt sich aus dem Quotienten aus wirkender Kraft und der Federkonstanten.

$$\text{Längenänderung} = \frac{\text{Federkraft}}{\text{Federkonstante}} \qquad \Delta l = \frac{F_F}{D} \tag{16.3}$$

Hängt man an eine Feder eine Masse, so übt diese Masse eine Gewichtskraft aus, die die Feder auseinanderzieht. Dies passiert so lange, bis Federkraft und Gewichtskraft gleich groß sind.

Die Gesamtlänge l einer belasteten Feder setzt sich aus ihrer Grundlänge l_0 im unbelasteten Zustand und ihrer Längenänderung Δl durch die Belastung zusammen. Es gilt:

$$\text{Länge} = \text{Grundlänge} + \text{Längenänderung} \qquad l = l_0 + \Delta l \tag{16.4}$$

Aufgaben

A 16.1. Eine Feder mit der Länge $l_0 = 50\,\text{cm}$ und der Federkonstante $D = 25\,\text{N/m}$ dient zum Schließen einer Schiebetür. Bei geschlossener Tür ist die Feder 70 cm und bei geöffneter Tür 150 cm lang. **Berechne** die jeweils wirkenden Federkräfte.

A 16.2. Eine Feder wird durch eine Kraft von 5 N um 10 cm ausgelenkt. Bestimme die Federkonstante D der Feder.

A 16.3. An einer Feder mit der Federkonstanten $D = 20\,\text{N/m}$ und der Länge $l_0 = 10\,\text{cm}$ im unbelasteten Zustand wirkt eine Kraft von 5 N. Bestimme die Länge der belasteten Feder.

A 16.4. Eine Feder mit der Federkonstanten $D = 30\,\text{N/m}$ wird innerhalb ihres elastischen Bereichs mit Kräften belastet. Bestimme aus der Längenänderung die angehängte Kraft.

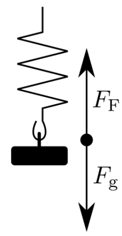
Δl [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
F [N]										

A 16.5. Gegeben ist folgende Tabelle für die Ausdehnung einer Feder. Bestimme den elastischen Bereich der Feder.

F [N]	1	2	4	6	8	11	15	19	25	30
Δl [cm]	2,3	4,6	9,2	13,8	20,8	25,3	34,5	40,2	42,5	44,2

A 16.6. Eine Feder mit der Länge $l_0 = 10\,\text{cm}$ im unbelasteten Zustand wird durch eine Kraft von 5 N auf eine Länge $l_1 = 15\,\text{cm}$ ausgedehnt. Bestimme die Ausdehnung l_2 der Feder, wenn eine Kraft von 12 N angelegt wird und die Feder im elastischen Bereich bleibt.

17 Kombination von Federkraft und Gewichtskraft



Hängt man an eine Feder eine Masse, so wirkt die Gewichtskraft des Massestücks und zieht die Feder auseinander. Durch das Auseinanderziehen beginnt aber die entgegengesetzte Kraft der Feder zu wirken. Sind Feder und Gewichtskraft gleich groß, dann bleibt das System in Ruhe. Um Systeme zu beschreiben, kann man gleichgroße Kräfte in einer Gleichungen gleichsetzen.

Beispiel

An eine Feder mit der Federkonstante $D = 1\,\mathrm{N/cm}$ wird auf der Erde eine Masse $m = 1\,\mathrm{kg}$ gehängt. Bestimme die Längenänderung der Feder durch die angehängte Masse.

Gegeben: Masse $m = 1\,\mathrm{kg}$; Ortsfaktor $g = 10\,\mathrm{N/kg}$; Federkonstante $D = 1\,\mathrm{N/cm}$

Gesucht: Längenänderung $\Delta l =?$

Rechnung: Aus dem Hookesche Gesetz für die Feder ergibt sich die Längenänderung Δl:

$$F_F = D \cdot \Delta l \quad \Longrightarrow \quad \Delta l = \frac{F_F}{D} \tag{17.1}$$

Die Gewichtskraft F_G des angehängten Massestücks ist für das Auseinanderziehen der Feder verantwortlich. Für ein stabiles System müssen beide Kräfte gleich groß ein. Es folgt mit $F_F = F_G$ und $F_G = m \cdot g$:

$$\Delta l = \frac{F_G}{D} = \frac{m \cdot g}{D} = \frac{1\,\mathrm{kg} \cdot 10\,\mathrm{N/kg}}{1\,\mathrm{N/cm}} = 10\,\mathrm{cm} \tag{17.2}$$

Die Feder wird um 10 cm auseinandergezogen, wenn eine Masse von 1 kg an ihr hängt.

Allgemein kann man für diese Situation folgende Formel formulieren.

$$F_G = F_F \quad \Longrightarrow \quad m \cdot g = D \cdot \Delta l \tag{17.3}$$

Aufgaben

Zur Vereinfachung verwende für den Ortsfaktor der Erde $g = 10\,\mathrm{N/kg}$.

A 17.1. Löse die Formel 17.3 nach den enthaltenen Größen auf!

$m =$

$g =$

$D =$

$\Delta l =$

A 17.2. Eine Feder mit der Federkonstante $D = 5\,\mathrm{N/cm}$ wird auf der Erde durch eine Bleikugel um $\Delta l = 20\,\mathrm{cm}$ ausgelenkt. Bestimme die Masse der Bleikugel!

A 17.3. Eine Asteroidensonde besitzt ein Meßgerät ($m = 500\,\mathrm{g}$), dass an einer Feder $D = 0{,}1\,\mathrm{N/cm}$ aufgehängt ist. Die Forscher messen eine Ausdehnung der Feder um $\Delta l = 1{,}35\,\mathrm{cm}$. Bestimme den Ortsfaktor des Asteroiden!

A 17.4. Ein Gerät ($m = 2\,\mathrm{kg}$) an der Mondfähre ($g_{\mathrm{Mond}} = 1{,}62\,\mathrm{N/kg}$) soll durch eine Feder um 1,5 m abgesenkt werden, so dass es knapp den Boden berührt. Bestimme die Federkonstante der Feder!

18 Addition von Kräften

18.1 Experimente

Führe die Aufgaben in einer Gruppe mit drei oder vier Teilnehmern aus.

Experiment 18.1. Kraft- und Gegenkraft

Material Eine Unterlegscheibe, etwas dünnen Faden und zwei Kraftmesser.

Aufbau Schneide zwei 20 cm lange Stücke vom Faden ab. Ziehe einen Faden durch das Loch der Unterlegscheibe und knote die Ende zusammen, so dass die Unterlegscheibe am Faden hängt. Wiederhole dies mit dem zweiten Faden.

Durchführung Hänge den jeweils einen Haken des Kraftmessers an eine Fadenschlaufe. Ziehe die beiden Kraftmesser auseinander bis die Schlaufen gespannt sind. Ziehe jetzt stärker, so dass der eine Kraftmesser 1 N anzeigt. Notiere die Kraft, die am anderen Kraftmesser angezeigt wird. Wiederhole den Versuch mit verschiedenen Kräften.

Gesetz 1. *Ändert ein Gegenstand seinen Bewegungszustand nicht, obwohl eine Kraft auf ihn wirkt, dann muss eine zweite Kraft auf ihn wirken, die* ____________ __________ *und* ______________________________ *ist.*

Experiment 18.2. Drei Kräfte

Material Material aus Experiment 18.1, mehrere Blätter DIN A4 Papier, etwas dünnen Faden und ein Kraftmesser.

Aufbau Schneide ein 20 cm lange Stücke vom Faden ab und füge eine dritte Schlaufe zur Unterlegscheibe hinzu.

Durchführung Lege ein Blatt Papier auf den Tisch.

a) Zwei Teilnehmer halten die drei Kraftmesser so, dass jeder der Kraftmesser zwei Newton anzeigt. Der dritte Teilnehmer zeichnet die Lage der Fäden auf dem Papier ein.
b) Wiederhole den Versuch mit den Werten 3 N – 2 N – 2 N.
c) Wiederhole den Versuch mit den Werten 4 N – 2 N – 2 N.
d) Wiederhole den Versuch. Der erste Kraftmesser soll 3 N anzeigen, der zweite 4 N. Halte den dritten Kraftmesser so, dass die ersten beiden Kraftmesser im rechten Winkel zueinander stehen.

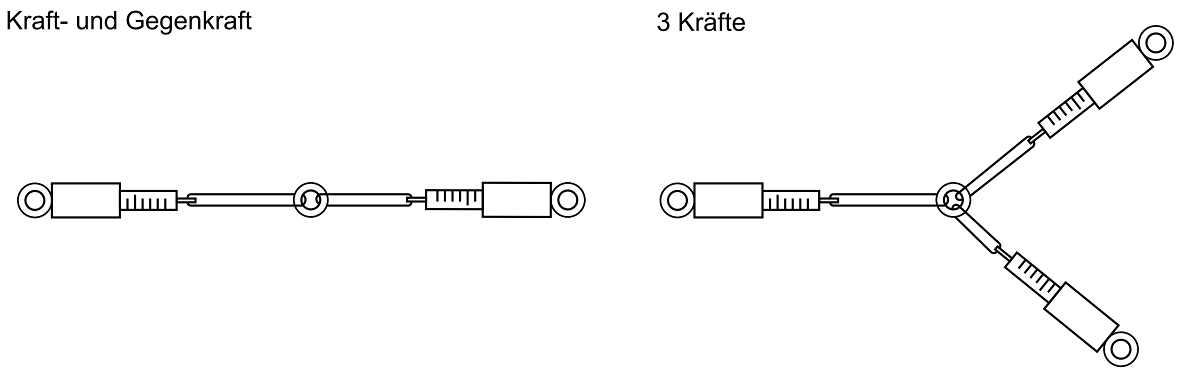
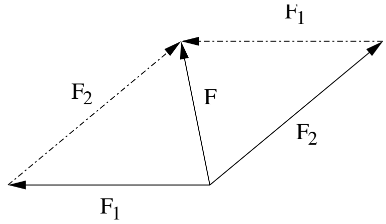
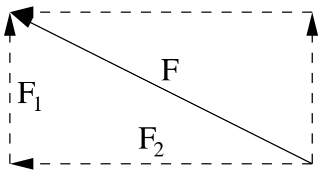


Abbildung 18.1: Links: Experiment 18.1; Rechts: Experiment 18.2

18.2 Anwendung



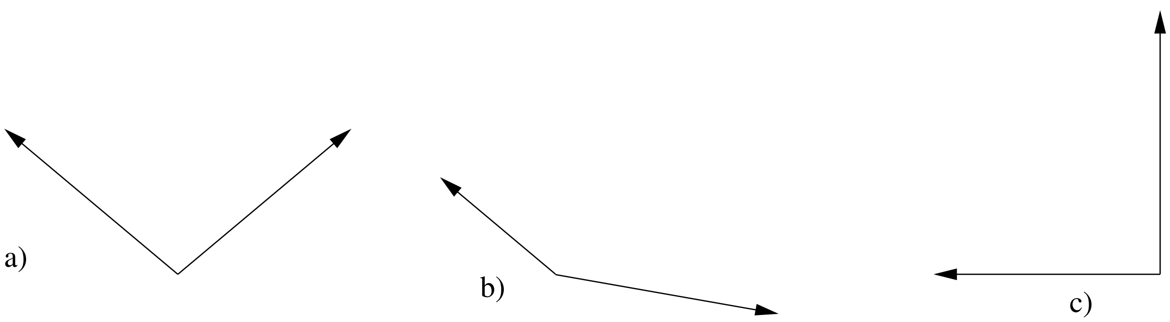
Kräften besitzen nicht nur eine Größe, sondern auch eine Richtung. Die Kräfte, die in gleicher Richtung wirken, können einfach addiert oder subtrahiert werden. Wirken die Kräfte dagegen in verschiedenen Richtungen, dann müssen die Kräfte über ein Kräfteparallelogramm bestimmt werden.



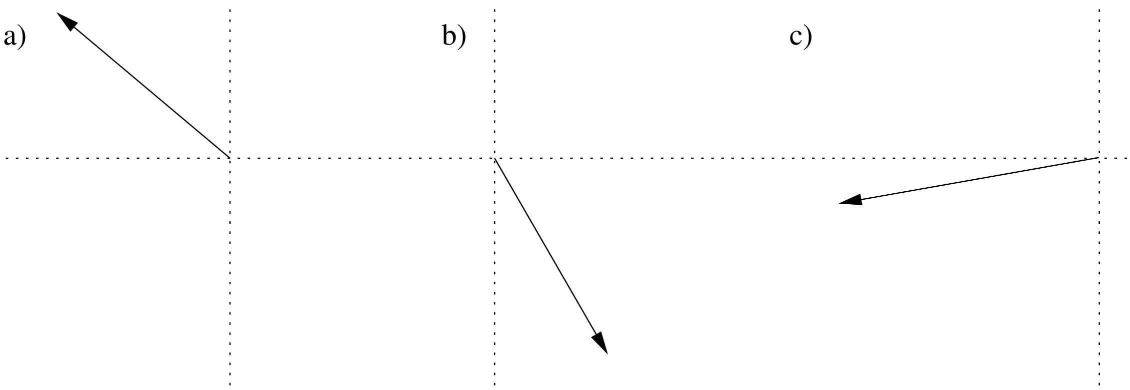
Genauso kann eine Kraft in einzelne Kräfte aufgeteilt werden, wenn die Richtung der Kräfte bekannt ist. Wie in der Graphik rechts zu sehen, wird die Kraft F in die Kräfte F_1 und F_2 aufgeteilt.

Aufgaben

1. In der folgenden Graphik sind Kräfte im Maßstab 1 cm gleich 1 N dargestellt. Bestimme die einzelnen Kräfte, den Winkel zwischen den Kräften und die resultierende Kraft.



2. Zwei Kräfte $F_1 = 5\,\mathrm{N}$ und $F_2 = 8\,\mathrm{N}$ wirken im Winkel von 45°. Bestimme die resultierende Kraft.
3. Drei Kräfte $F_1 = 5\,\mathrm{N}$, $F_2 = 2\,\mathrm{N}$ und $F_3 = 10\,\mathrm{N}$ wirken zusammen. Der Winkel zwischen F_1 und F_2 beträgt 60° und zwischen F_2 und F_3 30°. Konstruiere die resultierende Kraft.
4. In der folgenden Graphik sind Kräfte im Maßstab 1 cm gleich 1 N dargestellt. Zerlege die Kräfte jeweils in eine waagerechte und senkrechte Kraft.



19 Schreibtischphysik: Der Hebel

Das Video zum Versuch: http://ole.in/vpmheb1

Jan geht mit seiner Tochter Janina auf den Spielplatz. Dort steht eine große Balkenwippe. Auf der einen Seite der Wippe sitzt die kleine Janina auf der anderen Seite ihr Vater Jan.

Zu welcher Seite neigt sich die Wippe?

Wo muss sich Jan hinsetzen, damit die Wippe im Gleichgewicht ist?

Von welchen Größen hängt das Gleichgewicht einer solchen Wippe ab?

Material: Papier DIN A4, Tesafilm, Pinwandnadel, 2 Bleistifte, 4 kleine Gummibänder, fünf Büroklammern, Garn, 5-11 Münzen (20 Cent)

Aufbau: Zuerst legst Du das DIN A4-Blatt quer vor Dir und markierst am unteren Ende die Mitte der Seite. Zu jeder Seite machst Du im Abstand von einem Zentimeter Markierungen, die Du in beide Richtungen von 1 bis 14 von der Mitte ausgehend nummerierst. Nun drehst Du das Blatt so, dass die Markierungen oben und nicht mehr sichtbar ist. Die Markierungen sollen nach dem Aufrollen noch sichtbar sein. Du legst einen Bleistift auf das untere Papierende und rollst das Papier fest um den Bleistift auf. Mit drei Tesafilm-Streifen klebst Du die Rolle in der Mitte und am Rand zusammen. Mit dem anderen Bleistift schiebst Du den Bleistift wieder heraus. Jetzt fehlt noch die Halterung. Du klebst einen weiteren Tesafilmstreifen in die Mitte, so dass sich eine Fahne bildet. Die Markierungen sollten gut lesbar sein. Jetzt die Mitte der Fahne mit einer Pinwandnadel durchstoßen. Dabei auf die Mitte achten! Durch das Loch fädelst Du eine Büroklammer ein, an der Du die Balkenwaage halten kannst.

Für die Haken biegst Du die anderen Büroklammern auf und befestigst sie jeweils an einem Gummiband. Die Gummibänder schiebst Du nun auf jede Seite der Balkenwaage.

Klebe mit Tesafilm ein Stück Garn so an die Münze, dass sich eine Schlaufe bildet. Mache das mit jeder Münze.

Durchführung Halte für die folgenden Versuche das Papierrohr an der mittigen Büroklammer fest, so dass es sich leicht drehen kann.

1. Hänge auf beiden Seiten an die Markierung 12 eine Münze. Das Papierrohr sollte nun im Gleichgewicht stehen.
2. Belasse auf der linken Seite die Münze an Ihrem Platz. Auf der rechten Seite hänge zwei Münzen an den Haken. An welche Position muss er geschoben werden, damit ein Gleichgewicht entsteht?
3. Belasse auf der linken Seite die Münze an Ihrem Platz. Auf der rechten Seite hänge drei Münzen an den Haken. An welche Position muss er geschoben werden, damit ein Gleichgewicht entsteht?
4. Belasse auf der linken Seite die Münze an Ihrem Platz. Auf der rechten Seite hänge vier Münzen an den Haken. An welche Position muss er geschoben werden, damit ein Gleichgewicht entsteht?
5. Schiebe nun auf der linken Seite die Münze auf Markierung 6 und wiederhole die obigen Versuche mit 2, 3 und 4 Münzen.
6. Bilde nun für alle Versuche das Produkt aus Markierungsnummer und Münzenanzahl. Beschreibe, was Dir auffällt.
7. Schiebe nun auf der linken Seite die Münze auf Markierung 8 und wiederhole die obigen Versuche mit 2, 3 und 4 Münzen. Versuche dabei vorherzusagen, an welcher Stelle die Münzen sein müssen, damit ein Gleichgewicht entsteht. Überprüfe Deine Vorhersage.
8. Hänge auf einer Seite jeweils eine Münze an Markierung 6 und 8. Suche auf der anderen Seite die Position einer Münze, damit das System im Gleichgewicht ist.
9. Hänge auf einer Seite eine Münze an Markierung 10. Untersuche alle Kombinationen aus zwei Münzen auf der anderen Seite, die zu einem Gleichgewichtszustand führen.

Deutung Die Summe der ________________ aus Abstand und Masse ist im Gleichgewichtszustand auf jeder Seite ___________.

20 Experimente mit Simulationen: Der Hebel

Versuch: Für diesen Versuch verwende bitte die Webapp http://app.phisigma.de/phiSimHebel .

1. Positioniere den Kraftmesser rechts am äußersten Rand ($l_k = 12\,\text{cm}$) und entferne alle Massestücke.

2. Hänge nun an den äußersten linken Haken ($l = 12\,\text{cm}$) eine Masse von 200 g und messe die wirkende Kraft am Kraftmesser. Belasse den Kraftmesser an der gleichen Position. Lasse die Masse nun Position zu Position zur Mitte wandern und notiere die gemessenen Kräfte.

l [cm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F [N]												

3. Hänge nun wieder an den äußersten linken Haken ($l = 12\,\text{cm}$) eine Masse von 200 g und messe die wirkende Kraft am Kraftmesser. Belasse die Masse an der gleichen Position. Lasse den Kraftmesser nun Position zu Position zur Mitte wandern und notiere die gemessenen Kräfte.

l_k [cm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F [N]												
$F \cdot l_k$ [N cm]												

4. Berechne das Produkt $F \cdot l_k$. Beschreibe Deine Beobachtung.

5. Entferne alle Massestücke. Wähle die Position ($l = 6\,\text{cm}$) aus und hänge eine Masse von 50 g an. Notiere die wirkende Kraft am äußersten Haken. Erhöhe nun die angreifende Kraft, indem Du verschiedene Massen an den gewählten Haken hängst. Notiere Deine Ergebnisse.

m [g]	0	50	100	150	200	250
F [N]						

6. Den Abstand zwischen Drehachse und angreifenender Kraft F bezeichnet man als Hebelarm l. Zeichne das Kraft-Hebelarm-Diagramm ($F(l)$-Diagramm) für den Versuch 2. Beschreibe den Graphen.

   Die Drehwirkung ist proportional ____________________________.

7. Zeichne das $F(m)$-Diagramm für den Versuch 5. Beschreibe den Graphen.

   Die Drehwirkung ist proportional ____________________________.

8. Die auf den Hebelarm wirkende Gewichtskraft ist proportional zu Masse.

   Die Drehwirkung ist proportional ____________________________.

Das Drehmoment beschreibt die Wirkung einer Kraft auf ein drehbares System.

Das Drehmoment ist das Produkt aus ____________ und ____________________.

Gemessen wird das Drehmoment in ________________ _____________.

21 Der Hebel

Auf einem Spielplatz steht eine große Balkenwippe. Auf der einen Seite der Wippe sitzt die kleine Mara auf der anderen Seite ihre Mutter.

Zu welcher Seite neigt sich die Wippe? ....

Wo muss sich die Mutter hinsetzen, damit die Wippe im Gleichgewicht ist.

Von welchen Größen hängt das Gleichgewicht einer solchen Wippe ab.

Versuch

Ein Brett mit mehreren Haken wird in der Mitte drehbar aufgehängt. Nummeriere die Haken von der **Mitte** aus in beide Richtungen.

1. Hänge an die beiden äußersten Haken ein Masse von 50 g. Das Brett sollte nun im Gleichgewicht stehen. Belasse auf der linken Seite das Massestück am äußersten Haken. Suche nun 6 Kombinationen von Massen und Abständen auf der rechten Seite, die ebenfalls zu einem Gleichgewicht führen. Notiere diese. Formuliere eine Regel aus Deinen Ergebnissen.
2. Entferne alle Massestücke. Hänge nun an den äußersten linken Haken eine Masse von 200 g. Befestige dort auch einen Kraftmesser und messe die wirkende Kraft. Belasse den Kraftmesser am gleichen Haken. Lasse die Masse nun Haken für Haken zur Mitte wandern und notiere die gemessenen Kräfte.
3. Befestige wieder am äußersten linken Haken den Kraftmesser. Wähle den mittleren Haken aus und hänge eine Masse von 50 g an. Notiere die wirkende Kraft am äußersten Haken. Erhöhe nun die angreifende Kraft, indem Du verschiedene Massen an den mittleren Haken hängt. Notiere Deine Ergebnisse.

Auswertung

1. Der Abstand zwischen Drehachse und angreifenender Kraft bezeichnet man als Hebelarm. Zeichne das Kraft-Hebelarm-Diagramm für den Versuch 2.

   Die Drehwirkung ist proportional ____________________________.
2. Zeichne das Diagramm für die wirkende Kraft in Abhängigkeit von der angreifenden Kraft für den Versuch 3.

   Die Drehwirkung ist proportional ____________________________.

Das Drehmoment beschreibt die Wirkung einer Kraft auf ein drehbares System.

Das Drehmoment ist ....

Gemessen wird das Drehmoment in _________________ ______________.

22 Drehmoment

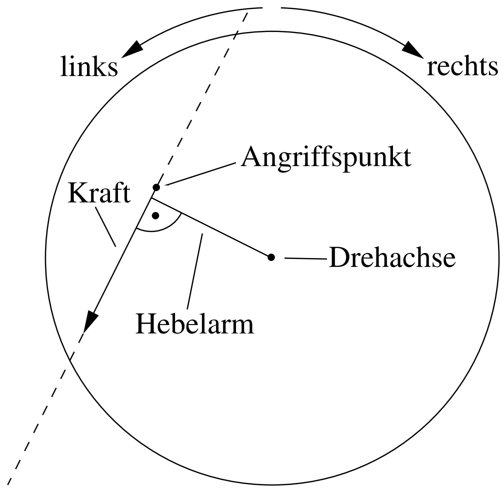
Der Hebelarm ist die Strecke zwischen Drehachse und der Geraden durch den Angriffspunkt der Kraft parallel zur Kraftrichtung.

Um den Hebelarm zu konstruieren, verlängerst Du den Kraftpfeil zu einer Geraden (Kraftgerade). Für diese Geraden zeichnest Du eine Orthogonale (Senkrechte), die durch die Drehachse geht. Die Strecke zwischen Kraftgerade und Drehachse ist der Hebelarm.

Das Drehmoment ist das Produkt aus Kraft und Hebelarm.

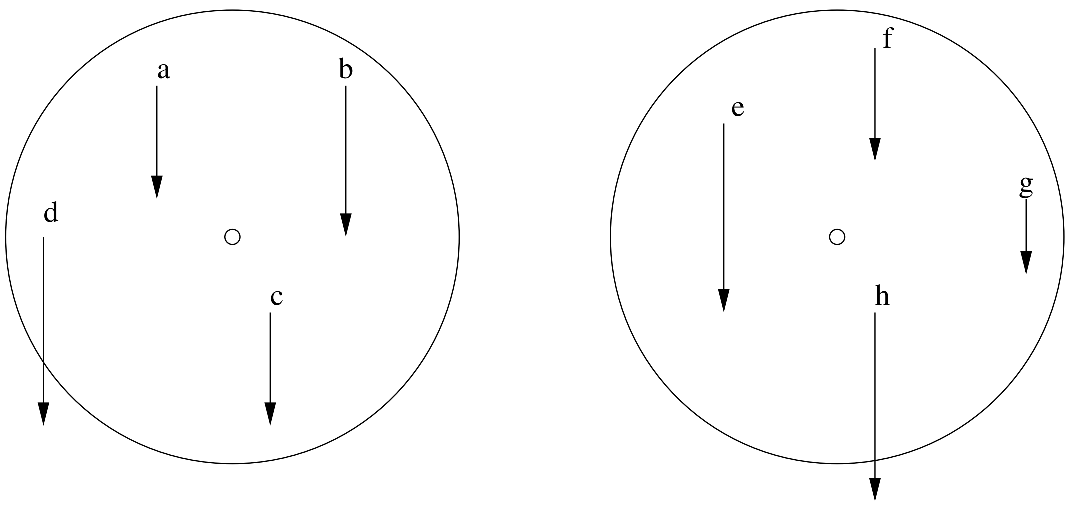
$$M = F \cdot l$$

Würde die angreifenden Kraft eine Drehung im Uhrzeigersinn verursachen, dann spricht man von einem **rechtsdrehenden** Drehmoment. Bei einer Drehung gegen den Uhrzeigersinn spricht man von einem **linksdrehenden** Drehmoment.



Am Rad findet keine Drehung statt, wenn die Summe der rechtsdrehenden Drehmoment gleich der Summe der linksdrehenden Drehmomente ist.

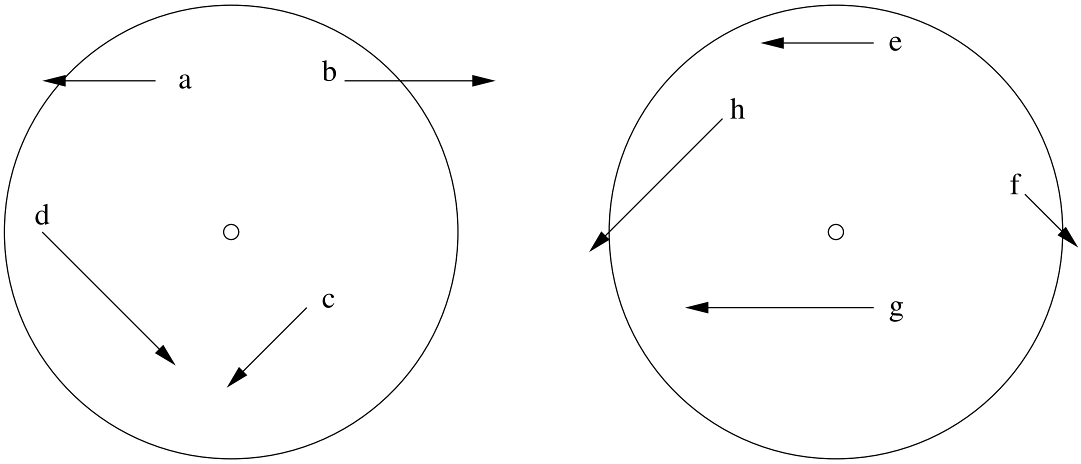
A 22.1. Bestimme das Drehmoment der einzelnen angreifenden Kräfte und bestimme das resultierenden Drehmoment.



Die Scheibe ist im Maßstab 1:10 abgebildet. Der Maßstab für die Kraftpfeile ist 1 N/cm.

	Kraft	Hebelarm	Drehmoment	Drehrichtung
a				
b				
c				
d				
e				
f				
g				
h				

A 22.2. Bestimme das Drehmoment der einzelnen angreifenden Kräfte und bestimme das resultierenden Drehmoment.



Die Scheibe ist im Maßstab 1:10 abgebildet. Der Maßstab für die Kraftpfeile ist 1 N/cm.

	Kraft	Hebelarm	Drehmoment	Drehrichtung
a				
b				
c				
d				
e				
f				
g				
h				

23 Versuch zur schiefen Ebene

Materialien 1 Brett, 1 Wagen, 1 Kraftmesser, 1 Stativhalterung, 2 Meterstäbe

Durchführung

1. Messe die Länge des Bretts.
2. Klemme die Stativhalterung an den Tisch.
3. Lege das Brett auf den Tisch an die Stativhalterung. Befestige an dem von der Stativhalterung entfernten Ende des Bretts einen Kraftmesser.
4. Hebe mit dem Kraftmesser das Brett an. Halte dabei den Kraftmesser immer senkrecht zum Brett. Notiere die gemessene Normalkraft, sowie die Höhe h und die Bodenlänge b.
5. Führe den obigen Versuch für zehn verschiedene Winkel durch.
6. Bestimme nun die Gewichtskraft des Wagens.
7. Befestige den Kraftmesser am Wagen. Hebe das Brett an und messe die Hangabtriebskraft des Wagens. Notiere diese, sowie die Höhe h und die Bodenlänge b.
8. Führe den obigen Versuch für zehn verschiedene Winkel durch.

Auswertung

1. Zeichne den Graphen Normalkraft-Bodenlänge und Normalkraft-Höhe.
2. Zeichne den Graphen Hangabtriebskraft-Bodenlänge und Hangabtriebskraft-Höhe.

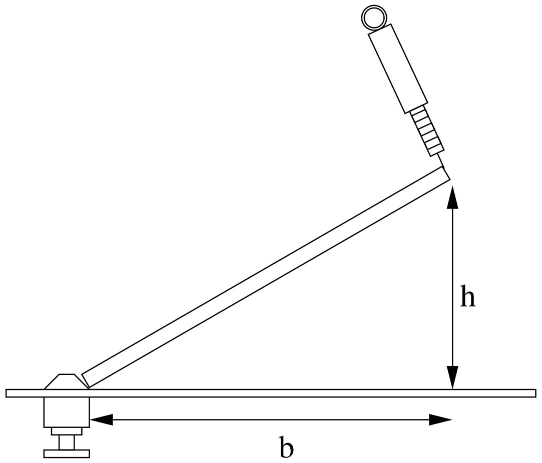
Deutung

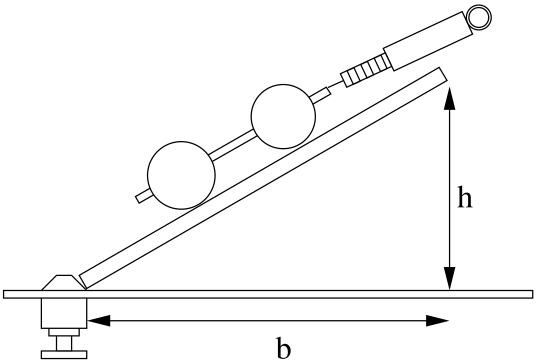
Die Normalkraft ist proportional zum Quotienten aus ________________ und ________________.

$$F_N = \underline{\qquad\qquad} \tag{23.1}$$

Die Hangabtriebskraft ist proportional zum Quotienten aus ______________ und ______________.

$$F_H = \underline{\qquad\qquad} \tag{23.2}$$





23.1 Aufgaben zur schiefen Ebene

A 23.1. Abbildung 23.1 zeigt den schematischen Aufbau einer schiefen Ebene.

a) Beschrifte die Kanten des Dreiecks mit den Begriffen *Länge l*, *Höhe h* und *Bodenlänge b*.
b) Zeichne die Gewichtskraft durch einen Kraftpfeil der Länge 3 cm ein, der am Punkt S beginnt.
c) Zeichne entsprechend die wirkende Hangabtriebskraft und Normalkraft ein.

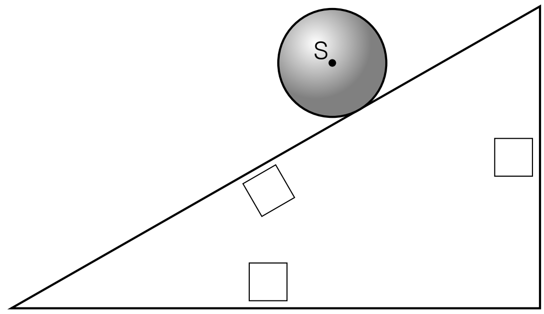


Abbildung 23.1: Schematische Ansicht der schiefen Ebene

A 23.2. Nenne 2 Beispiele für schiefe Ebenen.

Spielplatz : Rutsche
_______ : _______
_______ : _______

A 23.3. Ergänze die folgenden Aussagen richtig.

a) Die ______________kraft drückt die Kugel senkrecht auf die Bahn. Abgekürzt wird sie mit _______.

b) Die ________________________kraft zieht die Kugel parallel zur Bahn nach unten. Abgekürzt wird sie mit _______.

c) Auf der schiefen Ebene ist die ________________________kraft immer geringer als die Gewichtskraft.

d) Je steiler die die schiefe Ebene ist, ...

... desto ____________ ist die ________________________________.

... desto _____________ ist die _______________________.

A 23.4. Ein Fahrradfahrer fährt eine 600 m lange und 12° steile Strecke hinauf. Er hat eine Masse von 75 kg und sein Fahrrad wiegt 15 kg.

a) Fertige eine maßstabsgetreue Zeichnung an.
b) Bestimme aus der Zeichnung Höhe und Bodenlänge der schiefen Ebene.
   - Bodenlänge b:
   - Höhe h:
c) Berechne die Gewichtskraft des Radfahrers mit Rad und zeichne sie in die Zeichnung ein. Wähle für den Kraftpfeil einen geeigneten Maßstab.
   - Gewichtskraft F_G:
   - Maßstab:
   - Pfeillänge:
d) Konstruiere die Hangabtriebskraft und die Normalkraft und bestimme ihre Größe.

Kraft	Pfeillänge [cm]	Kraft [N]
Hangabtriebskraft		
Normalkraft		

24 Versuch zur Reibung

Material: Holzquader, Kraftmesser, Massestücke (0,5 kg; 1 kg; 2 kg)

Aufbau: Lege den Holzquader längs auf den Tisch und befestige den Kraftmesser an einem Ende.

Durchführung:

1. Bestimme die Masse des Holzquaders. $m =$ ....
2. Ein liegender Körper benötigt eine bestimmte Kraft um sich in Bewegung zu setzen. Dieses Phänomen bezeichnet man als **Haftreibung**. Um die Haftreibungskraft F_{HR} zu bestimmen, ziehe langsam an dem Kraftmesser und notiere ab welcher Kraft sich der Holzquader in Bewegung setzt.
3. Wiederhole den Versuch und belaste den Holzquader mit mehr Masse. Notiere Deine Ergebnisse in der unteren Tabelle.
4. Ein bewegter Körper setzt seiner Bewegung einen Widerstand entgegen. Dieses Phänomen nennt man **Gleitreibung**. Um die F_{GR} zu bestimmen, ziehe den unbelasteten Holzquader langsam und gleichmäßig über den Tisch. Messe dabei die wirkende Kraft und notiere sie.
5. Wiederhole den Versuch und belaste den Holzquader mit mehr Masse. Notiere Deine Ergebnisse in der unteren Tabelle.

Auswertung

1. Berechne die Gesamtmasse m und die Gewichtskraft F_G des Holzquaders inklusive der Massestücke und ergänze die Tabelle.
2. Zeichne ein Diagramm für die Haftreibung $F_{HR}(F_G)$ in Abhängigkeit von der Gewichtskraft. Notiere Deine Folgerungen!
3. Zeichne ein neues Diagramm für die Gleitreibung $F_{GR}(F_G)$ in Abhängigkeit von der Masse. Notiere Deine Folgerungen!

Massestück [kg]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
m [kg]								
F_G [N]								
F_{HR} [N]								
F_{GR} [N]								

25 Reibungskraft

Die Reibungskraft ist proportional zur Normalkraft, die den Gegenstand auf die Unterlage presst. Den Proportionalitätsfaktor bezeichnet man als Reibungszahl. Sie ist abhängig von den beiden aufeinandereibenden Materialien.

$$\text{Reibungskraft} = \text{Reibungszahl} \cdot \text{Normalkraft} \qquad F_R = R \cdot F_N \tag{25.1}$$

Sind Reibungskraft und Normalkraft bekannt, dann kann die Reibungszahl bestimmt werden.

$$\text{Reibungszahl} = \frac{\text{Reibungskraft}}{\text{Normalkraft}} \qquad R = \frac{F_R}{F_N} \tag{25.2}$$

Um die Normalkraft zu bestimmen, teilt man Reibungskraft durch Reibungszahl.

$$\text{Normalkraft} = \frac{\text{Reibungskraft}}{\text{Reibungszahl}} \qquad F_N = \frac{F_R}{R} \tag{25.3}$$

Beispiel

Ein Stahlblock mit der Masse $m = 30\,\text{kg}$ steht auf Holzbohlen. Bestimme die Haftreibungskraft.

Gesucht ist die Reibungskraft F_R. Gegeben ist die Masse des Stahlklotz mit $m = 30\,\text{kg}$. Die Reibungszahl ergibt sich aus der Tabelle unten. Es gilt die Haftreibungszahl $R = 0{,}6$. In diesem Fall ist die Normalkraft gleich der Gewichtskraft des Stahlblocks: $F_N = F_G = m \cdot g$. Wenn wir den Ortsfaktor $g = 10\,\text{N/kg}$ benutzen, folgt:

$$F_R = R \cdot F_N = R \cdot m \cdot g = 0{,}6 \cdot 30\,\text{kg} \cdot 10\,\frac{\text{N}}{\text{kg}} = 18\,\text{N} \tag{25.4}$$

Material	Haft- Reibung	Gleit- Reibung	Material	Haft- Reibung	Gleit- Reibung
Holz auf Metall	0,6	0,4	Autoreifen auf		
Holz auf Holz	0,4	0,3	- Asphalt	0,6	0,4
Stahl auf Stahl	0,2	0,05	- Beton	0,8	0,5
Stahl auf Eis	0,03	0,01	- Eis	0,2	0,1
Beton auf Sand	0,6	–			

Tabelle 25.1: Reibungszahlen für verschiedene Materialkombinationen

Aufgaben

1. Berechne die Haft- und Gleitreibungskraft eines kleinen PKWs ($m = 900\,\text{kg}$) auf Asphalt. Vergleiche diese Werte mit denen für Eis.
2. Um einen 80 kg schweren Mann auf Skiern zu ziehen, wird eine Kraft von $F_R = 40\,\text{N}$ benötigt. Bestimme die Gleitreibungskonstante für die Kombination Ski-Eis.
3. Ein Wagen bremst mit blockierenden Reifen auf einer Asphaltstraße ab. Dabei übt er eine Bremskraft von 3,2 kN aus. Bestimme die Masse des Wagens.
4. Ein Trecker soll einen Betonklotz ($m = 500\,\text{kg}$) am Strand verschieben. Der Trecker steht auf einer Betonfahrbahn und ist mit einem Seil am Klotz befestigt. Bestimme die Masse, die der Trecker mindestens haben muss, wenn der Klotz durch eine am Trecker befestigte Seilwinde gezogen wird.

26 Lösungen

4 Physikalisches Rechnen

A 4.1 Die Dichte beträgt 11,3 g/cm^3. Es handelt sich um Blei.

A 4.2 Die Dichte der Kugel beträgt 0,5 g/cm^3. Es handelt sich um Fichtenholz.

A 4.3 Die Dichte beträgt 2,5 g/cm^3. Damit handelt es sich um Glas.

A 4.4 a Die Masse der Betonplatte beträgt 28,75 kg.

A 4.4 b Die Masse des Aluminiumblocks beträgt 2,075 kg.

A 4.4 c Die Masse des Wassers in der Dose beträgt 330 g.

A 4.5 a Eine Tonne Gold hat ein Volumen von nur 51,8 Litern.

A 4.5 b Das Eichenbrett hat ein Volumen von 11,1 Liter.

A 4.5 c Die Stahlschraube hat ein Volumen von 6,5 cm^3.

9 Wiederholung: Maßstab

14 Gewichtskraft

A 14.1. Zeichne für jeden Himmelskörper den Kraftpfeil, den eine Masse von 1 kg auf diesem Körper ausüben würde. Verwende dazu den Maßstab 1 cm : 1 N.

A 14.2. Die Astronauten der Apollo 11-Mission trugen Anzüge mit einer Masse von 83 kg. Nehmen wir an, der Astronaut besitzt eine Masse von 80 kg.

a) Berechne die Gewichtskraft des Astronauten im Weltraumanzug auf dem Mond.
$F_G = ?$; $m = 83\,\text{kg} + 80\,\text{kg} = 163\,\text{kg}$; $g = 1{,}62\,\text{N/kg}$; $F_G = m \cdot g$

$$[F_G] = [m] \cdot [g] = 1\,\text{kg} \times 1\,\text{N/kg} = 1\,\text{N} \qquad \{F_G\} = \{m\} \cdot \{g\} = 163 \times 1{,}62 = 264 \qquad F_G = 264\,\text{N}$$

Der Astronaut übt eine Gewichtskraft von 264 N auf dem Mond aus.

b) Vergleiche die Gewichtskraft des Astronauten auf dem Mond mit der auf der Erde.
$F_G = ?$; $m = 83\,\text{kg} + 80\,\text{kg} = 163\,\text{kg}$; $g = 9{,}81\,\text{N/kg}$; $F_G = m \cdot g$

$$[F_G] = [m] \cdot [g] = 1\,\text{kg} \times 1\,\text{N/kg} = 1\,\text{N} \qquad \{F_G\} = \{m\} \cdot \{g\} = 163 \times 9{,}81 = 1599 \qquad F_G = 1599\,\text{N}$$

Der Astronaut übt eine Gewichtskraft von ca. 1600 N auf dem Mond aus.

$$\frac{1600\,\text{N}}{163\,\text{N}} \approx 6$$

Der Astronaut hat auf der Erde die 6-fache Gewichtskraft wie auf dem Mond.

c) Zeichne als Vergleich zwei Kraftpfeile im gleichen Maßstab für jede der Gewichtskräfte.

A 14.3. Eris ist der größte bekannte Zwergplanet unseres Sonnensystems. Er ist nach der griechischen Göttin der Zwietracht und des Streits Eris benannt und hat einen um 100 km größeren Durchmesser als Pluto. In ferner Zukunft landet eine 90 kg schwere Raumsonde auf Eris. In den Landebeinen eingebaute Kraftmesser messen eine Gewichtskraft von 53,1 N. Bestimme den Ortsfaktor auf Eris.

$g = ?$; $m = 90\,\text{kg}$; $F_G = 53{,}1\,\text{N}$; $F_G = m \cdot g \Longrightarrow g = \frac{F_G}{m}$

$$[g] = \frac{[F_G]}{[m]} = \frac{1\,\text{N}}{1\,\text{kg}} = 1\,\text{N/kg} \qquad \{g\} = \frac{\{F_G\}}{\{m\}} = \frac{53{,}1}{90} = 0{,}59 \qquad g = 0{,}59\,\text{N/kg}$$

Eris hat einen Ortsfaktor von 0,59 N/kg.

A 14.4. Lehrer Lehman möchte die Masse eines Pakets bestimmen. Leider ist die Waage im Lehrerzimmer defekt. Im Postfach eines Kollegen findet er einen Kraftmesser. Der Kraftmesser zeigt für das Paket eine Gewichtskraft von 27,5 N an. Bestimme die Masse des Pakets.

$m = ?$; $g = 9{,}81\,\text{N/kg}$; $F_G = 27{,}5\,\text{N}$; $F_G = m \cdot g \Longrightarrow m = \frac{F_G}{g}$

$$[m] = \frac{[F_G]}{[g]} = \frac{1\,\text{N}}{1\,\frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1\,\text{N} \times 1\,\frac{\text{kg}}{\text{N}} = 1\,\text{kg} \qquad \{m\} = \frac{\{F_G\}}{\{g\}} = \frac{27{,}5}{9{,}81} = 2{,}8 \qquad m = 2{,}8\,\text{kg}$$

Das Paket hat eine Masse von 2,8 kg.

A 14.5. Das galaktische Kreuzfahrtschiff *Pegasus* ($m = 48000\,\text{t}$) schwebt in 200 m Höhe über der Oberfläche der Venus. Berechne die Kraft, die seine Maschinen aufwenden müssen, damit das Schiff nicht abstürzt.

$F_G = ?$; $m = 48\,000\,\text{t}$; $g = 8{,}87\,\text{N/kg}$; $F_G = m \cdot g$

$$[F_G] = [m] \cdot [g] = 1\,\text{t} \times 1\,\text{N/kg} = 1\,000\,\text{kg} \times 1\,\text{N/kg} = 1\,000\,\text{N} = 1\,\text{kN}$$

$$\{F_G\} = \{m\} \cdot \{g\} = 48\,000 \times 8{,}87 = 425\,760 \qquad F_G = 425\,760\,\text{kN} \approx 426\,\text{MN}$$

Die Maschinen der *Pegasus* müssen eine Kraft von 426 MN aufbringen.

16 Das Hookesche Gesetz

A 16.1. Eine Feder mit der Länge $l_0 = 50\,\text{cm}$ und der Federkonstante $D = 25\,\text{N/m}$ dient zum Schließen einer Schiebetür. Bei geschlossener Tür ist die Feder 70 cm und bei geöffneter Tür 150 cm lang. **Berechne** die jeweils wirkenden Federkräfte.

$$\Delta l = 0{,}7\,\text{m} - 0{,}5\,\text{m} = 0{,}2\,\text{m} \qquad F = D \cdot \Delta l = 25\,\text{N/m} \cdot 0{,}2\,\text{m} = 5\,\text{N}$$
$$\Delta l = 1{,}5\,\text{m} - 0{,}5\,\text{m} = 0{,}2\,\text{m} \qquad F = D \cdot \Delta l = 25\,\text{N/m} \cdot 1\,\text{m} = 25\,\text{N}$$

A 16.2. Eine Feder wird durch eine Kraft von 5 N um 10 cm ausgelenkt. Bestimme die Federkonstante D der Feder.

$$D = \frac{F}{s} = \frac{5\,\text{N}}{10\,\text{cm}} = 0{,}5\,\frac{\text{N}}{\text{cm}} = 50\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$$

A 16.3. An einer Feder mit der Federkonstanten $D = 20\,\text{N/m}$ und der Länge $l_0 = 10\,\text{cm}$ im unbelasteten Zustand wirkt eine Kraft von 5 N. Bestimme die Länge der belasteten Feder.

$$\Delta l = \frac{F}{D} = \frac{5\,\text{N}}{20\,\text{N/m}} = 0{,}25\,\text{m} = 25\,\text{cm} \Longrightarrow l = l_0 + \Delta l = 10\,\text{cm} + 25\,\text{cm} = 35\,\text{cm}$$

A 16.4. Eine Feder mit der Federkonstanten $D = 30\,\text{N/m}$ wird innerhalb ihres elastischen Bereichs mit Kräften belastet. Bestimme aus der Längenänderung die angehängte Kraft.

Δl [cm]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
F [N]	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5

A 16.5. Gegeben ist folgende Tabelle für die Ausdehnung einer Feder. Bestimme den elastischen Bereich der Feder.

Du berechnest dazu die Federkonstante für jeden Wert.

F [N]	1	2	4	6	8	11	15	19	25	30
Δl [cm]	2,3	4,6	9,2	13,8	20,8	25,3	34,5	40,2	42,5	44,2
D [N/cm]	0,435	0,435	0,435	0,435	0,385	0,435	0,435	0,472	0,588	0,679

Am Anfang beträgt die Federkonstante konstant 0,435 N/cm. Bei 8 cm gibt es einen Ausreißer (Messfehler?). Ab 19 cm steigt die Federkonstante stetig an und ist nicht mehr konstant. Hier kann die Feder nicht mehr als elastisch bezeichnet werden.

A 16.6. Eine Feder mit der Länge $l_0 = 10\,\text{cm}$ im unbelasteten Zustand wird durch eine Kraft von 5 N auf eine Länge $l_1 = 15\,\text{cm}$ ausgedehnt. Bestimme die Ausdehnung l_2 der Feder, wenn eine Kraft von 12 N angelegt wird und die Feder im elastischen Bereich bleibt.

$$\Delta l_1 = l_1 - l_0 = 15\,\text{cm} - 10\,\text{cm} = 5\,\text{cm} \Longrightarrow D = \frac{F_1}{\Delta l_1} = \frac{5\,\text{N}}{5\,\text{cm}} = 1\,\frac{\text{N}}{\text{cm}}$$
$$\Delta l_2 = \frac{F_2}{D} = \frac{12\,\text{N}}{1\,\frac{\text{N}}{\text{cm}}} = 12\,\text{cm} \Longrightarrow l_2 = l_0 + \Delta l_2 = 10\,\text{cm} + 12\,\text{cm} = 22\,\text{cm}$$

17 Kombination aus Federkraft und Gewichtskraft

A 17.1. Löse die Formel 17.3 nach den enthaltenen Größen auf!

$$m = \frac{D \cdot \Delta l}{g} \qquad g = \frac{D \cdot \Delta l}{m} \qquad D = \frac{m \cdot g}{\Delta l} \qquad \Delta l = \frac{m \cdot g}{D}$$

A 17.2. Eine Feder mit der Federkonstante $D = 5\,\text{N/cm}$ wird auf der Erde durch eine Bleikugel um $\Delta l = 20\,\text{cm}$ ausgelenkt. Bestimme die Masse der Bleikugel!

$m =?$ $\quad D = 5\,\text{N/cm}$ $\quad \Delta l = 20\,\text{cm}$ $\quad g = 10\,\text{N/kg}$

$$m = \frac{D \cdot \Delta l}{g} = \frac{5\,\text{N/cm} \cdot 20\,\text{cm}}{10\,\text{N/kg}} = 10\,\text{kg}$$

A 17.3. Eine Asteroidensonde besitzt ein Meßgerät ($m = 500\,\text{g}$), dass an einer Feder $D = 0{,}1\,\text{N/cm}$ aufgehängt ist. Die Forscher messen eine Ausdehnung der Feder um $\Delta l = 1{,}35\,\text{cm}$. Bestimme den Ortsfaktor des Asteroiden!

$g =?$ $\quad m = 500\,\text{g} = 0{,}5\,\text{kg}$ $\quad D = 0{,}1\,\text{N/cm}$ $\quad \Delta l = 1{,}35\,\text{cm}$

$$g = \frac{D \cdot \Delta l}{m} = \frac{0{,}1\,\text{N/cm} \cdot 1{,}35\,\text{cm}}{0{,}5\,\text{kg}} = 0{,}27\,\text{N/kg}$$

Bei dem Asteroiden handelt es sich um Ceres mit einem Ortsfaktor von $g = 0{,}27\,\text{N/kg}$.

A 17.4. Ein Gerät ($m = 2\,\text{kg}$) an der Mondfähre ($g_{\text{Mond}} = 1{,}62\,\text{N/kg}$) soll durch eine Feder um 1,5 m abgesenkt werden, so dass es knapp den Boden berührt. Bestimme die Federkonstante der Feder!

$D =?$ $\quad m = 2\,\text{kg}$ $\quad g_{\text{Mond}} = 1{,}62\,\text{N/kg}$ $\quad \Delta l = 1{,}5\,\text{m}$

$$D = \frac{m \cdot g}{\Delta l} = \frac{2\,\text{kg} \cdot 1{,}62\,\text{N/kg}}{1{,}5\,\text{m}} = 2{,}16\,\text{N/m}$$

Inhaltsverzeichnis