

1. Masse, Volumen und Dichte

Ziel: Uns umgeben zahlreiche Gegenstände, die in der Physik als **Körper** bezeichnet werden. Diese Körper haben eine Reihe von grundlegenden Eigenschaften: Sie nehmen einen Raum (Volumen) ein, haben eine Masse und bestehen aus unterschiedlichen Stoffen.

Drei wichtige physikalische Grössen sind das **Volumen** und die **Masse** von Körpern sowie die **Dichte** von Stoffen.

In diesem Praktikum werdet ihr diese Eigenschaften genauer untersuchen.

1.1 Die Masse eines Körpers

Aus Erfahrung wissen wir, dass Körper unterschiedlich schwer sein können. Ein Fussball ist leicht, er lässt sich bequem hochheben. Ein gleich grosser Stein ist viel schwerer. Die Ursache für die Schwere der Körper sind die Anziehungskräfte zwischen den Körpern und der Erde. Je nach ihrer Masse werden die Körper unterschiedlich stark von der Erde angezogen. Sie sind unterschiedlich **schwer**.

Die Masse beschreibt aber noch eine weitere Eigenschaft von Körpern. So ist es leichter, eine leere Schubkarre anzuschieben als eine voll beladene. Beide «widersetzen» sich einer Änderung ihrer Bewegung. Weil aber die beladene Schubkarre eine grössere Masse hat, «widersetzt» sie sich mehr. Man nennt diese Eigenschaft von Körpern **Trägheit**. Körper mit grosser Masse sind träger als Körper mit kleiner Masse.

Die Eigenschaft eines Körpers, schwer und träge zu sein, wird durch die physikalische Grösse Masse beschrieben.

Die Masse eines Körpers gibt an, wie schwer und wie träge ein Körper ist.

Formelzeichen: ***m***

Einheit der Masse: 1 Kilogramm (**kg**)

Die Einheit der Masse ist **das Kilogramm (1 kg)**.

Sie ist, momentan noch, festgelegt durch das Urkilogramm in Paris (F).

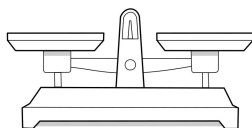
Die Einheit ein Kilogramm der Masse ist eine Basiseinheit des Internationalen Einheitensystems (SI). Vielfache bzw. Teile der Einheit 1 kg sind eine Tonne (1 t), ein Gramm (1 g) und ein Milligramm (1 mg):

$$\begin{aligned} 1 \text{ t} &= 1'000 \text{ kg} &= 1'000'000 \text{ g} \\ 1 \text{ kg} &= 1'000 \text{ g} &= 1'000'000 \text{ mg} \\ 1 \text{ g} &= 1'000 \text{ mg} \end{aligned}$$

Die **Masse von Edelsteinen** (z. B. Diamanten) und Perlen wird in **Karat (ct)** angegeben: **1 ct = 0.2 g**.

Bestimmung der Masse eines Körpers

Balkenwaage



Nachfolgend sind die Massen einiger Körper aus Natur und Technik angegeben.

Masse von Körpern in Natur und Technik	
Haar	ca. 0.1 mg
Wassertropfen	0.3 g
1 Liter Luft	1.29 g
1 Cent Euro	2.3 g
Normalbrief	ca. 10 g
1 Tafel Schokolade	100 g
1 Liter Wasser	1 kg
Gehirn eines Menschen	1.4 kg
Mauerziegel	3.5 kg
PKW	ca. 1 000 kg
LKW	bis 40 t
Lokomotive	ca. 100 t
Blauwal	bis 150 t
Grossraumflugzeug (Jumbo-Jet)	ca. 320 t

Aufgabe 1

Wäge die 3 Körper, die du zur Verfügung hast. Notiere die Massen in der Tabelle:

Würfel oder Quader	$m =$
Zylinder	$m =$
Stein	$m =$

1.2 Das Volumen eines Körper

Das Volumen (der Rauminhalt) gibt an, wie viel Raum ein Körper einnimmt.

Formelzeichen: V (ein grosses V , für Volumen)

Einheit: 1 Kubikmeter (1 m^3)

1 Liter (1ℓ) ebenfalls üblich im Alltag

Teile der Einheit 1 m^3 sind ein Kubikdezimeter (1 dm^3), ein Kubikzentimeter (1 cm^3) und ein Kubikmillimeter (1 mm^3).

$$\begin{aligned} \text{Es gilt: } 1 \text{ m}^3 &= 1'000 \text{ dm}^3 &= 1'000'000 \text{ cm}^3 &= 1'000'000'000 \text{ mm}^3 \\ 1 \text{ dm}^3 &= 1'000 \text{ cm}^3 &= 1'000'000 \text{ mm}^3 \\ 1 \text{ cm}^3 &= 1'000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Vielfache und Teile der Einheit 1 Liter sind ein Hektoliter (1 hl) und ein Milliliter (1 ml).

$$\text{Es gilt: } 1 \text{ hl} = 100 \ell$$

$$1 \ell = 1000 \text{ ml}$$

Zwischen den Einheiten bestehen folgende Beziehungen:

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \ell$$

← Diese Beziehung auswendig lernen!

$$1 \text{ m}^3 = 1'000 \ell$$

Spezielle Volumeneinheiten sind ein **Barrel** (1 barrel) und eine **Bruttoregistertonne** (1 BRT).

Das Volumen von Erdöl wird häufig in Barrel (barrel) angegeben:

$$1 \text{ barrel} = 158.758 \ell$$

Der Rauminhalt von Schiffen wird in Registertonnen bzw. Bruttoregistertonnen (BRT) angegeben:

$$1 \text{ Registertonne} = 2.83 \text{ m}^3$$

Nachfolgend ist das Volumen einiger Körper aus Natur und Technik angegeben.

Ameise	ca. 2 mm^3
Wassertropfen	ca. 0.3 ml
Tischtennisball	25 cm^3
Streichholzschachtel	28 cm^3
grosse Tasse	ca. 0.25ℓ
Limonadenflasche	0.75ℓ ; 1ℓ ; 1.5ℓ ; 2ℓ
Ball (20 cm Durchmesser)	4.2 dm^3
Wassereimer	ca. 10ℓ
Tank eines PKW	ca. 45ℓ bis 60ℓ
Tankwagen	ca. $20'000 \ell$
Öltanker	bis $500'000 \text{ m}^3$
Cheops Pyramide in Ägypten	$2'500'000 \text{ m}^3$
Erdmond	$2.1991 \cdot 10^{19} \text{ m}^3$
Erde	$1.0832 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$
Sonne	$1.412 \cdot 10^{27} \text{ m}^3$

Bestimmung des Volumens eines Körpers

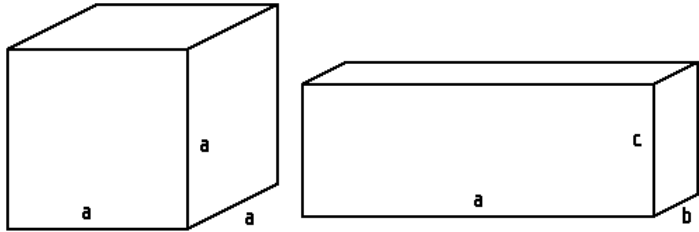
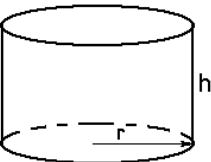
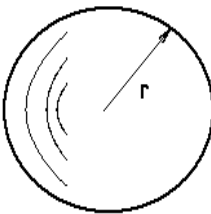
Das Volumen eines festen Körpers kann mit verschiedenen Methoden bestimmt werden.

- Regelmässige, geometrisch begrenzte Volumen: Berechnung des Volumens aus der Geometrie des Körpers
- Unregelmässige Volumen: Differenz- oder Überlaufmethode

Volumina von Flüssigkeiten kann man mit sog. Messzylindern bestimmen.

Volumenbestimmung regelmässiger Körper

Die Geometrie liefert uns Formeln, wie sich das Volumen eines regelmässigen Körpers berechnen lässt:

<p>Würfel, Quader</p> $V_{\text{Würfel}} = a \cdot a \cdot a = a^3$ $V_{\text{Quader}} = a \cdot b \cdot c$	
<p>Zylinder</p> $V_{\text{Zylinder}} = \pi \cdot r^2 \cdot h$ <p>(Kreiszahl Pi: $\pi = 3.14 \dots$)</p>	
<p>Kugel</p> $V_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$	

Aufgabe 2

Bestimme mit Hilfe der digitalen Schublehre die Längen der Körper und berechne daraus das Volumen. Trage die Werte in die Tabelle ein.

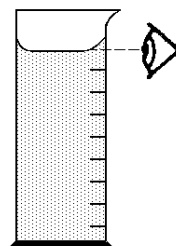


Würfel/Quader: $a = \dots\dots\dots$ cm / $b = \dots\dots\dots$ cm / $c = \dots\dots\dots$ cm	$V =$
Zylinder : $d = \dots\dots\dots$ cm $\rightarrow r = \dots\dots\dots$ cm $h = \dots\dots\dots$ cm	$V =$

Volumenbestimmung unregelmässiger Körper

Bei der Überlaufmethode und bei der Differenzmethode benutzt man Messzylinder. Dies sind hohe Glaszylinder mit einem aufgetragenen Massstab.

Da das Wasser am Glasrand auf Grund der Adhäsion (lat.: Anhänglichkeit) etwas hochsteigt, scheinen beim seitlichen Ablesen zwei Oberflächen zu existieren. Die untere ist die wirkliche Oberfläche.



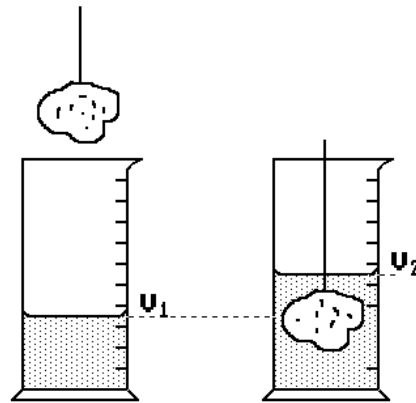
Aufgabe 3**Differenzmethode**

Fülle den Messzylinder mit Wasser. Lese am Glaszylinder das Volumen der Wassermenge ab und notiere das Volumen V_1 in der untenstehenden Tabelle.

Gebe den Körper rein. (Der Körper kann auch direkt im Messzylinder auf den Boden gelegt werden). Lese wiederum das Volumen der Wassermenge V_2 ab und notiere diesen Wert ebenfalls.

Berechne die Differenz dieser beiden Werte.

Damit hast Du das Volumen des Körpers bestimmt.

**Messtabelle****Differenzmethode**

Körper	V_1	V_2	$V_{\text{Körper}} =$	Berechnetes Volumen
Würfel				
Zylinder				
Stein				Nicht möglich, da unregelmässig

Überlaufmethode

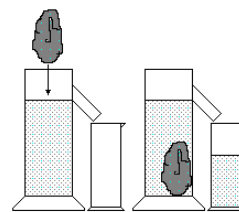
Körper	$V_{\text{Überlauf}} = V_{\text{Körper}}$
Würfel	
Zylinder	
Stein	

Überlaufmethode

Tauche deinen Körper in ein zuvor bis zum Rand gefülltes Überlaufgefäß. Fange das überlaufende Wasser in einem Messzylinder auf und messe dieses Wasservolumen.

Trage die Werte in die obige Tabelle ein.

Dies ist gerade das Volumen, welches der Körper verdrängt hat.

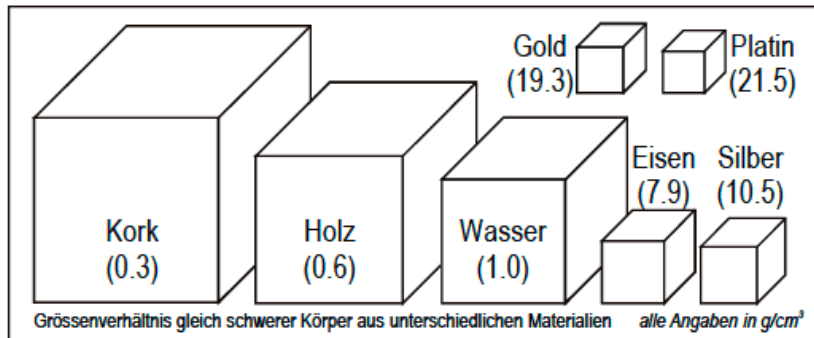


1.3 Die Dichte von Stoffen

Es ist oft überraschend, wie schwer oder wie leicht Gegenstände sind. Manchmal sind sie hohl, was unsere Überraschung über ihr geringes Gewicht schnell erklärt. Manchmal sind sie jedoch massiv und trotzdem leicht.

Um das Gewicht von Stoffen vergleichbar zu machen ist es deshalb nötig, dasselbe Volumen zu betrachten. Man nennt dies die **Dichte** eines Stoffes.

Dichte von Körpern



Die **Dichte** eines Körpers gibt an, welche Masse jeder Kubikzentimeter (cm^3) Volumen eines Stoffes hat.

Formelzeichen: ρ (griechischer Buchstabe, ausgesprochen: Rho)

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

Einheit: Gramm pro Kubikzentimeter ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) oder Kilogramm pro Kubikmeter ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

Es gilt: $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und $1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{1}{1000} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Dichtetabelle (typische Werte unreiner, natürlicher Stoffe sind mit einem * gekennzeichnet)

Stoff (fest, 20 °C)	Dichte in g/cm^3	Stoff (flüssig, 20 °C)	Dichte in g/cm^3	Stoff (gas, 0 °C)	Dichte in kg/m^3
Eis (0 °C)	0.917	Wasser (0.01 °C)	0.9998	Luft trocken, 0 °C	1.293
Eis (-25 °C)	0.920	Wasser (4 °C)	0.999972	Luft 20 °C	1.204
Platin	21.45	Wasser (20 °C)	0.99821	Luft 30 °C	1.164
Gold	19.29	Wasser (99.9 °C)	0.9584	Luft feucht, 20 °C	1.178
Wolfram	19.30				
Uran	18.7	Quecksilber (Hg)	13.546	Freon 12 CF_2Cl_2	5.510
Blei	11.34	Glycerin $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	1.261	Kohlenstoffdioxid	1.977
Silber	10.50	Salzwasserlösung *	1.20	Sauerstoff	1.429
Kupfer	8.92	Olivenöl *	0.92	Stickstoff	1.250
Messing $\text{Cu}_{65}\text{Zn}_{35}$	8.47	Heizöl (extraleicht) *	0.86	Erdgas *	0.83
Eisen (rein)	7.86	Alkohol (rein)	0.789	Helium	0.1785
Zinn	7.29	Motorenbenzin *	0.75	Wasserstoff	0.0899
Zink	7.14				
Aluminium	2.70				
Kalkstein *	2.7				
Fensterglas *	2.5				
Porzellan *	2.4				
Holz *	0.7				
Kork *	0.3				
Styropor *	0.02				

Aufgabe 4

Du hast in den Aufgaben 1, 2 und 3 die Masse und das Volumen der drei Körper bestimmt.

Berechne nun die Dichte dieser Körper.

Um welchen Stoff könnte es sich handeln? Vergleiche deine berechnete Dichte mit den Werten in der Tabelle.

Würfel: $\rho = \frac{m}{V} = \text{-----} = \text{-----} \Rightarrow \text{Material: } \text{-----}$

Zylinder: $\rho = \frac{m}{V} = \text{-----} = \text{-----} \Rightarrow \text{Material: } \text{-----}$

Dichtebestimmung mit Hilfe des archimedischen Prinzips

Es gibt eine weitere, raffinierte Methode, die Dichte eines Körpers zu bestimmen. Sie stammt von Archimedes (geboren 287 v. Chr.; † 212 v. Chr. von/in Syrakus auf Sizilien).

Aufgabe 5

Wäge deinen Körper (z.B., einen Stein, Würfel oder Quader) solange er trocken ist!

Nimm nun den Körper und binde ihn an eine dünne Schnur/Faden.

Fülle den Messzylinder etwa zur Hälfte mit Wasser und stelle ihn auf die Waage.

Tariere *anschliessend* die Waage wieder auf Null.

Hänge nun den Würfel oder den Quader ins Wasser (er sollte vollständig ins Wasser eintauchen).

Lege die Anzeige der Waage ab. Vergleiche diese Zahl mit dem in Aufgabe 3 bestimmten Volumen.

Feststellung:

.....

Aufgabe 6 (Dichte eines Steins oder auch eines beliebigen anderen Körpers, nach Archimedes-Methode)

Dichte = $\frac{70,05 \text{ g}}{28,02 \text{ g}} = 2,50 \text{ g/cm}^3$

1. Wäge den Stein trocken.
2. Tariere die Waage mit dem gefüllten Becherglas aus. (Bild: links)
3. Halte den Stein ins Wasser. (Bild: Mitte)
Notiere die Angabe auf der Waage.
4. Lege den Stein auf den Boden des Becherglases. (Bild: rechts)
Notiere die Angabe der Waage. Was gibt dieser Wert an?

.....

4. Berechne die Dichte des Steines:

Verdrängte Wassermasse in g	$V_{\text{Körper}}$ in cm^3	$m_{\text{Körper}}$ in g	Dichte $\rho = \frac{m_K}{V_K}$

Zusatz-Aufgabe 7 (Dichte von Flüssigkeiten)

Vorne auf dem grossen Korpus stehen vier PET-Flaschen in Originalfüllung: Cola normal, Cola light und Mineralwasser, sowie eine leere PET-Flasche des gleichen Typs.

Führe nun mit den PET-Flaschen einen Versuch analog zur Aufgabe 6 durch. Benütze dabei die folgende Tabelle und notiere die Ergebnisse in der untenstehenden Tabelle. Bestimme die Massen der Flüssigkeiten durch Differenzbildung.

	Masse in g ganze PET Flasche	$V_{\text{Körper}}$ in cm^3 gemäss Angaben	$m_{\text{Flüssigkeit}}$ in g	Dichte $\rho = \frac{m_{Fl}}{V_K}$
Cola normal				
Cola light				
Mineralwasser				
leere Flasche		×	×	×

Interpretation der Ergebnisse:

.....

.....

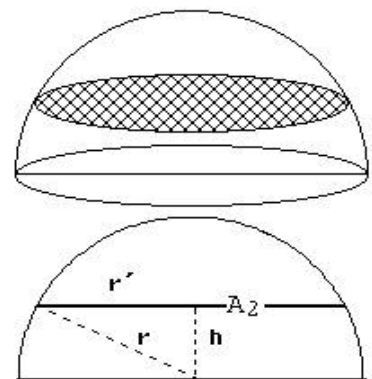
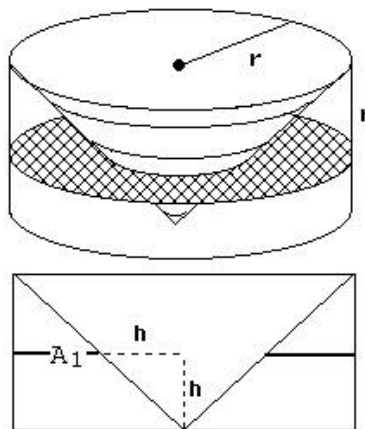
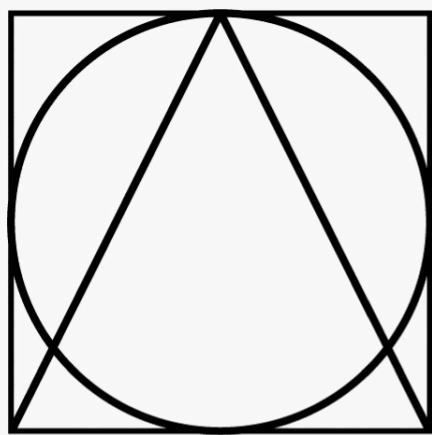
.....

.....

.....

Die Differenz aus dem Volumen eines Zylinders Z mit Radius r und Höhe r und dem Volumen eines Kegels K mit Grundkreisradius r und Höhe r ergibt das Volumen einer Halbkugel mit Radius r !
D.h. die Verhältnisse der Volumen von Kegel : Halbkugel : Zylinder = 1 : 2 : 3.

Archimedes



«Es gibt Dinge, die den meisten Menschen,
die nicht Mathematik studiert haben,
unglaublich erscheinen.»

Archimedes