

Versuch 4

Dichte

Wir bestimmen die Dichte als Masse pro Volumen für verschiedene Metalle.

Der Versuch zeigt exemplarisch die typische Vorgehensweise bei vielen Messungen: Die zu bestimmende Größe (Dichte) wird nicht direkt gemessen, sondern auf andere primäre Messgrößen (Auslenkung der Federwaage, Abmessungen des Probekörpers) zurückgeführt. Die Ergebnisse werden dann zu einem Bestwert \pm Unsicherheit für die Dichte kombiniert.

Die Federwaage muss zunächst mithilfe von bekannten Massen („Prüfgewichten“) kalibriert werden. Die Unsicherheiten aus der Kalibrierung wirken sich auf alle folgenden Messungen aus, die mit der so kalibrierten Federwaage durchgeführt werden.

4.1 Physikalische Grundlagen

4.1.1 Volumen

Den Rauminhalt eines Körpers bezeichnet man als sein Volumen V . Die SI-Einheit des Volumens ist Kubikmeter (m^3), ebenso gebräuchlich ist die Einheit Liter (l oder ℓ oder L).

Für einfache geometrische Körper lässt sich das Volumen berechnen. Abbildung 4.1 zeigt Beispiele für einen Würfel, einen Quader, ein Prisma, einen Zylinder und eine Kugel.

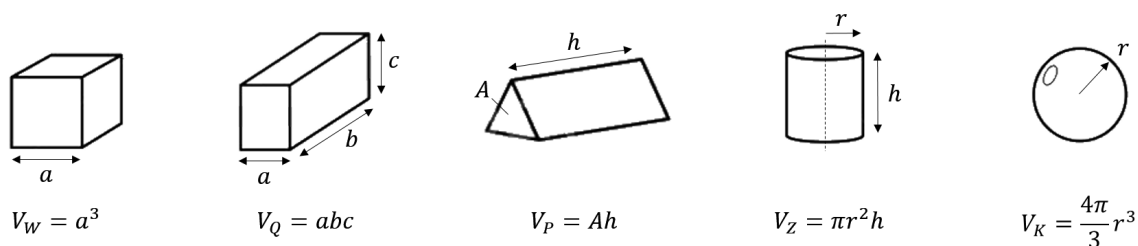


Abbildung 4.1: Volumina von einfachen geometrischen Körpern.

4.1.2 Masse

Die Masse m ist eine Eigenschaft der Materie. Ihre SI-Einheit ist das Kilogramm (kg). Die Masse bestimmt die auf einen Körper wirkende Gravitationskraft („schwere Masse“) und die Trägheit des Körpers („träge Masse“). Da die schwere und die träge Masse für jeden Körper identisch sind (Äquivalenzprinzip), wird normalerweise nicht weiter unterschieden.

4.1.3 Dichte

Die Massendichte oder kurz Dichte ϱ bezeichnet das Verhältnis zwischen der Masse eines Körpers m und seinem Volumen V :

$$\varrho = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

Die SI-Einheit der Dichte ist kg/m^3 ; sehr gebräuchlich ist auch die Einheit $\text{g/cm}^3 = \text{kg/l}$. Die Dichte ist eine Materialeigenschaft, die allerdings von Druck und Temperatur abhängig ist. Typische Werte (unter Standardbedingungen 273,15 K und 1 bar) sind 10^{-3} g/cm^3 für Gase; 1 g/cm^3 für Wasser; $1\text{--}20 \text{ g/cm}^3$ für Metalle; $2\text{--}3 \text{ g/cm}^3$ für Gesteine.

Abbildung 4.2 zeigt das Periodensystem der Elemente mit Angabe der Dichte unter Standardbedingungen. Man beobachtet deutliche Regelmäßigkeiten: Tendenziell nimmt die Dichte mit der Ordnungszahl zu, innerhalb der Perioden gibt es jeweils ein Maximum in den Nebengruppen. Unter den festen Stoffen haben die Alkali- und Erdalkalimetalle vergleichsweise geringe Dichten, die Übergangsmetalle, Lanthanoide und Actinoide vergleichsweise hohe Dichten.

Tabelle 4.1 listet diverse Metalle und Halbmatalle geordnet nach ihrer Dichte auf.

✎ Skizzieren Sie den Aufbau der Atome K , Cs , Cu , Au (Atomkern und Elektronenhülle).

✎ Warum nimmt die Dichte mit der Ordnungszahl zu?

✎ Warum ist die Dichte der Alkalimetalle geringer als die der Übergangsmetalle?

4.1.4 Legierungen

Eine Legierung ist eine Mischung aus mindestens zwei Elementen, die zusammen einen homogenen Stoff mit metallischen Eigenschaften bilden. Legierungen aus zwei, drei oder vier Komponenten bezeichnet man als binäre, ternäre bzw. quaternäre Legierungen.

Eine Legierung wird charakterisiert durch die Massenanteile x_j ihrer elementaren Komponenten j . Die Regeln zur Bezeichnung sind nicht eindeutig. Häufig gibt man zuerst die Komponente mit dem höchsten Massenanteil (Basismetall) an, danach die anderen Bestandteile mit ihren jeweiligen Massenanteilen (meist in Prozent). Beispielsweise bezeichnet CuSn_{12} eine Bronze mit Massenanteilen von 88% Kupfer und 12% Zinn.

Von großer Bedeutung sind Eisenlegierungen, insbesondere die verschiedenen Stähle. Durch Zugabe von Kohlenstoff, Chrom, Nickel oder anderen Elementen erzielt man, je nach Verwendungszweck, verschiedene gewünschte Eigenschaften, z.B. wird der Werkstoff gut gießbar, schmiedbar, sehr hart oder rostfrei.

4.2 Versuchsaufbau



Weitere Infos online:

<https://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/ap/4>

Für die Bestimmung der Massen steht eine Federwaage zur Verfügung. Die Funktionsweise der Federwaage beruht auf der Ausdehnung einer Spiralfeder durch das Gewicht des Probenstücks.

1 H Wasserstoff 0,0899																	2 He Helium 0,1785
3 Li Lithium 535	4 Be Beryllium 1,848											5 B Bor 2,460	6 C Kohlenstoff 2,260	7 N Stickstoff 1,251	8 O Sauerstoff 1,429	9 F Fluor 1,696	10 Ne Neon 0,900
11 Na Natrium 968	12 Mg Magnesium 1,738											13 Al Aluminium 2,700	14 Si Silicium 2,330	15 P Phosphor 1,823	16 S Schwefel 1,960	17 Cl Chlor 3,214	18 Ar Argon 1,784
19 K Kalium 856	20 Ca Calcium 1,550	21 Sc Scandium 2,985	22 Ti Titan 4,507	23 V Vanadium 6,110	24 Cr Chrom 7,190	25 Mn Mangan 7,470	26 Fe Eisen 7,874	27 Co Cobalt 8,900	28 Ni Nickel 8,908	29 Cu Kupfer 8,960	30 Zn Zink 7,140	31 Ga Gallium 5,904	32 Ge Germanium 5,323	33 As Arsen 5,727	34 Se Selen 4,819	35 Br Brom 3,120	36 Kr Krypton 3,75
37 Rb Rubidium 1,532	38 Sr Strontium 2,630	39 Y Yttrium 4,472	40 Zr Zirkonium 6,511	41 Nb Niob 8,570	42 Mo Molybdän 10,280	43 Tc Technetium 11,500	44 Ru Ruthenium 12,370	45 Rh Rhodium 12,450	46 Pd Palladium 12,023	47 Ag Silber 10,490	48 Cd Cadmium 8,650	49 In Indium 7,310	50 Sn Zinn 7,310	51 Sb Antimon 6,697	52 Te Tellur 6,240	53 I Iod 4,940	54 Xe Xenon 5,9
55 Cs Caesium 1,879	56 Ba Barium 3,510	57–71	72 Hf Hafnium 13,310	73 Ta Tantal 16,650	74 W Wolfram 19,250	75 Re Rhenium 21,020	76 Os Osmium 22,590	77 Ir Iridium 22,560	78 Pt Platin 21,450	79 Au Gold 19,300	80 Hg Quecksilber 13,534	81 Tl Thallium 11,850	82 Pb Blei 11,340	83 Bi Bismut 9,780	84 Po Polonium 9,196	85 At Astat 9,73	86 Rn Radon 9,73
87 Fr Francium	88 Ra Radium 5,000	89–103	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tenness	118 Og Oganesson
<div><div>6</div><div>57 La Lanthan 6,146</div><div>58 Ce Cer 6,689</div><div>59 Pr Praseodym 6,640</div><div>60 Nd Neodym 7,010</div><div>61 Pm Promethium 7,264</div><div>62 Sm Samarium 7,353</div><div>63 Eu Europium 5,244</div><div>64 Gd Gadolinium 7,901</div><div>65 Tb Terbium 8,219</div><div>66 Dy Dysprosium 8,551</div><div>67 Ho Holmium 8,795</div><div>68 Er Erbium 9,066</div><div>69 Tm Thulium 9,320</div><div>70 Yb Ytterbium 6,570</div><div>71 Lu Lutetium 9,841</div></div>																	
<div><div>7</div><div>89 Ac Actinium 10,070</div><div>90 Th Thorium 11,724</div><div>91 Pa Protactinium 15,370</div><div>92 U Uran 19,050</div><div>93 Np Neptunium 20,450</div><div>94 Pu Plutonium 19,816</div><div>95 Am Americium 13,670</div><div>96 Cm Curium 13,510</div><div>97 Bk Berkelium 14,780</div><div>98 Cf Californium 15,100</div><div>99 Es Einsteinium</div><div>100 Fm Fermium</div><div>101 Md Mendelevium</div><div>102 No Nobelium</div><div>103 Lr Lawrencium</div></div>																	

Abbildung 4.2: Dichte (kg/m³) der Elemente im Periodensystem [1].

Element	Symbol	Z	ρ (kg/m³)	Element	Symbol	Z	ρ (kg/m³)
Lithium	Li	3	535	Eisen	Fe	26	7.874
Kalium	K	19	856	Niob	Nb	41	8.570
Natrium	Na	11	968	Cadmium	Cd	48	8.650
Rubidium	Rb	37	1.532	Cobalt	Co	27	8.900
Calcium	Ca	20	1.550	Nickel	Ni	28	8.908
Magnesium	Mg	12	1.738	Kupfer	Cu	29	8.920
Beryllium	Be	4	1.848	Polonium	Po	84	9.196
Caesium	Cs	55	1.879	Bismut	Bi	83	9.780
Silicium	Si	14	2.330	Molybdän	Mo	42	10.280
Bor	B	5	2.460	Silber	Ag	47	10.490
Strontium	Sr	38	2.630	Blei	Pb	82	11.340
Aluminium	Al	13	2.700	Technetium	Tc	43	11.500
Scandium	Sc	21	2.985	Thallium	Tl	81	11.850
Barium	Ba	56	3.510	Palladium	Pd	46	12.023
Yttrium	Y	39	4.472	Ruthenium	Ru	44	12.370
Titan	Ti	22	4.507	Rhodium	Rh	45	12.450
Germanium	Ge	32	5.323	Hafnium	Hf	72	13.310
Gallium	Ga	31	5.904	Quecksilber	Hg	80	13.534
Vanadium	V	23	6.110	Tantal	Ta	73	16.650
Tellur	Te	52	6.240	Uran	U	92	19.050
Zirkonium	Zr	40	6.511	Wolfram	W	74	19.250
Antimon	Sb	51	6.697	Gold	Au	79	19.300
Chrom	Cr	24	7.140	Plutonium	Pu	94	19.816
Zink	Zn	30	7.140	Rhenium	Re	75	21.020
Indium	In	49	7.310	Platin	Pt	78	21.090
Zinn	Sn	50	7.310	Osmium	Os	76	22.610
Mangan	Mn	25	7.470	Iridium	Ir	77	22.650

Tabelle 4.1: Ausgewählte Metalle und Halbmetalle, sortiert nach ihrer Dichte.

In guter Näherung gilt dabei ein linearer Zusammenhang zwischen Gewichtskraft $F = mg$ und Ausdehnung x (Hookesches Gesetz):

$$F = Dx \quad (4.2)$$

Dabei ist D die Federkonstante; sie beschreibt die Steifigkeit der Feder.

Federwaagen werden mithilfe von Gewichtsstücken bekannter Massen kalibriert. So kann die Skala der Ausdehnung x (Einheit m) auch direkt mit der entsprechenden Kraft F (Einheit N) oder der Masse m (Einheit kg) beschriftet werden.

Unsere Federwaage hat eine Skala mit Spiegel, die ein parallaxenfreies Ablesen erlaubt: Der abgelesene Wert ist korrekt, wenn die Blickrichtung genau senkrecht zur Spiegelskala ist, d.h. wenn der Ablesepunkt und sein Spiegelbild zusammenfallen.

Für die Bestimmung der Volumina der Proben stehen Lineal, Messschieber (Abbildung 4.3) und Messschraube (Abbildung 4.4) zur Verfügung. Die Längenmessung beruht dabei auf dem Vergleich mit einer kalibrierten Skala. Beim Messschieber wird die Ablesegenauigkeit durch einen Nonius verbessert, bei der Messschraube durch eine zweite Skala für den Anteil der Ganghöhe bei der letzten unvollständigen Umdrehung [2, 3].

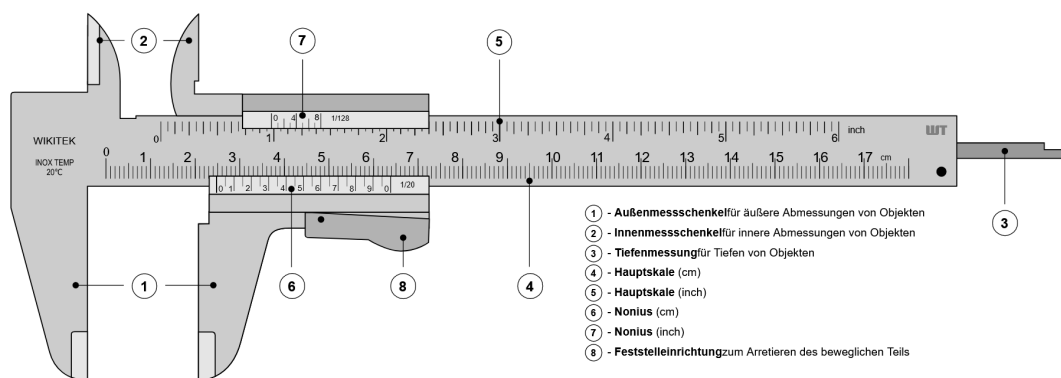


Abbildung 4.3: Messschieber [2].

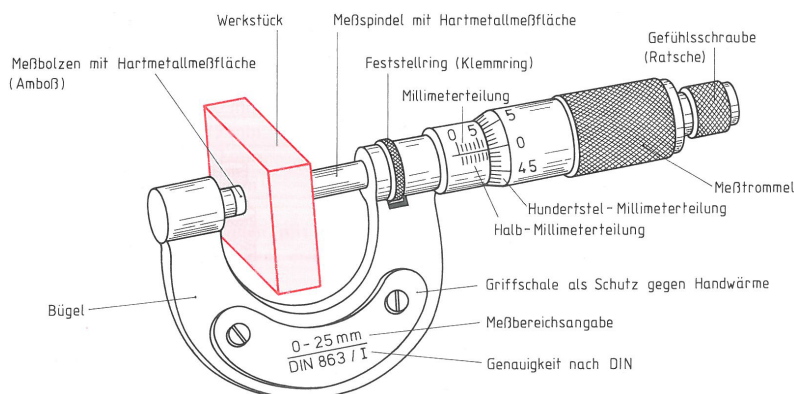


Abbildung 4.4: Messschraube [3].

4.3 Experimente

4.3.1 Kalibrierung der Federwaage

Kalibrieren Sie die Federwaage mithilfe von bekannten Prüfgewichten.

Messen Sie die Auslenkung der Federwaage x für verschiedene bekannte Massen m .

☞ Stellen Sie die Abhängigkeit $x(m)$ in einem Diagramm dar.

Bestimmen Sie die Parameter a, b für einen linearen Zusammenhang $m = a + bx$.

Berücksichtigen Sie die Unsicherheit der Kalibrierung bei den folgenden Messungen.

4.3.2 Bestimmung der Dichte eines Reinmetalls

Bestimmen Sie die Dichte eines Reinmetalls.

Bestimmen Sie die Masse m mithilfe der kalibrierten Federwaage.

Bestimmen Sie das Volumen V aus den Abmessungen der Probe.

Berechnen Sie die Dichte $\rho = m/V$.

Ist eine eindeutige Identifikation des chemischen Elements möglich?

4.3.3 Bestimmung der Dichte einer Legierung

Bestimmen Sie die Dichte einer Legierung.

Bestimmen Sie die Masse m mithilfe der kalibrierten Federwaage.

Bestimmen Sie das Volumen V aus den Abmessungen der Probe.

Berechnen Sie die Dichte $\rho = m/V$.

Berechnen Sie die Anteile der beiden (bekannten) Komponenten der Legierung.

4.4 Literatur

[1] <https://ptable.com>

[2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Messschieber>

[3] <https://wiki.uni-due.de/tud/index.php/Bügelmessschraube>