

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG
PHYSIKLABOR FÜR ANFÄNGER*INNEN, TEIL 1
SOMMERSEMESTER 2021

VERSUCH 4 AM 21.09.2021

Dichte

22.09.2021

Assistent:

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuchs	2
2	Aufbau und Durchführung	2
3	Auswertung und Fehleranalyse	3
3.1	Kalibrierung der Waage	3
3.2	Berechnung der Dichte und Untersuchung des reinen Metalls	4
3.3	Berechnung der Dichte und Untersuchung der Legierung	6
4	Diskussion der Ergebnisse	8
4.1	Zusammenstellung der Ergebnisse	8
4.2	Fehlerdiskussion	8
4.3	Verbesserte Messmethoden	9
5	Literatur	10
6	Anhang	11
6.1	Tabellen und Grafiken	11
6.2	Laborbuch	13
6.3	Tabellenverzeichnis	15
6.4	Abbildungsverzeichnis	15

1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch soll durch Messungen der Masse und des Volumens zweier Proben die jeweilige Dichte bestimmt werden. Die Masse wird dabei durch eine dafür kalibrierte Federwaage ermittelt, während das Volumen durch Abmessungen geometrischer Eigenschaften berechnet wird. Bei der ersten Messung soll ein reines Metall anhand seiner Dichte bestimmt werden, bei der zweiten soll die Zusammensetzung einer bekannten Legierung berechnet werden.

2 Aufbau und Durchführung

Zunächst muss die Federwaage kalibriert werden. Hierfür werden Eichgewichte mit Massen m verwendet. Die Unsicherheiten der Massen finden sich in [Abbildung 6](#) im Anhang, die den Kalibrierschein zeigt. Sobald die Feder mit Gewichten aufhört zu schwingen, wird die Position x der Oberkante einer, unter der Feder angebrachten, Stange abgelesen. Das ist in [Abbildung 1](#) dargestellt. Es wird eine Skala mit Spiegel verwendet und darauf geachtet, dass beim Ablesen die Stange und ihr Spiegelbild aufeinander liegen. Die Skala hat ihren Nullpunkt am unteren Ende und nimmt nach oben hin zu.

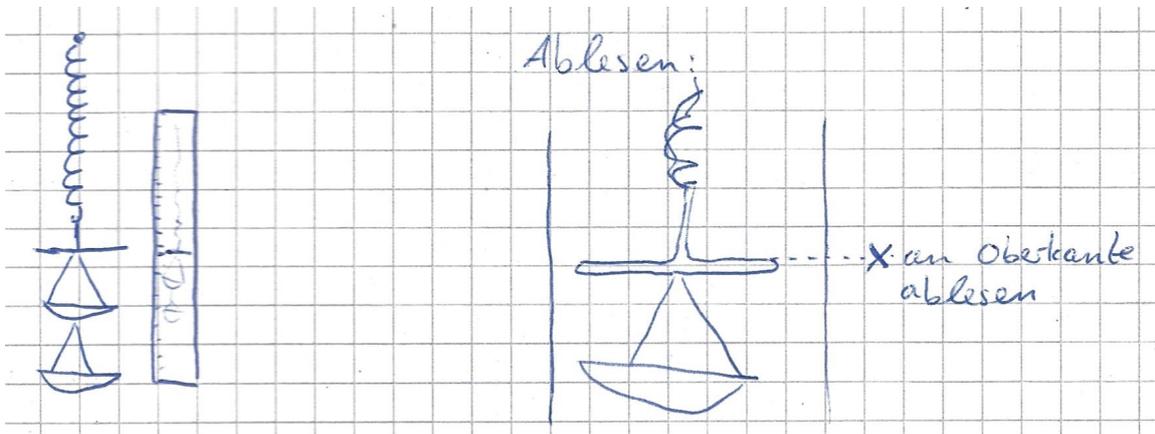
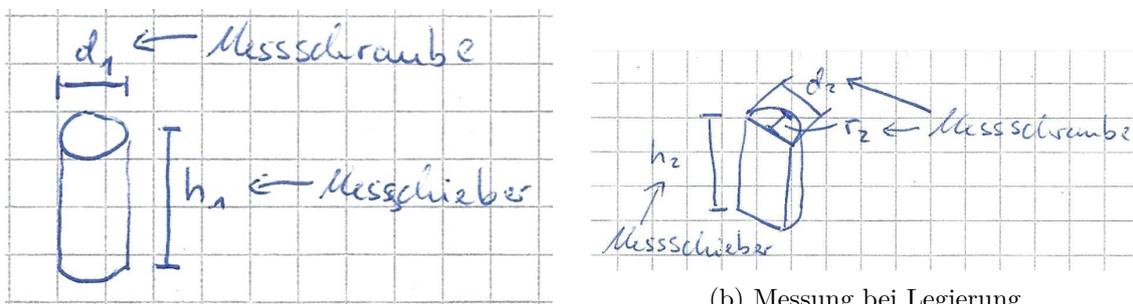


Abb. 1: Skizze aus dem Laborbuch ([Abbildung 7](#)) für den Versuchsaufbau.

Um die Dichte zu bestimmen, messen wir die Durchmesser d_1 , d_2 und Höhen h_1 , h_2 des Voll- und Halbzylinders. Die Durchmesser werden dabei mit der Messschraube und die Höhen mit dem Messschieber gemessen. Dies ist in [Abbildung 2a](#) und [Abbildung 2b](#) dargestellt.



(a) Messung bei Reinmetall

(b) Messung bei Legierung

Abb. 2: Skizzen aus dem Laborbuch ([Abbildung 8](#)) für das Vermessen der relevanten Größen für die Volumenbestimmung.

Die Masse des Metall- und Legierungsstücks ermittelt man im Anschluss, indem man sie ebenfalls an die Feder hängt und ihre Positionen x_1 beziehungsweise x_2 wie oben beschrieben abliest.

3 Auswertung und Fehleranalyse

3.1 Kalibrierung der Waage

Die für die Kalibrierung angehängten Massen und ihre Unsicherheiten sind in [Tabelle 2](#) im Anhang dargestellt. Die Unsicherheit varriert dabei, je nachdem welche unterschiedlichen Massen angehängt werden und wird durch Fehlerfortpflanzung [2] berechnet. Es ergeben sich für die unterschiedlichen Massen Positionen x , die ebenfalls in [Tabelle 2](#) zu finden sind. Es wird für die x -Werte folgende Unsicherheit über Dreiecksverteilung geschätzt:

$$\Delta x = \frac{0,2}{\sqrt{6}} \text{cm} = 0,08 \text{cm}. \quad (1)$$

Die Werte und ihre Unsicherheiten sind in [Abbildung 3](#) dargestellt. Dabei werden bewusst die von der Skala abgelesenen Werte und nicht der Abstand zur Nullposition x_0 mit $m = 0$ verwendet, um Fehlerfortpflanzung zu vermeiden. Außerdem hat dieses Vorgehen keine Auswirkung auf die folgenden Massebestimmungen, da nur die Steigung der durch lineare Regression eingelegten Gerade relevant ist.

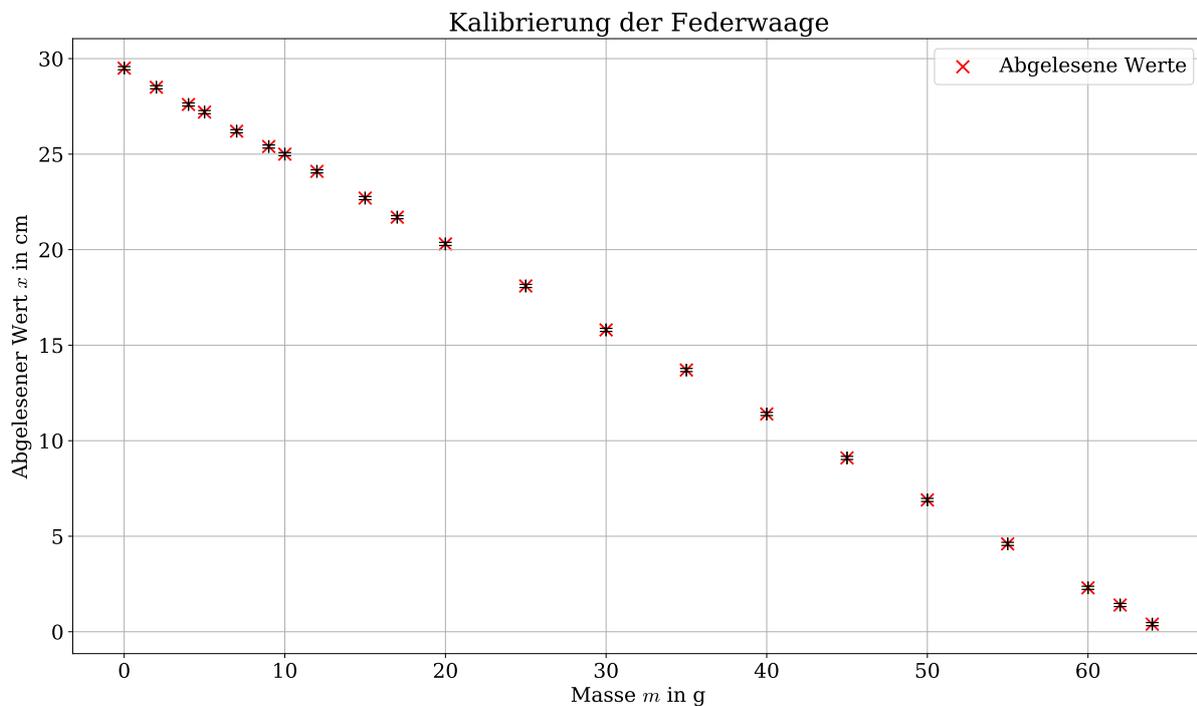


Abb. 3: Aufgetragen ist der von der Skala abgelesene Wert x der Feder gegen die Masse m der angehängten Gewichte. Die Unsicherheiten in der Masse sind sehr klein und deshalb schlecht erkennbar.

Durch lineare Regression bestimmen wir die Steigung b und den y-Achsenabschnitt a der Geraden $x = b \cdot m + a$. Über diese Größen können wir später die Masse m der Proben aus ihrem abgelesenen x -Wert berechnen:

$$x = b \cdot m + a \quad (2)$$

$$\Rightarrow m = \frac{x - a}{b}. \quad (3)$$

Die lineare Regression ist hier in [Abbildung 4](#) dargestellt:

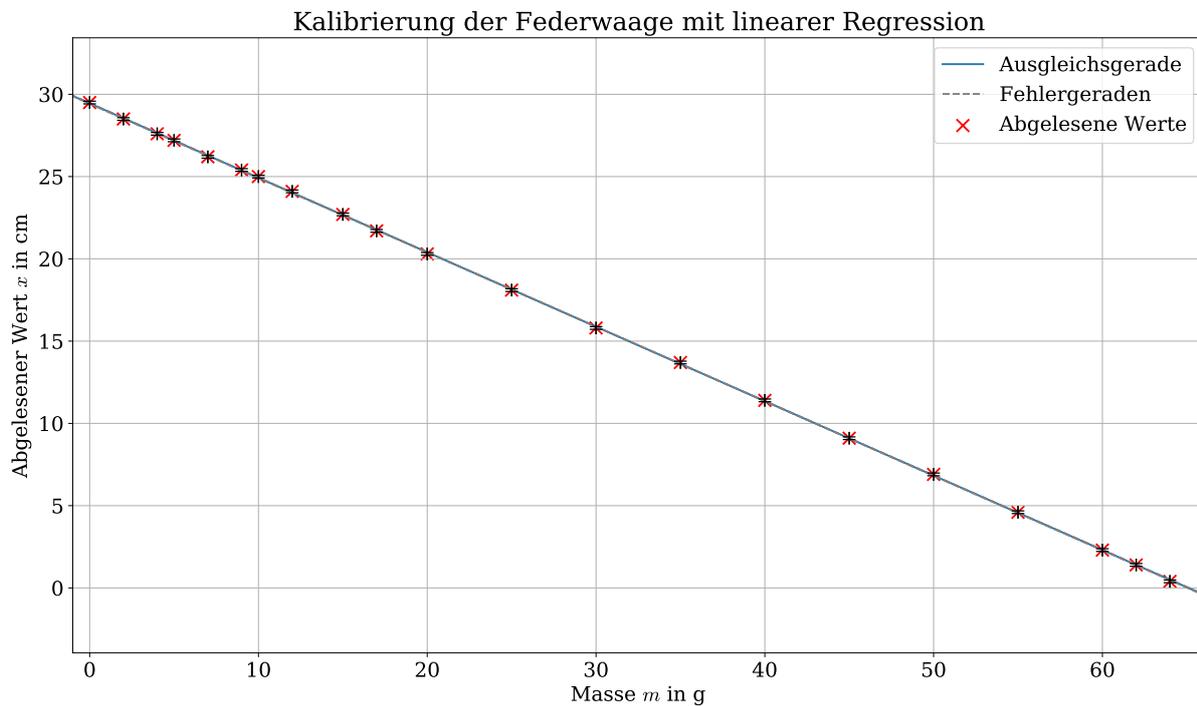


Abb. 4: Aufgetragen ist der von der Skala abgelesene Wert x der Feder gegen die Masse m der angehängten Gewichte mit linearer Regression. Die Fehlergeraden sind eingezeichnet, unterscheiden sich aber nur wenig von der Ausgleichsgeraden.

Aus der linearen Regression ergeben sich folgende Werte für a und b und ihre Unsicherheiten:

$$a = (29,45 \pm 0,02) \text{ cm} \quad (4)$$

$$b = (-4,524 \pm 0,006) \text{ m kg}^{-1} \quad (5)$$

Der a -Wert sollte der Nullposition x_0 entsprechen. Dieser Zusammenhang wird in der Fehlerdiskussion überprüft. Der negative b -Wert kommt dadurch zustande, dass bei größerer Auslenkung der Feder ein kleinerer x -Wert abgelesen wird, da die Skala entgegen der Auslenkung angebracht ist.

3.2 Berechnung der Dichte und Untersuchung des reinen Metalls

Zunächst soll das Volumen der Probe aus reinem Metall bestimmt werden. Für den Durchmesser und die Höhe des Zylinders wird

$$d_1 = (8,000 \pm 0,004) \text{ mm} \quad \Rightarrow r_1 = (4,000 \pm 0,002) \text{ mm} \quad (6)$$

$$h_1 = (2,435 \pm 0,004) \text{ cm} \quad (7)$$

gemessen. Das Volumen und seine Unsicherheit berechnen wir über folgende Formeln:

$$V_1 = \pi r_1^2 h_1 = 1,224 \text{ cm}^3 \quad (8)$$

$$\Delta V_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial V_1}{\partial r_1} \Delta r_1\right)^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial h_1} \Delta h_1\right)^2} = 0,002 \text{ cm}^3 \quad (9)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial r_1} \Delta r_1 = 2\pi r_1 h_1 \Delta r_1 = 0,0012 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial h_1} \Delta h_1 = \pi r_1^2 \Delta h_1 = 0,002 \text{ cm}^3 \quad (11)$$

$$\Rightarrow V_1 = (1,224 \pm 0,002) \text{ cm}^3. \quad (12)$$

Im nächsten Schritt wird die Masse mit der Federwaage bestimmt. Es wird eine x -Position von $x_1 = (23,60 \pm 0,08) \text{ cm}$ gemessen. Hieraus kann die Masse des Metalls berechnet werden. Dafür wird [Gleichung 3](#) aus der linearen Regression verwendet. Die Unsicherheit wird über Fehlerfortpflanzung [2] bestimmt.

$$m_1 = \frac{x_1 - a}{b} = 12,93 \text{ g} \quad (13)$$

$$\Delta m_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial m_1}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial m_1}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial m_1}{\partial b} \Delta b\right)^2} = 0,19 \text{ g} \quad (14)$$

$$\frac{\partial m_1}{\partial x_1} \Delta x_1 = \frac{\Delta x_1}{b} = -0,18 \text{ g} \quad (15)$$

$$\frac{\partial m_1}{\partial a} \Delta a = \frac{-\Delta a}{b} = 0,04 \text{ g} \quad (16)$$

$$\frac{\partial m_1}{\partial b} \Delta b = \frac{a - x_1}{b^2} \Delta b = 0,017 \text{ g} \quad (17)$$

$$\Rightarrow m_1 = (12,93 \pm 0,19) \text{ g}. \quad (18)$$

Die Dichte des Metalls berechnet man mit:

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} = 10\,560 \text{ kg m}^{-3} \quad (19)$$

$$\Delta \rho_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_1}{\partial m_1} \Delta m_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_1}{\partial V_1} \Delta V_1\right)^2} = 160 \text{ kg m}^{-3} \quad (20)$$

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial m_1} \Delta m_1 = \frac{\Delta m_1}{V_1} = 160 \text{ kg m}^{-3} \quad (21)$$

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial V_1} \Delta V_1 = \frac{-m_1}{V_1^2} \Delta V_1 = -17 \text{ kg m}^{-3}. \quad (22)$$

Damit erhält man:

$$\rho_{1,\text{berechnet}} = (10\,560 \pm 160) \text{ kg m}^{-3}. \quad (23)$$

Es werden einige Stoffe mit ähnlichen Dichten auf ihre Verträglichkeit mit $\rho_{\text{berechnet}}$ überprüft.

Element	Dichte ρ in kg m^{-3}	t -Wert
Bismut	9780	4,9
Molybdän	10 280	1,8
Silber	10 490	0,4
Blei	11 340	4,9
Technetium	11 500	5,9

Tab. 1: Es wird die berechnete Dichte $\rho_{\text{berechnet}} = (10\,560 \pm 160) \text{ kg m}^{-3}$ mit Dichten ausgewählter Elemente aus [Abbildung 5](#) verglichen und der t -Wert berechnet.

Am besten verträglich ist die Dichte von Silber, es ist also am wahrscheinlichsten, dass die Probe aus Silber besteht. Da jedoch auch Molybdän einen verträglichen Wert hat, kann dieses Metall nicht ausgeschlossen werden.

3.3 Berechnung der Dichte und Untersuchung der Legierung

Analog zu obigem Vorgehen werden der Durchmesser und die Höhe des Halbzylinders gemessen:

$$d_2 = (22,450 \pm 0,004) \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad r_2 = (11,225 \pm 0,002) \text{ mm} \quad (24)$$

$$h_2 = (3,270 \pm 0,004) \text{ cm}. \quad (25)$$

Bis auf den Faktor $1/2$ entsprechen die Formeln für das Volumen und seine Unsicherheit den Formeln aus [Gleichung 8](#) bis [Gleichung 12](#). Wie bei der ersten Probe dominiert die Unsicherheit durch die Messung von h_2 . Es ergibt sich folgendes Volumen:

$$V_2 = (6,472 \pm 0,008) \text{ cm}^3. \quad (26)$$

Auch bei der Massenbestimmung wird analog vorgegangen und es werden die gleichen Formeln wie in [Gleichung 13](#) bis [Gleichung 18](#) verwendet. Der von der Skala der Federwaage abgemessene Wert beträgt nun $x_1 = (7,70 \pm 0,08) \text{ cm}$. Für die Masse m_2 ergibt sich folgender Wert:

$$m_2 = (48,1 \pm 0,2) \text{ g}. \quad (27)$$

Auch hier ergibt sich die größte Unsicherheit durch das Ablesen von der Skala. Für die Dichte erhält man folgenden Wert:

$$\rho_2 = (7430 \pm 30) \text{ kg m}^{-3}. \quad (28)$$

Es ist bekannt, dass es sich um eine Chrom-Eisen-Legierung handelt. Deswegen benötigt man die Dichten von Chrom ρ_{Cr} und Eisen ρ_{Fe} aus [Abbildung 5](#):

$$\rho_{\text{Fe}} = 7874 \text{ kg m}^{-3} \quad (29)$$

$$\rho_{\text{Cr}} = 7140 \text{ kg m}^{-3}. \quad (30)$$

Um die Anteile von Eisen p_{Fe} und Chrom $p_{\text{Cr}} = 1 - p_{\text{Fe}}$ der Legierung zu ermitteln, stellen wir eine Formel dafür auf. Das Gesamtvolumen V_{ges} setzt sich aus den Volumina des Eisens V_{Fe} und des Chroms V_{Cr} zusammen:

$$V_{\text{ges}} = V_{\text{Fe}} + V_{\text{Cr}} \quad (31)$$

$$\Rightarrow \frac{m_{\text{ges}}}{\rho_{\text{ges}}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{Fe}}} + \frac{m_{\text{Cr}}}{\rho_{\text{Cr}}} \quad (32)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\rho_{\text{ges}}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{ges}}} \frac{1}{\rho_{\text{Fe}}} + \frac{m_{\text{Cr}}}{m_{\text{ges}}} \frac{1}{\rho_{\text{Cr}}}. \quad (33)$$

Mit $\frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{ges}}} = p_{\text{Fe}}$ und $\frac{m_{\text{Cr}}}{m_{\text{ges}}} = p_{\text{Cr}} = 1 - p_{\text{Fe}}$ ergibt sich:

$$\Rightarrow \frac{1}{\rho_{\text{ges}}} = p_{\text{Fe}} \frac{1}{\rho_{\text{Fe}}} + (1 - p_{\text{Fe}}) \frac{1}{\rho_{\text{Cr}}}. \quad (34)$$

Durch geschicktes Erweitern folgt:

$$\Rightarrow \frac{1}{\rho_{\text{ges}}} = \frac{p_{\text{Fe}}\rho_{\text{Cr}} + \rho_{\text{Fe}} - p_{\text{Fe}}\rho_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{Cr}}\rho_{\text{Fe}}} \quad (35)$$

$$\Rightarrow \frac{\rho_{\text{Cr}}\rho_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{ges}}} - \rho_{\text{Fe}} = p_{\text{Fe}}(\rho_{\text{Cr}} - \rho_{\text{Fe}}) \quad (36)$$

$$\Rightarrow p_{\text{Fe}} = \left(\frac{\rho_{\text{Cr}}\rho_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{ges}}} - \rho_{\text{Fe}} \right) \frac{1}{\rho_{\text{Cr}} - \rho_{\text{Fe}}}. \quad (37)$$

Für die Unsicherheit ergibt sich durch Fehlerfortpflanzung [2]:

$$\Delta p_{\text{Fe}} = \sqrt{\left(\frac{\partial p_{\text{Fe}}}{\partial \rho_{\text{ges}}} \Delta \rho_{\text{ges}} \right)^2} = \left| \frac{\rho_{\text{Cr}}\rho_{\text{Fe}}}{(\rho_{\text{Fe}} - \rho_{\text{Cr}})\rho_{\text{ges}}^2} \Delta \rho_{\text{ges}} \right|. \quad (38)$$

Insgesamt ergibt sich folgender Eisenanteil:

$$p_{\text{Fe}} = (42 \pm 4) \%. \quad (39)$$

Somit folgt für den Chromanteil:

$$p_{\text{Cr}} = (58 \pm 4) \%. \quad (40)$$

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Zusammenstellung der Ergebnisse

Die Messungen mit der kalibrierten Federwaage ergibt für die erste Probe eine Dichte von:

$$\rho_1 = (10\,560 \pm 160) \text{ kg m}^{-3}. \quad (41)$$

Der Vergleich mit Metallen mit ähnlicher Dichte ergibt, dass es sich am wahrscheinlichsten um Silber handelt, da Silber einen t -Wert von $t = 0,4$ aufweist. Auch Molybdän ist mit einem t -Wert von $t = 1,8$ noch verträglich.

Die Dichte der Legierung liegt bei

$$\rho_2 = (7430 \pm 30) \text{ kg m}^{-3}. \quad (42)$$

Damit ist es realistisch, dass es sich um eine Chrom-Eisen-Legierung handelt, da ρ_2 zwischen den Dichten von Chrom und Eisen liegt.

Insgesamt ergeben sich folgende Masseanteile der Legierung:

$$p_{\text{Fe}} = (42 \pm 4) \% \quad (43)$$

$$p_{\text{Cr}} = (58 \pm 4) \% \quad (44)$$

Da es sehr viele verschiedene Chrom-Eisen-Legierungen gibt, lässt sich schlecht überprüfen, ob diese Legierung der tatsächlichen Legierung entspricht.

4.2 Fehlerdiskussion

Um beurteilen zu können, ob die Kalibrierung gut ist, wird die Verträglichkeit des a -Wertes mit der Nullposition x_0 ermittelt:

$$a = (29,45 \pm 0,02) \text{ cm} \quad (45)$$

$$x_0 = (29,50 \pm 0,08) \text{ cm} \quad (46)$$

$$t = 0,6. \quad (47)$$

Diese Werte sind damit sehr gut verträglich, was auf eine gute Kalibrierung hindeutet. Außerdem sieht man, dass die Unsicherheit von a deutlich kleiner ist als unsere geschätzte Unsicherheit von x . Das bedeutet, dass die Unsicherheit gegebenenfalls zu hoch geschätzt wurde. Für eine gute Kalibrierung spricht auch eine gute relative Unsicherheit des b -Werts von 0,13%. Dies deutet darauf hin, dass sich die Messwerte gut linearisieren lassen und damit die Kalibrierung relativ exakt ist.

Die Unsicherheiten der Eichgewichte aus [Abbildung 6](#) spielen mit relativen Unsicherheiten zwischen 0,002% bis 0,02% im Vergleich zu anderen Faktoren eine untergeordnete Rolle. Deswegen wurden sie in der Auswertung vernachlässigt.

Eine Fehlerdiskussion der ermittelten Dichten gestaltet sich schwierig, da die Werte zwar alle in einem realistischen Rahmen liegen, aber das tatsächliche Material und damit die tatsächlichen Werte unbekannt sind. Sollte es sich bei der ersten Probe um Silber oder Molybdän handeln, ist die Federwaage sehr gut kalibriert. Wenn allerdings weder Silber noch Molybdän vorliegt, muss ein großer systematischer Fehler bei der Kalibrierung oder bei anderen Messungen existieren. Es wäre zum Beispiel möglich, dass der Körper hohl ist oder keine homogene Dichte hat. Wie die Messung verbessert werden könnte, wird nun erörtert.

4.3 Verbesserte Messmethoden

Eine deutliche Verbesserung der Messungen wäre zunächst dadurch möglich, anstelle der selbst kalibrierten Federwaage eine genauere analoge Waage oder eine Digitalwaage zu verwenden. Die Federwaage besitzt im Vergleich mit diesen Waagen einige deutliche Nachteile: Zunächst muss für eine genaue Kalibrierung eine große Anzahl an Messwerten gesammelt und genau abgelesen werden. Die Ableseungenauigkeit wird dabei insbesondere durch die starke Schwingung der Feder, die auch nach langer Zeit noch einige Millimeter betragen kann, beeinträchtigt. Hinzu kommt eine Ungenauigkeit durch das Ablesen am relativ breiten und leicht schief angebrachten Ablesestab. Trotz der verwendeten Spiegelskala, die parallaxefreies Ablesen ermöglichen soll, sind Ablesefehler möglich. Durch die lineare Regression bei der Kalibrierung der Waage werden solche Fehler zwar minimiert, aber beim Ermitteln der Massen der Proben, spielen sie eine größere Rolle. Das kann damit bestätigt werden, dass in [Gleichung 15](#) diese Unsicherheit den größten Beitrag liefert. Für die Verwendung einer exakteren Waage spricht ebenfalls, dass in [Gleichung 21](#) die Unsicherheit der Masse dominiert.

Zwar leistet die Volumenbestimmung einen kleinen Beitrag zur Unsicherheit der Dichten, da bei einfachen geometrischen Körpern die Längenmessungen mit Messschieber und Messschraube recht genau möglich ist. Bei komplexen, unregelmäßigen Körpern kann eine rechnerische Volumenbestimmung schwierig werden. Hier kann man das Volumen alternativ über Eintauchen in eine Flüssigkeit und Messen des verdrängten Volumens bestimmen.

Eine eindeutige Bestimmung der Proben wäre eventuell mit Messung anderer Materialeigenschaften wie beispielsweise Leitfähigkeit, Schmelztemperatur oder Elastizitätsmoduln möglich.

Literatur

- [1] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Versuch 4 - Dichte, Versuchsbeschreibung des Physiklabors für Anfänger*innen*, (2021)
- [2] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Datenanalyse - Skript zur Vorlesung am 06.09.2021*, (2021)
- [3] KERN & SOHN GmbH: *Kalibrierschein G8-293-2021-07/1*, (07.07.2021), S.3

6 Anhang

6.1 Tabellen und Grafiken

Angehängte Masse m in g	Unsicherheit der Masse m in mg	Ablesewert x in mm
0	0	295
2	0,4	285
4	0,6	276
5	0,5	272
7	0,6	262
9	0,8	254
10	0,6	250
12	0,7	241
15	0,8	227
17	0,9	217
20	0,8	203
25	0,9	181
30	1,0	158
35	1,1	137
40	1,2	114
45	1,3	91
50	1,0	69
55	1,1	46
60	1,2	23
62	1,2	14
64	1,3	4

Tab. 2: Für die Kalibrierung gemessene Werte: Angehängte Masse m mit Unsicherheiten aus [3], sowie die zugehörigen von der Skala abgelesenen Werte x in mm. Die Unsicherheit von x beträgt $\Delta x = 0,8$ mm.

Element	Symbol	Z	ρ (kg/m ³)	Element	Symbol	Z	ρ (kg/m ³)
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

Abb. 5: Dichten ausgewählter Materialien in kg m⁻³ mit Elementsymbol und Ordnungszahl Z, Tabelle 4.1 aus [1].

Seite 3 zum Kalibrierschein
Page of the calibration certificate

G8-293-2021-07/1

G8-293

D-K-
19408-01-00

Messergebnisse:
Measurement results:

2021-07

Nennwert <i>nominal value</i>	Kennzeichnung <i>marking</i>	konventioneller Wägewert <i>conventional mass</i>	Unsicherheit <i>k=2</i> <i>uncertainty</i>	Fehlergrenze <i>max. perm. error</i>	Klasse* <i>class*</i>
1 g		1 g + 0,5 mg	0,3 mg	± 1,0 mg	M1 ✓
2 g		2 g + 0,2 mg	0,4 mg	± 1,2 mg	M1 ✓
2 g	*	2 g + 0,5 mg	0,4 mg	± 1,2 mg	M1 ✓
5 g		5 g + 0,8 mg	0,5 mg	± 1,6 mg	M1 ✓
10 g		10 g + 0,9 mg	0,6 mg	± 2,0 mg	M1 ✓
20 g		20 g + 0,9 mg	0,8 mg	± 2,5 mg	M1 ✓
20 g	*	20 g + 0,4 mg	0,8 mg	± 2,5 mg	M1 ✓
50 g		50 g + 0,1 mg	1,0 mg	± 3,0 mg	M1 ✓
100 g		100 g + 0,3 mg	1,6 mg	± 5,0 mg	M1 ✓

* Bewertung der Klasse gemäß OIML R111:2004 bzw. der Fehlergrenze (wenn keine Klassenangabe vorhanden ist) bezieht sich nur auf den konventionellen Wägewert.

The assessment of the class according to OIML R111:2004 / the max. perm. error (if no class assessment is given) only refers to the conventional mass.

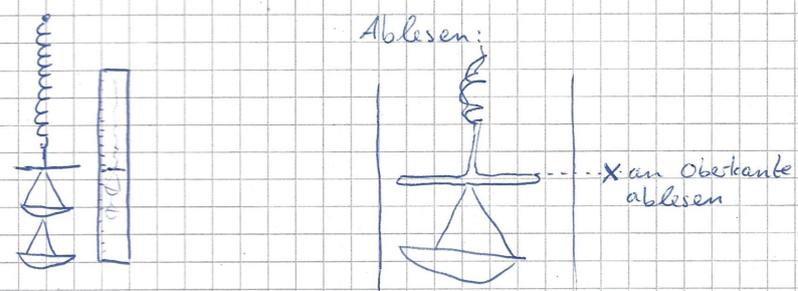
Bewertungskriterium: $|[\text{Abweichung}]| \leq [\text{Toleranz}] - [\text{erw. Messunsicherheit}]$
Assessment criterion: $|[\text{Error}]| \leq [\text{Tolerance}] - [\text{exp. uncertainty}]$

Abb. 6: Tabelle mit Werten und Unsicherheiten der bei der Kalibrierung der Federwaage verwendeten Massen aus dem zugehörigen Kalibrierschein [3].

6.2 Laborbuch

Versuch 4 - Dichte 21.09.21

1. Versuchsaufbau



2. Versuchsdurchführung, Messungen

Messunsicherheiten Kalibriergewichte: siehe Fotos

$$\Delta x = \frac{0,2 \text{ mm}}{\sqrt{6}}$$

$$T = 19^\circ\text{C} \pm \frac{1^\circ\text{C}}{\sqrt{6}}$$

Messschieber & Messschraube: $\Delta s = \frac{0,1 \text{ mm}}{\sqrt{6}}$

Messschraube: $\Delta s = \frac{0,01 \text{ mm}}{\sqrt{6}}$

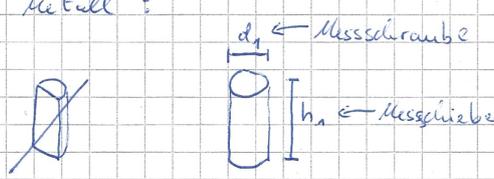
2.1 Kalibrierung (Waage schwingt laut)

angehängte Masse m in g	Dehnung" x in mm	angehängte Masse m in g	Dehnung" x in mm
0	295		
2	285	10+5+2	217
2+2	276	20	203
5	272	20+5	181
5+2	262	20+10	158
5+2+2	254	20+10+5	137
10	250	20+10+10	114
10+2	241	20+10+10+5	91
10+5	227	50	69
		50+5	46

Abb. 7: Laborbuch, Seite 1

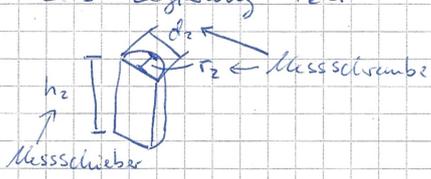
angehörige Klasse m in g	x in mm
50+10	23
50+10+5	außerhalb der Skala
50+10+2	* 14
50+10+2+2	* 4

2.2 Metall ?



$h_1 = (2,435 \pm \frac{0,01}{\sqrt{6}}) \text{ cm}$
 $d_1 = (8,00 \pm \frac{0,01}{\sqrt{6}}) \text{ mm}$
 Auslenkung: $x_1 = 236 \text{ mm}$

2.3 Legierung FeCr



$h_2 = (3,270 \pm \frac{0,01}{\sqrt{2}}) \text{ cm}$
 ~~$r_2 =$~~
 $d_2 = \cancel{22,45} (22,45 \pm \frac{0,01}{\sqrt{6}}) \text{ mm}$
 Auslenkung: $x_2 = 77 \text{ mm}$

VT K. Glau

Abb. 8: Laborbuch, Seite 2

Tabellenverzeichnis

1	Vergleich der berechneten Dichte mit Elementen aus dem Periodensystem	6
2	Messwerte für die Kalibrierung	11

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau	2
2	Messungen zur Bestimmung des Volumens	2
3	Auslenkung der Feder gegen Masse	3
4	Auslenkung der Feder gegen Masse mit linearer Regression	4
5	Dichten ausgewählter Materialien	12
6	Kalibrierschein der Massen	12
7	Laborbuch, Seite 1	13
8	Laborbuch, Seite 2	14