Universität Freiburg

Kleines Physiklabor für Anfänger*innen

Ferienpraktikum im Sommersemester 2022

Versuch 4

Dichte

[redacted]

(Gruppe [redacted]

09. September 2022

Datum der Durchführung: 08. September 2022

Assistent: [redacted]

Inhaltsverzeichnis

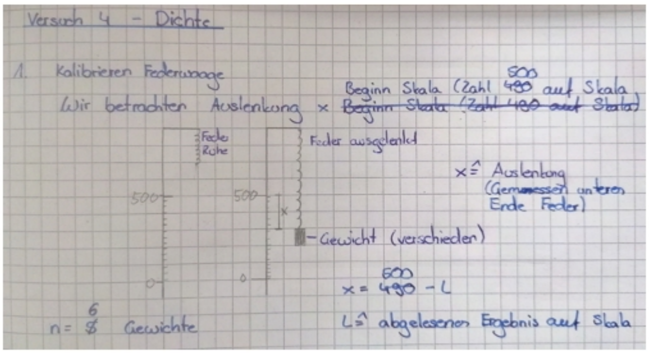
*Alle allgemeinen Formeln zur Berechnung der Größen haben wir aus der Versuchsanleitung und der Datenanalyse Teil A, die uns auf Ilias zur Verfügung gestellt wurden, übernommen.

1 Ziel des Versuchs

Im ersten Teil des Versuchs bestimmen wir das Element, aus dem eine Probe besteht, indem wir die Masse und das Volumen ermitteln und somit auf die Dichte und ihr zugehöriges Element schließen. Im zweiten Teil ermitteln wir über ihre Dichte die Zusammensetzung einer Legierung, deren zugrundeliegenden Bestandteile bekannt sind.

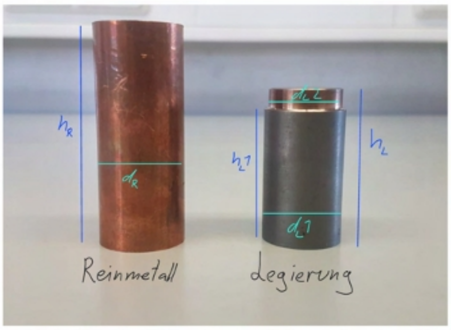
2 Versuch

2.1 Aufbau



ruhig etwas größer

Abbildung 1: Skizze Versuchsaufbau



hier größe gut

schön eingezeichnet

Abbildung 2: Reinmetall und Legierung

Wir haben eine Federwaage mit einer Spiralfeder von unbekannter Federkonstante, an die wir verschiedene Körper und Gewichte hängen können. Die Auslenkungen, die die Gewichte verursachen, können an einer Spiegelskala abgelesen werden, was das Ablesen paralaxefrei ermöglicht. Uns stehen einige geeichte Gewichte zur Verfügung, deren Masse wir kennen, sowie eine nahezu zylinderförmige Probe aus einem Reinmetall, das uns nicht bekannt ist (Abb. 2 links) und eine Probe einer Legierung, die sich in ihrer Form aus zwei Vollzylindern zusammensetzt (Abb. 2 rechts). Die Legierung besteht aus Kupfer und Wolfram.

2.2 Durchführung

Zunächst müssen wir die Federwaage kalibrieren. Hierzu verwenden wir die geeichten Massestücke und messen für n = 6 verschiedene Massen die Auslenkung, die durch die jeweiligen Massestücke entsteht. Die Auslenkung x definieren wir hierbei als die Distanz von dem Wert 500 mm auf der Skala bis zum abgelesenen Wert beim Federende. Dann messen wir die Auslenkung, die durch das Reinmetall entsteht und schließlich noch die Auslenkung durch die Legierung. Zudem bestimmen wir noch das Volumen V_R bzw. V_L der zwei Proben, indem wir durch den Messschieber die Gesamthöhe h_R bzw. h_L und bei der Legierung auch noch die Höhe h_L1 des unteren Zylinders messen. Den Durchmesser d_R des Reinmetalls sowie die Durchmesser d_L1 und d_L2 der Legierung ermitteln wir durch eine Bügelmessschraube. (Bezeichnungen Abb. 2) (Messewerte s. Abschnitt 5)

3 Exkurs zur Dichte (s. Versuchsanleitung)

3.1 Skizze Atommodelle

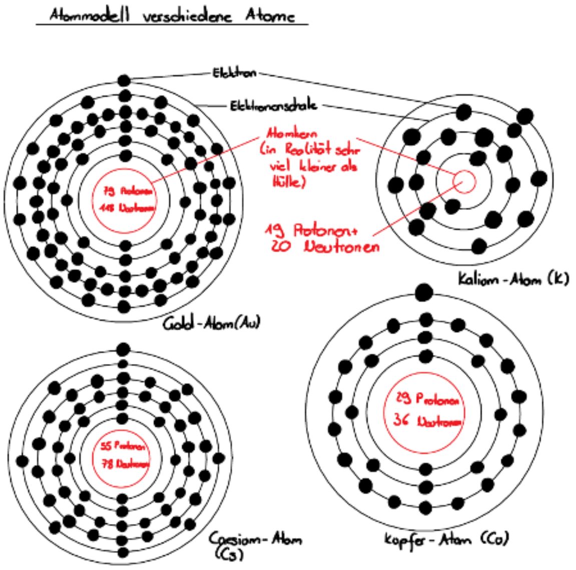


Abbildung 3: Skizze der Atome K, Cs, Cu, Au

3.2 Zusammenhang Ordnungszahl und Dichte

Die Ordnungszahl entspricht auch der Anzahl der Elektronen verteilt auf die Atomhüllen und der Anzahl der Protonen im Kern. Je größer die Ordnungszahl, desto größer ist also auch die Anzahl der Elektronen und Protonen, und somit die Masse des Atoms. Das Volumen der Atome wächst

werden.

Schön, dass ihr die Fragen beantwortet habt, diese sollen aber primär der Vorbereitung dienen. Müssen also im Protokoll nicht erfasst werden. (Ist aber sicher kein negativer Effekt) Ich kläre dass aber nochmal mit der Praktikumsleitung und den andren Tutoren, nicht das dann jemand anderes eine andere Meinung hat :p

nicht so schnell wie die Elektronenzahl, da pro Atomschale immer eine gewisse Anzahl Elektronen „aufgenommen“ werden kann. Zu berücksichtigen sind auch noch die Neutronen im Atomkern, deren Anzahl auch mit der Ordnungszahl zunimmt, allerdings nicht linear.

3.3 Alkalimetalle und Übergangsmetalle

Bei Alkalimetallen können sich maximal 18 Elektronen in einer Atomhülle befinden, wohingegen bei Übergangsmetalle wie zum Beispiel Gold auch 32 Elektronen in einer Atomhülle sein können. Daraus folgt, dass das Volumen der Alkalimetallatome mit der Ordnungszahl deutlich schneller größer wird als bei Übergangsmetallen. Somit ist die Dichte bei Übergangsmetallen größer.

4 Auswertung und Fehleranalyse

stimmt das generell? -> Bei senkrecht nach "unten" ausgelenkter Feder ja :)

Über die Kraft lässt sich die Masse bestimmen. Wir wissen mit der Erdbeschleunigung g:

$$F = m \cdot g = D \cdot x' \tag{1}$$

wobei x' der Distanz vom Ende der unausgelenkten Feder zum Ende der Feder bei angehängtem Gewicht entspricht.
Es folgt:

$$m = \frac{D}{g} \cdot x' \tag{2}$$

4.1 Kalibrierung Federwaage

Die abgelesenen Auslenkungen x tragen wir mit den zugehörigen Massen m in einem Diagramm auf (s. Abb. 5, die Punkte sind die Messpunkte und die Gerade ist die Ausgleichsgerade). Aus der Ausgleichsgeraden der Form $x = a + b \cdot m$ bestimmen wir die Bestwerte des Achsenabschnitt $\hat{a}$ (durch Ablesen) und der Steigung $\hat{b}$ (über das Steigungsdreieck). Auf Grund kleiner Fehler können wir grafisch keine Fehlergeraden bestimmen. Deshalb bestimmmen wir mit einen Residuenplot (s. Abb. 4, die Punkte entsprechen den Messdaten) Δb und berechnen über Minimal- und Maximalwert von b die Unsicherheit des Achsenabschnitts Δa. Durch das Ablesen schätzen wir einen Fehler $\Delta x = 1$mm. * im Residuendiagramm habt ihr 2 a werte eingetragen, das hat mich etwas verwirrt

$$a = \hat{a} \pm \Delta a = (-55.0 \pm 0.5) \times 10^{-3}\,\mathrm{m} \tag{3}$$

$$b = \hat{b} \pm \Delta b = (0.4306 \pm 0.0015)\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}} \tag{4}$$

4.2 Bestimmung Reinmetall

4.2.1 Bestimmung Masse Reinmetall

Wir haben bei der Probe aus Reinmetall eine Auslenkung von $x_R = 62$ mm gemessen und nehmen wie bei der Kalibrierung eine Unsicherheit $\Delta x_R = 1$mm

* Ihr könnt hier, wie bereits im Skript erwähnt, eime bestimmte Verteilung voraussetzten. Zb Dreiecksverteilung, denn ihr könnt prinzipiell die auf der Skala schon gut abschätzen ob der wert zwischen oder auf den skalenstrichen liegt. Das pendeln des gewichts hingegen kann ein zusätzlicher fehler sein. Dieser Fehler kann aber in der Diskussion weiter diskutiert werden

an. Die Steigung der Ausgleichsgeraden entsprich dem Verhältnis $\frac{g}{D}$. Aus Gleichung (2) folgt somit

$$m = \frac{x'}{b}$$

✓

Mit $x' = x - a$ gilt also:

$$m = \frac{x - a}{b} \tag{5}$$

Um die Masse m_R des Reinmetalls zu bestimmen berechnen wir zunächst den Bestwert $\hat{m_R}$ durch:

$$\hat{m_R} = \frac{\hat{x_R} - \hat{a}}{\hat{b}} = 271.7 \text{ g}$$

✓

Über Gauß'sche Fehlerfortpflanzung ergibt sich für die Unsicherheit der Masse:

$$\Delta m_R = \sqrt{(\frac{\partial m_R}{\partial b}\Delta b)^2 + (\frac{\partial m_R}{\partial x'_R}\Delta x'_R)^2} \tag{6}$$

bitte auch (nur) die Formel nach durchgeführter Ableitung hinschreiben, so können wir Tutoren eventuelle rechenfehler besser sehen

Die Unsicherheit $\Delta x'_R$ ergibt sich ebenfalls durch Gauß'sche Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta x'_R = \sqrt{(\Delta x_R)^2 + (\Delta a)^2} = 1.0 \text{ mm} \tag{7}$$

Aus Gleichung (6) und Gleichung (7) folgt:

fällt euch etwas auf bei der relevanz von delta a?
> Kalibration strak beitragend zur Unsicheit?

$$\Delta m_R = 2.5 \text{ g}$$
$$\Rightarrow m_R = (271.7 \pm 2.5) \text{ g}$$

✓

Für die relative Unsicherheit der Masse ergibt sich

$$\frac{\Delta m_R}{\hat{m_R}} = 0.92\%$$

✓

4.2.2 Bestimmung Volumen Reinmetall

Da das Reinmetall nahezu zylinderförmig ist haben wir zunächst $h_R = 62.05$ mm und $d_R = 24.90$ mm gemessen, was bei der Einzlmessung den Bestwerten $\hat{h_R}$ bzw. $\hat{d_R}$ entspricht, wobei wir Unsicherheiten $\Delta h_R = 0.05$ mm und $\Delta d_R = 0.05$ mm geschätzt haben, die durch Ablesefehler oder ungenaues Anlegen der Messgeräte entstehen könnten. Da der Zylinder nicht perfekt ist, haben wir hier eine Ungenauigkeit von zusätzlichen 5 mm^3 angenommen. Für das Volumen V_R ergibt sich: woraus schließt ihr auf die 5 mm^3?

kurz erläutern
Rand abgerundet mit randlänge pi*d o-ä.

$$\hat{V_R} = h_R \cdot (\frac{d_R}{2})^2 \cdot \pi = 30.22 \text{ cm}^3 \tag{8}$$

wir erhalten für die Unsicherheit des Volumens:

$$\Delta V_R = 5 \text{ mm}^3 + \sqrt{(\frac{\partial V_R}{\partial h_R}\Delta h_R)^2 + (\frac{\partial V_R}{\partial d_R}\Delta d_R)^2} = 0.13 \text{ cm}^3 \tag{9}$$

Es folgt

auch hier, auch bei trivialität formel am besten ausschreiben

$$V_R = (30.22 \pm 0.13) \text{ cm}^3$$

mit einer relativen Unsicherheit von

$$\frac{\Delta V_R}{\hat{V_R}} = 0.43\%.$$

✓

4.2.3 Bestimmung Dichte Reinmetall

Die Dichte eines Stoffs ist definiert durch

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{10}$$

Für die Dichte ρ_R unseres Reinmetalls erhalten wir:

$$\hat{\rho_R} = \frac{\hat{m_R}}{\hat{V_R}} = 8.99 \times 10^3 \, \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

$$\Delta\rho_R = \sqrt{(\frac{\partial\rho_R}{\partial m_R}\Delta m_R)^2 + (\frac{\partial\rho_R}{\partial V_R}\Delta V_R)^2} = 0.09 \times 10^3 \, \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

$$\Rightarrow \rho_R = (8.99 \pm 0.09) \times 10^3 \, \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

Die relative Unsicherheit des Reinmetallvolumens ist somit:

$$\frac{\Delta\rho_R}{\hat{\rho_R}} = 1.0\%$$

4.2.4 Schlussfolgerung

Aus der Tabelle, die in der Versuchsbeschreibung gegeben ist, können wir entnehmen, dass drei Elemente eine Dichte haben die im Bereich von der Dichte liegt, die wir für unser Reinmetall bestimmt haben. Dies sind die drei Metalle Nickel (Dichte $\rho_{NI} = 8908 \, \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$), Cobalt (Dichte $\rho_{Co} = 8900 \, \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$) und Kupfer (Dichte $\rho_{Cu} = 8920 \, \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$) (Werte s. Abb. 6). Unser Bestwert $\hat{\rho_R}$ liegt am nächsten an der Dichte von Kupfer. Der Verdacht auf Kupfer wird außerdem durch die rötliche Farbgebung der Probe bestätigt. Eine sichere und eindeutige Identifikation des chemischen Elements ist also nicht möglich, aber wir können begründete Vermutungen aufstellen. Wir schließen darauf, dass es sich um eine Probe aus Kupfer handelt, auch wenn sich dies nicht mit einer Sicherheit von 100% sagen lässt.

Ein T-test kann Abhilfe bei der Frage schaffen
wie Sicher ihr euch wirklich seid. Umgangsprachliche
Formulierungen nach Möglichkeit vermeiden

4.3 Bestimmung Massenanteile Legierung

Die Legierung zu der wir die Masseanteile bestimmen müssen ist Wolframkupfer.

4.3.1 Bestimmung Masse Legierung

Bei der Legierungsprobe haben wir eine Auslenkung von $x_L = 72$ mm gemessen und arbeiten wie oben mit einer Unsicherheit $\Delta x_L = 1$ mm. Auch hier entspricht die Steigung b der Ausgleichsgeraden (Gleichung (4)) dem Verhältnis $\frac{g}{D}$. Analog zur Berechnung der Reinmetallprobe erhalten wir für den Bestwert der Masse der Legierung (s. Gleichung (5)):

$$\hat{m_L} = \frac{\hat{x_L} - \hat{a}}{\hat{b}} = 294.9 \text{ g}$$

Ebenfalls analog zu Gleichung (7) ergibt sich

$$\Delta x'_L = \Delta(x_L - a) = \sqrt{(\Delta x_L)^2 + (\Delta a)^2} = 1.0 \text{ mm}$$

und folglich die Unsicherheit zur Masse der Legierung

$$\Delta m_L = \sqrt{(\frac{\partial m_L}{\partial b}\Delta b)^2 + (\frac{\partial m_L}{\partial x'_L}\Delta x'_R)^2} = 2.5 \text{ g}$$

$$\Rightarrow m_L = (294.9 \pm 2.5) \text{ g}$$

Für die relative Unsicherheit der Masse ergibt sich also

$$\frac{\Delta m_L}{\hat{m_L}} = 0.92\%$$

4.3.2 Bestimmung Volumen Legierung

Die Form der Probe ist die eines Zylinders, der teilweise verjüngt ist. Zur Errechnung des Volumens bestimmten wir zunächst die Gesamthöhe des Zylinders $h_L = 45.15$ mm und die Höhe des nichtverjüngten Zylinderteils $h_L1 = 39.50$ mm, außerdem der beiden Durchmesser $d_L1 = 23.53$ mm und $d_L2 = 21.18$ mm. Wir bestimmen damit $h_L2 = h_L - h_L1 = 5.65$ mm. Die Unsicherheiten $\Delta h_L = \Delta h_L1 = \Delta h_L2 = 0.05$ mm und $\Delta d_L1 = \Delta d_L2 = 0.05$ mm sind analog zu denen beim Reinmetall. Da der Zylinder gefast ist nehmen wir ein zusätliche Unsicherheit von 5 mm^3 an. Für das Volumen ergibt sich dann

was heißt gefast?

$$\hat{V_L} = \hat{V_L}1 + \hat{V_L}2$$

wobei

$$\hat{V_L}1 = h_L1 \cdot (\frac{d_L1}{2})^2 \cdot \pi$$

und

$$\hat{V_L}2 = h_L2 \cdot (\frac{d_L2}{2})^2 \cdot \pi$$

also

$$\hat{V_L} = 19.16 \text{ cm}^3 \ .$$

Für die Unsicherheit erhalten wir mit

$$\Delta V_L1 = \sqrt{(\frac{\partial V_L1}{\partial h_L1}\Delta h_L1)^2 + (\frac{\partial V_L1}{\partial d_L1}\Delta d_L1)^2}$$

und

$$\Delta V_L2 = \sqrt{(\frac{\partial V_L2}{\partial h_L2}\Delta h_L2)^2 + (\frac{\partial V_L2}{\partial d_L2}\Delta d_L2)^2}$$

dann

achtung: die 5mm^3 müssen auch quadratisch addiert werden

$$\Delta V_L = 5 \text{ mm}^3 + \sqrt{\Delta V_L1^2 + \Delta V_L2^2} = 0.08 \text{ cm}^3 \ .$$

Also ergibt sich das Volumen

$$V_L = (19.17 \pm 0.08) \text{ cm}^3$$

mit einer relativen Unsicherheit

$$\frac{\Delta V_L}{\hat{V_L}} = 0.43\%$$

4.3.3 Bestimmung Dichte Legierung

Analog zu Abschnitt 4.2.3 bestimmen wir die Dichte der Legierung:

$$\hat{\rho_L} = \frac{\hat{m_L}}{\hat{V_L}} = 15.39 \times 10^3 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta\rho_L = \sqrt{(\frac{\partial \rho_L}{\partial m_L}\Delta m_L)^2 + (\frac{\partial \rho_L}{\partial V_L}\Delta V_L)^2} = 0.14 \times 10^3 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Rightarrow \rho_L = (15.39 \pm 0.14) \times 10^3 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Die relative Unsicherheit ist somit:

$$\frac{\Delta\rho_L}{\hat{\rho_L}} = 1.0\%$$

4.3.4 Berechung Massenanteile

Zur Bestimmung der Masseanteile betrachten wir die Gesamtmasse m_L, und die Massen von Kupfer m_{Cu} und Wolfram m_W:

$$m_L = m_{Cu} + m_W$$

$$\Leftrightarrow m_L = V_{Cu} \cdot \rho_{Cu} + (V_L - V_{Cu}) \cdot \rho_{Cu}$$

Hierbei sind V_{Cu} das Volumen des Kupferanteils, $\rho_{Cu} = 8920 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ die Dichte von Kupfer und $\rho_W = 19\,250 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ die Dichte von Wolfram (Abb. 6). Es folgt weiter

$$V_{Cu} = \frac{m_L - V_L \cdot \rho_W}{\rho_{Cu} - \rho_W}$$

$$\Leftrightarrow m_{Cu} = \frac{m_L - V_L \cdot \rho_W}{\rho_{Cu} - \rho_W}\rho_{Cu}$$

wobei m_{Cu} die Masse des Kupferanteils ist. Für den Masseanteil folgt dann

$$\frac{m_{Cu}}{m_L} = \frac{1 - \frac{V_L \cdot \rho_W}{m_L}}{\rho_{Cu} - \rho_W}\rho_{Cu}$$

$$= \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Cu} - \rho_W} - \frac{V_L}{m_L} \cdot \frac{\rho_W \cdot \rho_{Cu}}{\rho_{Cu} - \rho_W} \, .$$

Mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung erhalten wir die Unsicherheit auf das Massenverhältnis:

$$\Delta\frac{m_{Cu}}{m_L} = \sqrt{(\frac{\partial \frac{m_{Cu}}{m_L}}{\partial V_L}\Delta m_L)^2 + (\frac{\partial \frac{m_{Cu}}{m_L}}{\partial m_L}\Delta V_L)^2}$$

Analoges gilt für den Massenanteil von Wolfram.

auch hier, bitte endformel aussreiben ;)

Masseanteil Kupfer und dessen relative Unsicherheit

$$\frac{m_{Cu}}{m_L} = (30.9 \pm 1.0)\%$$

$$\frac{\Delta\frac{m_{Cu}}{m_L}}{\hat{\frac{m_{Cu}}{m_L}}} = 3.9\%$$

Masseanteil Wolfram und dessen relative Unsicherheit

$$\frac{m_W}{m_L} = (69.1 \pm 1.2)\%$$

$$\frac{\Delta \frac{m_W}{m_L}}{\frac{\hat{m_W}}{m_L}} = 1.7\%$$

Durch unsere Messungen hat sich also ergeben, dass sich die Masse der Legierung zu $(30.9 \pm 1.0)\%$ aus Kupfer und zu $(69.1 \pm 1.2)\%$ aus Wolfram zusammensetzt.

4.4 Diagramme

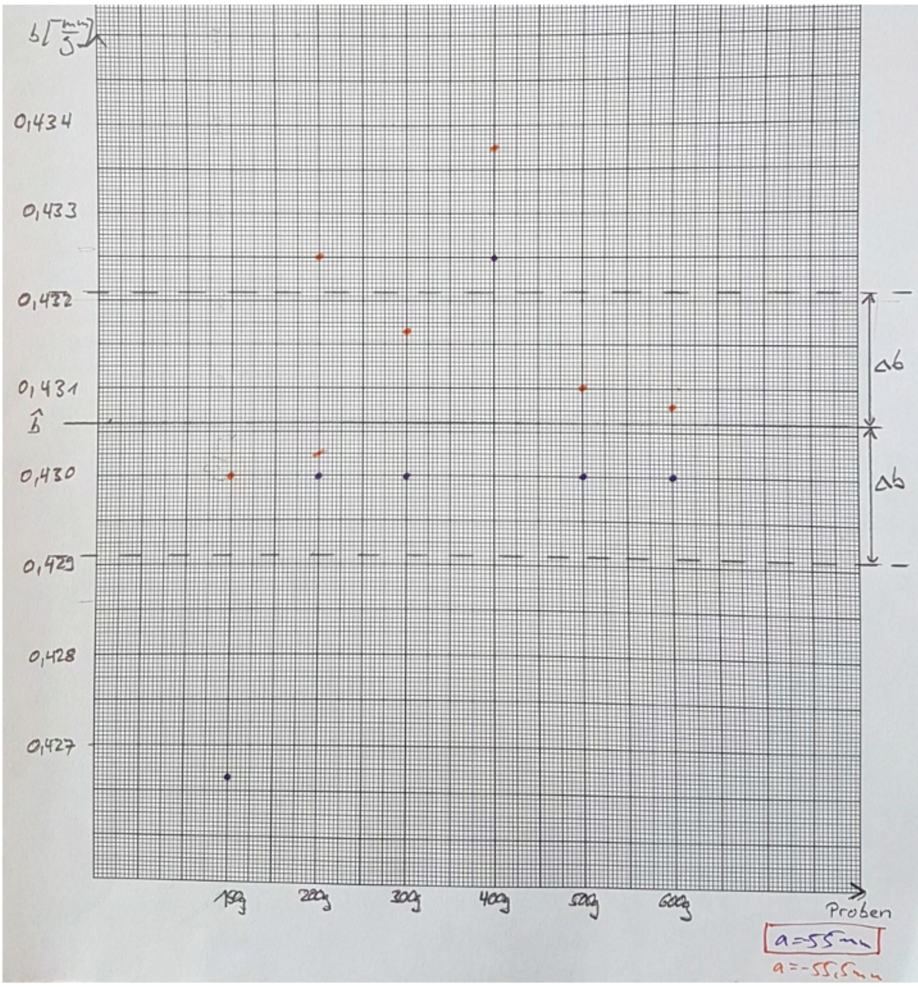


Abbildung 4: Residuenplot
Punkte entsprechen Steigung bei jeweiligen Messwerten, blau: Achsenabschnitt a = -55 mm, orange: Achsenabschnitt a = -55.5

was ist der unterschied zwischen den beiden werten?

Wenn ihr auf der x-achse die residuen in delta x (auslenkung) auftragt könnt ihr sowohl den Fehler auf den Achsenabschnitt als auch auf die Steigung (mit dem x, analog zum original-plot) direkt bestimmen.

PS: Schaut nochmal in dem Video zu V4 nach, wie man korrekt eine Kalibrationstoleranz graphis behandelt bzw "abliest"/schätzt. -> Kann für die anderen versuche relevant sein, wo ihr ggf größere Fehler auf den x/y Werten habt und ihr sinnvolle Fehlergeraden einzeichnen

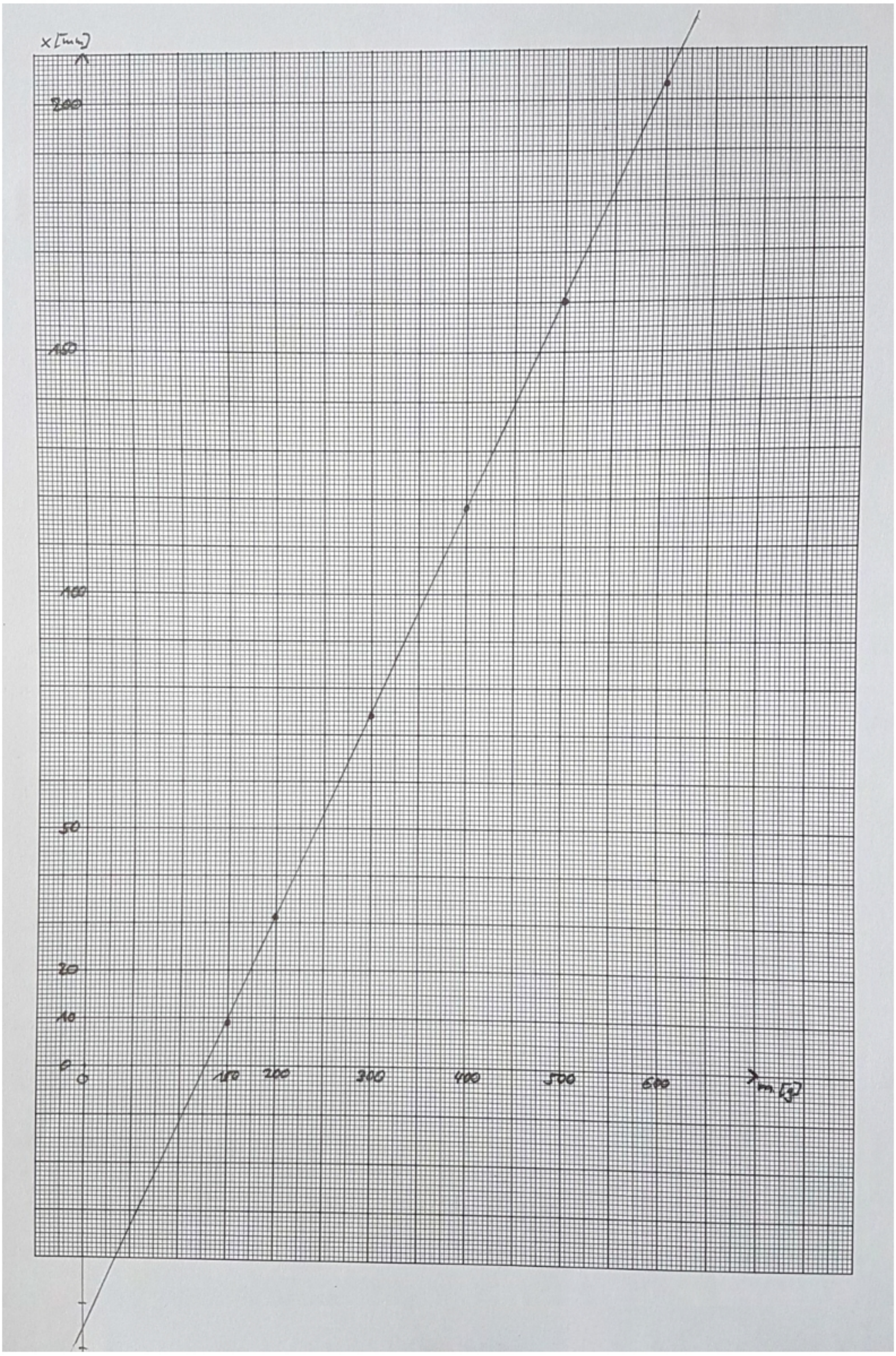


Abbildung 5: Diagramm mit Ausgleichsgerade

in dem grauton gerne größere achsenbeschriftungen

Diskussion?

Es ist immer wichtig, die Endergebnisse nochmal kurz aufzufassen und zu diskutieren. Zb kann hier ein Vergleich (t-test kann/soll acuh im Auswertebereich sein) mit den Literaturwerten stattfinden. Es ist auch schön, wenn euch auffällt welche Fehlergrößen beitragend sind, welche nicht und ihr das kurz diskutiert. Welchen EInfluss hat die Kalibration? Hat das schwingen einen auswirkung auf die Messgenauigkeit? -> wie habt ihr das Pendel beruhigt. Auch hier müssen es keine Romane sein, aber ein oder 2 Sätzte, gerne auch Stichpunkte, zb
- Fehler aus kalibration kaum beitragend -> möglicherweise Ablesefehler zu groß geschätzt
- Pendelbewegung durch festhalten gestoppt,o.ä.

5 Anhang

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
Zirconium	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

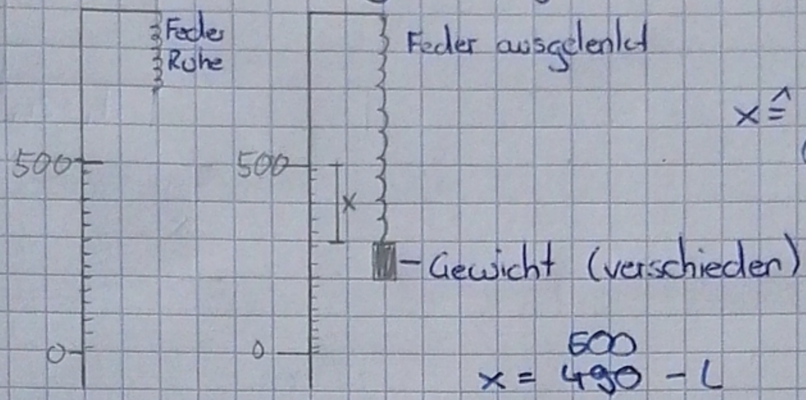
Tabelle 4.1: Ausgewählte Metalle und Halbmetalle, sortiert nach ihrer Dichte.

Abbildung 6: Tabelle Dichte (aus Versuchsbeschreibung)

Versuch 4 – Dichte

1. Kalibrieren Federwaage

Wir betrachten Auslenkung x Beginn Skala (Zahl ~~490~~ 500 auf Skala) ~~Beginn Skala (Zahl 490 auf Skala)~~



$x \hat{=}$ Auslenkung (Gemessen unteren Ende Feder)

$x = \cancel{490}\ 500 - L$

n = ~~5~~ 6 Gewichte

$L \hat{=}$ abgelesenes Ergebnis auf Skala

(Zusammensetzung) Gewicht [g]	Auslenkung [mm]
100 + 50 = 150	~~490~~ 500 − 491 = ~~1~~ 9
200 = 200	~~490~~ 500 − 469 = ~~21~~ 31
200 + 100 = 300	500 − 426 = 74
20·2+200 +100+50+10=400	500 − 382 = 118
500 = 500	500 − 340 = 160
100 + 500 = 600	500 − 297 = 203

Unsicherheit Auslenkung:

$\Delta x = 1\,mm$

Unsicherheiten Masse:

~~$\Delta m_{100} = 1{,}6\,mg$~~

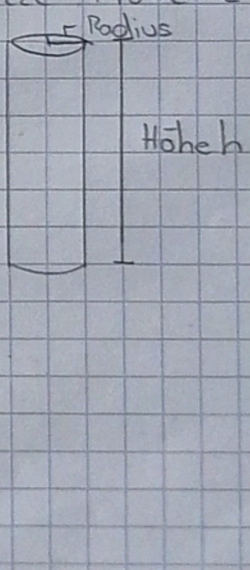
Δ vernachlässigbar klein (genaueres im Protokoll)

2.1 Masse ~~Ver~~ Probe (Bedingungen wie oben)

Auslenkung x für Probe: $x = 500\,mm - 438\,mm = 62\,mm$

2.2 Volumen Probe

Skizze Probe Zylinder



Höhe mit Messschieber: $h = 62{,}05\,mm$

Durchmesser $d = 2r = 24{,}99\,mm$ (mit Bügelmessschraube)

$\Delta h = 0{,}05\,mm$

$\Delta d = 0{,}05\,mm$

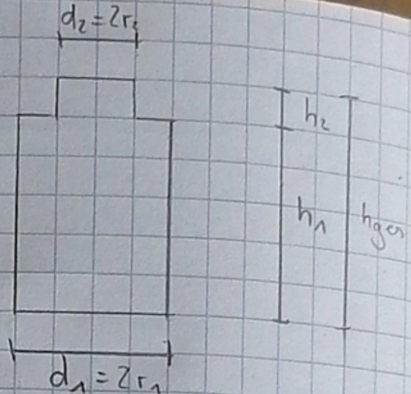
Zylinder nicht exakt: $\Delta V_1 = 5\,mm^3$

3. Legierung (Bedingungen wie 1.

3.1 Masse durch Auslenkung

$x = 500mm - 428\,mm = 72mm$

3.2 Volumen



Messschieber $h_{ges} = 45{,}15mm$

$h_1 = 39{,}50mm$ -> $h_2 = h - h_1 = 5{,}65mm$

Bügelmessschraube : $d_1 = 23{,}53\,mm$ ~~Δh und Δd bei ?~~

$d_2 = 21{,}18\,mm$

Wir nehmen $g = 9{,}81 \frac{m}{s^2}$.

$\cancel{\Delta h_2 = \Delta h}$

$\Delta h_1 = \Delta h_2 = \Delta h = \cancel{0{,}05}\ 0{,}05mm$

$\Delta d_1 = \Delta d_2 = \Delta d = 0{,}05\,mm$

Zylinder nicht exakt $\Delta V_1 = 5mm^3$

[redacted]