

M2 - Dichte von Flüssigkeiten und Festkörpern

Julia Mariella Wiest

Gruppe A06

30.04.2025

Mit der Abgabe dieses Protokolls wird bestätigt, dass es kein Plagiat ist. Falls es dennoch eindeutig als Plagiat erkannt werden sollte, ist bekannt, dass das einen Punktabzug von 20 Punkten zur Folge, ohne Möglichkeit der Nachbearbeitung, hat. Diese Bewertung wird ausnahmslos zur Gesamtnote im Anfängerpraktikum beitragen.

1 Physikalische Grundlagen

Der nachstehende Versuch wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Dichte von Flüssigkeiten und Festkörpern mithilfe eines Pyknometers und einer Mohrschen Waage zu bestimmen.

Das archimedische Prinzip besagt, dass ein Körper, welcher ganz oder teilweise in eine Flüssigkeit eingetaucht wird, eine Auftriebskraft erfährt, deren Betrag der Gewichtskraft der durch den Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge entspricht (Tipler und Mosca 2024, S. 349).

Auf einen starren Körper wirkt die Gewichtskraft

$$F_G = m_K \cdot g = \rho_K \cdot V_K \cdot g$$

mit m_K der Masse und V_K dem Volumen des Körpers (Bannwarth, Kremer und Schulz 2019, S. 53). Befindet sich der Körper vollständig in einer Flüssigkeit, so wird auf diesen Druck ausgeübt. Je nach Tauchtiefe h des Körpers gilt für den Druck

$$p = p_0 + \rho_{\text{Flüssigkeit}} \cdot g \cdot h$$

(Meschede 2010, S. 102).

Für den Auftrieb F_A in Richtung der Flüssigkeitsoberfläche gilt

$$F_A = \Delta p \cdot A = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot \Delta h \cdot A,$$

wobei A die Querschnittsfläche des Körpers ist. Dabei bewirkt die Auftriebskraft einen scheinbaren Gewichtsverlust, was über die folgende Formel ausgedrückt werden kann:

$$F_{G,L} - F_{G,Fl} = F_A = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot V_K = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot \frac{m_K}{\rho_K} = F_{G,L} \frac{\rho_{\text{Fl}}}{\rho_K} \Rightarrow \rho_K = \frac{F_{G,L}}{F_{G,L} - F_{G,Fl}} \cdot \rho_{\text{Fl}}$$

mit $F_{G,L}$ und $F_{G,Fl}$ der auf den Körper wirkende Gewichtskraft in der Luft beziehungsweise in der Flüssigkeit (Walcher o.D., S. 58, 59), (Universität Augsburg WiSe 2024/2025).

Die Dichte einer Flüssigkeit lässt sich beispielsweise über ein sogenanntes Pyknometer bestimmen. Dabei handelt es sich um eine Messflasche mit einem bekannten Volumen V_P mit einem eingeschliffenem Stöpsel, welcher eine Kapillare enthält, um eine exakte Füllung zu gewährleisten. Aus der Differenz des leeren und vollen Pyknometers lässt sich die Dichte über die Formel

$$\rho_{\text{Fl}} = \frac{m_{\text{Flüssigkeit}}}{V_P}$$

bestimmen. Auf das genaue Vorgehen zur Bestimmung der Dichte einer Flüssigkeit mit einem Pyknometer wird im Versuchsaufbau [2.1](#) genauer eingegangen (Universität Augsburg [WiSe 2024/2025](#)).

Die Dichte von Flüssigkeiten und Festkörpern kann zudem über eine sogenannte Mohrsche Waage bestimmt werden. Dabei handelt es sich um eine mechanische Balkenwaage, an welcher anhand einer Skala mit Schiebegewichten die Dichte bestimmt werden kann. Bei Flüssigkeiten wird ein geeichter Tauchkörper verwendet, um aus dem Auftrieb die Dichte der Flüssigkeit bestimmen zu können. Indem die Skala vor dem Versuch auf den Senkkörper geeicht wird, kann die resultierende Dichte direkt an der Skala abgelesen werden.

Bei Festkörpern wird ein Waagschalensystem, bestehend aus einer Taraschale, welche sich in der Luft, und einer Siebschale, welche sich innerhalb der Flüssigkeit befindet, verwendet. Die Bestimmung der Dichte eines Festkörpers ist nur über das Verhältnis zweier Werte bestimmbar. Deswegen wird während des Versuchsvorgangs ein sogenannter Trockenwert in der Taraschale und ein Nasswert in der Siebschale aufgenommen. Aus beiden Werten lässt sich anschließend anhand der Formel

$$\rho_{\text{Festkörper}} = \frac{2,0100 - \text{Trockenwert}}{\text{Nasswert} - \text{Trockenwert}} \cdot \rho_{\text{Flüssigkeit}}$$

die Dichte des Festkörpers bestimmen. Auch hierauf wird im Versuchsaufbau [2.1](#) nochmals näher eingegangen (Walcher o.D., S. 61), (Universität Augsburg [WiSe 2024/2025](#)).

2 Dichte von Flüssigkeiten und Festkörpern

2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Zur Durchführung des ersten Teilversuches wird ein sogenanntes Pyknometer, wie in Abbildung 2.1 zu sehen, zur Bestimmung der Dichte von verschiedenen Flüssigkeiten benutzt.

Das Pyknometer besteht aus einem bauchig geformten Glasbehälter, welcher mit einem eingeschliffenen Stöpsel mit Kapillare verschlossen werden kann. Zunächst soll mithilfe einer Flüssigkeit mit bekanntem Volumen, in diesem Fall mit destilliertem Wasser, das Volumen des zu benutzenden Pyknometers bestimmt werden. Dafür wird zuerst das leere Pyknometer inklusive Stöpsel mit einer Feinwaage gewogen. Hieraus ergibt sich ein Leergewicht von $m_{\text{leer}} = 30,4 \text{ g}$. Nun wird das Gefäß mit destilliertem Wasser befüllt. Da die Dichte von Flüssigkeiten mit deren Temperatur variiert, wird bei jedem neuen befüllen des Pyknometers mithilfe eines Thermometers die Wassertemperatur abgenommen. Durch das Aufsetzen des Stöpsel mit Kapillare wird überschüssige Flüssigkeit innerhalb des Pyknometers nach außen transportiert, sodass sich für jeden Messvorgang dieselbe Menge Flüssigkeit innerhalb des Pyknometers befindet. Überschüssige Flüssigkeit wird



Abb. 2.1: Aufbau des Pyknometers
(Universität Augsburg WiSe 2024/2025).

mittels eines Papierhandtuches vorsichtig abgetrocknet. Dabei ist darauf zu achten, dass außerhalb des Gefäßes keinerlei Tropfen verbleiben, da diese das Ergebnis merklich verfälschen könnten. Erneutes Wiegen des nun befüllten Pyknometers ergibt das Gesamtgewicht m_{gesamt} . Dieses Vorgehen wird insgesamt fünf Mal wiederholt, indem das Gefäß ausgeleert, neu mit Wasser befüllt, die Temperatur abgenommen und gewogen wird. Aus den daraus resultierenden Ergebnissen kann zu einem späteren Zeitpunkt in der Auswertung das Volumen des Pyknometers gewonnen werden.

Mit dem nun bekannten Volumen kann die Dichte einer unbekannten Flüssigkeit bestimmt werden. Das Vorgehen bleibt dasselbe wie beim destillierten Wasser. Es wurden für zwei Flüssigkeiten, eine Ethanolmischung und eine Natriumchloridlösung, jeweils fünf Messungen durchgeführt. Beim Wechsel der Flüssigkeit von Ethanol zu Natriumchlorid wurde das Gefäß mit Wasser gereinigt, um eine Verfälschung des Ergebnisses zu verhindern.

Ein weiteres Instrument zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten ist die sogenannte Mohrsche Waage.

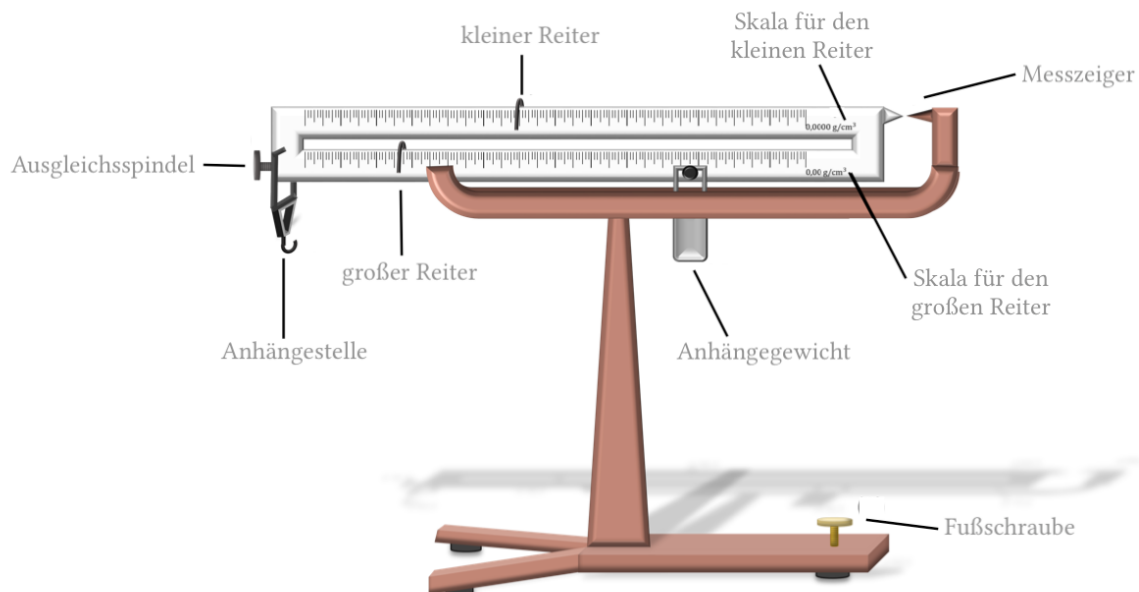


Abb. 2.2: Aufbau der Mohrschen Waage (Universität Augsburg WiSe 2024/2025).

Wie in Abbildung 2.2 zu sehen, handelt es sich hierbei um eine mechanische Balkenwaage. Mithilfe dieser Waage soll nun abermals die Dichte der Ethanolmischung und der Natriumchloridlösung experimentell bestimmt werden. Dafür wird zunächst ein geeichter Referenz-Tauchkörper mit Wasser gereinigt und abgetrocknet. Damit während des Versuches die Dichte der Flüssigkeit direkt an der Skala abgelesen werden kann, wird die Waage anhand des Tauchkörpers geeicht. Hierfür befindet sich der große Reiter in der Kerbe 0,00 und der kleine Reiter in der Kerbe 0,0000. Nachdem der von Luft umgebene Referenzkörper an die Aufhängestelle angebracht wurde, wird mithilfe der Fußschraube und der Ausgleichsspindel die Waage wieder ins Gleichgewicht gebracht, das heißt, die Messzeiger stehen nach dem Einstellen der Schrauben wieder auf einer Höhe.

Die zu untersuchende Flüssigkeit wird nun in ein großes Becherglas gefüllt und unterhalb der Aufhängestelle der Mohrschen Waage platziert. Das Aufhängengewicht erfährt innerhalb der Flüssigkeit einen Auftrieb, wodurch die Waage in ein Ungleichgewicht gebracht wird. Dabei sollte der Tauchkörper frei in der Flüssigkeit schweben, das heißt der Referenzkörper sollte die Becherglaswände nicht berühren und frei von Luftblasen sein. Durch das Verstellen der Schiebegewichte wird dieses wiederhergestellt. Anhand der Skala des großen Reiters in $0,01 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ und des kleinen Reiters in $0,0001 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ kann nun die Dichte der Flüssigkeit direkt

abgelesen werden. Dieser Vorgang wird nun pro Flüssigkeit jeweils fünf Mal wiederholt, indem der Tauchkörper aus der Flüssigkeit entnommen und abgetrocknet wird, die Mohrsche Waage mit dem Tauchkörper in der Luft wieder auf 0,0000 austariert wird und anschließend der Wert der Dichte anhand des Tauchkörpers innerhalb der Flüssigkeit erneut mittels der Schiebegewichte ermittelt werden kann. Für die Messung der Dichte der Ethanolmischung wurde das Anhängengewicht zum Ausgleich der Waage nicht benötigt. Bei den Messungen in der Natriumchloridlösung wurde dieses verwendet. Die gemessenen Dichtewerte sind um $\rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ größer. Dies entspricht genau dem Anhängengewicht. Wie bereits im ersten Teilversuch wurde auch hier während jedes Durchganges die Temperatur der Flüssigkeit gemessen.

In der Auswertung können abschließend die Dichtewerte des ersten Teilversuches mit dem Pyknometer mit den Ergebnissen des zweiten Teilversuches der Mohrschen Waage verglichen werden.

Im dritten Teilversuch soll die Dichte von drei verschiedenen metallenen Festkörpern mithilfe der Mohrschen Waage ermittelt werden. Dafür wird die Messflüssigkeit durch eine Flüssigkeit mit bekannter Dichte, in diesem Fall durch destilliertem Wasser, ersetzt. An die Anhängestelle wird eine Waagschale gehängt, welche sich während des Versuches immer überhalb des Wasser befindet. Weiterhin wird an eine Öse an der Waagschale eine weitere Siebschale angehängt, welche sich während des Versuches dauerhaft, vollständig bedeckt und frei schwebend innerhalb des Wassers befindet. Die beiden Schiebegewichte sind zu Beginn des Versuches in die Kerben 1,00 und 0,0100 bei abgehängtem Anhängengewicht zu platzieren. Über die Waagschale wird nun durch das Hinzugeben von kleinen Ausgleichsgewichten die Ausgangs-Gleichgewichtslage wieder hergestellt. Dafür standen Centmünzen, Knöpfe und Büroklammern zu Verfügung. Doch selbst nach vollständigem Eindrehen der Ausgleichsspindel und einem Ausgleich mittels der Fußsspindel stellte sich kein Gleichgewicht ein, sodass mittels Hinzufügen von Papierhandschnitzeln zur Waagschale die Mohrsche Waage austariert werden konnte.

Zur Ermittlung der Dichte des Festkörpers wird dessen Auftrieb in der Luft mit dem Auftrieb innerhalb des Wassers ins Verhältnis gesetzt. Deswegen werden während des Versuches zwei Werte für das Metall aufgenommen: der Trockenwert in der Waagschale und der Nasswert in der Siebschale innerhalb der Flüssigkeit. Dafür werden, wie bereits im zweiten Teilversuch, die Schiebegewichte so verstellt, dass sich die Mohrsche Waage wieder im Gleichgewicht befindet und ein Wert an der Skala abgelesen werden kann. Beide Werte werden pro Festkörper jeweils fünf Mal aufgenommen, wobei nach jeder Wägung, indem die Reiter wie zu Beginn auf 1,00 und 0,0100 eingestellt werden, ohne den Probekörper erneut austariert wird. Während des Versuches wurden Werte für drei verschiedene metallene Festkörper aufgenommen. Diese konnten anhand ihrer Farbe, gold-, silber- und kupferfarben, unterschieden werden. Die Temperatur des Wassers wurde während der Durchführung des Versuches mehrfach abgenommen. Diese befand sich konstant für alle drei Festkörper bei $T_{\text{Wasser}} = 24,2^\circ\text{C}$.

2.2 Auswertung der Messergebnisse

Auf Grundlage der im vorherigen Kapitel beschriebenen Versuchsdurchführung werden die damit erlangten Messergebnisse nun ausgewertet.

Bestimmung des Volumens des Pyknometers und der Dichte der zu untersuchenden Flüssigkeiten

Zur Bestimmung der Dichte der beiden Flüssigkeitsmischungen aus Ethanol und Natriumchlorid wird zunächst das Volumen des verwendeten Pyknometers benötigt. Dafür wird die Formel

$$\rho_{\text{Fl}} = \frac{m_{\text{Fl}}}{V_{\text{P}}} \Rightarrow V_{\text{P}} = \frac{m_{\text{Fl}}}{\rho_{\text{W}}} = \frac{m_{\text{gesamt}} - m_{\text{leer}}}{\rho_{\text{W}}}$$

verwendet. Das leere Pyknometer weist ein Gewicht von $m_{\text{leer}} = 30,4 \text{ g}$ auf.

Die Messwerte der Temperatur des Wassers und des Gesamtgewichtes des Pyknometers mit dem Wasser sind Tabelle 2.1 zu entnehmen. Die Dichte des Wassers nach der Temperatur wurde anhand von Literaturwerten ermittelt (o.V. 2021).

n	$T \text{ in } ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{W}} \text{ in } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$m_{\text{ges}} \text{ in g}$	$V \text{ in cm}^3$	$\Delta V \text{ in cm}^3$
1	24,3	0,997225	51,0	20,657324	0,021091
2	24,2	0,997250	51,2	20,857358	0,021101
3	24,1	0,997275	51,0	20,656288	0,021090
4	24,2	0,997250	50,9	20,556530	0,021086
5	24,3	0,997225	50,6	20,256211	0,021071
Mittelwert				20,596742	0,021088

Tabelle 2.1: Messergebnisse des destillierten Wassers zu Bestimmung des Volumens des Pyknometers.

Die Fehlerbetrachtung erfolgt über die Ermittlung des Größtfehlers für das Volumen des Pyknometers

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{P}} &= \left| \frac{\partial V}{\partial m_{\text{ges}}} \right| \cdot \Delta m_{\text{ges}} + \left| \frac{\partial V}{\partial m_{\text{leer}}} \right| \cdot \Delta m_{\text{leer}} + \left| \frac{\partial V}{\partial \rho_{\text{W}}} \right| \cdot \Delta \rho_{\text{W}} \\ &= \frac{1}{\rho_{\text{W}}} \cdot \Delta m_{\text{ges}} + \frac{1}{\rho_{\text{W}}} \cdot \Delta m_{\text{leer}} + \frac{m_{\text{ges}} - m_{\text{leer}}}{\rho_{\text{W}}^2} \cdot \Delta \rho_{\text{W}}. \end{aligned}$$

Für jede Gewichtsmessung wird von einem Fehler von $\Delta m = 0,01 \text{ g}$ ausgegangen. Die Betrachtung der Dichtewerte von Wasser bei einer Temperaturschwankung von $\Delta T = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ergibt eine Dichteschwankung von $\rho_{\text{max}} = 0,997275 \text{ g/cm}^3$ und $\rho_{\text{min}} = 0,997225 \text{ g/cm}^3$, sodass von einem möglichen Fehler von $\Delta \rho_{\text{W}} = 0,00005 \text{ g/cm}^3$ ausgegangen wird.

Durch das Einsetzen der im Versuch ermittelten Werte in die oben genannten Formeln aus Tabelle 2.1 ergeben sich fünf Werte für das Volumen des Pyknometers und dessen Fehlerwert. Anschließend wird der Mittelwert über alle Volumina

$$V_i = \sum_{n=1}^5 \frac{V_n}{n}$$

und den Fehlerwert der Volumina

$$\Delta V_i = \sum_{n=1}^5 \frac{\Delta V_n}{n}$$

gebildet.

Damit ergibt sich für das Pyknometer ein Volumen von $V_P = (20,597 \pm 0,021) \text{ cm}^3$.

Mit dem bestimmten Volumen des Pyknometers lässt sich jetzt die Dichte der beiden untersuchten Flüssigkeiten über die Formel

$$\rho_{\text{Fl}} = \frac{m_{\text{Fl}}}{V_P} = \frac{m_{\text{gesamt}} - m_{\text{leer}}}{V_P}$$

bestimmen.

Zur Fehlerbestimmung wird der Größtfehler

$$\begin{aligned} \Delta \rho_{\text{Fl}} &= \left| \frac{\partial \rho_{\text{Fl}}}{\partial m_{\text{ges}}} \right| \cdot \Delta m_{\text{ges}} + \left| \frac{\partial \rho_{\text{Fl}}}{\partial m_{\text{leer}}} \right| \cdot \Delta m_{\text{leer}} + \left| \frac{\partial \rho_{\text{Fl}}}{\partial V_P} \right| \cdot \Delta V_P \\ &= \frac{1}{V_P} \cdot \Delta m_{\text{ges}} + \frac{1}{V_P} \cdot \Delta m_{\text{leer}} + \frac{m_{\text{ges}} - m_{\text{leer}}}{V_P^2} \cdot \Delta V_P \end{aligned}$$

mit $V_P = 20,597 \text{ cm}^3$, $\Delta V_P = 0,021 \text{ cm}^3$ und $\Delta m = \Delta m_{\text{ges}} = \Delta m_{\text{leer}} = 0,01 \text{ g}$ verwendet.

n	T in °C	m_{ges} in g	ρ_{Fl} in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$\Delta \rho_{\text{Fl}}$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
1	24,0	49,5	0,927331	0,001920
2	24,1	49,5	0,927331	0,001920
3	23,9	49,6	0,932186	0,001925
4	23,9	49,5	0,927331	0,001920
5	23,9	49,5	0,927331	0,001920
Mittelwert			0,928302	0,001921

Tabelle 2.2: Messwerte von Ethanol zur Bestimmung der Dichte mithilfe des Pyknometers.

Das Einsetzen der Werte der Ethanolmischung aus Tabelle 2.2 in die obigen Formeln und das Bilden des Mittelwertes über alle ermittelten Dichten ergibt eine Gesamtdichte des Ethanols von $\rho_{\text{Ethanol}} = (0,928 \pm 0,001) \text{ g/cm}^3$. Durch den Vergleich mit Werten aus der Literatur

lässt sich die Konzentration des Ethanols bestimmen. Es wurden lediglich Vergleichswerte der Dichte ρ_{Ethanol} bei 20 °C gefunden, sodass sich zwischen den Literatur- und den Laborwerten ein Temperaturunterschied von circa $\Delta T = 4,0$ °C befindet. Der gemessene Werte befindet sich zwischen den Werten $\rho_{\text{Ethanol, Literatur}} = 0,9269 \text{ g/cm}^3$ und $0,9280 \text{ g/cm}^3$ der Literatur, was einer Stoffmengenkonzentration zwischen $c = 8,612 \text{ mol L}^{-1}$ und $8,8528 \text{ mol L}^{-1}$ entspricht (o.V. 2025a).

Gleichmaßen wird mit den Messwerten der Natriumchloridmischung aus Tabelle 2.3 vorgegangen.

n	T in °C	m_{ges} in g	ρ_{Fl} in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$\Delta\rho_{\text{Fl}}$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
1	23,8	52,7	1,082695	0,00207954
2	24,3	52,7	1,082695	0,00207954
3	23,8	52,6	1,077840	0,00207457
4	24,4	52,7	1,082695	0,00207954
5	24,4	52,7	1,082695	0,00207954
Mittelwert			1,081725	0,00207855

Tabelle 2.3: Messwerte von Natriumchlorid zur Bestimmung der Dichte mithilfe des Pyknometers.

Somit ergibt sich eine Dichte des Natriumchlorids von $\rho_{\text{NaCl}} = (1,082 \pm 0,002) \text{ g/cm}^3$.

Auch hier lassen sich Literaturwerte von ρ_{NaCl} bei 20 °C finden. Ein Vergleichswert liegt bei $\rho_{\text{NaCl, Literatur}} = 1,0857 \text{ g/cm}^3$ was einer Stoffmengenkonzentration von $c = 2,2293 \text{ mol L}^{-1}$ entspricht (o.V. 2025b).

Während des Versuches mit dem Pyknometer ergeben sich mehrere systematische Fehlerquellen:

- Bei der Messung der Temperatur im Pyknometer kann dadurch, dass dieses relativ klein ist, beim Umsetzen auf die Waage nochmals Körperwärme von der Hand auf die Flüssigkeit übergehen und damit das Messergebnis verfälschen. Ebenso konnten in der Literatur für Ethanol und Natriumchlorid nur Vergleichswerte bei Temperaturen von 20 °C gefunden werden, sodass die Temperaturabweichung der Laborwerte von den Literaturwerten zu einer Verfälschung der möglichen Konzentration der Lösungen führt.
- Das Gewicht des vollen Pyknometers kann durch überschüssige Flüssigkeit, welche über die Kapillare nach außen geleitet wird, außerhalb des Gefäßes verfälscht werden. Gleichmaßen könnte es sein, dass durch das Abtrocknen des Pyknometers mit dem Papierhandtuch zusätzlich noch etwas mehr Flüssigkeit aus der Kapillare aufgesaugt wird, sodass sich zu wenig Flüssigkeit im Pyknometer befindet.
- Zudem könnte es zu einer Verunreinigung der Flüssigkeiten kommen. Das Pyknometer selbst ist von innen relativ schwer zu reinigen, da nicht alle Stellen mit einem Lappen erreichbar sind, um dieses nach dem Flüssigkeitswechsel zu säubern und abzutrocknen.

Bestimmung der Dichte und Konzentration der zu untersuchenden Flüssigkeiten mithilfe der Mohrschen Waage

Im zweiten Teilversuch wird nun die Dichte derselben Flüssigkeiten nochmals mit der Mohrschen Waage bestimmt. Wie bereits im Versuchsaufbau geschildert, wurde die Skala der Waage so geeicht, dass die Dichte an der Waage anhand der Reiter sofort abgelesen werden konnte. Das Bilden der Mittelwerte über alle Dichten mit der Formel

$$\bar{\rho}_{\text{Fl}} = \sum_{n=1}^5 \frac{\rho_n}{n}$$

über alle Werte in Tabelle 2.4 ergibt eine Dichte von $\rho_{\text{Ethanol}} = 0,921\,32\text{ g/cm}^3$. Mögliche statistische Fehler werden über die Standardabweichung

$$\sigma = \sqrt{\sum_{n=1}^5 \frac{(\rho_n - \bar{\rho})^2}{n}}$$

abgegolten.

n	1	2	3	4	5	$\bar{\rho}$	σ
$\rho_{\text{Ethanol}} \text{ in } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	0,9218	0,9186	0,9203	0,9229	0,923	0,92132	0,00187
$T \text{ in } ^\circ\text{C}$	24,7	24,4	24,4	24,3	24,2		

Tabelle 2.4: Messwerte von Ethanol zur Bestimmung der Dichte mithilfe der Mohrschen Waage.

Damit ergibt sich für die Dichte von Ethanol $\rho_{\text{Ethanol, Waage}} = (0,921 \pm 0,002)\text{ g/cm}^3$. Verglichen mit den Ergebnissen aus der Auswertung des Pyknometers aus dem ersten Teilversuch von $\rho_{\text{Ethanol, Pyknometer}} = (0,928 \pm 0,001)\text{ g/cm}^3$ liegen diese Werte sehr nahe beieinander. Der Wert der Mohrschen Waage ist etwas größer als der des Pyknometers. Das liegt eventuell daran, dass die Temperatur des Ethanols im Tauchgefäß der Waage etwas wärmer war. Diese kleine Abweichung ergibt anhand der Literatur bereits eine andere Stoffmengenkonzentration zwischen $c = 9,2123\text{ mol L}^{-1}$ und $9,3901\text{ mol L}^{-1}$ (o.V. 2025a).

Die Auswertung der Natriumchloridlösung für die Mohrsche Waage erfolgt analog anhand der Werte in Tabelle 2.3.

n	1	2	3	4	5	$\bar{\rho}$	σ
ρ_{NaCl} in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	1,0701	1,07	1,0725	1,0712	1,0742	1,0716	0,00177
T in $^{\circ}\text{C}$	24,6	24,6	24,6	24,5	24,3		

Tabelle 2.5: Messwerte von Natriumchlorid zur Bestimmung der Dichte mithilfe der Mohrschen Waage.

Damit ergibt sich für die Dichte von Natriumchlorid $\rho_{\text{NaCl, Waage}} = (1,0716 \pm 0,002) \text{ g/cm}^3$. Verglichen mit dem Wert des Pyknometers $\rho_{\text{NaCl, Pyknometer}} = (1,082 \pm 0,002) \text{ g/cm}^3$ liegen die Werte sehr nah beieinander. Wie auch beim Ethanol ist hier der Wert der Versuchsreihe mit der Mohrschen Waage etwas höher, was sich vermutlich ebenfalls wieder auf die höhere Temperatur der Flüssigkeit zurückführen lässt. Anhand der Literatur liegt nun die Stoffmengenkonzentration bei $c = 1,832 \text{ mol L}^{-1}$ (o.V. 2025b).

Mögliche Fehlerquellen bei der Mohrschen Waage könnten sein:

- Das Einstellen der Schiebegewichte, vor allem beim kleinen Reiter, gestaltete sich zum Ausgleichen der Waage schwierig. Die Waage an sich ist so fein, dass das Gewicht des kleinen Reiters mit einer Pinzette verstellt werden musste. Teilweise hing der kleine Reiter etwas schief, sodass es bei der letzten Nachkommastelle zu Ablesefehlern kommen kann.
- Ist der Tauchkörper nicht ganz in der Flüssigkeit oder steht am Gefäßrand an, so verfälscht auch dies das Ergebnis. Ebenso können Luftblasen am Tauchkörper zu mehr Auftrieb führen.
- Der Tauchkörper und das Flüssigkeitsgefäß wurden beim Wechsel zwischen den Flüssigkeiten gründlich mit Wasser gereinigt. Jedoch könnten trotzdem Spuren vom Ethanol oder Papierhandtuchfetzen zurück geblieben sein.

Bestimmung der Dichte von verschiedenen Festkörpern mithilfe der Mohrschen Waage

Zur Bestimmung der Dichte der metallenen Festkörper wurde zwischen den Messungen immer wieder die Temperatur des destillierten Wassers abgenommen. Die Temperatur des Wassers lag durchgängig bei $T = 24,2^{\circ}\text{C}$. Somit lässt sich die Dichte des Wassers bei dieser Temperatur mit $\rho_{\text{W}} = 0,997\,250 \text{ g/cm}^3$ festlegen.

Die Dichten der Körper lassen sich über die Formel

$$\rho_{\text{Körper}} = \frac{2,0100 - \text{Trockenwert}}{\text{Nasswert} - \text{Trockenwert}} \cdot \rho_{\text{W}}$$

mit dem Größtfehler

$$\begin{aligned}
 \Delta\rho_{\text{Körper}} &= \left| \frac{\partial\rho_{\text{Körper}}}{\partial\text{Trockenwert}} \right| \cdot \Delta\text{Trockenwert} + \left| \frac{\partial\rho_{\text{Körper}}}{\partial\text{Nasswert}} \right| \cdot \Delta\text{Nasswert} + \left| \frac{\partial\rho_{\text{Körper}}}{\partial\rho_{\text{W}}} \right| \cdot \Delta\rho_{\text{W}} \\
 &= \left| \frac{\text{Nasswert} - 2,0100}{(\text{Nasswert} - \text{Trockenwert})^2} \cdot \rho_{\text{W}} \right| \cdot \Delta\text{Trockenwert} \\
 &\quad + \left| \frac{2,0100 - \text{Trockenwert}}{(\text{Nasswert} - \text{Trockenwert})^2} \cdot \rho_{\text{W}} \right| \cdot \Delta\text{Nasswert} \\
 &\quad + \left| \frac{2,0100 - \text{Trockenwert}}{\text{Nasswert} - \text{Trockenwert}} \right| \cdot \Delta\rho_{\text{W}}
 \end{aligned}$$

berechnen. Der Fehlerwert der Dichte des Wassers wird aus der Auswertung des ersten Teilversuches mit $\Delta\rho_{\text{W}} = 0,000\,05\text{ g/cm}^3$ übernommen. Für den Fehler des Trocken- und Nasswerters wird ein Wert von $\Delta\text{Trockenwert} = \Delta\text{Nasswert} = 0,001$ angenommen.

Bei der Auswertung der Messwerte des goldfarbenen Metalls aus Tabelle 2.6 fällt auf, dass die ersten drei Werte nicht den Erwartungen entsprechen. Genauere Betrachtung der Messwerte zeigt, dass sich die Schale vermutlich nicht ganz unter Wasser befand oder am Rand des Gefäßes anstand, da sich so gut wie kein Auftrieb messen ließ. Möglicherweise ist auch ein Papierschnitzel aus der Taraschale herausgefallen, sodass sich auch deswegen eine Abweichung ergibt. Infolgedessen werden für die entgültige Auswertung nur die Messwerte vier und fünf herangezogen, da diese deutlich aussagekräftiger erscheinen.

n	1	2	3	4	5	$\bar{\rho}$	$\bar{\rho}_{4,5}$
Nasswert	1,4199	1,4579	1,4198	1,5210	1,5217		
Trockenwert	1,4583	1,4585	1,4589	1,4577	1,4580		
$\rho_{\text{goldfarben}} \text{ in } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	-14,3277	-916,6390	-14,0559	8,7011	8,6418	-185,5360	8,6715
$\Delta\rho_{\text{goldfarben}} \text{ in } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	0,7729	3057,1712	0,7452	0,2596	0,2561	611,8410	0,2579

Tabelle 2.6: Messwerte des goldfarbenen Festkörpers.

Somit ergibt sich bei Vernachlässigung der Messwerte eins bis drei für das goldfarbene Metalle eine Dichte von $\rho_{\text{goldfarben}} = (8,671 \pm 0,258)\text{ g/cm}^3$. Vergleicht man dies mit Literaturwerten, so handelt es sich bei dem goldfarbenen Festkörper vermutlich um Messing mit einer Dichte von $\rho_{\text{Messing}} = 8,6\text{ g/cm}^3$. Dies deckt sich auch mit dem Aussehen des Metalls und den vermuteten Erwartungen (o.V. 2023).

Die Auswertung der Messergebnisse des silberfarbenen Metalls aus Tabelle 2.7 erfolgt analog. Hierbei wurden für alle fünf Messungen zufriedenstellende Ergebnisse erzielt.

n	1	2	3	4	5	$\bar{\rho}$
Nasswert	0,9899	0,9788	0,9898	0,9929	0,9894	
Trockenwert	0,8488	0,8310	0,8424	0,8454	0,8455	
$\rho_{\text{silberfarben}}$ in g/cm^3	8,2070	7,9551	7,8995	7,8739	8,07017	8,00112
$\Delta\rho_{\text{silberfarben}}$ in g/cm^3	0,1097	0,1013	0,1008	0,1004	0,1056	0,1036

Tabelle 2.7: Messwerte des silberfarbenen Festkörpers.

Somit ergibt sich eine Dichte für das silberfarbene Metall von $\rho_{\text{silberfarben}} = (8,001 \pm 0,103) \text{ g/cm}^3$. Vergleicht man dies mit Literaturwerten, so handelt es sich bei dem silberfarbenen Festkörper vermutlich um ein Stahl-Eisengemisch mit einer Dichte von $\rho_{\text{Eisen}} = 7,9 \text{ g/cm}^3$ (o.V. 2023). Gleichmaßen wird für das kupferfarbene Metall mit den Werten aus Tabelle 2.8 vorgegangen.

n	1	2	3	4	5	$\bar{\rho}$
Nasswert	1,4096	1,409	1,4100	1,4079	1,4087	
Trockenwert	1,3325	1,333	1,3328	1,3328	1,3329	
$\rho_{\text{kupferfarben}}$ in g/cm^3	8,7631	8,8834	8,7479	8,9925	8,9082	8,8590
$\Delta\rho_{\text{kupferfarben}}$ in g/cm^3	0,2148	0,2211	0,2142	0,2267	0,2223	0,2198

Tabelle 2.8: Messwerte des kupferfarbenen Festkörpers.

Dort ergibt sich eine Dichte für das kupferfarbene Metall von $\rho_{\text{kupferfarben}} = (8,859 \pm 0,220) \text{ g/cm}^3$. Vergleicht man dies mit Literaturwerten, so handelt es sich bei dem kupferfarbenen Festkörper tatsächlich um Kupfer mit einer Dichte von $\rho_{\text{Kupfer}} = 8,9 \text{ g/cm}^3$ (o.V. 2023).

Die möglichen systematischen Fehler decken sich mit den bereits aufgeführten aus Teilaufgabe zwei. Bei der Messreihe mit dem goldfarbenen Metall ist vermutlich der Fehler passiert, dass die Siebschale nicht ganz unter Wasser war und deswegen kein Auftrieb gemessen werden konnte. Ebenfalls fiel das Ausgleichen der Mohrschen Waage mit der Tarawaage relativ schwer, da nach dem kompletten Eindrehen der Ausgleichsspindel sich die Waage immer noch nicht im Gleichgewicht befand und sich deswegen mit leichten Papierhandtuchsnitzeln beholfen wurde, welche jedoch bei kleinsten Windstößen leicht wieder von der Taraschale geweht werden konnten.

Literatur

- Bannwarth, Horst, Bruno Kremer und Andreas Schulz (2019). *Basiswissen Physik, Chemie Und Biochemie*. 4. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.
- Meschede, Dieter (2010). *Gerthsen Physik*. 24. Aufl. Heidelberg: Springer.
- o.V. (2021). *Wasser-Dichtetabelle*. Internetchemie Wissensdatenbank. URL: <https://www.internetchemie.info/chemie-lexikon/daten/w/wasser-dichtetabelle.php> (besucht am 02. 05. 2025).
- (2023). *Tabellensammlung Chemie / Dichte Fester Stoffe*. Wikibooks. URL: https://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_Dichte_fester_Stoffe.
 - (2025a). *Dichtewerttabelle von Ethanol*. Das Periodensystem der Elemente online. URL: <https://www.periodensystem-online.de/index.php?id=lists&form=Dichtewerte&sst=20> (besucht am 02. 05. 2025).
 - (2025b). *Dichtewerttabelle von Natriumchlorid-Lösung*. Das Periodensystem der Elemente online. URL: <https://www.periodensystem-online.de/index.php?id=lists&form=Dichtewerte&sst=12> (besucht am 02. 05. 2025).
- Tipler, Paul und Gene Mosca (2024). *Tipler Physik*. 9. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.
- Universität Augsburg (WiSe 2024/2025). *Versuchsanleitung M2 - Dichte von Flüssigkeiten Und Festkörpern*.
- Walcher, Wilhelm (o. D.). *Praktikum Der Physik*. 7. Aufl. Stuttgart: B.G. Teubner.

3 Anhang

Versuch 1
Gruppe A06
30.04.2025

$M_{\text{Pyknometer, leer}} = 30,4 \text{ g}$

$\Delta m = 0,01 \text{ g}$

$\Delta T = 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

~~12~~

① Wasser

	1	2	3	4	5
$M_{\text{Pyknometer in g}}$	51,0	51,2	51,0	50,9	50,6
$T \text{ in } ^{\circ}\text{C}$	24,3	24,2	24,1	24,2	24,3

$V_{\text{Pyknometer}} = 20$

② Ethanol

	1	2	3	4	5
$M_{\text{Pyknometer in g}}$	49,5	49,5	49,6	49,5	49,5
$T \text{ in } ^{\circ}\text{C}$	24,0	24,1	23,9	23,9	23,9

③ NaCl

	1	2	3	4	5
$M_{\text{Pyknometer in g}}$	52,7	52,7	52,6	52,7	52,7
$T \text{ in } ^{\circ}\text{C}$	23,8	24,3	23,8	24,4	24,4

Versuch 2

	1	2	3	4	5
Ethanol $\rho \text{ in g}$	0,9218	0,9186	0,9203	0,9229	0,9230
$T_{\text{Ethanol in } ^{\circ}\text{C}}$	24,7	24,4	24,4	24,3	24,2
NaCl $\rho \text{ in g}$	1,0701	1,0700	1,0725	1,0712	1,0742
$T_{\text{NaCl in } ^{\circ}\text{C}}$	24,6	24,6	24,6	24,5	24,3

NaCl verunreinigt (klumpen)

Versuch 3
T.K.

Trockenwerte	1	2	3	4	5
Gold	1,4583	1,4585	1,4589	1,4577	1,4580
Silber	0,8488	0,8310	0,8424	0,8454	0,8455
Kupfer	1,3325	1,3330	1,3328	1,3328	1,3329

in g/cm³

Nasswerte	1	2	3	4	5
Gold	1,4199	1,4579	1,4198	1,5210	1,5217
Silber	0,9899	0,9788	0,9898	0,9929	0,9894
Kupfer	1,4096	1,4090	1,4100	1,4079	1,4087

in g/cm³

Tin °C 24,2 Gold | 24,2 Silber | 24,2 Kupfer

Reiter bei $X_1 = 1,00$, $X_2 = 0,01$

Trockenwert: Sieb im Wasser, zu untersuchender Körper in die Taraschale
 Nasswert: Sieb im Wasser, zu untersuchender Körper im Sieb

$m_{\text{Gold}} = 5,5 \text{ g}$ $m_{\text{Silber}} = 11,7 \text{ g}$ $m_{\text{Kupfer}} = 6,7 \text{ g}$