

W4 - Spezifische Wärmekapazität fester Körper

Julia Mariella Wiest

Gruppe A06

06.12.2024

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 spezifische Wärmekapazität von Kupfer, Aluminium, Messing und Stahl experimentell zu bestimmen.

Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik kann die Änderung der inneren Energie U eines Körpers durch das Zu- oder Abführen einer Wärmemenge dQ oder durch Arbeit dW in Form einer Volumenänderung umgesetzt werden:

$$dU = dQ + dW.$$

Da sich das Volumen eines Festkörpers kaum bei Temperaturänderungen beeinflussen lässt, ist der Term dW vernachlässigbar. Somit gilt bei Zimmertemperatur für fast alle Festkörper der lineare Zusammenhang

$$\Delta U = \Delta Q = C \cdot \Delta T,$$

mit der Wärmekapazität C , welche im Temperaturintervall ($0^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$) als konstant angenommen werden kann (Universität Augsburg [WiSe 2024\[b\]](#)).

Die spezifische Wärmekapazität eines festen Körpers wird nach der Mischungsregel in einem Wasser-Kalorimeter bestimmt, indem der erhitzte Probekörper in kaltes Wasser getaucht wird. Unter Vernachlässigung von Wärmeverlusten an die Umgebung kann der Zusammenhang

$$|\Delta Q_{\text{auf}}| = |\Delta Q_{\text{ab}}|$$

angenommen werden. Wird nun der heiße Metallkörper mit der spezifischen Wärmekapazität c_{Probe} , der Masse m_{Probe} und Temperatur T_{Probe} in das kalte Wasser geworfen, welches eine spezifische Wärmekapazität c_{kalt} , eine Masse m_{kalt} und eine Temperatur T_{kalt} hat, so ergibt nach einem vollständigen Austausch der Wärmemengen die Mischungstemperatur T_{Misch} . Dies lässt sich über die folgende Formel abbilden:

$$\begin{aligned} m_{\text{kalt}}^* c_{\text{kalt}} (T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) &= m_{\text{Probe}} c_{\text{Probe}} (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}}) \\ \Rightarrow c_{\text{Probe}} &= \frac{m_{\text{kalt}}^* c_{\text{kalt}} (T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})}{m_{\text{Probe}} (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})}, \end{aligned}$$

mit der spezifischen Wärmekapazität von Wasser $c_{\text{kalt}} = 4,181 \frac{\text{J}}{\text{g}\text{K}}$ und $m_{\text{kalt}}^* = m_{\text{kalt}} + w$ und dem Wasserwert $w = (25 \pm 5)$ g (Universität Augsburg [WiSe 2024\[b\]](#)), (Tipler und Mosca o. D., S. 533).

2 Spezifische Wärmekapazität fester Körper

2.1 Versuchsaufbau- und durchführung

Bevor der eigentliche Versuch beginnen kann, wird mithilfe eines Quecksilberbarometers der Luftdruck des Versuchsstandortes bestimmt.

Dies hat den Grund, dass die Siedetemperatur von Wasser niedriger ist, umso geringer der vorherrschende Umgebungsluftdruck ist. Siedet Wasser, so bilden sich Dampfblasen. Damit muss allerdings der Druck in der Wasserdampfblase selber in etwa genauso groß sein, wie der äußere Luftdruck. Wenn nun der Umgebungsluftdruck fällt, so bilden sich die Siedblasen auch bereits bei einem niedrigeren Dampfdruck aus. Insgesamt ist also die mittlere kinetische Energie der Moleküle und damit auch die Temperatur zum Sieden geringer. Dieses Phänomen wird beispielsweise beim Verwenden eines Schnellkochtopfes ausgenutzt (Joachim Herz Stiftung o.D.).

Hierfür wird das Quecksilberbarometer nach LAMBRECHT (Abbildung 2.1), welches ein Gefäßbarometer mit einstellbarem Maßstab ist, verwendet (MessCom GmbH o.D.). Zuallererst wird die Spitze des Maßstabes, wie in Abbildung 2.2 zu sehen, auf das Quecksilberniveau im unteren Gefäß eingestellt, um so den geltenden Nullpunkt zu definieren. Dafür wird an der unteren Rändelmutter so lange gedreht, bis die Spitze exakt auf der Oberfläche aufsteht, sodass sich das Spitze Ende des Maßstabes so spiegelt, dass ein „X“ entsteht. Anschließend wird die Raumtemperatur an dem am Barometer angebrachten Thermometer abgelesen. Damit brauchbare Werte am Barometer abgelesen werden können, muss dieses „im Wasser“ ausgerichtet werden. Hierfür ist ein Fadenlot am Barometer angebracht. Somit kann das Quecksilberbarometer durch Schieben beziehungsweise sanftes Klopfen nach links oder rechts an der Wandbefestigung ausgerichtet werden, sodass das Lot, welches durch eine kleine Öffnung gefädelt verläuft, in jenem Ring keinerlei Berührpunkte aufweist. Da die

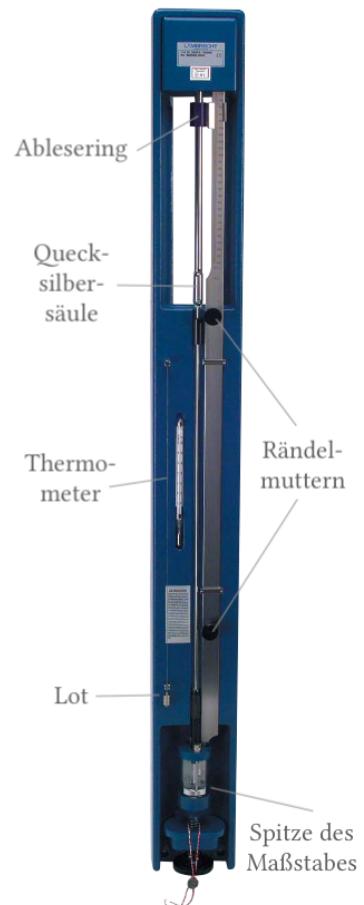


Abb. 2.1: Aufbau des Quecksilberbarometers (MessCom GmbH o.D.).

Wand, an welcher das Barometer befestigt ist, nach hinten etwas abschüssig verläuft, lässt sich das Fadenlot nicht exakt mittig ausrichten, da der Faden durch die Schieflage leicht hinten an der Wandseite aufliegt (MessCom GmbH o. D.).

Nun wird mithilfe der oberen Rändelmutter der Ablesering so eingestellt, dass der untere Rand des Rings mit der oberen Kuppe der Quecksilbersäule übereinstimmt. Dabei ist es besonders wichtig, dass sich die Kuppe beim Einstellen direkt auf Augenhöhe befindet. An der direkt am Barometer angebrachten Skala kann nun der Luftdruck abgelesen werden, wobei die Zehntel des Wertes am Nonius abgelesen werden können, indem der erste Strich, welcher mit der Hauptskala übereinstimmt, den Feinwert hinter dem Komma abbildet. Dasselbe Vorgehen wird nun für den unteren Teil der Kuppe wiederholt. Jene Kuppe entsteht deswegen, weil Glas von Quecksilber nicht benetzt wird und sich dadurch ein sogenannter konvexer Meniskus ausbildet (MessCom GmbH o. D.). Zur endgültigen Feststellung der Siedetemperatur von Wasser müssen anschließend noch einige Korrekturen vorgenommen werden. Diese Berechnungen erfolgen nachfolgend in Teilkapitel 2.2.

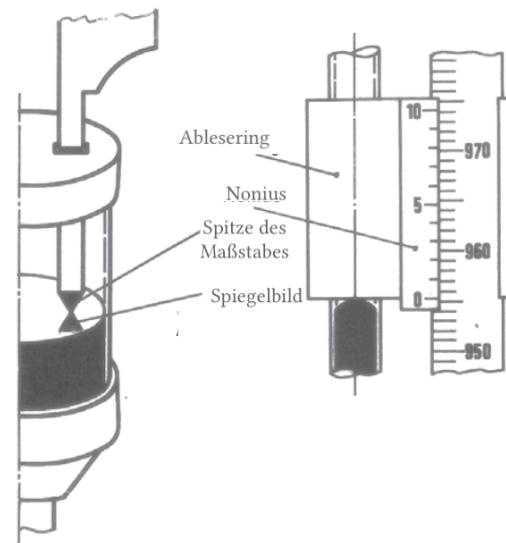


Abb. 2.2: Aufbau des Quecksilberbarometers
(MessCom GmbH o. D.).

Für die Versuchdurchführung selbst wird nun Leitungswasser auf einer Heizplatte zum Sieden gebracht (siehe Abbildung 2.3). Während des Heizvorganges werden zunächst alle Komponenten gewogen, das heißt es wird die Masse des leeren Dewar-Gefäßes, auch Kalorimeter genannt, und die Massen der vier verschiedenen Metallkörper Kupfer, Aluminium, Messing und Stahl im kalten Zustand bestimmt. Diese Körper werden anschließend an einer Schnur in das siedende Wasser gehängt und für mindestens zehn Minuten bei Siedetemperatur erhitzt, wobei sich die Körper gegenseitig und die Topfwände nicht berühren sollten. Das Stabthermometer wird ebenfalls in den Kochtopf gehalten und anhand der kleinen Schräubchen am Anzeigegerät auf die berechnete Siedetemperatur des Wassers kalibriert. Während des Erhitzen der Probekörper wird das Dewar-Gefäß mit circa 230 g destilliertem kaltem Wasser befüllt, gewogen und so unter dem Gestell positioniert, dass der Körper vom Topf möglichst schnell in das Dewar-Gefäß umgehängt werden kann. Der Messstab des kalibrierten Stabthermometers kann über eine Halterung so im Dewar-Gefäß befestigt werden, dass der Messstab weder das Kalorimeter, noch später den Festkörper berührt. Nun wird die Temperatur des kalten Wassers für drei Minuten in 30 Sekunden-Intervallen aufgezeichnet. Dann gilt es, den per Mischungsmethode auszuwertenden Probekörper, vom Topf so schnell wie möglich in das Dewar-Gefäß zu hängen, damit nur geringfügig viel Wärme an die Umgebung verloren geht. Dies muss allerdings auch vorsichtig vonstatten gehen, da die Metallkörper, welche innen hohl sind, nicht an die Wände des Dewar-Gefäßes stoßen dürfen, da ansonsten Explosionsgefahr besteht. Nachdem der Probekörper vollständig in das Wasser des Kalorimeters getaucht wurde, beginnt sofort der

Wärmeaustausch. Damit sich das sich erwärmende Wasser gleichmäßig im Kalorimeter verteilt, muss während des Messvorgangs ununterbrochen mit einem gläsernen Stab umgerührt werden. Die Temperaturzunahme wurde mit Hilfe eines Handys, durch das Filmen der Temperaturanzeige und einer daneben laufenden Handystoppuhr festgehalten. So konnte im Anschluss die im Video festgehaltene Temperaturzunahme einfach in zwei Sekunden-Schritten ausgewertet werden. Nachdem die Maximaltemperatur erreicht wurde, wurde die danach einsetzende Temperaturabnahme so lange in 30 Sekunden-Schritten festgehalten, bis diese für zwei bis drei Werte konstant blieb. Zuletzt wird das Dewar-Gefäß inklusive Wasser und dem Probekörper nochmals gewogen. Dieser Vorgang wird nun für die noch verbleibenden drei Probekörper wiederholt, wobei das kalte destillierte Wasser für jede neue Durchführung zu tauschen ist.

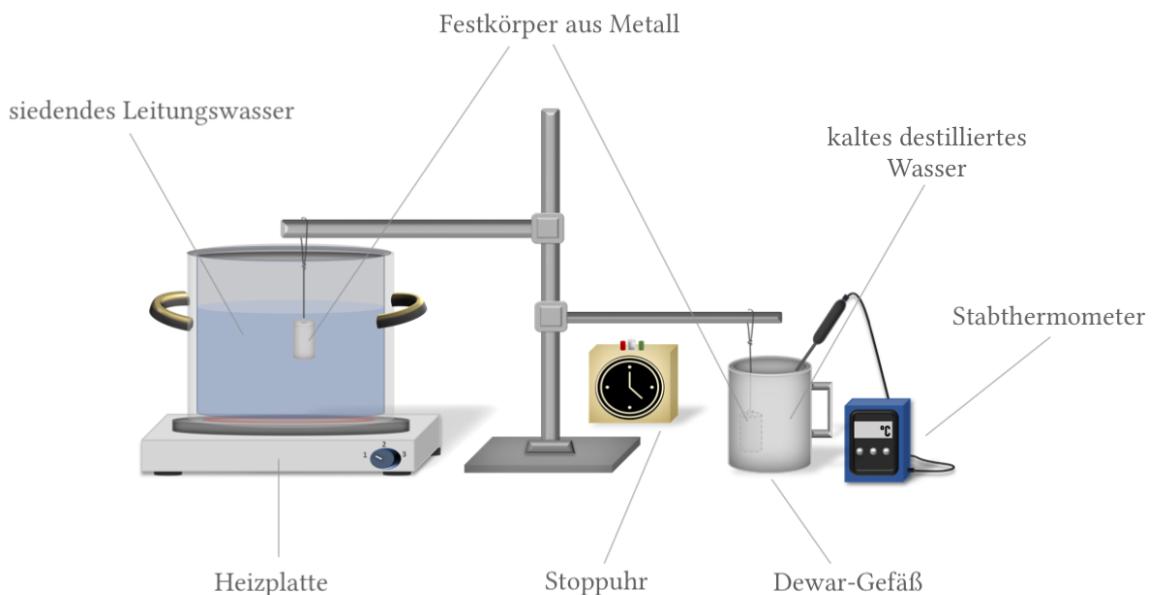


Abb. 2.3: Darstellung des Versuchsaufbaus (Universität Augsburg WiSe 2024[b]).

2.2 Auswertung der Messergebnisse

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

Ermittlung der Siedetemperatur des Wassers

Zur Bestimmung der Siedetemperatur des Wassers wurde wie im vorherigen Kapitel 2.1 der Umgebungsdruck mit dem Quecksilberbarometer nach LAMBERT gemessen. Die hierbei abgelesene Länge der Quecksilbersäule ist allerdings von verschiedenen Einflüssen abhängig, sodass im Folgenden noch einige Korrekturen des abgelesenen Wertes vorgenommen werden müssen.

Kapillardepressionskorrektur K_K

Da sich, wie schon beschrieben, aufgrund der Eigenschaften von Quecksilber dieses im Glasrohr eine Kuppel bildet, muss eine sogenannte Kapillardepressionskorrektur vorgenommen werden. Beim Messen der Kuppenspitze ergab sich der Wert $p_{\text{top}} = 956,3 \text{ m bar}$, wobei der Fuß der Kuppe bei $p_{\text{bottom}} = 955,5 \text{ m bar}$ lag. Somit ergibt sich insgesamt eine Kuppenhöhe von

$$956,3 \text{ m bar} - 955,5 \text{ m bar} = 0,8 \text{ m bar}.$$

Damit ergibt sich nach Tabelle 3.5 *Korrektion der Barometerstände* infolge der Kapillardepression ein Revisionswert von

$$K_K = (0,47 \pm 0,002) \text{ m bar}.$$

Temperaturkorrektur K_T

„Die Länge der Quecksilbersäule ist abhängig von der Dichte des Quecksilbers und damit von dessen Temperatur,“ weswegen der Barometerstand einheitlich auf eine Bezugstemperatur von 0°C umgerechnet werden muss (MessCom GmbH o.D.). Die gemessene Raumtemperatur betrug $T = 21^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$. In Tabelle 3.2 *Umrechnung der bei der Temperatur t abgelesenen Barometerstände b_t auf die Bezugstemperatur 0°C* entspricht dies einem Wert von $3,64 \text{ m bar}$. Allerdings liegt der gemessene Kuppenwert im Schnitt zwischen 955 m bar und 960 m bar , sodass der Korrekturwert auf

$$K_T = (3,62 \pm 0,01) \text{ m bar}$$

angepasst wurde.

Schwerekorrektur K_{g_φ} und K_{g_h}

„Die Länge der Quecksilbersäule ist ferner abhängig von der Schwerkraftbeschleunigung, die sich mit der geographischen Breite und der Höhe über dem Meeresspiegel ändert“ (MessCom GmbH

o. D.). Die Stadt Augsburg liegt auf einer Höhenlage von 500 m über Normalnull, $10^\circ 52'$ östlicher Länge und $48^\circ 21'$ nördlicher Breite.

Für die Normalschwerenkorrektur K_{g_φ} ergibt sich für die geographische Breite $48^\circ 21'$ aus Tabelle 3.3 der Korrekturwert

$$K_{g_\varphi} = (-0,39 \pm 0,005) \text{ m bar.}$$

Für die Höhenkorrektur K_{g_h} ergibt sich für die geographische Länge $10^\circ 52'$ und der Höhenlage 500 m über NN mit Tabelle 3.4 der Korrekturwert

$$K_{g_h} = (0,09 \pm 0,0001) \text{ m bar.}$$

Somit ergibt sich der Umgebungsdruck nach allen Korrekturen durch

$$\begin{aligned} p_{\text{korrigiert}} &= p_{\text{bottom}} - K_T - K_{g_h} + K_{g_\varphi} + K_K \\ &= (955,5 - 3,62 - 0,09 + 0,39 + 0,47) \text{ m bar} = 951,84 \text{ m bar} = 95,184 \text{ Pa.} \end{aligned}$$

Mit diesem Wert lässt sich aus Tabelle 3.6 *Siedetemperatur des Wassers in °C zwischen 86 und 110 kPa*, die Siedetemperatur

$$T_{\text{Siede}} = (98,230 \pm 2,0) \text{ °C}$$

des Wassers für den Versuchstag bestimmen, wobei der hohe Fehlerwert daraus resultiert, dass die verwendete Herdplatte nicht richtig heizte, sodass das Wasser immer wieder aufgehört hat zu sieden.

Spezifische Wärmekapazität metallischer Körper

Im Versuch kann der Zusammenhang

$$|\Delta Q_{\text{auf}}| = |\Delta Q_{\text{ab}}|$$

darauf ausgeweitet werden, dass die Wärmemenge des kalten Wassers in Dewar-Gefäß der Wärmemenge des warmen Probekörpers inklusive des mitgebrachten Schleppwassers entspricht mit

$$\begin{aligned} |\Delta Q_{\text{kalt}} + \Delta Q_{\text{Dewar}}| &= |\Delta Q_{\text{Probe}} + \Delta Q_{\text{kalt}}|. \\ \Rightarrow \Delta Q_{\text{kalt}} &= c_{\text{kalt}} m_{\text{kalt}} (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}}). \end{aligned}$$

Drückt man dies anhand der bereits erläuterten Bestandteile im Kapitel physikalischn Grundlagen 1 aus, so ergibt sich aus

$$m_{\text{kalt}}^* c_{\text{kalt}} (T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) = m_{\text{Probe}} c_{\text{Probe}} (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})$$

mit der Berücksichtigung des Schleppwassers der Zusammenhang

$$c_{\text{Probe}} m_{\text{Probe}} (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}}) + c_{\text{kalt}} m_{\text{kalt}} (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}}) = c_{\text{kalt}} m_{\text{kalt}}^* (T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})$$

2 Spezifische Wärmekapazität fester Körper

$$\Rightarrow c_{\text{Probe}} = \frac{c_{\text{kalt}}[(m_{\text{kalt}} + w)(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) - m_{\text{Schlepp}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})]}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})}.$$

Mit dieser Formel werden im Folgenden alle spezifischen Wärmekapazitäten der zu untersuchenden Metallkörper berechnet. Der Fehlerterm hierbei ergibt sich aus der Ableitung nach jeder Variable der obenstehenden Formel:

$$\begin{aligned}\Delta c_{\text{Probe}} &= \left| \frac{\partial c_{\text{Probe}}}{\partial m_{\text{kalt}}} \right| \cdot \Delta m_{\text{kalt}} + \left| \frac{\partial c_{\text{Probe}}}{\partial w} \right| \cdot \Delta w + \left| \frac{\partial c_{\text{Probe}}}{\partial (T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})} \right| \cdot \Delta (T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) \\ &\quad + \left| \frac{\partial c_{\text{Probe}}}{\partial (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}}) + \left| \frac{\partial c_{\text{Probe}}}{\partial m_{\text{Schlepp}}} \right| \cdot \Delta m_{\text{Schlepp}} + \left| \frac{\partial c_{\text{Probe}}}{\partial m_{\text{Probe}}} \right| \cdot \Delta m_{\text{Probe}}.\end{aligned}$$

Ausgerechnet ergibt dies

$$\begin{aligned}\Delta c_{\text{Probe}} &= \left| \frac{c_{\text{kalt}}(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta m_{\text{kalt}} \\ &\quad + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta w \\ &\quad + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(m_{\text{kalt}} + w)}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta (T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) \\ &\quad + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(m_{\text{kalt}} + w)(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})^2} \right| \cdot \Delta (T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}}) \\ &\quad + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta m_{\text{Schlepp}} \\ &\quad + \left| - \frac{c_{\text{kalt}}[(m_{\text{kalt}} + w)(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) - m_{\text{kalt}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})]}{m_{\text{Probe}}^2(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta m_{\text{Probe}}.\end{aligned}$$

Die Masse des Probekörpers m_{Probe} im kalten Zustand entspricht den gewogenen Werten von Kupfer, Aluminium, Messing und Stahl, wobei von einem Fehlerwert von $\Delta m_{\text{Probe}} = \pm 0,1 \text{ g}$ ausgegangen wird.

Um die Masse des eingeschleppten Wassers, welches durch das Umhängen des Körpers vom Topf in das Dewar-Gefäß gelangt, ermitteln zu können, wird zuerst die Gesamtmasse des Dewar-Gefäßes inklusive des Mischwassers und des Probekörpers bestimmt. Davon wird dann die Masse des Dewar-Gefäßes mit dem kalten Wasser und dem Tara-Wert des Dewar-Gefäßes im leeren Zustand subtrahiert:

$$m_{\text{kalt}} = m_{\text{Dewar, nachher}} - m_{\text{Dewar, vorher}} - m_{\text{Dewar, leer}}.$$

Hierbei wird von einem Fehlerterm in Höhe von $\Delta m_{\text{kalt}} = \pm 0,2 \text{ g}$ ausgegangen.

Mit den nun berechneten Wert lässt sich nun einfach die Masse des eingeschleppten Wassers

$$m_{\text{Schlepp}} = m_{\text{kalt}} - m_{\text{Probe}},$$

mit dem Fehlerwert $\Delta m_{\text{Schlepp}} = \pm 0,3 \text{ g}$, bestimmen.

Die Fehlerterme von m_{kalt} und m_{Schlepp} resultieren daraus, dass sich durch das erneute Wiegen des Dewar-Gefäßes beziehungsweise das nochmalige Wiegen des Dewar-Gefäßes inklusive des kalten Wassers, sich der Fehler immer weiter aufsummiert.

Für alle Messreihen wird die Wärmekapazität von Wasser

$$c_{\text{kalt}} = 4,187 \frac{\text{J}}{\text{g K}} \quad \text{beziehungsweise } 4,187 \frac{\text{J}}{\text{g }^{\circ}\text{C}},$$

der Wasserwert

$$w = 25 \text{ g} \quad \text{mit dem Fehlerwert } \Delta w = 5 \text{ g}$$

und die Temperatur des Probenkörpers

$$T_{\text{Probe}} = 98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{mit dem Fehlerwert } \Delta T_{\text{Probe}} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

als gleich angenommen.

Die Temperatur des Probenkörpers T_{Probe} ergibt sich dadurch, dass der Metallkörper vor dem Umhängen für zehn Minuten bei Siedetemperatur in einem Wassertopf gekocht wird. Die Temperatur des kalten Wassers T_{kalt} im Dewar-Gefäß ergibt sich durch die Messungen bevor der Probenkörper in das Kalorimeter hinzugegeben wird.

Die Mischtemperatur des Wassers T_{Misch} im Dewar-Gefäß, nachdem der Probenkörper in das Kalorimeter gegeben wurde, wird mittels der graphischen Auswertung der Messergebnisse durch einen Zwickelabgleich bestimmt. Der Zwickelabgleich wird verwendet, um Ungenauigkeiten aufgrund des Wärmeverlustes an die Umgebung zu minimieren. In Messphase 1 werden sowohl die Massen als auch die Temperaturen ermittelt. In Messphase 2 wird der eigentliche Mischvorgang des warmen Körpers und dem kalten Wasser unter Rühren realisiert, wobei der Temperaturanstieg in kleinen Abständen gemessen wird, bis sich die maximale Mischtemperatur einstellt. Zuletzt in Messphase 3 wird die Mischtemperatur über einen bestimmten Zeitraum weiterhin gemessen, bis diese konstant bleibt (Universität Augsburg WiSe 2024[a]). Die grafische Auswertung ist beispielhaft in Abbildung 2.4 zu sehen. Anhand dieser Auswertungsmethode werden die Mischungstemperaturen T_{Misch} aller Probekörper ermittelt.

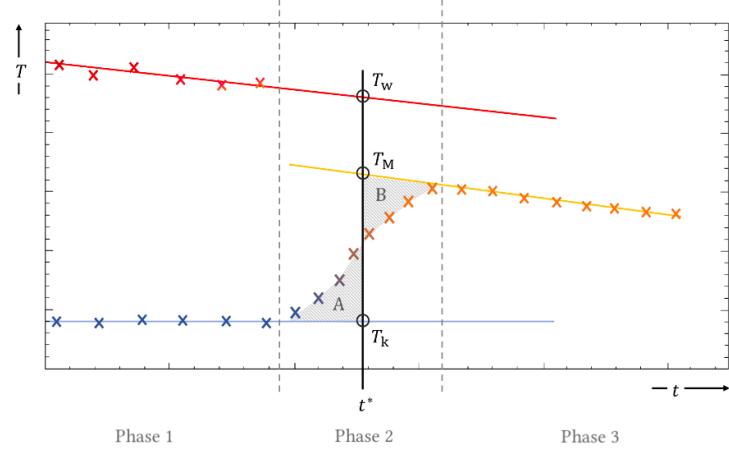


Abb. 2.4: Beispielhafter Zwickelabgleich mit Messphase 1, 2 und 3 (Universität Augsburg WiSe 2024[a]).

Im Folgenden werden nun mit den soeben aufgeführten Formeln die spezifischen Wärmekapazitäten von Kupfer, Aluminium, Messing und Stahl berechnet. Für Messing wurden im Anhang 3 exemplarisch alle nötigen Schritte kleinteilig aufgeführt. Die Fehlerdiskussion erfolgt ganz am Ende des Kapitels.

Kupfer

$$m_{\text{Probe}, \text{Kupfer}} = (257,5 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$m_{\text{Schlepp}, \text{Kupfer}} = (0,0 \pm 0,3) \text{ g}$$

$$T_{\text{kalt}, \text{Kupfer}} = (20,7 \pm 0,1) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{kalt}, \text{Kupfer}} = (257,5 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$T_{\text{Probe}, \text{Kupfer}} = (98,2 \pm 2,0) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Misch}, \text{Kupfer}} = (27,1 \pm 0,2) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{Kupfer}} = (0,4135 \pm 0,0139) \frac{\text{J}}{\text{g } ^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Literaturwert von Kupfer: } c_{\text{Kupfer}} = 0,382 \frac{\text{J}}{\text{g } ^{\circ}\text{C}}$$

(Kuchling o.D., S. 630).

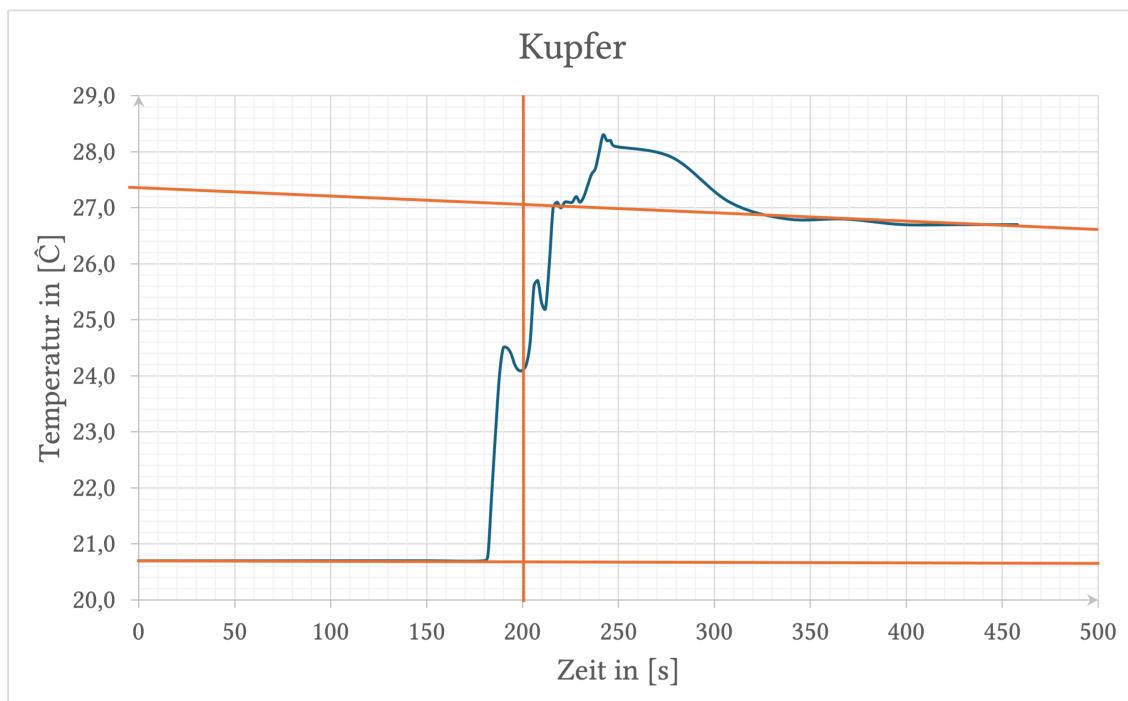


Abb. 2.5: Diagramm für den Zwickelabgleich von Kupfer.

Aluminium

$$m_{\text{Probe, Aluminium}} = (81,8 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$m_{\text{Schlepp, Aluminium}} = (1,2 \pm 0,3) \text{ g}$$

$$T_{\text{kalt, Aluminium}} = (21,1 \pm 0,1) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{kalt, Aluminium}} = (83,0 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$T_{\text{Probe, Aluminium}} = (98,2 \pm 2,0) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Misch, Aluminium}} = (25,0 \pm 0,2) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{Aluminium}} = (0,2331 \pm 0,02855) \frac{\text{J}}{\text{g } ^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Literaturwert von Aluminium: } c_{\text{Aluminium}} = 0,896 \frac{\text{J}}{\text{g } ^{\circ}\text{C}}$$

(Kuchling o.D., S. 629).

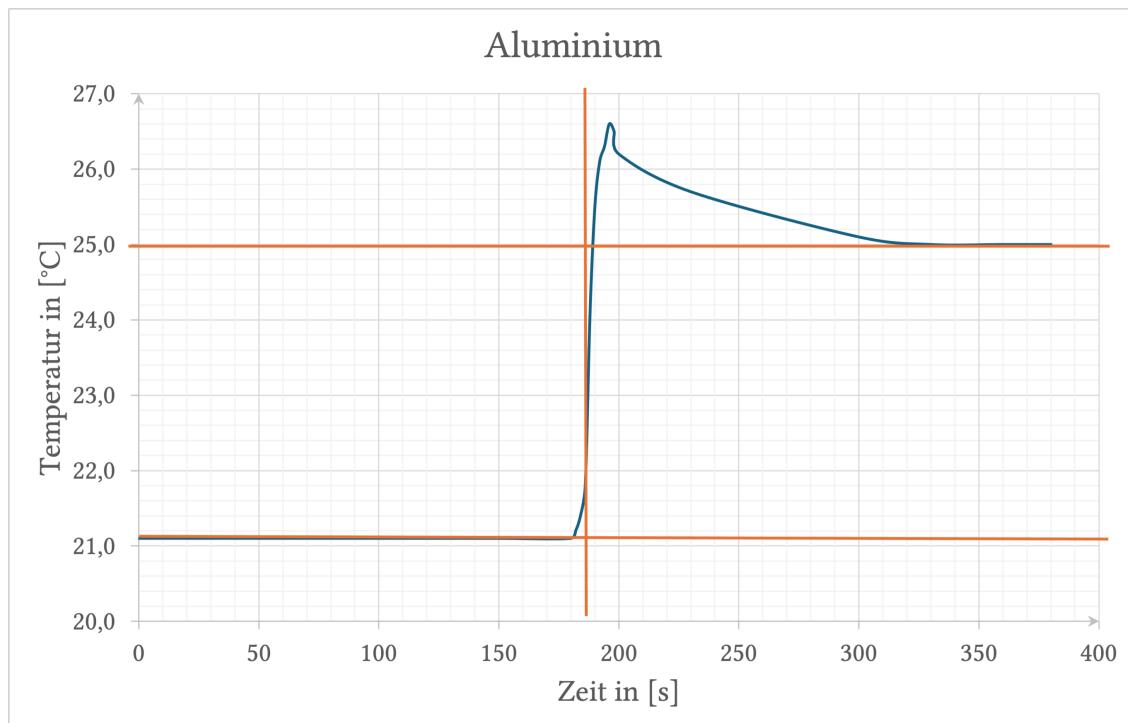


Abb. 2.6: Diagramm für den Zwickelabgleich von Aluminium.

Messing

$$m_{\text{Probe, Messing}} = (243,3 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$m_{\text{Schlepp, Messing}} = (1,0 \pm 0,3) \text{ g}$$

$$T_{\text{kalt, Messing}} = (21,2 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{kalt, Messing}} = (244,3 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$T_{\text{Probe, Messing}} = (98,2 \pm 2,0) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Misch, Messing}} = (27,2 \pm 0,2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{Messing}} = (0,3730 \pm 0,02887) \frac{\text{J}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Literaturwert von Messing: } c_{\text{Messing}} = 0,384 \frac{\text{J}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

(Kuchling o.D., S. 630).

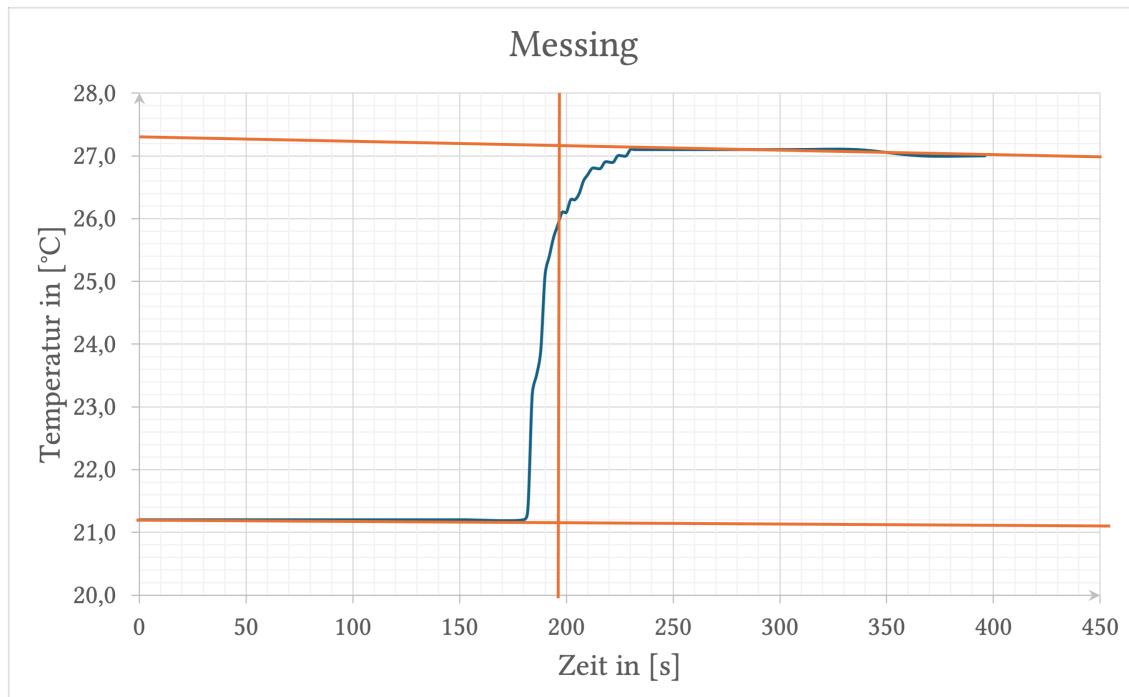


Abb. 2.7: Diagramm für den Zwickelabgleich von Messing.

Stahl

$$m_{\text{Probe, Stahl}} = (225,7 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$m_{\text{Schlepp, Stahl}} = (1,1 \pm 0,3) \text{ g}$$

$$T_{\text{kalt, Stahl}} = (21,1 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{kalt, Stahl}} = (226,8 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$T_{\text{Probe, Stahl}} = (98,2 \pm 2,0) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Misch, Stahl}} = (28,1 \pm 0,2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{Stahl}} = (0,4461 \pm 0,0351) \frac{\text{J}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Literaturwert von Stahl: } c_{\text{Stahl}} = c_{\text{Eisen}} = 0,452 \frac{\text{J}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

(Kuchling o.D., S. 630).

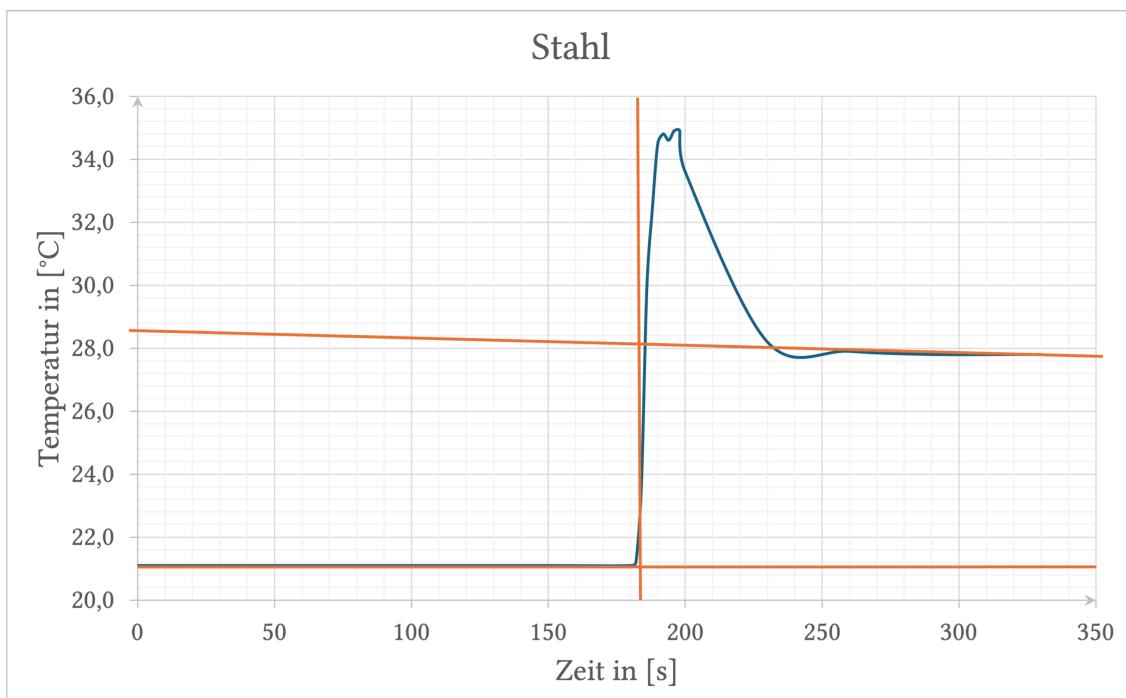


Abb. 2.8: Diagramm für den Zwickelabgleich von Stahl.

Fehlerdiskussion

- Die benutzte Herdplatte zum Aufkochen des Wassers mit den Probekörpern heizte nicht konstant. Über das Stabthermometer konnte festgestellt werden, dass die Herdplatte nach ungefähr fünf bis sechs Minuten aufhörte zu heizen, sodass das Wasser nicht durchgängig für die geforderten zehn Minuten gesiedet hat. Zudem war das Wasser im Topf rechts wärmer als links, womit davon auszugehen ist, dass die Herdplatte in einer ungleichen Verteilung Wärme abgegeben hat. Aufgrund dieser Problematiken wurde auch für die Temperatur der Probe T_{Probe} ein relativ großer Fehler von $2,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ angenommen.

- Da im Topf Leitungswasser statt destilliertem Wasser aufgekocht wurde, befanden sich bereits aus vorherigen Versuchen größere Kalkablagerungen darin. Diese wurden dementsprechend mit dem Schleppwasser mit in das Dewar-Gefäß genommen. Das fiel auch daran auf, dass sich der Kalk an der Wasseroberfläche und am Messstab abgesetzt hat.
- Nach dem Einfügen des Probekörpers in das Dewar-Gefäß blieb wenig Spielraum zum Umrühren, sodass beim Rühren teilweise aus Versehen die Dewar-Wand und der Körper berührt wurde. Generell entstanden sichtbare Schwankungen in den Graphen durch das vorsichtige Umrühren von Hand, da durch die leichte hin und her Bewegung mit dem Rührstab ab und zu messbar kälteres Wasser in Richtung des Thermometerstabes geschoben wurde. Dies ließe sich dadurch vermeiden, indem ein Magnetrührer verwendet wird, welcher am Boden des Dewar-Gefäßes konstant ohne Berührungen das kalte und warme Wasser vermischen würde.
- Durch das Umhängen der Probekörper aus dem siedenden Wasser hinein in das kalte Wasser, geht während des kurzen Transportvorgangs Wärme an die Umgebungsluft verloren, was zu verfälschten Ergebnissen führen kann.
- Bei der Versuchsdurchführung mit dem Probekörper aus Kupfer wurde der Metallzylinder oben nicht ganz vom kalten Wasser umschlossen, sodass leicht Wärme, statt in das kalte Wasser, auch in die Umgebungsluft abgegeben werden konnte. Doch trotz dieses Durchführungsfehlers liegt die berechnete spezifische Wärmekapazität von Kupfer sehr nah an dessen Literaturwert, sodass dies in diesem Fall keinerlei Auswirkungen hatte. Bei Kupfer konnte zudem auch kein Schleppwasser festgestellt werden. Eventuell wurde dieses beim Umhängevorgang abgeschüttelt, sodass nur ein nicht mehr messbarer Teil am Körper hängen blieb.
- Der Probekörper aus Stahl wurde beim Umhängen in das Dewar-Gefäß sehr nah an den Temperaturmessstab platziert, sodass hierdurch ebenfalls eine Verfälschung der Ergebnisse passieren hätte können. Der Vergleich mit dem Literaturwert jedoch ergibt, dass dies auch hier keinerlei Konsequenzen nach sich trägt.
- Bei der Auswertung von Aluminium ergibt sich im Vergleich zum Literaturwert eine sehr große Abweichung. Es wird davon ausgegangen, dass bei der Durchführung vermutlich einige bereits aufgezählte Fehlerquellen gleichzeitig aufgetreten sind. So war der Aluminiumkörper eventuell nicht lang genug im siedenden Wasser, da die Herdplatte wieder aufgehört hatte zu heizen und damit der Temperaturfehler so größer als die angenommenen zwei Grad betrug. Zugleich könnte der Umhängevorgang bei Aluminium, da dieses Metall die Wärme schnell abstrahlt wie am Literaturwert erkennbar, zu lange gedauert hat, sodass zu viel Wärme an die Umgebungsluft verloren ging.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Auswertungsergebnisse von Kupfer, Messing und Stahl, nahezu identisch mit den Literaturwerten sind, sodass der Versuch insgesamt gut gelungen ist.

Molare Wärmekapazität metallischer Körper

Die bereits ermittelte spezifische Wärmekapazität der Probekörper kann nun über den Zusammenhang

$$c_{\text{mol}} = \frac{c}{n} = c_{\text{sp}} \cdot M \quad \text{mit } c_{\text{sp}} = \frac{c}{m}$$

auch als molare Wärmekapazität angegeben werden.

Besonders interessant stellt sich hierbei heraus, ob für die getesteten Metallkörper das Dulong-Petit-Gesetz

$$c_{\text{mol}} \approx 3R$$

gilt.

Es gilt also folgenden Zusammenhang zu überprüfen:

$$c_{\text{mol}} = \frac{c_{\text{sp}} \cdot M}{R} = 3$$

mit

$$\Delta c_{\text{mol}} = \left| \frac{\partial c_{\text{mol}}}{\partial c_{\text{sp}}} \right| \cdot \Delta c_{\text{sp}} = \frac{M}{R} \cdot \Delta c_{\text{sp}},$$

wobei $R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$ die allgemeine Gaskonstante und M die molare Masse ist.

Die molaren Massen lassen sich aus dem Periodensystem ablesen:

$$\begin{array}{ll} M_{\text{Kupfer}} = 63,55 \text{ g mol}^{-1} & M_{\text{Aluminium}} = 26,98 \text{ g mol}^{-1} \\ M_{\text{Messing}} = 65,47 \text{ g mol}^{-1} & M_{\text{Stahl}} = 55,85 \text{ g mol}^{-1}. \end{array}$$

Dabei setzt sich die molare Masse von Messing M_{Messing} aus den molaren Massen von M_{Kupfer} und M_{Zink} zu gleichen Teilen zusammen, da Messing aus einer Legierung aus Kupfer und Zink besteht:

$$M_{\text{Messing}} = \left(\frac{63,55 \text{ g mol}^{-1} + 65,39 \text{ g mol}^{-1}}{2} \right) = 65,47 \text{ g mol}^{-1}.$$

Die molare Masse von Stahl M_{Stahl} entspricht der molaren Masse von M_{Eisen} , da Stahl eine Eisenlegierung ist.

Durch die Anwendung der oben stehenden Formel ergeben sich folgende molare Wärmekapazitäten für die Probekörper:

$$\begin{aligned} c_{\text{mol, Kupfer}} &= (3,1607 \pm 0,1063)R \\ c_{\text{mol, Aluminium}} &= (0,7565 \pm 0,0927)R \not\approx \\ c_{\text{mol, Aluminium, Literatur}} &= (2,9075 \pm 0,2273)R \\ c_{\text{mol, Messing}} &= (2,9373 \pm 0,2273)R \\ c_{\text{mol, Stahl}} &= (2,9967 \pm 0,2358)R \end{aligned}$$

2 Spezifische Wärmekapazität fester Körper

Insgesamt liegen die Werte der molaren Wärmekapazität sehr nah an $3R$, sodass hiermit bestätigt werden kann, dass das Dulong-Petit-Gesetz für die untersuchten Probekörper gilt. Für Aluminium wurde aufgrund der unaussagekräftigen Messwerte der Literaturwert gegenübergestellt, sodass auch für Aluminium das Dulong-Petit-Gesetz bestätigt werden kann.

Literatur

- Joachim Herz Stiftung (o. D.). *Dampfdruck*. URL: <https://www.leifiphysik.de/waermelehre/innere-energie-waermekapazitaet/ausblick/dampfdruck>.
- Kuchling, Horst (o. D.). *Taschenbuch Der Physik*. 20. Aufl. München: Hanser.
- MessCom GmbH (o. D.). *Betriebsanleitung Quecksilberbarometer Nach LAMBRECHT (604)*. URL: https://messcom.de/MESSCOM/MDO/pdfs/005_Druck/Quecksilber-Barometer%20604%20Bedienanl.pdf.
- Tipler, Paul und Gene Mosca (o. D.). *Tipler Physik*. 9. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.
- Universität Augsburg (WiSe 2024[a]). *Versuchsanleitung W1 - Elektrisches Wärmeäquivalent*. – (WiSe 2024[b]). *Versuchsanleitung W4 - Spezifische Wärmekapazität Fester Körper*.

3 Anhang

Spezifische und molare Wärmekapazität metallischer Körper

Exemplarisches Vorgehen für Messing

$$m_{\text{Probe, Messing}} = (243,3 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$m_{\text{kalt, Messing}} = (624,4 - 228,7 - 151,4) \text{ g} = (244,3 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$m_{\text{Schlepp, Messing}} = (244,3 - 243,3) \text{ g} = (1,0 \pm 0,3) \text{ g}$$

$$T_{\text{Probe, Messing}} = (98,2 \pm 2,0) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{kalt, Messing}} = (21,2 \pm 0,1) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Misch, Messing}} = (27,2 \pm 0,2) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Einsetzen der Werte in die Formel für die spezifische Wärmekapazität:

$$c_{\text{Probe}} = \frac{c_{\text{kalt}}[(m_{\text{kalt}} + w)(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) - m_{\text{Schlepp}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})]}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Messing}} &= \frac{4,187 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot [(243,3 \text{ g} + 25 \text{ g})(27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21,2 \text{ }^{\circ}\text{C})1,0 \text{ g} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})]}{243,3 \text{ g} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})} \\ &= 0,3730 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}. \end{aligned}$$

Berechnen des Fehlerterms Δc_{Probe} mit der Formel:

$$\begin{aligned} \Delta c_{\text{Probe}} &= \left| \frac{c_{\text{kalt}}(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta m_{\text{kalt}} + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta w \\ &\quad + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(m_{\text{kalt}} + w)}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) \\ &\quad + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(m_{\text{kalt}} + w)(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})^2} \right| \cdot \Delta(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}}) \\ &\quad + \left| \frac{c_{\text{kalt}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})}{m_{\text{Probe}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta m_{\text{Schlepp}} \\ &\quad + \left| - \frac{c_{\text{kalt}}[(m_{\text{kalt}} + w)(T_{\text{Misch}} - T_{\text{kalt}}) - m_{\text{kalt}}(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})]}{m_{\text{Probe}}^2(T_{\text{Probe}} - T_{\text{Misch}})} \right| \cdot \Delta m_{\text{Probe}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta c_{\text{Messing}} &= \left| \frac{4,187 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot (27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21,2 \text{ }^{\circ}\text{C})}{243,3 \text{ g} \cdot (27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21,2 \text{ }^{\circ}\text{C})} \right| \cdot 0,1 \text{ g} \\
 &+ \left| \frac{c_{4,187 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot (27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21,2 \text{ }^{\circ}\text{C})}}{243,3 \text{ g} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})} \right| \cdot 5 \text{ g} \\
 &+ \left| \frac{4,187 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot (243,3 \text{ g} + 25 \text{ g})}{243,3 \text{ g} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})} \right| \cdot (27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21,2 \text{ }^{\circ}\text{C}) \\
 &+ \left| \frac{4,187 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot (243,3 \text{ g} + 25 \text{ g})(27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21,2 \text{ }^{\circ}\text{C})}{243,3 \text{ g} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})^2} \right| \cdot (2,0 \text{ }^{\circ}\text{C} - 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}) \\
 &+ \left| \frac{4,187 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})}{243,3 \text{ g} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})} \right| \cdot 0,3 \text{ g} \\
 &+ \left| - \frac{4,187 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot [(243,3 \text{ g} + 25 \text{ g})(27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21,2 \text{ }^{\circ}\text{C}) - 243,3 \text{ g} \cdot (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})]}{(243,3 \text{ g})^2 (98,2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C})} \right| \cdot 0,1 \text{ g} \\
 &= 0,02887 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1}.
 \end{aligned}$$

Insgesamt ergibt sich damit:

$$c_{\text{Messing}} = (0,3730 \pm 0,02887) \frac{\text{J}}{\text{g } ^{\circ}\text{C}}.$$

Die molare Wärmekapazität für Messing ergibt sich mit der Formel:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{mol}} &= \frac{c_{\text{sp}} \cdot M}{R} + \frac{M}{R} \cdot \Delta c_{\text{sp}} \\
 &= \frac{0,3730 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot 65,47 \text{ g mol}^{-1}}{8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} + \frac{65,47 \text{ g mol}^{-1}}{8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} \cdot 0,02887 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1} \\
 &= (2,9373 \pm 0,2273) \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}.
 \end{aligned}$$

Messergebnisse

Kupfer		Messing		Aluminium		Stahl	
<i>t</i> in s	<i>T</i> in $^{\circ}\text{C}$	<i>t</i> in s	<i>T</i> in $^{\circ}\text{C}$	<i>t</i> in s	<i>T</i> in $^{\circ}\text{C}$	<i>t</i> in s	<i>T</i> in $^{\circ}\text{C}$
0	20,7	0	21,2	0	21,1	0	21,1
30	20,7	30	21,2	30	21,1	30	21,1
60	20,7	60	21,2	60	21,1	60	21,1
90	20,7	90	21,2	90	21,1	90	21,1
120	20,7	120	21,2	120	21,1	120	21,1
150	20,7	150	21,2	150	21,1	150	21,1
180	20,7	180	21,2	180	21,1	180	21,1
182	20,8	182	21,4	182	21,2	182	21,2
184	21,9	184	23,2	184	21,4	184	23,6

186	23,0	186	23,5	186	21,8	186	29,9
188	24,0	188	23,9	188	24,1	188	32,4
190	24,5	190	25,1	190	25,5	190	34,5
192	24,5	192	25,4	192	26,1	192	34,8
194	24,4	194	25,7	194	26,3	194	34,6
196	24,2	196	25,9	196	26,6	196	34,9
198	24,1	198	26,1	198	26,5	198	34,9
200	24,1	200	26,1	200	26,2	200	33,6
202	24,2	202	26,3	230	25,7	230	28,2
204	24,6	204	26,3	300	25,1	260	27,9
206	25,6	206	26,4	330	25,0	290	27,8
208	25,7	208	26,6	360	25,0	320	27,8
210	25,3	210	26,7	380	25,0	330	27,8
212	25,2	212	26,8				
214	26,0	214	26,8				
216	27,0	216	26,8				
218	27,1	218	26,9				
220	27,0	220	26,9				
222	27,1	222	26,9				
224	27,1	224	27,0				
226	27,1	226	27,0				
228	27,2	228	27,0				
230	27,1	230	27,1				
232	27,2	232	27,1				
234	27,4	234	27,1				
236	27,6	236	27,1				
238	27,7	238	27,1				
240	28,0	240	27,1				
242	28,3	242	27,1				
244	28,2	244	27,1				
246	28,2	246	27,1				
248	28,1	276	27,1				
278	27,9	306	27,1				
308	27,1	336	27,1				
338	26,8	366	27,0				
368	26,8	396	27,0				
398	26,7						
428	26,7						
458	26,7						

Tabelle 3.1: Messwerte der metallischen Körper.

Korrektionstabellen 1-3
für Normal-Quecksilber-Barometer
zu Bedienungsanleitung 03096.00

Tab. 1

Umrechnung der bei der Temperatur t ($^{\circ}\text{C}$) abgelesenen Barometerstände b_t
 (mm QS oder mb) auf die Bezugstemperatur 0 ($^{\circ}\text{C}$)

t ($^{\circ}\text{C}$)	Abgelesener Barometerstand b_t in mm QS oder mb									
	620	640	660	680	700	720	740	760	780	800
0	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
1	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31
2	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45
3	0,45	0,47	0,48	0,50	0,51	0,53	0,54	0,56	0,57	0,59
4	0,56	0,58	0,60	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,70	0,72
5	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,82	0,84	0,86
6	0,77	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,92	0,95	0,97	1,00
7	0,88	0,91	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,08	1,10	1,13
8	0,98	1,01	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20	1,24	1,27
9	1,09	1,12	1,16	1,19	1,23	1,26	1,30	1,33	1,37	1,40
10	1,19	1,23	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,46	1,50	1,54
11	1,30	1,34	1,38	1,43	1,47	1,51	1,55	1,59	1,64	1,68
12	1,41	1,45	1,50	1,54	1,59	1,63	1,68	1,72	1,77	1,81
13	1,51	1,56	1,61	1,66	1,71	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
14	1,62	1,67	1,72	1,77	1,83	1,88	1,93	1,98	2,03	2,09
15	1,72	1,78	1,83	1,89	1,94	2,00	2,06	2,11	2,17	2,22
16	1,83	1,89	1,95	2,00	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36
17	1,93	2,00	2,06	2,12	2,18	2,24	2,31	2,37	2,43	2,49
18	2,04	2,10	2,17	2,24	2,30	2,37	2,43	2,50	2,56	2,63
19	2,14	2,21	2,28	2,35	2,42	2,49	2,56	2,63	2,70	2,77
20	2,25	2,32	2,39	2,47	2,54	2,61	2,68	2,76	2,83	2,90
21	2,35	2,43	2,51	2,58	2,66	2,73	2,81	2,89	2,96	3,04
22	2,46	2,54	2,62	2,70	2,78	2,86	2,93	3,01	3,09	3,17
23	2,56	2,65	2,73	2,81	2,90	2,98	3,06	3,14	3,23	3,31
24	2,67	2,76	2,84	2,93	3,01	3,10	3,19	3,27	3,36	3,44
25	2,77	2,86	2,95	3,04	3,13	3,22	3,31	3,40	3,49	3,58
26	2,88	2,97	3,07	3,16	3,25	3,34	3,44	3,53	3,62	3,72
27	2,98	3,08	3,18	3,27	3,37	3,47	3,56	3,66	3,75	3,85
28	3,09	3,19	3,29	3,39	3,49	3,59	3,69	3,79	3,89	3,99
29	3,19	3,30	3,40	3,50	3,61	3,71	3,81	3,92	4,02	4,12
30	3,29	3,40	3,51	3,61	3,72	3,82	3,93	4,04	4,14	4,25

Die in der Tabelle angegebenen Korrektionswerte K_t (in mm QS oder mb)
 sind vom Barometerstand abzuziehen

Tab. 1

Umrechnung der bei der Temperatur t ($^{\circ}\text{C}$) abgelesenen Barometerstände b_t (mm QS oder mb) auf die Bezugstemperatur 0 ($^{\circ}\text{C}$)

t ($^{\circ}\text{C}$)	Abgelesener Barometerstand b_t in mm QS oder mb											
	840	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020	1040	1060
0	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23
1	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41
2	0,47	0,48	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,60
3	0,62	0,63	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70	0,72	0,73	0,75	0,76	0,78
4	0,76	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,92	0,94	0,96
5	0,90	0,92	0,94	0,97	0,99	1,01	1,03	1,05	1,07	1,10	1,12	1,14
6	1,05	1,07	1,10	1,12	1,14	1,17	1,19	1,22	1,24	1,27	1,29	1,32
7	1,19	1,22	1,25	1,27	1,30	1,33	1,36	1,39	1,41	1,44	1,47	1,50
8	1,33	1,36	1,40	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,59	1,62	1,65	1,68
9	1,47	1,51	1,55	1,58	1,62	1,65	1,69	1,72	1,76	1,79	1,83	1,86
10	1,62	1,66	1,70	1,73	1,77	1,81	1,85	1,89	1,93	1,96	2,00	2,04
11	1,76	1,80	1,85	1,89	1,93	1,97	2,01	2,05	2,10	2,14	2,18	2,22
12	1,90	1,95	1,99	2,04	2,09	2,13	2,18	2,22	2,27	2,31	2,36	2,40
13	2,05	2,10	2,14	2,19	2,24	2,29	2,34	2,39	2,44	2,49	2,53	2,58
14	2,19	2,24	2,29	2,35	2,40	2,45	2,50	2,56	2,61	2,66	2,71	2,76
15	2,33	2,39	2,44	2,50	2,56	2,61	2,67	2,72	2,78	2,83	2,89	2,94
16	2,48	2,53	2,59	2,65	2,71	2,77	2,83	2,89	2,95	3,01	3,07	3,12
17	2,62	2,68	2,74	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,12	3,18	3,24	3,30
18	2,76	2,83	2,89	2,96	3,02	3,09	3,16	3,22	3,29	3,35	3,42	3,48
19	2,90	2,97	3,04	3,11	3,18	3,25	3,32	3,39	3,46	3,53	3,60	3,66
20	3,05	3,12	3,19	3,26	3,34	3,41	3,48	3,55	3,63	3,70	3,77	3,84
21	3,19	3,27	3,34	3,42	3,49	3,57	3,64	3,72	3,80	3,87	3,95	4,02
22	3,33	3,41	3,49	3,57	3,65	3,73	3,81	3,89	3,97	4,05	4,12	4,20
23	3,47	3,56	3,64	3,72	3,80	3,89	3,97	4,05	4,14	4,22	4,30	4,38
24	3,62	3,70	3,79	3,87	3,96	4,05	4,13	4,22	4,31	4,39	4,48	4,56
25	3,76	3,85	3,94	4,03	4,12	4,21	4,30	4,39	4,47	4,56	4,65	4,74
26	3,90	3,99	4,09	4,18	4,27	4,37	4,46	4,55	4,64	4,74	4,83	4,92
27	4,04	4,14	4,24	4,33	4,43	4,52	4,62	4,72	4,81	4,91	5,01	5,10
28	4,19	4,29	4,39	4,48	4,58	4,68	4,78	4,88	4,98	5,08	5,18	5,28
29	4,33	4,43	4,53	4,64	4,74	4,84	4,95	5,05	5,15	5,26	5,36	5,46
30	4,46	4,57	4,67	4,78	4,89	4,99	5,10	5,21	5,31	5,42	5,52	5,63

Die in der Tabelle angegebenen Korrektionswerte K_t (in mm QS oder mb) sind vom Barometerstand abzuziehen

Abb. 3.2: Korrektionstabellen für Normal-Quecksilber-Barometer zu Bedingungsanleitung 03096.00 Seite 7.

Tab. 2a

Umrechnung der ermittelten Barometerstände b_0 (mm QS oder mb)
a) wegen der geographischen Breite φ ($^{\circ}$)

φ ($^{\circ}$)	Barometerstand b_0 in mm QS oder mb										
	620	640	660	680	700	720	740	760	780	800	840
0	-1,67	-1,72	-1,77	-1,83	-1,88	-1,93	-1,99	-2,04	-2,10	-2,15	-2,26
5	-1,64	-1,69	-1,75	-1,80	-1,85	-1,91	-1,96	-2,01	-2,06	-2,12	-2,22
10	-1,57	-1,62	-1,67	-1,72	-1,77	-1,82	-1,87	-1,92	-1,97	-2,02	-2,12
15	-1,45	-1,49	-1,54	-1,59	-1,63	-1,68	-1,73	-1,77	-1,82	-1,87	-1,96
20	-1,28	-1,32	-1,37	-1,41	-1,45	-1,49	-1,53	-1,57	-1,61	-1,66	-1,74
25	-1,08	-1,12	-1,15	-1,19	-1,22	-1,26	-1,29	-1,33	-1,36	-1,40	-1,47
30	-0,85	-0,88	-0,90	-0,93	-0,96	-0,99	-1,01	-1,04	-1,07	-1,10	-1,15
35	-0,59	-0,61	+0,63	-0,65	-0,67	-0,69	-0,70	-0,72	-0,74	-0,76	-0,80
40	-0,31	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,40	-0,41	-0,43
45	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
50	+0,25	+0,26	+0,27	+0,28	+0,29	+0,29	+0,30	+0,31	+0,32	+0,33	+0,34
55	+0,53	+0,55	+0,56	+0,58	+0,60	+0,61	+0,63	+0,65	+0,66	+0,68	+0,72
60	+0,79	+0,81	+0,84	+0,86	+0,89	+0,91	+0,94	+0,96	+0,99	+1,02	+1,07
65	+1,02	+1,05	+1,09	+1,12	+1,15	+1,18	+1,22	+1,25	+1,28	+1,32	+1,38
70	+1,23	+1,26	+1,30	+1,34	+1,38	+1,42	+1,46	+1,50	+1,54	+1,58	+1,65
75	+1,39	+1,43	+1,47	+1,52	+1,56	+1,61	+1,65	+1,70	+1,74	+1,79	+1,88
80	+1,51	+1,55	+1,60	+1,65	+1,70	+1,75	+1,80	+1,85	+1,89	+1,94	+2,04
85	+1,58	+1,63	+1,68	+1,73	+1,78	+1,83	+1,88	+1,94	+1,99	+2,04	+2,14
90	+1,60	+1,66	+1,71	+1,76	+1,81	+1,86	+1,91	+1,97	+2,02	+2,07	+2,17

φ ($^{\circ}$)	Barometerstand b_0 in mm QS oder mb										
	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020	1040	1060
0	-2,31	-2,36	-2,42	-2,47	-2,53	-2,58	-2,63	-2,69	-2,74	-2,79	-2,85
5	-2,28	-2,33	-2,38	-2,44	-2,49	-2,54	-2,59	-2,65	-2,70	-2,75	-2,81
10	-2,15	-2,22	-2,26	-2,33	-2,38	-2,43	-2,48	-2,53	-2,58	-2,63	-2,68
15	-2,01	-2,05	-2,10	-2,15	-2,20	-2,24	-2,29	-2,33	-2,38	-2,43	-2,47
20	-1,78	-1,82	-1,86	-1,90	-1,95	-1,99	-2,03	-2,07	-2,10	-2,15	-2,19
25	-1,50	-1,54	-1,57	-1,61	-1,64	-1,68	-1,71	-1,75	-1,78	-1,81	-1,85
30	-1,18	-1,20	-1,23	-1,26	-1,29	-1,31	-1,34	-1,37	-1,40	-1,42	-1,45
35	-0,82	-0,84	-0,86	-0,88	-0,89	-0,91	-0,93	-0,95	-0,97	-0,99	-1,01
40	-0,44	-0,45	-0,46	-0,47	-0,48	-0,49	-0,50	-0,51	-0,52	-0,53	-0,54
45	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
50	-0,35	-0,36	+0,37	+0,38	+0,38	+0,39	+0,40	+0,41	+0,42	+0,42	+0,43
55	+0,73	+0,75	+0,77	+0,78	+0,78	+0,80	+0,82	+0,83	+0,85	+0,87	+0,90
60	+1,09	+1,12	+1,14	+1,17	+1,19	+1,22	+1,24	+1,27	+1,29	+1,32	+1,35
65	+1,42	+1,45	+1,48	+1,51	+1,55	+1,58	+1,61	+1,65	+1,68	+1,71	+1,74
70	+1,69	+1,73	+1,77	+1,81	+1,85	+1,89	+1,93	+1,97	+2,01	+2,05	+2,09
75	+1,92	+1,97	+2,01	+2,06	+2,10	+2,14	+2,19	+2,23	+2,28	+2,32	+2,37
80	+2,09	+2,14	+2,19	+2,23	+2,28	+2,33	+2,38	+2,43	+2,48	+2,52	+2,57
85	+2,19	+2,24	+2,29	+2,34	+2,39	+2,44	+2,50	+2,55	+2,60	+2,65	+2,70
90	+2,22	+2,28	+2,33	+2,38	+2,43	+2,48	+2,54	+2,59	+2,64	+2,69	+2,74

Die in der Tabelle angegebenen Korrektionswerte $K_{g\varphi}$ (in mm QS oder mb) sind im Bereich der Breitengrade von 0 bis $\approx 45^{\circ}33'$ vom Barometerstand abzuziehen, im Bereich der Breitengrade von $\approx 45^{\circ}33'$ bis 90° zum Barometerstand zuzuzählen.

Tab. 2 b

**Umrechnung der ermittelten Barometerstände b_0 (mm QS oder mb) auf Normal-
schwere $g_n = 9,80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$**
b) wegen der Höhe H (m) über dem Meeresspiegel

H (m)	Barometerstand b_0 , in mm QS oder mb									
	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
100	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
200	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
300	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
400	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
500	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10
600	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12
700	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14
800	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16
900	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18
1000	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20
1100	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23
1200	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25
1300	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27
1400	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,29
1500	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31
1600	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33
1700	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33	0,35
1800	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
1900	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39
2000	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41
2500	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	0,44	0,46	0,49	0,51
3000	0,35	0,38	0,41	0,44	-0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,61
3500	0,41	0,44	0,48	0,51	0,55	0,58	0,61	0,65	0,68	0,72
4000	0,47	0,51	0,55	0,59	0,62	0,66	0,70	0,74	0,78	0,82

Die in der Tabelle angegebenen Korrektionswerte K_{gH} (in mm QS oder mb)
sind vom Barometerstand abzuziehen.

Abb. 3.4: Korrektionstabellen für Normal-Quecksilber-Barometer zu Bedingungsanleitung 03096.00 Seite 9.

Tab. 3

**Korrektion der Barometerstände (mm QS oder mb)
infolge der Kapillardepression.**

	Kuppenhöhe (für 8 mm Rohr- ϕ) in mm oder mb										
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
K_k (mm QS)	0,24	0,29	0,35	0,41	0,46	0,51	0,56	0,60	0,64	0,68	0,71
K_k (mb)	0,24	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,57	0,63	0,68	0,73	0,77

	Kuppenhöhe (für 8 mm Rohr- ϕ) in mm oder mb									
	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
K_k (mm QS)	0,74	0,77	0,80	0,82						
K_k (mb)	0,81	0,85	0,89	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,07	1,09

Die in der Tabelle angegebenen Korrektionswerte K_k (in mm QS oder mb) sind zum Barometerstand zuzuzählen.

3.14a Siedetemperatur des Wassers in °C zwischen 86 und 110 kPa – Boiling temperature of water in °C for pressures between 86 and 110 kPa (W. Blanke)

Temperaturen in der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90)

p kPa	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
86	95,444	95,475	95,507	95,539	95,570	95,602	95,633	95,665	95,696	95,728
87	95,759	95,790	95,822	95,853	95,884	95,915	95,947	95,978	96,009	96,040
88	96,071	96,102	96,133	96,164	96,195	96,226	96,257	96,288	96,319	96,350
89	96,381	96,411	96,442	96,473	96,503	96,534	96,565	96,595	96,626	96,657
90	96,687	96,718	96,748	96,778	96,809	96,839	96,870	96,900	96,930	96,960
91	96,991	97,021	97,051	97,081	97,111	97,141	97,172	97,202	97,232	97,262
92	97,292	97,322	97,351	97,381	97,411	97,441	97,471	97,501	97,530	97,560
93	97,590	97,619	97,649	97,679	97,708	97,738	97,767	97,797	97,826	97,856
94	97,885	97,915	97,944	97,974	98,003	98,032	98,061	98,091	98,120	98,149
95	98,178	98,207	98,237	98,266	98,295	98,324	98,353	98,382	98,411	98,440
96	98,469	98,498	98,527	98,555	98,584	98,613	98,642	98,671	98,699	98,728
97	98,757	98,785	98,814	98,843	98,871	98,900	98,928	98,957	98,985	99,014
98	99,042	99,071	99,099	99,127	99,156	99,184	99,212	99,241	99,269	99,297
99	99,325	99,353	99,382	99,410	99,438	99,466	99,494	99,522	99,550	99,578
100	99,606	99,634	99,662	99,690	99,718	99,745	99,773	99,801	99,829	99,857
101	99,884	99,912	99,940	99,967	99,995	100,023	100,050	100,078	100,105	100,133
102	100,160	100,188	100,215	100,243	100,270	100,298	100,325	100,352	100,380	100,407
103	100,434	100,462	100,489	100,516	100,543	100,570	100,598	100,625	100,652	100,679
104	100,706	100,733	100,760	100,787	100,814	100,841	100,868	100,895	100,922	100,949
105	100,976	101,002	101,029	101,056	101,083	101,110	101,136	101,163	101,190	101,216
106	101,243	101,270	101,296	101,323	101,349	101,376	101,402	101,429	101,455	101,482
107	101,508	101,535	101,561	101,588	101,614	101,640	101,667	101,693	101,719	101,745
108	101,772	101,798	101,824	101,850	101,876	101,903	101,929	101,955	101,981	102,007
109	102,033	102,059	102,085	102,111	102,137	102,163	102,189	102,215	102,241	102,266
110	102,292	102,318	102,344	102,370	102,395	102,421	102,447	102,473	102,498	102,524

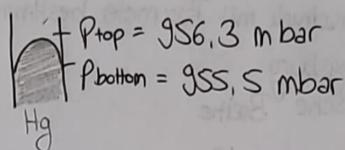
Abb. 3.6: Siedetemperatur des Wassers in °C zwischen 86 und 110 kPa von W. Blanke.

Raumtemperatur $T = 21^\circ C \pm 0,2^\circ C$

Höhenlage 500 m

$10^\circ S 21'$ östl. Länge

$48^\circ 21'$ nördl. Breite



Versuch 1

Gruppe ACS

06.12.2024

Temperaturkorrektur K_T

$\rightarrow T = 21^\circ; b_t \approx 960 \Rightarrow 3,64$ aus Tabelle

$$b_{t,\text{gem.}} = 955 - 956 \xrightarrow{\text{Korrektur}} (3,62 \pm 0,01) \text{ mbar}$$

Normalschwerekorrektur K_{gg}

$\rightarrow \text{geogr. Breite } 48^\circ 21', b_t \approx 960 \Rightarrow -0,39$

$$b_{t,\text{gem.}} = 955 - 956 \xrightarrow{\text{Korrektur}} (-0,39 \pm 0,005) \text{ mbar}$$

Höhenkorrektur K_{gh}

$\rightarrow \text{geogr. Höhe } 10^\circ S 21', b_t \approx 950 \Rightarrow (0,09 \pm 0,0001) \text{ mbar}$

Kapillardepressionskorrektur K_K

Kuppenhöhe $956,3 - 955,5 = 0,8 \text{ mbar} \Rightarrow (0,47 \pm 0,002) \text{ mbar}$

Siedetemperatur des Wassers

$$P_{\text{bottom}} = K_T + K_{gg} + K_{gh} + K_K$$

$$955,5 - 3,62 - 0,09 + 0,39 + 0,47 = 951,84 \text{ mbar}$$

$$\text{Fehler: } |0,01 + 0,0001 + 0,005 + 0,002| = 0,0171 \text{ mbar}$$

$$\Rightarrow P_{\text{korr.}} = (951,84 \pm 0,0171) \text{ mbar} \hat{=} (951,84 \pm 0,0171) \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow T_{\text{siede}} = (98,230 \pm 0,002)^\circ C \pm 2^\circ C$$

* Topf + Herdplatte heizt nicht richtig
↳ hört immer wieder auf zu kochen

Tabelle: 95 / zw. 0,1 und 0,2 $\rightarrow 98,207 / 98,237$

Barometer: ① Spitze des Maßstabes auf Oberfläche justieren "X"

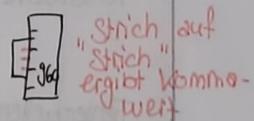
② Im Wasser ausrichten durch Schnur \rightarrow verschieben/klopfen nach links/rechts

\hookrightarrow Fehlerquelle: Wand nicht ganz gerade \rightarrow Schnur lag hinten an

③ Temperatur ablesen

④ Rändelmutter auf Topf ausgerichtet (auf Augenhöhe)
Ablesen

⑤ -II- für P_{bottom}



Fehlerquellen: Ablesefehler w.g. Blickwinkel \rightarrow Parallax-Fehler

Tabellenvergleichswerte nicht exakt gleich

Versuch 2

Gruppe A06
06.12.2024

Massen

$$m_{\text{Dewar, leer}} = 151,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{Kupfer}} = 257,5 \text{ g}$$

$$m_{\text{Alu}} = 81,8 \text{ g}$$

$$m_{\text{Messing}} = 243,3 \text{ g}$$

$$m_{\text{Stahl}} = 225,7 \text{ g}$$

$$\Delta m = 0,3 \text{ g} \rightarrow \text{"mitziehen"} \rightarrow \text{Fehler wird immer größer!}$$

Mischversuche

① Kupfer

30	20,7
60	20,7
90	20,7
120	20,7
150	20,7
180	20,7

2	20,8
4	21,9
6	23,0
8	24,0
10	24,5
12	24,5
14	24,4
16	24,2
18	24,1
20	24,1
22	24,2
24	24,6
26	25,6
28	25,7
30	25,3
32	25,2
34	26,0
36	27,0
38	27,1
40	27,0
42	27,1
44	27,1
46	27,1

$$t(s) \quad ^\circ\text{C}$$

↳ Bei Kupfer: Körper war im Dewar nicht ganz von Wasser oben bedeckt

"kaltes Wasser"

$$m_{\text{Dewar, vorher}}$$

$$220,2 \text{ g}$$

$$231,3 \text{ g}$$

$$228,7 \text{ g}$$

$$226,5 \text{ g}$$

"warmes Wasser + Körper"

$$m_{\text{Dewar, nachher}}$$

$$629,1 \text{ g}$$

$$465,7 \text{ g}$$

$$624,4 \text{ g}$$

$$604,7 \text{ g}$$

② Aluminium

30	21,1
60	21,1
90	21,1
120	21,1
150	21,1
180	21,1

2	21,2
4	21,4
6	21,8
8	24,1
10	25,5
12	26,1
14	26,3
16	26,6
18	26,5
20	26,2

30	25,7
60	25,1
90	25,0
120	25,0
150	25,0

$$t(s) \quad ^\circ\text{C}$$

Anmerkungen / Messfehler:

- Messgerät über Schrauben auf $98,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ kalibriert
- Rührstab aus Glas
- Topf rechts wärmer \rightarrow Herdplatte generell heizt nicht konstant
- Kalk am Temperaturmessstab und im Topf \rightarrow wird mit eingeschepppt
- Beim Umrühren teilweise Dewar-Wand oder Körper aus Versehen berührt

(3) Messing		(4) Stahl		Versuch 2
30	21,2	30	21,1	Gruppe A06
60	21,2	60	21,1	06.12.2024
90	21,2	90	21,1	
120	21,2	120	21,1	
150	21,2	150	21,1	
180	21,2	180	21,1	
(29)	2 21,4	(22)	2 21,2	
4	23,2	4	23,6	
6	23,5	6	29,9	
8	23,9	8	32,4	
10	25,1	10	34,5	
12	25,4	12	34,8	
14	25,7	14	34,6	
16	25,9	16	34,9	
18	26,1	18	34,9	
20	26,1	20	33,6	
22	26,3	30	28,2	
24	26,3	60	27,9	
26	26,4	90	27,8	
28	26,6	120	27,8	
30	26,7	150	27,8	
32	26,8	t(s)	°C	
34	26,8			
36	26,8			
38	26,9			
40	26,9			
42	26,9			
44	27,0			
46	27,0			
48	27,0			
50	27,1			
52	27,1			
54	27,1			
56	27,1			
58	27,1			
60	27,1			
62	27,1			
64	27,1			
66	27,1			
t(s)	°C			SZ (Zurück)