# W3 - Kondensationswärme von Wasser

Julia Mariella Wiest

Gruppe A06

07.05.2025

---

*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 Kondensationswärme von Wasser zu bestimmen.

Das Verdampfen von Wasser stellt eine sogenannte Phasenumwandlung durch die Zufuhr einer Wärmemenge dar. Die hierfür benötigte Wärmemenge wird auch als latente Wärme bezeichnet, da während des Vorgangs keine Temperaturänderung hervorgerufen wird. Warum sich die Temperatur während des Phasenüberganges nicht ändert, lässt sich anhand des molekularen Aufbaus der Substanz erklären. Im flüssigen Zustand befinden sich die Teilchen nah beieinander und üben gegenseitig Anziehungskräfte aufeinander aus. Beim Wechsel des Aggregatszustandes beim Verdampfen entfernen sich die Teilchen voneinander. Dies hat zur Folge, dass während des Verdampfungsvorgangs Arbeit gegen die Anziehungskräfte und den Umgebungsdruck verrichtet werden muss, um die Moleküle aus dem Flüssigkeitsverband zu lösen. Beispielsweise beim Erwärmen von Wasser bewegen sich die Teilchen immer schneller, bis diese beim Erreichen der Siedetemperatur keine höhere kinetische Energie mehr aufnehmen können, ohne aus dem Flüssigkeitsverband auszutreten. Beim Verdampfen wird die zugeführte Energie also aufgewendet, um die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen zu überwinden und den Aggregatszsutand zu wechseln. Das heißt: Statt der kinetischen Energie nimmt die potentielle Energie der Moleküle zu. Aufgrund der Energieerhaltung ändert sich dabei die Temperatur nicht (Tipler und Mosca 2024, S. 571), (Universität Augsburg SoSe 2025[b]).

Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik

$$\mathrm{d}Q = \mathrm{d}U + p\,\mathrm{d}V$$

erhöht sich dabei auch deren innere Energie $U$. Der restliche Teil der Wärmemenge führt zur Vergrößerung des Volumens $V$ und arbeitet gegen den äußeren Luftdruck $p$ (Bannwarth, Kremer und Schulz 2019, S. 70), (Universität Augsburg SoSe 2025[b]).

Die Zufuhr der Wärmemenge $Q$ bei der Verdampfungstemperatur $T_D$ ist dabei proportional zur Stoffmenge $m$ der Substanz, sodass sich das Verhältnis als spezifische Verdampfungswärme

$$\Lambda_{sp} = \frac{Q}{m}$$

definieren lässt (Walcher 1994, S. 117), (Universität Augsburg SoSe 2025[b]).

Wie später im Versuch untersucht werden soll, wird die spezifische Kondensationswärme von Wasser über einen Mischungsversuch bestimmt. Dabei gilt die Energieerhaltung

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

Diese Gleichung lässt sich speziell für den Mischungsversuch, welcher im folgenden Kapitel 2.1 genauer erläutert wird, zu

$$\Delta Q_{\text{kaltes Wasser}} + \Delta Q_{\text{Dewar}} = \Delta Q_{\text{kondensierter Dampf}} + \Delta Q_{\text{abgekühlter Dampf}}$$

umformulieren (Universität Augsburg SoSe 2025[b]).
Noch genauer lässt sich damit die spezifische Kondensationswärme folgendermaßen angeben

$$\Lambda_{sp,W} = \frac{(m_k c_W + C)(T_M - T_k}{m_D} - c_W(T_D - T_M),$$

wobei die verwendeten Abkürzungen $m_k$ für die Masse des kalten Wassers, $c_W$ für die spezifische Wärmekapazität des Wassers, $C$ für die Wärmekapazität des Kaloriemeters, $T_M$ für die Mischtemperatur des kalten und warmen Wassers, $T_k$ für die Temperatur des kalten Wassers, $m_D$ für die Masse des Dampfes und $T_D$ für die Temperatur des Dampfes stehen.
Anhand eines vorangehenden Mischungsversuchs mit bekannter Temperatur des kalten und warmen Wassers kann die spezifische Wärmekapazität $C$ des verwendeten Dewar-Gefäßes experimentell über die Formel

$$C = \frac{m_w c_W (T_W - T_M)}{(T_M - T_k)} - m_k c_W$$

bestimmt werden (Universität Augsburg SoSe 2025[b]).

# 2 Kondensationswärme von Wasser

## 2.1 Versuchsaufbau- und durchführung

### Bestimmung des Umgebungsdrucks mit dem Quecksilberbarometer

*Der folgende Abschnitt zum Quecksilberbarometer und die Ermittlung der Siedetemperatur des Wassers sind bis auf die gemessenen Werte aus dem vorangehenden Protokoll zum Versuch W4 - Spezifische Wärmekapazität fester Körper vom 06.12.2014 entnommen.*

Bevor der eigentliche Versuch beginnen kann, wird mithilfe eines Quecksilberbarometers der Luftdruck des Versuchsstandortes bestimmt.
Dies hat den Grund, dass die Siedetemperatur von Wasser umso niedriger ist, je geringer der vorherrschende Umgebungsluftdruck ist. Siedet Wasser, so bilden sich Dampfblasen. Damit muss allerdings der Druck in der Wasserdampfblase selbst 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 2024).

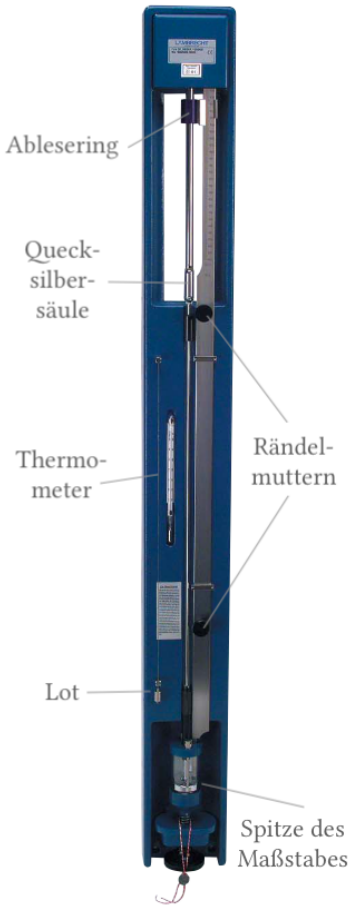



**Abb. 2.1:** Aufbau des Quecksilberbarometers (MessCom GmbH 2024).

Hierfür wird das Quecksilberbarometer nach LAMBRECHT (Abbildung 2.1), welches ein Gefäßbarometer mit einstellbarem Maßstab ist, verwendet (MessCom GmbH 2024). Zuerst 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 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 2024).

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 2024). Zur endgültigen Feststellung der Siedetemperatur von Wasser müssen anschließend noch einige Korrekturen vorgenommen werden. Diese Berechnungen erfolgen nachfolgend in Teilkapitel 2.2.

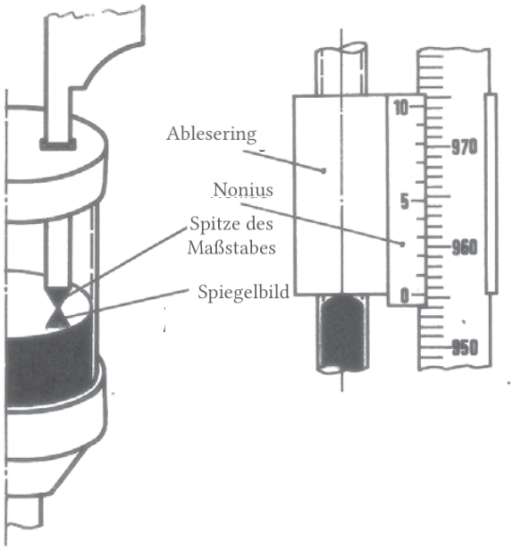



**Abb. 2.2:** Aufbau des Quecksilberbarometers (MessCom GmbH 2024).

## Mischungsversuch zur Bestimmung der Wärmekapazität des Dewar-Gefäßes

Um später die Kondensationswärme von Wasser bestimmen zu können, muss zunächst durch einen Mischungsversuch die Wärmekapazität des verwendeten Dewar-Gefäßes ermittelt werden. Für jenen Mischungsversuch wird zuerst Leitungswasser auf einer Heizplatte erwärmt. Während des Erhitzens des Wassers wird das Leergewicht des Dewar-Gefäßes, auch Kalorimeter genannt, aufgenommen. Anschließend wird das Kalorimeter mit circa 50 g kaltem Wasser befüllt und erneut gewogen. Die Differenz aus dem Gesamtgewicht und dem Leergewicht des Dewars ergibt die Masse des kalten Wassers $m_k$ für die Auswertung. Für das warme Wasser wird ein Glasmessbecher zunächst ebenfalls leer gewogen und anschließend mit circa 150 g

warmem Wasser befüllt. Die Masse des warmen Wassers $m_w$ wird analog zur der des kalten Wassers ermittelt.
Nun wird mit zwei Stabthermometern simultan die Temperatur des warmen und kalten Wassers für fünf Minuten lang in 60 Sekunden-Intervallen aufgezeichnet. Anschließend wird das warme Wasser in einer Zeitspanne von circa einer Minute gleichmäßig nach und nach in das Kalorimeter mit dem kalten Wasser gegossen. Um die Homogenität des warmen und kalten Wassers bei der Temperaturmessung während des Mischversuches zu gewährleisten, wird während dieses Vorgangs durchgehend gerührt. Die Temperatur des Wassergemischs wird dabei alle zehn Sekunden vom Stabthermometer abgelesen und notiert. Nach dem Erreichen des Temperaturmaximums wird weiterhin für eine Minute alle zehn Sekunden die Temperatur aufgeschrieben. Im Anschluss daran wurde die weitere Temperaturabnahme für weitere fünf Minuten in 60 Sekunden-Schritten festgehalten.
Der beschriebene Mischungsversuch wurde zwei Mal mit jeweils neuem warmem und kaltem Wasser gleichermaßen durchgeführt.

## Bestimmung der Kondensationswärme von Wasser

Zur Bestimmung der Kondensationswärme von Wasser werden nun circa 350 mL destilliertes Wasser in einen Erlenmeyerkolben mit Siedesteinchen gefüllt. Der über einem Bunsenbrenner stehende Erlenmeyerkolben wird über einen Gummistopfen mit einer inkludierten Schlauchverbindung verschlossen. Jene Schlauchverbindung mündet in einen sogenannten Wasserabschneider. Wie in Abbildung 2.3 zu sehen, sind im Wasserabschneider zwei unabhängige, versetzt montierte Glasröhren enthalten, wobei aus dem oberen Röhrchen der aus dem Erlenmeyerkolben geleitete Wasserdampf eingeleitet wird. Das untere Röhrchen leitet aufgrund der asymmetrischen Konstruktion den reinen Wasserdampf in das darunter stehende Dewar-Gefäß weiter, da bereits kondensierte Tröpfchen im Wasserabschneider verbleiben. Für den Versuch wurde der Wasserabschneider in isolierendes schaumstoffähnliches Material gehüllt, um ein frühzeitiges Kondensieren des Dampfes zu verhindern.

Während das Wasser im Erlenmeyerkolben mithilfe des Bunsenbrenners zum Sieden gebracht wird, wird das bereits im Mischungsversuch verwendete Dewar-Gefäß leer gewogen, mit circa 190 g kaltem Wasser befüllt und erneut dessen Gesamtgewicht aufgenommen. Die Wassertemperatur des kalten Wassers wird mit dem Stabthermometer so lange alle 60 Sekunden festgehalten, bis aus dem Wasserabschneider ein Dampfstrahl austritt. Nun wird das Kaloriemeter so unter dem Wasserabschneider platziert, dass das untere Glasröhrchen circa einen Zentimeter tief in das kalte Wasser taucht. Unter ständigem Rühren wird nun die Mischtemperatur $T_M$ in 30 Sekunden-Intervallen gemessen bis das Wasser im Dewar-Gefäß ungefähr 60 °C warm ist. Durch das Entfernen des Kaloriemeters wird die Dampfeinleitung durch den Wasserabschneider unterbrochen. Nachfolgend wird auch hier die Temperatur für weitere fünf Minuten in 30 Sekunden-Invallen festgehalten.

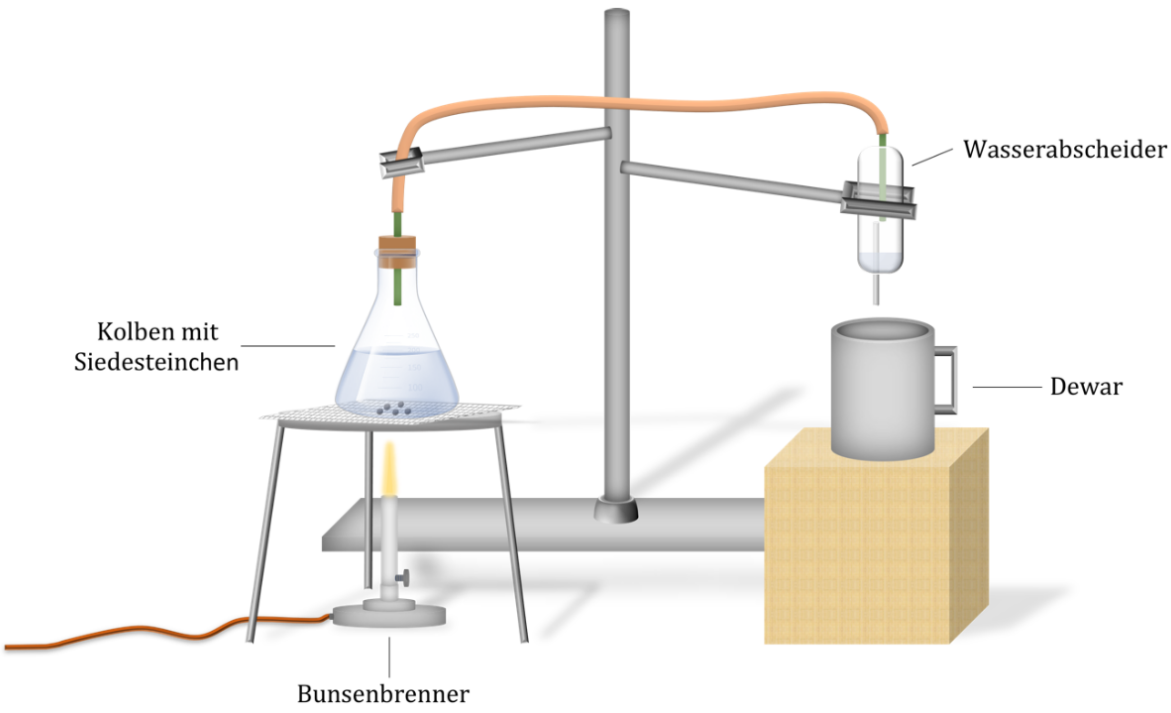



**Abb. 2.3:** Darstellung des Versuchsaufbaus (Universität Augsburg SoSe 2025[b]).

## 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 Quecksilber, wie schon beschrieben, aufgrund seiner Eigenschaften im Glasroher eine Kuppel bildet, muss eine sogenannte Kapillardepressionskorrektur vorgenommen werden. Beim Messen der Kuppenspitze ergab sich der Wert $p_{\text{top}} = 958{,}0\,\text{m bar}$, wobei der Fuß der Kuppe bei $p_{\text{bottom}} = 957{,}8\,\text{m bar}$ lag. Somit ergibt sich insgesamt eine Kuppenhöhe von

$$958{,}0\,\text{m bar} - 957{,}8\,\text{m bar} = 0{,}2\,\text{m bar}.$$

Zur Korrektur des Wertes wird Tabelle 3.5 *Korrektion der Barometerstände* infolge der Kapillardepression herangezogen. Allerdings beginnt diese erst ab einer Kuppenhöhe von 0,4 m bar. Aufgrunddessen wird dieser als Revisionswert mit

$$K_K = (0,24 \pm 0,1)\ \mathrm{m\,bar}$$

genutzt und ein höherer Fehlerwert angenommen. Am Tag des Versuches herrschte im Labor eine Raumtemperatur von 23,5 °C vor, sodass das Quecksilber im Barometer wohl bereits so flüssig war, dass die Kuppel sehr niedrig ausfiel.

## 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 2024). Die gemessene Raumtemperatur betrug $T = 23{,}5\,°\mathrm{C} \pm 0{,}2\,°\mathrm{C}$. In Tabelle 3.2 *Umrechnung der bei der Temperatur t abgelesenen Barometerstände $b_i$ auf die Bezugstemperatur* 0 °C entspricht dies einem Wert von 4,13 m bar. Allerdings liegt der gemessene Kuppenwert im Schnitt zwischen 957 m bar und 968 m bar, sodass der Korrekturwert auf

$$K_T = (4,13 \pm 0,01)\ \mathrm{m\,bar}$$

angepasst wurde.

## Schwerekorrektur $K_{g_\varphi}$ und $K_{g_h}$

„Die Länge der Quecksilbersäule ist ferner abhängig von der Schwerebeschleunigung, die sich mit der geographischen Breite und der Höhe über dem Meeresspiegel ändert" (MessCom GmbH 2024). Die Stadt Augsburg liegt auf einer Höhenlage von 500 m über Normalnull, 10° 52' östlicher Länge und 48° 21' nördlicher Breite.
Für die Normalschwerenkorrektur $K_{g_\varphi}$ ergibt sich für die geographische Breite 48° 21' aus Tabelle 3.3 der Korrekturwert

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

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

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

Somit ergibt sich der Umgebungsdruck nach allen Korrekturen durch

$$\begin{aligned} p_{\text{korrigiert}} &= p_{\text{bottom}} - K_T - K_{g_h} + K_{g_\varphi} + K_K \\ &= (957,8 - 4,13 - 0,09 + 0,39 + 0,24)\ \mathrm{m\,bar} = 954{,}21\ \mathrm{m\,bar} = 95{,}421\ \mathrm{Pa}. \end{aligned}$$

Der Fehlerterm summiert sich analog auf zu

$$\Delta p_{\text{korrigiert}} = 0,01 + 0,0001 + 0,005 + 0,1 = 0{,}116\,\text{m bar}.$$

Mit diesem Wert $p_{\text{korrigiert}} = (95,421 \pm 0,0116)$ Pa lässt sich aus Tabelle 3.6 *Siedetemperatur des Wassers in °C zwischen 86 und 110 kPa,* die Siedetemperatur

$$T_{\text{Siede}} = (98,295 \pm 0,012)\ ^\circ\text{C}$$

des Wassers für den Versuchstag bestimmen.

## Wärmekapazität des Dewar-Gefäßes

Die Bestimmung der Wärmekapazität $C$ des Dewar-Gefäßes erfolgt anhand eines graphischen Verfahrens namens Zwickelabgleich aus den Messergebnissen des Mischungsversuchs. Es wurden Ergebnisse aus zwei Mischungsversuchen erzielt, welche im Folgenden ausgewertet werden.

Für den ersten Zwickelabgleich ergeben sich folgende Massen der leeren und befüllten Gefäße mit warmem und kaltem Wasser:

$$m_{\text{Dewar, leer, 1}} = 234{,}2\,\text{g}, \qquad m_{\text{Dewar, kalt, 1}} = 288{,}1\,\text{g},$$
$$m_{\text{Glas, leer, 1}} = 107{,}2\,\text{g}, \qquad m_{\text{Glas, warm, 1}} = 252{,}8\,\text{g}.$$

Aus diesen Messergebnissen lässt sich jeweils das reine Gewicht des kalten und warmen Wassers ermitteln:

$$m_{k,1} = m_{\text{Dewar, kalt, 1}} - m_{\text{Dewar, leer, 1}} = 53{,}9\,\text{g},$$
$$m_{w,1} = m_{\text{Glas, warm, 1}} - m_{\text{Glas, leer, 1}} = 145{,}6\,\text{g}.$$

Hierbei wird ein Messfehler von $\Delta m = 0{,}1$ g aufgrund der Auflösung der Waage geschätzt. Durch das doppelte Wiegen der leeren Gefäße inklusive des Inhaltes verdoppelt sich der Fehler für das kalte und warme Wasser auf $\Delta m_k = \Delta m_w = 0{,}2$ g.
Die Temperaturen des kalten und warmen Wassers beziehungsweise die Mischtemperatur werden über einen Zwickelabgleich bestimmt. Der Zwickelabgleich wird verwendet, um Ungenauigkeiten aufgrund des Wärmeverlustes an die Umgebung zu minimieren. Dafür wurde, wie bereits in der Versuchsdurchführung 2.1 beschrieben, die Temperatur des kalten und warmen Wassers für fünf Minuten erfasst. Die aufgenommenen Werte können gut durch eine händisch hinzugefügte Ausgleichsgerade approximiert werden.
Wie in Abbildung 2.4 zu sehen, lassen sich die Messpunkte des kalten Wassers durch die dunkelblaue Ausgleichsgerade und die Messpunkte des warmen Wassers durch die orange Ausgleichsgerade beschreiben.
Durch das Eingießen des warmen Wassers in das kalte Wasser im Dewar-Gefäß beginnt die

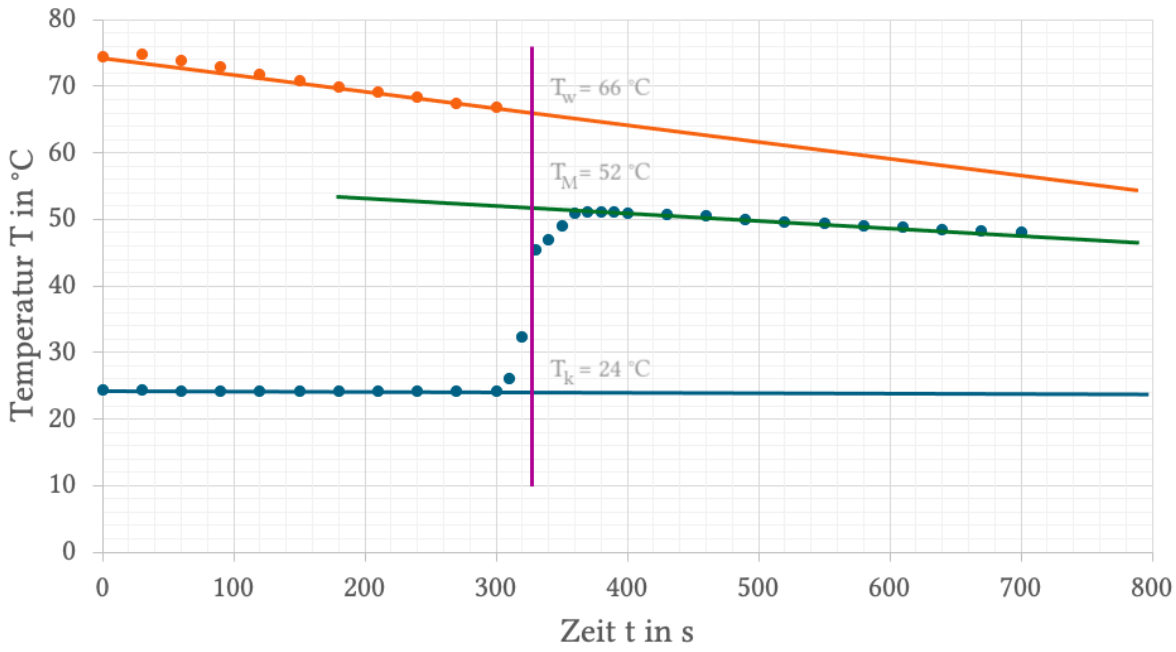



**Abb. 2.4:** Zwickelabgleich der ersten Messreihe.

Temperatur darin zu steigen. Dies zeigen die aufgenommenen Messpunkte deutlich. Nachdem sich eine Maximaltemperatur eingestellt hat, beginnt die Temperatur des Gemischs wieder zu sinken. Dies erfolgt graphisch nahezu linear, sodass die aufgenommenen Messpunkte der Mischung wiederum durch die grüne Ausgleichsgerade abgebildet werden können.
Anhand der Ausgleichsgeraden wird nun ein Zeitpunkt $t^*$ gesucht, bei welchem der Wärmeaustausch von kalter zu warmer Flüssigkeit abrupt passieren würde. Dieser ergibt sich, indem parallel zur $T-$Achse eine Gerade, in Abbildung 2.4 in Lila, durch die Messpunkte des Temperaturanstiegs gelegt wird, sodass die dabei entstehenden „dreieckigen Flächen“ gleich groß sind. Die Schnittpunkte der lilanen Geraden mit der dunkelblauen, grünen und orangen Ausgleichsgeraden ergeben dann die gesuchten Temperaturen $T_k$, $T_M$ und $T_w$ (Universität Augsburg SoSe 2025[a]).

Somit ergeben sich aus dem Zwickelabgleich der ersten Messdatenreihe folgende Temperaturen:

$$T_{w,1} = 66\,°\mathrm{C}, \qquad T_{M,1} = 52\,°\mathrm{C}, \qquad T_{k,1} = 24\,°\mathrm{C}.$$

Gleichermaßen wird mit den Messdaten für den zweiten Zwickelabgleich in Abbildung 2.5 vorgegangen.

Für den zweiten Zwickelabgleich ergeben sich folgende Massen der leeren und befüllten Gefäße mit warmem und kaltem Wasser:

$$m_{\text{Dewar, leer, 2}} = 234{,}3\ \text{g}, \qquad m_{\text{Dewar, kalt, 2}} = 285{,}1\ \text{g},$$
$$m_{\text{Glas, leer, 2}} = 105{,}9\ \text{g}, \qquad m_{\text{Glas, warm, 2}} = 259{,}2\ \text{g}.$$

Aus diesen Messergebnissen lässt sich jeweils das reine Gewicht des kalten und warmen Wassers ermitteln:

$$m_{k,2} = m_{\text{Dewar, kalt, 2}} - m_{\text{Dewar, leer, 2}} = 50{,}8\ \text{g},$$
$$m_{w,2} = m_{\text{Glas, warm, 2}} - m_{\text{Glas, leer, 2}} = 153{,}3\ \text{g}.$$

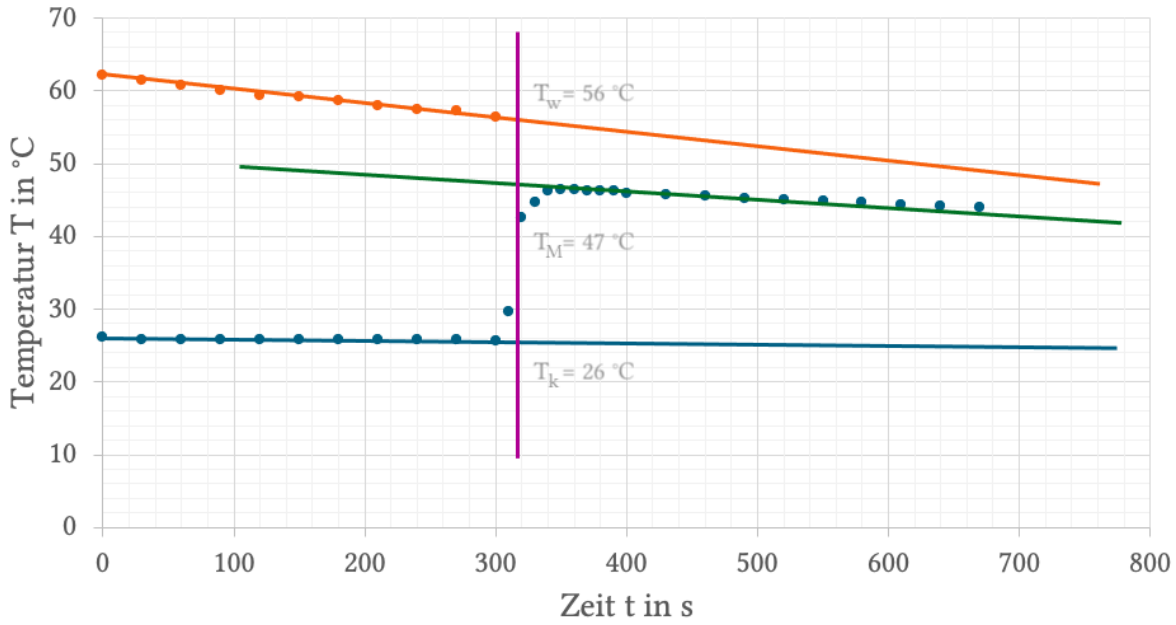



**Abb. 2.5:** Zwickelabgleich der zweiten Messreihe.

Daraus ergeben sich aus dem Zwickelabgleich der zweiten Messdatenreihe folgende Temperaturen:

$$T_{w,2} = 56\ °\text{C}, \qquad T_{M,2} = 47\ °\text{C}, \qquad T_{k,2} = 26\ °\text{C}.$$

Die aufgenommenen Messdaten für die beiden Zwickelabgleiche, aus welchen mittels Excel die Grafiken erstellt wurden, befinden sich im Anhang 3.
Für die Fehlerdiskussion wurde bewusst auf das Einzeichnen von Fehlergeraden zu den Ausgleichsgeraden verzichtet, da die durch mögliche Grenzgeraden dargestellten Fehler bei der vorherrschenden Skalierung so klein wären, dass es wenig sinnvoll wäre, so einen brauchbaren Fehlerwert zu finden. Deswegen wurde der mögliche Messfehler der Temperatur anhand der

Temperaturskala abgeschätzt. Das verwendete Thermometer gab die Temperatur zwar auf eine Nachkommastelle genau an, jedoch lässt sich anhand der Grafik des Zwickelabgleichs nunmehr schätzungsweise nur noch die volle Gradzahl der Temperatur ablesen, sodass im Folgenden von einem Fehler von $\Delta T = 0{,}5\,°\mathrm{C}$ ausgegangen wird.

Aus den berechneten Massen und Temperaturen des warmen und kalten Wassers beziehungsweise deren Mischtemperatur lässt sich nun die Wärmekapazität des Kaloriemeters über die Formel

$$C = \frac{m_w c_W (T_w - T_M)}{T_M - T_k} - m_k c_W,$$

mit der Wärmekapazität des Wassers $c_W = 4185\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}} = 4185\,\mathrm{J\,g^{-1}\,°C}$ bestimmen (Meschede 2010, S. 260). Da die Wärmekapazität des Wassers aus der Literatur stammt, wird angenommen, dass dieser Wert hinreichend genau bestimmt ist, dass hierfür kein weiterer Fehlerwert miteinbezogen werden muss.

Die Fehlerbetrachtung erfolgt über den Größtfehler

$$\begin{aligned}
\Delta C &= |\frac{\partial C}{\partial m_w}| \cdot \Delta m_w + |\frac{\partial C}{\partial m_k}| \cdot \Delta m_k + |\frac{\partial C}{\partial T_w}| \cdot \Delta T_w + |\frac{\partial C}{\partial T_M}| \cdot \Delta T_M + |\frac{\partial C}{\partial T_k}| \cdot \Delta T_k \\
&= \left|\frac{c_W (T_w - T_m)}{T_M - T_k}\right| \cdot \Delta m_w + |c_w| \cdot \Delta m_k + \left|\frac{m_w c_W}{T_M - T_k}\right| \cdot \Delta T_k \\
&+ \left|\frac{m_w c_W (T_w - T_k)}{(T_M - T_k)^2}\right| \cdot \Delta T_M + \left|\frac{m_w c_W (T_w - T_k)}{(T_M - T_k)^2}\right| \cdot \Delta T_k \\
&= c_w \cdot \Big(\frac{T_w - T_M}{T_M - T_k} \cdot \Delta m_w + \Delta m_k + \frac{m_w}{T_M - T_k} \cdot \Delta T_w + \frac{m_w (T_w - T_M}{(T_M - T_k)^2} \cdot \Delta T_M + \frac{m_w (T_w - T_M}{(T_M - T_k)^2} \cdot \Delta T_k\Big).
\end{aligned}$$

Durch das Einsetzen der oben ermittelten Werte in die Formeln zur Bestimmung der Wärmekapazität des Dewar-Gefäßes ergeben sich folgende Wärmekapazitäten für die unabhängig voneinander durchgeführten Zwickelabgleiche:

$$\begin{aligned}
C_1 &= (79096{,}5 \pm 23017{,}5)\ \mathrm{J\,g^{-1}} = (79{,}097 \pm 23{,}018)\ \mathrm{J\,kg^{-1}}, \\
C_2 &= (61818{,}4 \pm 29564{,}0)\ \mathrm{J\,g^{-1}} = (61{,}818 \pm 29{,}564)\ \mathrm{J\,kg^{-1}}.
\end{aligned}$$

Der Fehler beider Werte erscheint im ersten Moment relativ groß, jedoch resultiert dieser vor allem aus dem hoch angenommenen Fehler der Temperatur $\Delta T = 0{,}5\,°\mathrm{C}$ aufgrund der graphischen Ermittlung der Temperaturen aus dem Zwickelabgleich. Beide berechneten Wärmekapazitäten liegen somit innerhalb des Fehlerbereichs, sodass ein Mittelwert aus beiden für weitere Berechnungen gebildet wird:

$$\overline{C} = \frac{C_1 + C_2}{2} \pm \frac{\Delta C_1 + \Delta C_2}{2} = (70{,}458 \pm 26{,}291)\ \mathrm{J\,kg^{-1}}.$$

Mögliche systematische Fehlerquellen während des Versuches sind beispielsweise:

- Ungleichmäßiges Einschütten des warmen Wassers zum kalten Wasser ins Dewar-Gefäß kann trotz Rührens zu Verfälschungen führen, da sich aufgrund der zu großen Menge in kürzester Zeit die Temperatur schneller ändert.

- Das verwendete Kaloriemeter hat ungefähr eine Füllmenge von 300 mL, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich das warme und kalte Wasser auch bei händischem Umrühren gut vermischen lässt. Jedoch könnten Verfälschungen aufgrund von ungleichmäßigem Rühren verhindert werden, indem beispielsweise ein Dewar-Gefäß mit inkludiertem Magnetrührer verwendet wird.
- Das sekundengenaue Ablesen der Mischtemperatur im zehn Sekundenrhythmus war nicht immer genauestens möglich, da die Temperatur teilweise sehr schnell stieg.
- Die graphische Auswertung des Zwickelabgleiches gestaltet sich aufgrund der Skalierung der Temperatur auf der y-Achse als schwierig. Damit alle Ergebnisse in einem Diagramm Platz finden, macht die vorherrschende Skalierung das Ablesen der Temperaturen auf eine Nachkommastelle genau unmöglich, sodass die graphisch bestimmten Temperaturen für weitere Berechnungen ohne weitere Nachkommastelle herangezogen wurde. Dieses Problem ließe sich verhindern, indem die Ergebnisse beispielsweise nicht mit Excel, sondern mit einer anderen, genaueren Auswertungssoftware geplottet werden.

## Spezifische Kondensationswärme von Wasserdampf

Zur Bestimmung der spezifischen Kondensationswärme von Wasserdampf wurde zunächst die Temperatur des kalten Wassers im Dewar-Gefäßes und die Mischtemperatur durch das Einleitens des Wasserdampfes in das Kalorimeter mit dem kalten Wasser gleichermaßen wie im obigen Teilkapitels mittels eines Zwickelabgleichs bestimmt.

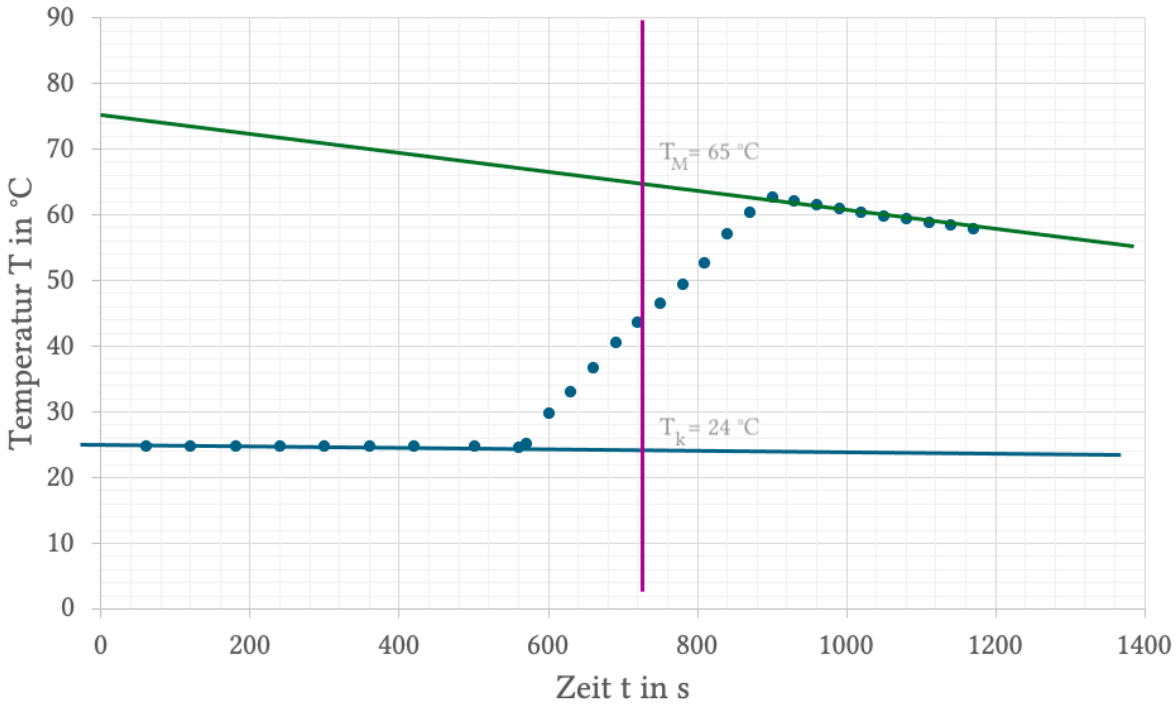



**Abb. 2.6:** Zwickelabgleich des Wasserdampfes.

Aus dem Zwickelabgleich des Dampfes, wie in Abbildung 2.6 zu sehen, ergeben sich folgende Temperaturen

$$T_M = 65\,^\circ\mathrm{C}, \qquad T_k = 25\,^\circ\mathrm{C}.$$

Weiterhin wird aufgrund des graphischen Zwickelabgleichs von einem möglichen Messfehler von $\Delta T_k = \Delta T_M = 0{,}5\,^\circ\mathrm{C}$ ausgegangen.
Für das leere, mit kaltem Wasser beziehungsweise mit der Dampfmischung befüllte Dewar-Gefäß ergeben sich folgende Massen:

$$m_{\text{Dewar, leer}} = 234{,}2\,\mathrm{g}, \qquad m_{\text{Dewar, kalt}} = 418{,}7\,\mathrm{g}, \qquad m_{\text{Dewar, Misch}} = 434{,}3\,\mathrm{g}.$$

Daraus lässt sich die reine Masse des kalten Wassers beziehungsweise die genaue Menge des eingeleiteten Wasserdampfes in das Kaloriemeters ermitteln:

$$\begin{aligned} m_k &= m_{\text{Dewar, kalt}} - m_{\text{Dewar, leer}} = 184{,}5\,\mathrm{g}, \\ m_D &= m_{\text{Dewar, Misch}} - m_{\text{Dewar, kalt}} = 15{,}6\,\mathrm{g}. \end{aligned}$$

Die Kondensationswärme von Wasser kann mittels der Formel

$$\Lambda_{sp,W} = \frac{(m_k c_W + C)(T_M - T_k)}{m_D} - c_W(T_D - T_M)$$

berechnet werden. Hierfür werden die bereits berechneten Werte für die Siedetemperatur des Wassers $T_D = (98,295 \pm 0,012)\ ^\circ\mathrm{C}$ aus dem ersten Teilkapitel und die Wärmekapazität des Dewar-Gefäßes $C = (70,458 \pm 26,291)\ \mathrm{J\,kg^{-1}}$ aus dem zweiten Teilkapitel benötigt.
Für die Fehlerbetrachtung wird der Größtfehler

$$\begin{aligned} \Delta\Lambda_{sp,W} &= \left|\frac{\partial \Lambda_{sp,W}}{\partial m_k}\right| \cdot \Delta m_k + \left|\frac{\partial \Lambda_{sp,W}}{\partial m_D}\right| \cdot \Delta m_D + \left|\frac{\partial \Lambda_{sp,W}}{\partial C}\right| \cdot \Delta C + \left|\frac{\partial \Lambda_{sp,W}}{\partial T_D}\right| \cdot \Delta T_D \\ &\quad + \left|\frac{\partial \Lambda_{sp,W}}{\partial T_M}\right| \cdot \Delta T_M + \left|\frac{\partial \Lambda_{sp,W}}{\partial T_k}\right| \cdot \Delta T_k \\ &= \frac{c_W(T_M - T_k)}{m_D} \cdot \Delta m_k + \frac{(m_k c_W + C)(T_M - T_k)}{m_D^2} \cdot \Delta m_D + \frac{(T_M - T_k)}{m_D} \cdot \Delta C + c_W \cdot \Delta T_D \\ &\quad + \left(\frac{m_k C_W + C}{m_d} + c_W\right) \cdot \Delta T_M + \frac{m_k c_W + C}{m_D} \cdot \Delta T_k \end{aligned}$$

herangezogen.
Durch das Einsetzen der oben genannten Werte in die obigen Formeln ergibt sich so insgesamt für die Kondensationswärme des Wassers

$$\Lambda_{sp,W} = (2021,14 \pm 153,413)\ \mathrm{J\,kg^{-1}}.$$

Mögliche Fehlerquellen hierbei sind:

- Das Rohr, aus welchem durch den Wasserabschneider der Wasserdampf in das Kaloriemeter geleitet wird, befindet sich dabei circa ein bis zwei Zentimeter tief im kalten Wasser. Dadurch entsteht ein erhöhter Druck von ungefähr 0,01 kPa pro Zentimeter unter der Wasseroberfläche, wenn man von der Abschätzung, dass 1 L Wasser = 1 kg entspricht, ausgeht. Die tatsächliche Tiefe des Röhrchens wurde nicht explizit verifiziert, sodass großzügig angenommen wird, dass sich das Rohr circa 1,5 cm unter der Wasseroberfläche befindet. Somit wäre die Auflösung der verwendeten Tabelle für den Siedepunkt des Wassers zu gering, um die Abweichung genau bestimmen zu können. Allerdings wirkt sich der Druckunterschied bei genauerer Betrachtung der Tabelle erst ab der zweiten Nachkommastelle aus, sodass sich ein Druckunterschied von 0,01 kPa als Fehler vernachlässigen lässt.
- Der Dampf aus dem Erlenmeyerkolben kondensiert teilweise bereits im Schlauch oder im Wasserabschneider. Dies führt dazu, dass eventuell eine zu niedrige Kondensationswärme im Kaloriemeter gemessen wird, da Wärme im Schlauch oder im Wasserabschneider verloren geht.
- Andererseits nimmt das untere Glasröhrchen des Wasserabschneiders über den Verlauf des Versuches die Wärme des Wasserdampfes auf, sodass das kalte Wasser im Dewar-Gefäß auch über das Glasrohr Wärme aufnehmen könnte.
- An den Schnittstellen des Schlauches mit dem Erlenmeyerkolben und am Wasserabschneider könnte Wasserdampf verloren gehen.

# Literatur


Bannwarth, Horst, Bruno Kremer und Andreas Schulz (2019). *Basiswissen Physik, Chemie Und Biochemie*. 4. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.

Joachim Herz Stiftung (2024). *Dampfdruck*. URL: https://www.leifiphysik.de/waermelehre/innere-energie-waermekapazitaet/ausblick/dampfdruck (besucht am 09. 12. 2024).

Meschede, Dieter (2010). *Gerthsen Physik*. 24. Aufl. Heidelberg: Springer.

MessCom GmbH (2024). *Betriebsanleitung Quecksilberbarometer Nach LAMBRECHT (604)*. URL: https://messcom.de/MESSCOM/MDO/pdfs/005_Druck/Quecksilber-Barometer%20604%20Bedienanl.pdf (besucht am 09. 12. 2024).

Tipler, Paul und Gene Mosca (2024). *Tipler Physik*. 9. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.

Universität Augsburg (SoSe 2025[a]). *Versuchsanleitung W1 - Elektrisches Wärmeäquivalent*.

– (SoSe 2025[b]). *Versuchsanleitung W3 - Kondensationswärme von Wasser*.

Walcher, Wilhelm (1994). *Praktikum Der Physik*. 7. Aufl. Stuttgart: B.G. Teubner.

# 3 Anhang

## Messergebnisse des ersten Mischungsversuchs

| Zeit $t$ in s | $T_k$ in °C | $T_w$ in °C | Zeit $t$ in s | $T_M$ in °C | Zeit $t$ in s | $T_M$ in °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 24,3 | 74,4 | 310 | 26,1 | 460 | 50,5 |
| 30 | 24,3 | 74,9 | 320 | 32,3 | 490 | 50,0 |
| 60 | 24,2 | 73,9 | 330 | 45,4 | 520 | 49,7 |
| 90 | 24,2 | 72,9 | 340 | 46,9 | 550 | 49,5 |
| 120 | 24,2 | 71,8 | 350 | 49,1 | 580 | 49,1 |
| 150 | 24,2 | 70,9 | 360 | 50,9 | 610 | 48,8 |
| 180 | 24,2 | 69,9 | 370 | 51,1 | 640 | 48,5 |
| 210 | 24,2 | 69,1 | 380 | 51,1 | 670 | 48,2 |
| 240 | 24,2 | 68,4 | 390 | 51,1 | 700 | 48,0 |
| 270 | 24,2 | 67,5 | 400 | 50,9 | | |
| 300 | 24,2 | 66,8 | 430 | 50,7 | | |

**Tabelle 3.1:** Messwerte des ersten Mischungsversuchs.

## Messergebnisse des zweiten Mischungsversuchs

| Zeit $t$ in s | $T_k$ in °C | $T_w$ in °C | Zeit $t$ in s | $T_M$ in °C | Zeit $t$ in s | $T_M$ in °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 26,1 | 62,1 | 310 | 29,6 | 460 | 45,5 |
| 30 | 25,9 | 61,4 | 320 | 42,5 | 490 | 45,2 |
| 60 | 25,9 | 60,8 | 330 | 44,6 | 520 | 45,0 |
| 90 | 25,9 | 60,1 | 340 | 46,3 | 550 | 44,8 |
| 120 | 25,9 | 59,4 | 350 | 46,4 | 580 | 44,7 |
| 150 | 25,9 | 59,2 | 360 | 46,4 | 610 | 44,4 |
| 180 | 25,9 | 58,6 | 370 | 46,3 | 640 | 44,2 |
| 210 | 25,9 | 58,0 | 380 | 46,3 | 670 | 43,9 |
| 240 | 25,9 | 57,5 | 390 | 46,2 | | |
| 270 | 25,9 | 57,2 | 400 | 45,9 | | |
| 300 | 25,7 | 56,4 | 430 | 45,8 | | |

**Tabelle 3.2:** Messwerte des zweiten Mischungsversuchs.

# Messergebnisse des Mischversuchs mit Dampf

| Zeit $t$ in s | $T$ in °C | Zeit $t$ in s | $T$ in °C |
|---|---|---|---|
| 60 | 24,8 | 750 | 46,5 |
| 120 | 24,8 | 780 | 49,4 |
| 180 | 24,8 | 810 | 52,7 |
| 240 | 24,8 | 840 | 57,1 |
| 300 | 24,8 | 870 | 60,4 |
| 360 | 24,8 | 900 | 62,7 |
| 420 | 24,8 | 930 | 62,2 |
| 500 | 24,9 | 960 | 61,5 |
| 560 | 24,7 | 990 | 61,0 |
| 570 | 25,3 | 1020 | 60,4 |
| 600 | 29,8 | 1050 | 59,8 |
| 630 | 33,0 | 1080 | 59,4 |
| 660 | 36,7 | 1110 | 58,9 |
| 690 | 40,5 | 1140 | 58,4 |
| 720 | 43,7 | 1170 | 57,9 |

**Tabelle 3.3:** Messwerte des Mischungsversuchs mit Dampf.

# Korrektionstabellen 1-3

## für Normal-Quecksilber-Barometer

## zu Bedienungsanleitung 03096.00

Tab. 1

**Umrechnung der bei der Temperatur t (° C) abgelesenen Barometerstände $b_t$ (mm QS oder mb) auf die Bezugstemperatur 0 (° C)**

| | Abgelesener Barometerstand $b_t$ in mm QS oder mb | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t (° C) | 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**

6

**Abb. 3.1:** Korrektionstabellen für Normal-Quecksilber-Barometer zu Bedingungsanleitung 03096.00 Seite 6.

Tab. 1

**Umrechnung der bei der Temperatur t (° C) abgelesenen Barometerstände $b_t$ (mm QS oder mb) auf die Bezugstemperatur 0 (° C)**

| | Abgelesener Barometerstand $b_t$ in mm QS oder mb | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t (° C) | 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**

7

**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) auf Normalschwere $g_n = 9{,}80665$ (m/s²)**
**a) wegen der geographischen Breite φ (°)**

| φ (°) | 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 (°) | 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 | +0,80 | +0,82 | +0,83 | +0,85 | +0,87 | +0,89 | +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 ≈ 45°33′ vom Barometerstand abzuziehen, im Bereich der Breitengrade von ≈45°33′ bis 90° zum Barometerstand zuzuzählen.**

8

**Abb. 3.3:** Korrektionstabellen für Normal-Quecksilber-Barometer zu Bedingungsanleitung 03096.00 Seite 8.

Tab. 2 b

**Umrechnung der ermittelten Barometerstände $b_0$ (mm QS oder mb) auf Normalschwere $g_n$ = 9,80665 (m/s²)**
**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.**

9

**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-$\phi$) 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-$\phi$) 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.**

10

**Abb. 3.5:** Korrektionstabellen für Normal-Quecksilber-Barometer zu Bedingungsanleitung 03096.00 Seite 10.

**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.

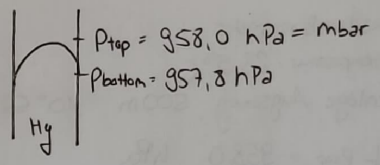
Versuch 1
Gruppe A06
07.05.2025

Raumtemperatur $T = 23{,}5\,°C$

Höhenlage 500 m

10° 52' östl. Länge

48° 21' nörd. Breite




**Temperaturkorrektur $K_T$**

$T = 23{,}5\,°C \approx 24\,°C$, $b_T \approx 960 \Rightarrow 4{,}13$ aus Tabelle

$b_{T,gem.} = 957 - 958 \xRightarrow{\text{Korrektur}} (4{,}13 \pm 0{,}01)$ mbar

Normalschwerekorrektur $K_{g_g}$

→ geogr. Breite 48° 21', $b_t \approx 960 \Rightarrow -0{,}39$

$b_{t,gem.} = 957 - 958 \xRightarrow{\text{Korrektur}} (-0{,}39 \pm 0{,}005)$ mbar

**Höhenkorrektur $K_{g_h}$**

→ geogr. Höhe 10° 52', $b_t \approx 950 \Rightarrow (0{,}09 \pm 0{,}0001)$ mbar

**Kapillardepressionskorrektur $K_K$**

Kuppenhöhe $958{,}0 - 957{,}8 = 0{,}2$ mbar $\Rightarrow (0{,}24 \pm 0{,}002)$ mbar

↳ Tabelle geht ab 0,4 los → verwende diesen

**Siedetemperatur des Wasser**

$p_{Bottom} - K_T - K_{g_h} + K_{g_g} + K_K$

$957{,}8 - 4{,}13 - 0{,}09 + 0{,}39 + 0{,}24 = 954{,}21$ mbar

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

$\Rightarrow p_{korr} = (954{,}21 \pm 0{,}0171)$ mbar $\hat{=} (95{,}421 \pm 0{,}00171)$ kPa

$\Rightarrow T_{siede} = (98{,}295 \pm 0{,}002)\,°C$

Versuch 2

Zwischenabgleich ①

Dewar $m_{leer} = 234{,}2\,g$

Dewar mit kaltem Wasser $m_{kalt} = 288{,}1\,g$

Warmes Wasser $m_{warm} = 252{,}8\,g$ $m_{Glas,leer} = 107{,}2\,g$

| Zeit t in s | $T_{kalt}$ in °C | $T_{warm}$ in °C |
|---|---|---|
| 0 | 24,3 | 74,4 |
| 30 | 24,3 | 74,9 |
| 60 | 24,2 | 73,9 |
| 90 | 24,2 | 72,9 |
| 120 | 24,2 | 71,8 |
| 150 | 24,2 | 70,9 |
| 180 | 24,2 | 69,9 |
| 210 | 24,2 | 69,1 |
| 240 | 24,2 | 68,4 |
| 270 | 24,2 | 67,5 |
| 300 | 24,2 | 66,8 |
| 310 | 26,1 | eingießen des warmen Wasser |
| 320 | 32,3 | |
| 330 | 45,4 | |
| 340 | 46,9 | |
| 350 | 49,1 | |
| 360 | 50,9 | $T_M$ |
| 370 | 51,1 | |
| 380 | 51,1 | |
| 390 | 51,1 | |
| 400 | 50,9 | |
| 30 | 50,7 | |
| 60 | 50,5 | |
| 90 | 50,0 | |
| 120 | 49,7 | |
| 150 | 49,5 | |
| 180 | 49,1 | |
| 210 | 48,8 | |
| 240 | 48,5 | |
| 270 | 48,2 | |
| 300 | 48,0 | |

## Zwickelabgleich (2)

Dewar $m_{leer}$ = 234,3 g

Dewar $m_{kalt}$ = 285,1 g

$m_{Glas,leer}$ = 105,9 g

$m_{Glas,warm}$ = 259,2 g

| Zeit t in s | $T_{kalt}$ in °C | $T_{warm}$ in °C |
|---|---|---|
| 0 | 26,1 | 62,1 |
| 30 | 25,9 | 61,4 |
| 60 | 25,9 | 60,8 |
| 90 | 25,9 | 60,1 |
| 120 | 25,9 | 59,4 |
| 150 | 25,9 | 59,2 |
| 180 | 25,9 | 58,6 |
| 210 | 25,9 | 58,0 |
| 240 | 25,9 | 57,5 |
| 270 | 25,9 | 57,2 |
| 300 | 25,7 | 56,4 |
| 310 | 29,6 | $T_M$ |
| 320 | 42,5 | |
| 330 | 44,6 | |
| 340 | 46,3 | |
| 350 | 46,4 | |
| 360 | 46,4 | |
| 370 | 46,3 | |
| 380 | 46,3 | |
| 390 | 46,2 | |
| 30 | 45,9 | |
| 60 | 45,8 | |
| 90 | 45,5 | |
| 120 | 45,2 | |
| 150 | 45,0 | |
| 180 | 44,8 | |
| 210 | 44,7 | |
| 240 | 44,4 | |
| 270 | 44,2 | |
| 300 | 43,9 | |

Versuch 3

| Zeit t in s | T in °C | |
|---|---|---|
| 60 | 24,8 | |
| 120 | 24,8 | |
| 180 | 24,8 | |
| 240 | 24,8 | $T_{kalt}$ |
| 300 | 24,8 | |
| 360 | 24,8 | |
| 420 | 24,8 | |
| 500 | 24,9 | |
| 560 | 24,7 | |
| 0 | 25,3 | |
| 30 | 29,8 | |
| 60 | 33,0 | |
| 90 | 36,7 | |
| 120 | 40,5 | $T_{lisch}$ |
| 150 | 43,7 | |
| 180 | 46,5 | |
| 210 | 49,4 | |
| 240 | 52,7 | |
| 270 | 57,1 | |
| 300 | 60,4 | |
| 30 | 62,7 | |
| 60 | 62,2 | |
| 90 | 61,5 | |
| 120 | 61,0 | |
| 150 | 60,4 | |
| 180 | 59,8 | |
| 210 | 59,4 | |
| 240 | 58,9 | |
| 270 | 58,4 | |
| 300 | 57,9 | |

$m_{Dewar, vorher} = 413,7\,g$

$m_{Dewar, nachher} = 434,3\,g$