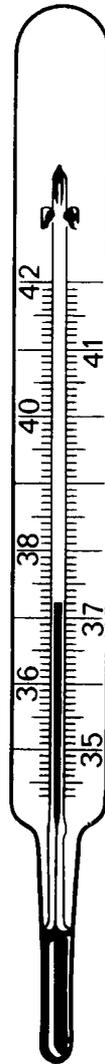


WÄRME



WÄR

WÄRME

Bei diesem Versuch bestimmen Sie die Umwandlungswärmen von Wasser. Über die Verdampfung von Wasser reguliert der Mensch den Wärmehaushalt seines Körpers. Daneben spielen weitere Mechanismen der Wärmeregulation eine Rolle (z.B. Wärmestrahlung).

Mit diesem einfachen Versuch sind keine Präzisionsmessungen möglich und beabsichtigt. Vielmehr sollen Sie an Hand des Versuchs das Umgehen mit physikalischen Größen der Wärmelehre lernen, die auch im Bereich der Medizin bzw. Biologie eine große Rolle spielen.

Am Ende des Versuchs können Sie mit Hilfe eines sogenannten Sekundenthermometers, wie es auch in der Medizin verwendet wird, die durch verdampfendes Chloräthyl (C_2H_5Cl) verursachte Temperaturänderung bestimmen. Chloräthyl wurde früher zur kurzfristigen lokalen Anästhesie benutzt.

Dieser Versuch soll soweit wie möglich während der Praktikumszeit ausgearbeitet werden.

Achtung: Die Unsicherheiten elektrischer Meßgeräte müssen hier berücksichtigt werden (siehe Kapitel 8 Fehlergrenzen).

1 Grundlagen des Versuchs

1.1 Ein einfaches Modell für das Verdampfen von Flüssigkeit

In einem festen Stoff sind die ihn zusammensetzenden Atome bzw. Moleküle weitestgehend unbeweglich; sie werden durch fest anziehende Kräfte zusammengehalten. Erhitzt man den Stoff, dann schmilzt er schließlich und wird flüssig. Die Atome bzw. Moleküle bewegen sich innerhalb der Flüssigkeit, sie haben eine gewisse Geschwindigkeit. Einige sind schneller als der Mittelwert der Geschwindigkeit aller Teilchen, andere langsamer. Es gibt immer einige Teilchen, die aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit in der Lage sind, die Flüssigkeitsoberfläche zu durchdringen und in den Raum über der Oberfläche einzutreten. Man sagt, daß die Flüssigkeit verdunstet.

Es ist wichtig sich zu merken, daß eine Flüssigkeit bei jeder Temperatur etwas verdunstet, allerdings um so mehr, je näher sich die Flüssigkeit dem Siedepunkt befindet.

Weil nur die schnellen Teilchen aus der Flüssigkeit austreten und die langsamen zurückbleiben, sinkt die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen in der Flüssigkeit. Das heißt aber gerade, daß die Temperatur der Flüssigkeit sinkt; die Flüssigkeit kühlt ab, wenn etwas verdunstet.

Ist das Volumen über der Flüssigkeitsoberfläche abgeschlossen, so wird irgendwann eine Sättigung des Dampfes über der Flüssigkeit erreicht. Das bedeutet, daß zwar noch immer schnellere Teilchen aus der Flüssigkeit austreten können, daß aber vom Dampfraum auch genausoviel Teilchen wieder zurück in die Flüssigkeit übergehen. Es ist dann ein dynamisches - Gleichgewicht vorhanden.

Beim Menschen wird durch Schwitzen, d.h. hauptsächlich Verdunsten von Wasser eine Abkühlung erreicht. In Gegenden mit sehr hoher gesättigter Luftfeuchtigkeit kann die auf der Körperoberfläche befindliche Flüssigkeit nicht bzw. kaum verdunsten. Die Wärmeregulation des menschlichen Körpers ist dann behindert.

Erhitzt man eine Flüssigkeit immer weiter, fängt sie schließlich an zu sieden. Sieden heißt, daß der Dampfdruck der aus der Flüssigkeit austretenden Teilchen über der Oberfläche gleich dem Außendruck ist. Der Siedepunkt hängt deswegen auch vom Außendruck ab. Anschaulich kann man aus dem Modell folgern, daß der Siedepunkt sinkt, je niedriger der Außendruck ist.

Am Siedepunkt verdampft die Flüssigkeit. Man sagt aber auch, daß Flüssigkeit verdampft, wenn sie sich noch nicht am Siedepunkt befindet. Verdampfen ist der Oberbegriff von Verdunsten und Sieden.

Wasser siedet bei Normalbedingungen definitionsgemäß bei 100°C ; Chloräthyl ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$) siedet schon bei 13°C . Helium siedet bei -269°C . Diese Angaben gelten für normalen Luftdruck von 1013hPa .

WÄR

1.2 Definition und Anwendung einiger Grundbegriffe der Wärmelehre

1.2.1 Temperatur

Zur Temperatur haben wir als Lebewesen schon eine konkrete Vorstellung. Wir können beurteilen - in gewissen Grenzen natürlich - was warm bzw. kalt bedeutet. Eine genaue quantitative Definition der Temperatur ist ziemlich schwierig. Hier genügt die Feststellung, daß die Temperatur des schmelzenden Eises mit 0°C (Grad Celsius) und die des siedenden Wasser mit 100°C festgelegt wurden. Bei -273°C liegt der absolute Tiefpunkt (Nullpunkt); es gibt keine tieferen Temperaturen.

Nimmt man diese Temperatur als Nullpunkt einer neuen Skala, der sogenannten Kelvin-Skala, dann entsprechen -273°C einer Temperatur von 0K (Kelvin, nicht Grad Kelvin); $0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$ und $100^{\circ}\text{C} = 373\text{K}$.

In den Vereinigten Staaten wird noch eine ganz "krumme" Temperatureinheit verwendet, nämlich $^{\circ}\text{F}$ (Grad Fahrenheit). Es gilt z.B. $37^{\circ}\text{C} = 98.6^{\circ}\text{F}$ und $0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$.

Zur Temperaturmessung gibt es sehr viele Möglichkeiten. Quecksilberthermometer (auch Hg-Fieberthermometer) nutzen aus, daß sich Quecksilber mit zunehmender Temperatur schneller ausdehnt als Glas. Sie sind aber nur in einem Temperaturbereich von ca. -30°C bis $+300^{\circ}\text{C}$ zu verwenden und sie sind ziemlich träge in der Anzeige.

Weniger träge sind die sogenannten Sekundenthermometer, die als Meßfühler häufig einen relativ kleinen und deshalb schnell zu erwärmenden Halbleiter (Diode, Widerstand) besitzen. Derartige Thermometer werden auch in der Medizin verwendet; sie sind mittlerweile kaum noch teurer als die bisher üblichen Hg-Thermometer.

1.2.2 Wärmemenge

Will man die Temperatur eines Körpers erhöhen (fest, flüssig oder gasförmig), muß man Energie zuführen. Um Wasser zu erwärmen, heizt man es elektrisch oder mit einer anderen Wärmequelle.

Im Bereich der Wärmelehre nennt man die Wärmeenergie auch Wärmemenge (Symbol Q).

Eine einem Körper zugeführte Wärmemenge Q ist der damit bewirkten Temperaturerhöhung ΔT proportional. Man kann schreiben

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

Die Proportionalitätskonstante C (**großes C**) heißt Wärmekapazität des Körpers.

Dividiert man die Wärmekapazität des Körpers durch seine Masse m , so erhält man die spezifische Wärmekapazität c (**kleines c**), häufig auch einfach spezifische Wärme genannt.

$$c = C/m$$

Die eben definierten Größen der Wärmelehre werden in bestimmten Einheiten angegeben. Eine Energie wird in Joule (J) bzw. Wattsekunden (Ws) angegeben. Konsequenterweise sollte man auch die Wärmemenge als eine Form der Energie in Joule benennen. Jedoch ist die Einheit Kalorien (cal) noch sehr gebräuchlich. Dies hat

historische Gründe; die spezifische Wärmekapazität c_w von Wasser ist nämlich gerade 1 cal/gK . Das wurde gerade so festgelegt.

Die Einheit Kalorie ist nach dem 31.12.1977 eigentlich nicht mehr zugelassen und wird durch die Einheit Joule ersetzt (Gesetz über Einheiten im Meßwesen von 1969). Es wird sicher eine Generation brauchen, bis sich Joule eingebürgert hat.

Der Umrechnungsfaktor von cal in J beträgt

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \approx 4,2 \text{ J}$$

Er wird auch mechanisches Wärmeäquivalent genannt. Sie sollten diesen Wert auswendig können. Näherungsweise bestimmen Sie ihn auch im Praktikum; eine präzise Bestimmung ist schwierig.

Mit diesem Umrechnungsfaktor gilt $c_w = 4,2 \text{ J/gK}$.

Die spezifische Wärmekapazität hängt etwas von der Temperatur ab; normalerweise gibt man sie für 20°C an.

Die spezifische Wärmekapazität c ist eine Stoffkonstante; sie ist unabhängig von der Masse des Körpers, mit dem sie bestimmt wurde. Die Wärmekapazität C hingegen bezieht sich auf eine bestimmte Masse.

So hat Gold zwar eine wesentlich geringere spezifische Wärmekapazität als Wasser ($c_{\text{Au}} = 0,13 \text{ J/gK}$); die Wärmekapazität von Gold ist aber wegen der hohen Dichte von Gold nicht um den gleichen Faktor geringer.

Die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser hat auch für den Menschen Bedeutung. Da er weitestgehend aus Wasser besteht, kann sich seine Temperatur nicht sehr schnell ändern.

Ein weiteres Beispiel ist die Wärmflasche, in der durch Verwendung von warmen Wasser relativ viel Wärmeenergie gespeichert werden kann.

1.2.3 Umwandlungswärmen

Erhitzt man eine Flüssigkeit bis zum Siedepunkt, muß man ständig Wärmeenergie zuführen, um die Temperatur zu erhöhen. Beim Siedepunkt selbst kann man der Flüssigkeit Wärmeenergie zuführen, ohne daß sich die Temperatur ändert. Allerdings verdampft die Flüssigkeit und vermindert sich.

Ein Beispiel, das Sie alle kennen, stellt siedendes Wasser auf einem Herd dar. Die Temperatur des siedenden Wassers steigt nicht über 100°C , obwohl ständig Energie zugeführt wird.

Die zugeführte Energie wird zur Überwindung intermolekularer Kräfte verbraucht; sie überführt ja das Wasser aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand, d.h. sie bewirkt eine Änderung des Aggregatzustandes. Diese, zur Änderung des Aggregatzustandes verbrauchte Energie heißt auch latente Wärme, da sie keine Temperaturänderung bewirkt.

Führt man beim Siedepunkt T_v die Wärmemenge Q_v zu und wird dadurch die Masse m des Stoffes verdampft, dann nennt man das Verhältnis

WÄR

$$\Lambda_v = Q_v/m$$

die spezifische Verdampfungswärme dieses Stoffes (Einheit J/g bzw. cal/g).
Für Wasser gilt z.B. bei 1013hPa und 100°C:

$$\Lambda_v = 2256 \text{ J/g}$$

Wasser liegt damit auch hier an der Spitze von Flüssigkeiten. Man braucht also ziemlich viel Energie, um Wasser zu verdampfen.

Schwitzt ein Mensch und verdunstet Wasser, so wird dem Körper relativ viel Wärmeenergie entzogen. Schwitzen ist also ein sehr wirksamer Prozeß. Mit Ventilatoren wird das Verdunsten noch beschleunigt. Die spezifische Verdunstungswärme - so definiert wie die spezifische Verdampfungswärme - ist etwas von der Temperatur abhängig; sie wird größer, je kleiner die Temperatur ist. Auch das Pusten zur Verminderung von Schmerzen bei kleinen Verletzungen kann man mit dem dadurch bedingten Wärmeentzug erklären.

Es gibt Flüssigkeiten, die schon bei niedrigerer Temperatur als Wasser sieden. Äthylchlorid bzw. Chloräthyl siedet beispielsweise schon bei 13°C und entzieht - auf die Haut getropft - der Hautoberfläche viel Wärme. Diese Abkühlung wurde früher zur lokalen Anästhesie benutzt, denn durch die Abkühlung wird die Schmerzempfindung herabgesetzt. Heute wird Chloräthyl nur mit Vorbehalten benutzt, da es auf der Haut Salzsäure bildet und Gewebsschädigungen hervorrufen kann.

Der Vorgang, bei dem Dampf in Flüssigkeit zurückverwandelt wird, heißt Kondensation. Es ist der umgekehrte Vorgang zum Verdampfen. Beim Kondensieren wird die gleiche Wärme als sog. Kondensationswärme frei, die zum Verdunsten der gleichen Masse des Stoffes gebraucht wurde. Man kann das vornehmer ausdrücken, indem man sagt, daß die spezifische Verdampfungswärme dem Betrag nach gleich der spezifischen Kondensationswärme ist.

Wegen der - natürlich ebenfalls - hohen Kondensationswärme von Wasser sind Verbrühungen mit Dampf von siedendem Wasser so gefährlich. Auch nur kurzfristiges in Berührung kommen mit heißem Dampf überträgt schon sehr große Wärmemengen, die von der Haut nicht schnell genug abgeführt werden können und daher zur Verbrennung führen.

Ganz analog zur spezifischen Verdampfungswärme wird die spezifische Schmelzwärme Λ_s definiert

$$\Lambda_s = Q_s/m$$

Führt man beim Schmelzpunkt T_s die Wärmemenge $Q_s = \Lambda_s \cdot m$ zu, dann schmilzt die Masse m .

Die spezifische Schmelzwärme von Wasser beträgt $\Lambda_s = 334 \text{ J/g}$.

2 Versuchsaufbau

Vorhanden sind: Haushaltsüblicher Tauchsieder (ca. 500W bzw. 1000W)

Hg-Thermometer (0°C bis 100°C)

elektronisches Thermometer (-50°C - 150°C)

elektronisches Fieberthermometer (32°C - 42°C)

*Unsicherheiten siehe beim
Versuch aushängende
Datenblätter*

Dewar 1 Liter (innen verspiegeltes Gefäß mit Vakuumisolierung)

Waage (Unsicherheit < 1 g)

Stoppuhr

Stelltransformator mit eingebautem Volt- und Amperemeter

ferner Eis, sowie einige Substanzen (Alkohol, Äther, Chloräthyl) zur Erzielung von Abkühlungseffekten

3 Aufgabenstellung

Bei diesem Versuch sollen drei grundlegende thermodynamische Größen von Wasser bestimmt werden:

1. spezifische Verdampfungswärme Λ_v
2. spezifische Wärmekapazität c_w
3. spezifische Schmelzwärme Λ_s

3.1 Spezifische Verdampfungswärme Λ_v

Die mit einem Tauchsieder erzeugte elektrische Energie E ergibt sich aus dem Produkt von Stromstärke I , Spannung U und der Zeit Δt

$$(1) \quad E = U \cdot I \cdot \Delta t$$

Der ins Wasser gesteckte Tauchsieder heizt zunächst das Wasser bis zum Sieden auf. Die weiter zugeführte elektrische Energie führt zum Verdampfen von Wasser ohne Temperaturänderung.

Ist m_v die Masse des verdampften Wassers, dann ist das Produkt $\Lambda_v \cdot m_v$ die Wärmemenge, die zum Verdampfen aufgebracht werden muß. Es gilt also

$$(2) \quad E = U \cdot I \cdot \Delta t = \Lambda_v \cdot m_v$$

Bei dieser Gleichung sind alle Größen außer Λ_v leicht meßbar, d.h. also Λ_v ist bestimmbar.

WÄR

Bei der vorstehenden Betrachtung wurden aber die unvermeidlichen Wärmeverluste nicht berücksichtigt. Das im Dewar befindliche, heiße Wasser strahlt Hitze nach außen ab; der Dewar selbst sowie der Tauchsieder werden mit erwärmt usw. Man kann diese nur schwer meßbaren und deshalb hier unbekanntenen Wärmeverluste durch etwas raffinierte Meßmethoden ermitteln bzw. versuchen, sie rechnerisch abzuschätzen. In der Fehlerbetrachtung zu den Experimenten sollen Sie den Einfluß solcher Faktoren entdecken, beschreiben und abschätzen.

3.1.1 Elektronisches Thermometer (Sekundenthermometer)

Mit dem elektronischen Thermometer können Temperaturen von -100°C bis $+199^{\circ}\text{C}$ mit einer Meßunsicherheit von $0,2^{\circ}\text{C}$ (± 1 digit) bestimmt werden. Die Anzeige ist digital (vgl. Abb.1).

Elektronische Fieberthermometer (siehe Abbildung auf dem Titelblatt dieses Versuchs) messen noch genauer. Ihre Meßunsicherheit beträgt $0,1^{\circ}\text{C}$ bis $0,15^{\circ}\text{C}$, der Meßbereich aber nur 32°C bis 42°C .

Elektronische Thermometer dieser Art haben meist ziemlich kleine Meßfühler, die aufgrund ihrer kleinen Wärmeträgheit schnell anzeigen. Man nennt sie deswegen auch Sekundenthermometer. Zur Sicherheit sollte man aber auch bei diesen Thermometern den Meßfühler in Flüssigkeit mindestens 10s an der zu messenden Stelle belassen. Bei Fieberthermometern werden 60 bis 90s empfohlen.



Abb.1:
Elektronisches Digitalthermometer

3.2 Spezifische Wärmekapazität c_w

Erwärmt man mit einem Tauchsieder eine Masse Wasser m von der Temperatur T_1 auf die Temperatur T_2 , so hat es die Wärmemenge

$$(3) \quad Q = m \cdot c_w \cdot (T_2 - T_1)$$

aufgenommen, die gleich der hineingesteckten elektrischen Energie sein muß, d.h.

$$(4) \quad U \cdot I \cdot \Delta t = m \cdot c_w \cdot (T_2 - T_1)$$

Hieraus läßt sich die spezifische Wärmekapazität c_w bestimmen, allerdings wegen der immer auftretenden Wärmeverluste nicht sehr genau.

3.3 Spezifische Schmelzwärme Λ_s

Steckt man Eis der Masse m_e und der Temperatur $T_e = 0^\circ\text{C}$ in ein Wasserbad der Masse m_w mit der Temperatur T_1 , so wird das Eis schmelzen und das Wasser sich abkühlen, bis eine Mischtemperatur T_m größer als 0°C erreicht ist. Dabei darf man nicht zuviel Eis nehmen, da sich sonst keine Mischtemperatur größer als 0°C einstellt. Die Temperatur des Eises soll nicht unter 0°C liegen, da die Eistemperatur dann schwer zu messen ist (Eis von 0°C ist leicht herstellbar, indem man nicht allzugroße Stücke so lange an Luft hält, bis das Eis tropft).

Die Wärmemenge Q_1 , die das Eis aufnimmt, ist zum einen gegeben durch das Schmelzen des Eises, zum anderen durch die Erwärmung des geschmolzenen Eises bis zur Mischtemperatur. Formelmäßig gilt

$$(5) \quad Q_1 = m_e \cdot \Lambda_s + m_e c_w (T_m - T_e)$$

Diese Wärmemenge muß gleich der vom Wasser abgegebenen Wärmemenge Q_2 sein, für die gilt

$$(6) \quad Q_2 = m_w c_w (T_1 - T_m)$$

Aus der Gleichsetzung von (5) und (6) ergibt sich

$$(7) \quad \Lambda_s = \frac{m_w}{m_e} c_w (T_1 - T_m) - c_w (T_m - T_e)$$

Die spezifische Schmelzwärme Λ_s läßt sich hieraus bestimmen, obwohl natürlich die nicht berücksichtigten Wärmeverluste eine Verfälschung bewirken werden. Durch geschickte Wahl der Parameter kann man diese Verluste aber klein halten.

4 Versuchsdurchführung

Verwenden Sie bitte im folgenden deionisiertes Wasser!!

Die Gefäße und Geräte verkalken dann nicht so schnell. Vor dem Einschalten des Stelltransformators drehen Sie bitte den Stellknopf an den Anfang bzw. auf Null zurück.

Der Tauchsieder darf grundsätzlich nicht ohne Wasser erhitzt werden. Insbesondere ist es auch nicht zulässig, den Tauchsieder in eingeschaltetem Zustand aus dem Wasser herauszuziehen o.ä.!

Nicht mit den Thermometern selbst rühren, insbesondere nicht Eis!!

4.1 Spezifische Verdampfungswärme Λ_v

Erhitzen Sie im Dewar eine geeignete Menge Wasser mit dem Tauchsieder bis zum Siedepunkt. Messen Sie die Siedetemperatur.

Ermitteln Sie für eine geeignete Zusammenstellung von Zeit, Spannung und Strom die verdampfte Menge Wasser m_v .

Der Versuchsteil ist direkt auf der Waage durchführbar.

Achten Sie auf Konstanz von Spannung und Strom während des Versuchs.

Wiederholen Sie diesen Vorgang mindestens noch viermal mit anderen Werten von Spannung, Strom und Zeit.

Überlegen und notieren Sie, welche Kombinationen sinnvoll sind und welche Fehler auftreten können.

Notieren Sie die Güteklassen von Spannungs- und Strommeßgerät.

Hinweis: Grobe Meßfehler sind z.B., wenn Sie während des Versuchs nicht umrühren oder das Thermometer direkt an den Tauchsieder stellen.

4.1.1 Messungen mit den elektronischen Thermometern

- a) Messen Sie mit dem elektronischen Thermometer (**nicht Fieberthermometer!**) die durch Äthylchlorid, Alkohol, Äther, Wasser (aber nicht Aceton; löst Kunststoffe auf) erzeugbare maximale Abkühlung, indem Sie die Flüssigkeit direkt auf den Meßfühlerspitze tropfen und gegebenenfalls noch pusten. Eventuell umwickeln Sie die Fühlerspitze mit etwas Kleenex und tropfen erneut (System Wadenwickel).

Insgesamt mit den Flüssigkeiten eher kleckern als klotzen.

freiwillig und auf eigene Gefahr: Probieren Sie den Abkühlungseffekt der genannten Substanzen auf Ihrer Haut aus.

Wenn Sie den Meßfühler des elektronischen Fieberthermometers zwischen Daumen und Zeigefinger halten, lassen sich die durch Rauchen einer Zigarette oder einen Schluck guten Alkohols (nicht aus dem Praktikum) verursachten Änderungen der Extremitätentemperatur messen. Bei Differenzmessungen dieser Art sind Temperaturunterschiede von $0,01^\circ\text{C}$ noch zu ermitteln.

- b) Prüfen Sie mit dem Metallmeßfühler, ob das elektronische Thermometer bei einer gut durchmischten Eis-Wasser-Mischung genau 0°C anzeigt und ob die Hg-Thermometer damit übereinstimmen.
- c) Messen Sie in einem warmen Wasserbad zwischen 32°C und 42°C mit dem elektronischen Thermometer, dem elektronischen Fieberthermometer und dem Hg-Thermometer die Temperatur.
Stimmen die drei Thermometer im Rahmen der Fehler überein? Diese Auswertung soll sofort im Praktikum vorgenommen und vom Betreuer testiert werden.

4.2 Spezifische Wärmekapazität c_w

Erwärmen Sie mit dem Tauchsieder eine Menge Wasser m von der Temperatur T_1 auf die Temperatur T_2 und messen die Zeit Δt , die dazu notwendig ist. Lesen Sie die Spannung und den Strom ab.

Wählen Sie die dabei vorkommenden Größen so, daß der Fehler bei der Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität aufgrund von Wärmeverlusten möglichst gering ausfällt. Wiederholen Sie die Messung für mindestens noch vier andere Spannungen.

4.3 Spezifische Schmelzwärme Λ_s

Gießen Sie eine geeignete Menge Wasser m_w mit günstiger Ausgangstemperatur T_1 in den Dewar und tun Sie eine geeignete Menge Eis m_e der Temperatur 0°C dazu. Es darf nicht zuviel Eis sein; die Mischtemperatur T_m muß deutlich über 0°C liegen, andererseits auch deutlich verschieden von T_1 sein.

Rühren Sie die Mischung mit Gefühl um und messen Sie die Mischtemperatur T_m gleich nachdem alles Eis geschmolzen ist. Die Masse m_e des hinzugegebenen Eises ermitteln Sie auf der Waage selbst.

Eis von 0°C erhält man, indem man das Eis eine gewisse Zeit bei Zimmertemperatur aufbewahrt, bis es tropft. Dieses Eis ohne Tropfwasser tut man dann in den Dewar.

Wiederholen Sie diese Messung mindestens noch viermal für andere Mengen von Wasser oder Eis.

4.4 Aktueller Luftdruck

Lesen Sie an dem im Praktikum befindlichen Quecksilberbarometer den tatsächlichen Luftdruck p_{tats} in mmHg (= Torr) ab.

WÄR

5 Auswertung

Achtung: Die Unsicherheiten elektrischer Meßgeräte müssen hier berücksichtigt werden (siehe Kapitel 8 Fehlergrenzen).

5.1 Spezifische Verdampfungswärme Λ_v

Berechnen Sie aus Gleichung (2) die spezifische Verdampfungswärme inklusive Fehler. Vergleichen Sie Ihre Werte untereinander und mit dem Literaturwert.

5.2 Spezifische Wärmekapazität c_w

Berechnen Sie aus Gleichung (4) die spezifische Wärmekapazität c_w inklusive Fehler. Vergleichen Sie Ihre Werte mit dem Literaturwert.

5.3 Spezifische Schmelzwärme Λ_s

Berechnen Sie aus Gleichung (7) die spezifische Schmelzwärme Λ_s inklusive Fehler. Vergleichen Sie Ihre Werte mit dem Literaturwert.

5.4 Luftdruck und Siedetemperatur

Rechnen Sie den tatsächlichen Luftdruck in hPa um.
Errechnen Sie aus der folgenden Formel den Siedepunkt:

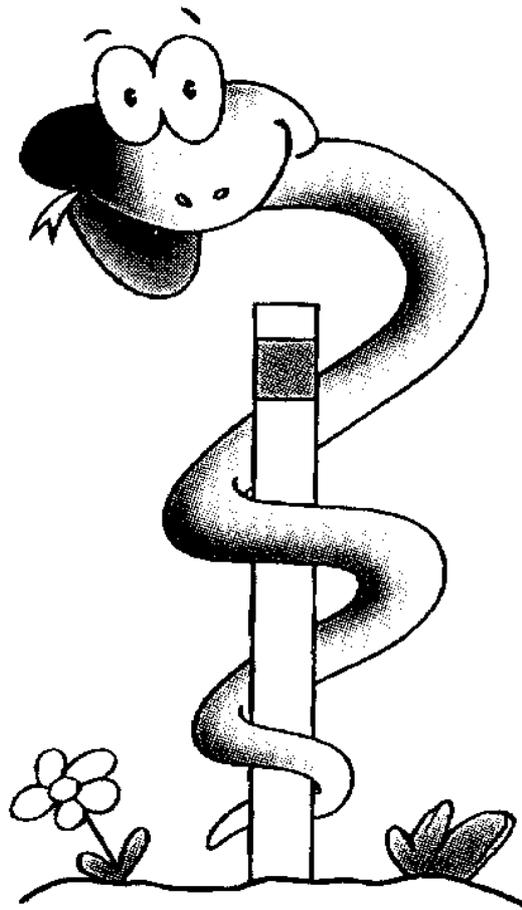
$$T = 57,0922 + 0,057307 \cdot p - 1,476 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 \quad (T \text{ in } ^\circ\text{C}; p \text{ in hPa})$$

Die Formel gilt im Bereich von $p = 700\text{hPa}$ bis 1100hPa mit einer maximalen Unsicherheit von $0,02^\circ\text{C}$.

Vergleichen Sie ihn mit ihrem Meßwert aus Punkt 4.1. Stimmen die Werte überein?

6 Aufgaben

- 1) 20g Wasser von 20°C werden mit 40g Wasser von 50°C ohne Wärmeverluste gemischt.
Wie groß ist die Temperatur der Mischung?
- 2) Welche Masse Gold hat die gleiche Wärmekapazität wie ein Liter Wasser? Welches Volumen in Liter würde das Gold einnehmen? ($\rho_{\text{Au}} = 19,3 \text{ g/cm}^3$)
- 3) Ein Topf kaltes Wasser (0°C) wird auf eine Heizplatte gesetzt; das Wasser kocht in 5 Minuten.
Wie lange dauert es, bis alles Wasser aus dem Topf verdampft ist?
- 4) Der Mensch erzeugt in Ruhe einen Grundumsatz von ca. 1200 cal/min.
 - a) Wieviel g/min Wasser müßte er verdunsten, wenn diese Wärmemenge nur durch Verdunsten von Wasser abgeführt würde?
 - b) Um wieviel Grad würde seine Temperatur in einer Stunde steigen, wenn er überhaupt keine Wärme abführen könnte? (Annahme, daß er ganz aus Wasser besteht; Masse ca. 75kg).
- 5) Luftbefeuchtungsanlagen, die aus einem Vorratsbehälter mit Wasser das verdunstende Wasser mit einem Ventilator in die Luft wirbeln, bewirken eine Erniedrigung der Raumtemperatur? Woher kommt das?
- 6) Bei Mac Donalds wird Coca-Cola (von Zimmertemperatur) häufig zur Hälfte mit Eis gemischt. Etwa welche Mischtemperatur wird sich einstellen? Weitere zur Berechnung wendige Größen selbst abschätzen. Diskutieren Sie das Ergebnis.
- 7) Die Messung einer physikalischen Größe sollte möglichst wenig vom verwendeten Meßinstrument beeinflusst werden. Taucht man ein kaltes Hg-Thermometer (15°C) in einen Meßzylinder, der 20ml Wasser von 30°C enthält, wird die Temperatur sinken. Um wieviel Grad sinkt die Temperatur, wenn das Hg-Thermometer einen Vorrat von 0,1cm³ Hg hat?
($c_{\text{Hg}} = 0,14 \text{ J/gK}$; $\rho_{\text{Hg}} = 13,5 \text{ g/cm}^3$)
- 8) Die ausgeatmete Luft des Menschen ist mit Wasserdampf gesättigt. Bei 37°C enthält ein Kubikmeter mit Wasserdampf gesättigte Luft 44g Wasser.
Welche Wärmemenge (in Joule und Kalorien) gibt der Wasserdampf der ausgeatmeten Luft bei einer Kondensation ab, wenn man von einem Volumen von 4 Litern ausgeht, das bei einem Atemzug ausgeatmet wird?



Ich habe Tiger das Pfeifen beigebracht.

Ich höre nicht, daß er pfeift.

Ich sagte, daß ich es ihm beigebracht habe, nicht daß er es gelernt hat!

TIGER

