

Spezifische Wärmekapazität von Wasser

Aufgabe

- Bestimmen Sie die spezifische Wärmekapazität von Wasser über den Anstieg der Temperatur bei konstanter Heizleistung.

1. Grundlagen

1.1. Temperatur

Die Einheit der Temperatur ist das *Grad Celsius* [°C]. 1°C ist der hundertste Teil der Temperaturdifferenz zwischen schmelzendem Eis und siedendem Wasser bei sog. Normal-Luftdruck.

Am Eispunkt von Wasser beträgt die Temperatur 0°C, am Siedepunkt 100°C (bei Normaldruck).

Als Buchstabensymbol für die in Celsiusgraden gemessene Temperatur soll das kleine griechische Theta, ϑ , verwendet werden, im Gegensatz zu T als Buchstabensymbol für die *absolute* Temperatur.

Einer Celsius-Temperatur von $\vartheta = x^\circ\text{C}$ entspricht demnach eine absolute Temperatur von

$$T = (x + 273,15) \text{ K.} \quad (\text{Gl. 1),}$$

für die Temperaturdifferenz gilt

$$\Delta T = \Delta \vartheta.$$

1.2 Spezifische Wärmekapazität

Um die Temperatur eines Körpers der Masse m um die Temperatur ΔT zu erhöhen, muss man ihm Energie zuführen. Häufig findet man den Begriff Wärmemenge. Wärme(menge) ist keine neue physikalische Größe, sondern nur ein anderes Wort für Energie.

Findet kein Phasenübergang statt, so ist die für einen Temperaturanstieg notwendige Wärmemenge ΔQ proportional zu ΔT und zur Masse m der vorhandenen Substanz:

$$\Delta Q = c m \Delta T \quad (\text{Gl. 2}) \quad c = \text{spezifische Wärmekapazität.}$$

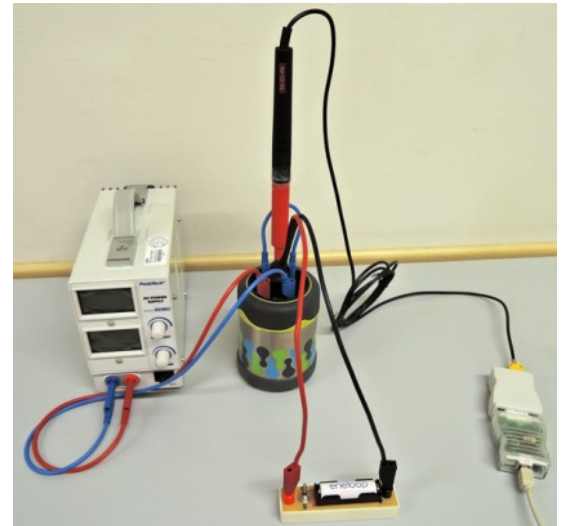
Sie gibt an, wie viel Energie (in J) einem Körper der Masse von einem Kilogramm zugeführt werden muss, damit sich die Temperatur um 1 K erhöht. Je größer c ist, umso mehr Energie braucht man für eine bestimmte Temperaturerhöhung.

c ist eine Stoffkonstante (Materialkonstante), d.h. sie ist charakteristisch für die Stoffart, aus welcher der homogene Körper besteht.

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser bei $T = 20^\circ\text{C}$ ist laut Literatur $c_w = 4,1868 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

Der sehr hohe Wert der Wärmekapazität von Wasser bedeutet, dass vergleichsweise viel Energie nötig ist, um Wasser zu erwärmen, das aber andererseits Wasser bei Abkühlung auch entsprechend große Energiemengen in Form von Wärme abgeben kann. (Unterschied von Land - Seeklima; Wasser als Wärmespeicher in Raumheizungen).

Gl.(2) gilt nur, solange sich der Aggregatzustand des Körpers nicht ändert.



Ab jetzt wollen wir auch Phasenübergänge berücksichtigen. Betrachten wir dazu einen festen Körper (z.B. Eis) mit der Masse m und der Anfangstemperatur T_A .

Dem Körper wird Energie zugeführt. Zuerst steigt die Temperatur linear mit der zugeführten Energie von der Anfangstemperatur T_A bis zur Temperatur T_S an, bei der der Körper zu schmelzen beginnt.

Der Anstieg der Kurve zwischen T_A und T_S ist durch die Größe c_f bestimmt, wobei c_f die spezifische Wärmekapazität des Körpers im festen Aggregatzustand ist.

Der Anstieg ist umgekehrt proportional zur spezifischen Wärmekapazität, d.h. je größer c_f ist, desto langsamer steigt die Temperatur bei stetiger Energiezufuhr an.

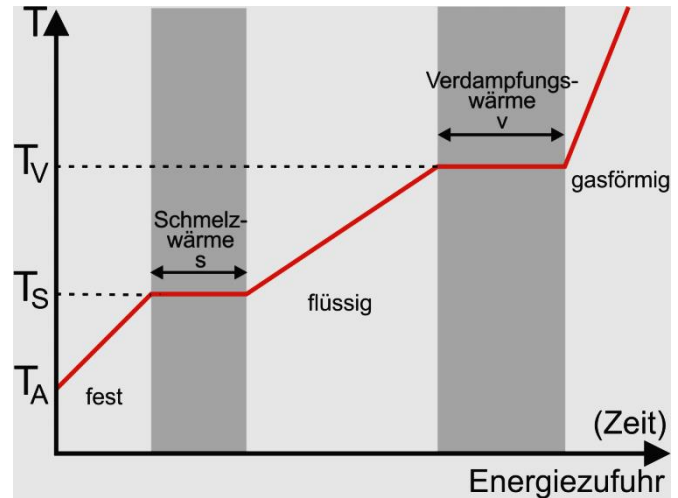
Führt man dem Körper nach Erreichen der Schmelztemperatur T_S weitere Energie zu, bleibt die Temperatur konstant gleich T_S und zwar solange, bis der ganze Körper geschmolzen, also in den flüssigen Aggregatzustand überführt worden ist. Dem entspricht in der Abbildung das waagerechte Kurvenstück.

Die Umwandlungswärmen sind definiert als:

- Schmelzwärme $\Delta Q_s = m \cdot \lambda_s$
- Verdampfungswärme $\Delta Q_v = m \cdot \lambda_v$

Für Wasser sind die spezifischen Umwandlungswärmen:

- Spezifische Schmelzwärme $\lambda_s = 333,5 \text{ kJ/kg}$
- Spezifische Verdampfungswärme $\lambda_v = 2257 \text{ kJ/kg}$.



Weitere Energiezufuhr bewirkt dann einen Temperaturanstieg nach Gl.2, wobei jetzt die spezifische Wärmekapazität c_{fl} der Flüssigkeit einzusetzen ist.

Für den festen und gasförmigen Aggregatzustand von Wasser ergeben sich:

- Eis (bei $0 \text{ }^\circ\text{C}$): $c_f = 2,1 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$
- Wasserdampf: $c_g = 1,8 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$.

Die Wärmekapazität ist temperaturabhängig und nimmt mit sinkender Temperatur ab.

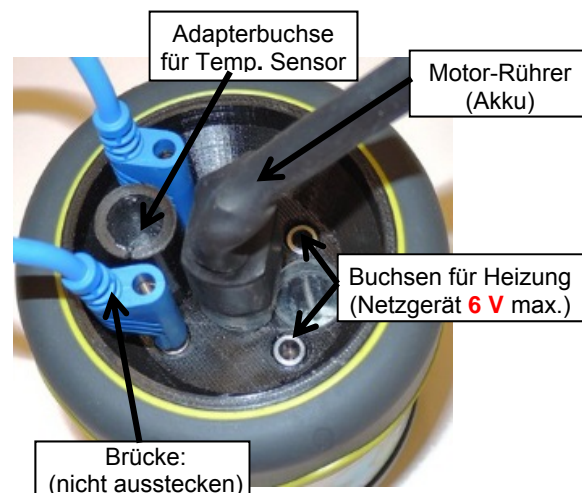
1.3 Kalorimetrie - Das Dewargefäß

Als Kalorimetrie (calor: lat. „die Wärme“) wird die Messung der Wärmemengen bezeichnet, die bei physikalischen, chemischen oder biologischen Vorgängen auftreten und sowohl endotherm (die Reaktion muss von außen Wärme aufnehmen) als auch exotherm (die Reaktion gibt nach außen Wärme ab) sein können. Ein Kalorimeter ist das dazu verwendete Messgerät.

Der Deckel ist mit einem elektrischen Rührer (akkubetrieben), einer Durchföhrung mit Adapter für einen Temperatursensor und den Anschlüssen für die Heizwendel (Netzgerät max. 6 V) bestückt.

Will man den Wärmeaustausch eines Stoffes mit seiner Umgebung weitgehend unterbinden, so müssen alle Transportvorgänge so gut wie möglich ausgeschaltet werden. Dies geschieht bei einem Dewar- oder Thermosgefäß auf überraschend einfache Weise:

Ein derartiges Gefäß besteht hier aus doppelwandigem Edelstahl. Um schließlich auch noch die Wärmestrahlung auf ein Minimum zu reduzieren sind die Wände eines Dewargefäßes mit einer reflektierenden Oberfläche versehen.



2. Versuchsbeschreibung

2.1 Wasser

Im ersten Versuchsteil wird einer bestimmten Wassermenge Wärmeenergie dadurch zugeführt, dass eine Drahtspirale im Wasser elektrisch beheizt wird. Auf diese Weise wird elektrische Energie vollständig in Wärmeenergie umgewandelt.

U ist die Spannung in Volt (**max. 6 V!!!**) zwischen den Enden der in Reihe geschalteten Spiralen (wichtig: die Brücke, wie im Bild oben beschrieben, **nicht** ausstecken), I der Strom durch die Spirale in Ampere und Δt die Zeit in Sekunden, während der der Strom fließt, so ist die dabei in Form von Wärme entstehende Energie in Joule (Wattsekunden):

$$\Delta W = U \cdot I \cdot \Delta t \quad (\text{Gl. 3})$$

Während des Versuchs bleibt die Heizleistung P (in Watt)

$$P = U \cdot I \quad (\text{Gl. 4})$$

konstant, die zugeführte Energie ist dann proportional zur Heizdauer Δt . Bei dem benutzten Netzgerät können Spannung U und Strom I direkt in Volt bzw. Ampere abgelesen werden.

Nach Einschalten des Netzgeräts wird die Zunahme der Wassertemperatur T in Abhängigkeit von der Heizdauer t über einen Zeitraum von 10 Minuten untersucht.

Beträgt die Heizdauer Δt , so wird dem Wasser im Kalorimeter die Energie

$$\Delta W = U \cdot I \cdot \Delta t \quad (\text{Gl. 5})$$

zugeführt.

Wenn die Wassertemperatur T gegen t aufgetragen wird, sollte sich eine Gerade ergeben. Das ist natürlich nur dann der Fall, wenn das Wasser während des Heizvorgangs mit dem Rührer ständig durchgemischt wird. Andernfalls treten plötzliche Temperatursprünge auf, die die Linearität des Temperaturanstiegs verfälschen.

Bis jetzt wurde die Vereinfachung angenommen, dass die gesamte, auf elektrischem Wege zugeführte, Energie $\Delta W = U \cdot I \cdot \Delta t$ ausschließlich dazu verwendet wird, die Temperatur der Wassermenge der Masse m um ΔT zu erhöhen.

Die Energie $\Delta W = U \cdot I \cdot \Delta t$ erhöht aber nicht nur die Temperatur des Wassers um ΔT , sondern ein Teil dieser Energie wird dazu verbraucht, um die Temperatur der Innenwand des Kalorimetergefäßes, des Rührers, des in das Wasser eintauchenden Teils des Thermometers um ΔT zu erhöhen. Dieser Teil ΔW_{Kal} von $\Delta W = U \cdot I \cdot \Delta t$ steht also nicht mehr zur Erhöhung der Wassertemperatur zur Verfügung.

C wird als Wärmekapazität oder Wasserwert des Kalorimetergefäßes bezeichnet. Die Einheit des Wasserwertes C ist J/K. (Sein Zahlenwert gibt an, wie viel Energie in Joule erforderlich ist, um die Temperatur des Kalorimeters um 1 Kelvin zu erhöhen.)

Wir müssen also in der Energiebilanz die Energie $\Delta W_{\text{Kal}} = C \cdot \Delta T$ berücksichtigen, die nicht zur Erhöhung der Wassertemperatur genutzt werden kann. Zur Erhöhung der Wassertemperatur um ΔT steht nur noch die Energie

$$\Delta W' = \Delta W - \Delta W_{\text{Kal}} = U \cdot I \cdot \Delta t - C \cdot \Delta T \quad (\text{Gl. 6})$$

zur Verfügung. Setzen wir $\Delta W'$ statt ΔW in Gl. 3 ein, so ergibt sich

$$c m \Delta T = U \cdot I \cdot \Delta t - C \cdot \Delta T \quad (\text{Gl. 7})$$

oder, wenn man $C \cdot \Delta T$ auf die andere Seite bringt:

$$(c m + C) \Delta T = U \cdot I \cdot \Delta t \quad (\text{Gl. 8})$$

Bei Betrachtung von Gl.8 sieht man, dass die Bezeichnung Wasserwert für die Wärmekapazität C des Kalorimeters eine durchaus anschauliche Bedeutung hat: C tritt in der Klammer als Summand zusätzlich zu dem Produkt aus Wassermasse m und c auf.

2.2 Eis

Im 2. Versuchsteil bestimmen Sie die Schmelzwärme von Eis. Dazu mischen Sie eine bestimmte Menge Eis bei 0°C mit Wasser und bestimmen über die Mischtemperatur die Schmelzwärme von Eis. Kalibrieren Sie vorher die Temperatursensoren mit Eiswasser und kochendem Wasser. Eis erhalten Sie von Ihrem Praktikumsbetreuer. Die gemessenen Temperaturwerte sollen nachträglich in der Auswertung mit Hilfe der Kalibrationsmessung korrigiert werden, falls signifikante Abweichungen bestehen.

3. Versuchsdurchführung

Teil 1 - Wasser

- ❖ Messen Sie mit Hilfe des Temperatursensors den Verlauf für Temperatur gegen Zeit, während Sie das Wasser erwärmen. Nutzen Sie destilliertes Wasser aus dem Behälter, dessen Masse Sie mit der Waage bestimmen.
- ❖ Die Wassertemperatur wird mit Hilfe des Temperatursensors erfasst. Schließen Sie dazu den Sensor an den Computer an, öffnen Sie das Programm CassyLab und aktivieren Sie den Sensor, indem Sie den entsprechenden Kanal anklicken (siehe hierzu auch die separate Anleitung zu CassyLab).
- ❖ Die Wassertemperatur soll jede volle Minute gemessen werden. Stellen Sie dies in den Eigenschaften des Temperatursensors in der Software CassyLab ein.
- ❖ Der Rührer (akkubetrieben) bleibt während der Messung eingeschaltet. Der Rührer dreht ganz langsam. Tippen Sie bei Startschwierigkeiten (warum?) das Blech leicht an.
- ❖ Warten Sie 1-2 Minuten, bis sich die Temperaturen im Isoliergefäß ausgeglichen haben.
- ❖ Die Versuchsdauer sollte ca. 10 Minuten betragen, ebenfalls einzustellen in der Software CassyLab. U und I für die Heizwendeln können Sie frei wählen (**min. 4 V - max. 6 V**), ein Temperaturanstieg sollte gut sichtbar sein.
- ❖ Spannung U und Strom I werden zu Beginn protokolliert und während des Versuchs gegebenenfalls nachgeregelt, so dass $U \cdot I$ während des Versuchs konstant bleibt (**Netzgerät, max. 6 V !!!**).

Teil 2 - Eis

Sie finden an Ihrem Messplatz Waagen, Messbecher, Thermometer und einen Wasserkocher. Von Ihrem Betreuer erhalten Sie Eis.

Mischen Sie zwei Wassermengen unterschiedlicher Temperatur (Eis, Wasser).

Danach bestimmen sie die Schmelzenergie von Eis.

- ❖ Kalibrieren Sie mit Eiswasser und mit kochendem Wasser das verwendete Thermometer.
- ❖ Erhitzen Sie destilliertes Wasser auf über 80°C (genaue Temperatur und Masse notieren).
- ❖ Nehmen Sie so viel Eis, dass die Masse des Eises etwas kleiner ist als die des Wassers.
- ❖ Dann mischen Sie das Wasser und das Eis. Notieren Sie die Mischtemperatur und bestimmen Sie daraus die Schmelzenergie des Eises.