

9 Thermodynamik

Temperatur und Wärme

Warum ist bei Brücken die Fahrbahn durch einen Eisenkamm unterbrochen? Die Antwort auf diese Frage und noch viel mehr Interessantes finden Sie in diesem Kapitel.



Quelle: [wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Expansion_joint.jpg)

Inhaltsverzeichnis

9	Thermodynamik	1
9.1	Temperatur und Wärme.....	3
9.1.1	Physikalische Definition der Temperatur.....	3
9.1.2	Physikalische Definition der Wärme	3
9.1.3	Wie macht man ein Thermometer?.....	4
9.1.4	Einheiten der Temperaturmessung	4
9.2	Feste Körper und Flüssigkeiten bei Änderung der Temperatur	7
9.2.1	Zunahme der Länge.....	7
9.2.2	Zunahme des Volumens.....	9
9.2.3	Änderung der Dichte	9
9.3	Die Speicherung von Wärme oder	10
9.3.1	...die Wärmekapazität C	10
9.3.2	... die spezifische Wärmekapazität c	10
9.4	Kalorimetrie... ..	12
9.4.1	...am Beispiel von Aluminium.....	12
9.5	Aggregatzustände und ihre Änderungen	14
9.5.1	Spezifische Verdampfungswärme.....	14
9.5.2	Spezifische Schmelzwärme	16
9.6	Experiment Bestimmung der Längenausdehnungszahl α verschiedener Feststoffe	18
9.7	Experiment Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium.....	20
9.8	Experiment Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis	21

9.1 Temperatur und Wärme

In den folgenden Abschnitten wollen wir den alltäglichen Begriffen der Temperatur und der Wärme auf den Zahn fühlen. Was ist das eigentlich “Temperatur“, was “Wärme“? Wir gebrauchen die beiden Begriffe ständig und meistens auch in gleicher Bedeutung: Täglich äussern wir uns darüber, ob wir nun heisses oder kaltes Wetter haben. Im Winter ziehen wir uns warm an. Beim Lesen eines Gruselromans überkommt uns zuweilen ein kaltes Schaudern. Alles hier genannte hat etwas mit Temperatur oder Wärme zu tun, wenn auch nicht immer im physikalischen Sinne.

In der Physik können wir es uns aber nicht leisten, mit den Begriffen so schwammig umzugehen. Wir müssen genau definieren, was mir mit “Temperatur“ respektive “Wärme“ meinen.

9.1.1 Physikalische Definition der Temperatur

Wie Sie bereits aus der Chemie wissen sollten, bestehen alle Stoffe aus kleinsten Teilchen. Je nachdem, ob es sich dabei um Elemente oder Verbindungen handelt, spricht man von Atomen, Molekülen oder Ionen. Eines haben diese Arten von kleinsten Teilchen aber gemeinsam: sie alle bewegen sich ständig in ungeordneter Weise. Man spricht auch von thermischer Bewegung. Als Mass für diese thermische Bewegung dient uns die Temperatur. Die Temperatur ist eine sogenannte thermodynamische Zustandsgrösse¹, die den Wärmezustand eines Stoffes beschreibt. Nach der statistischen Theorie der Thermodynamik ist

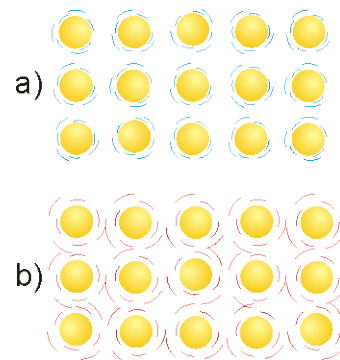


Abbildung 1 Die thermische Bewegung der kleinsten Teilchen steigt mit zunehmender Temperatur.



die Temperatur ein Mass für die mittlere kinetische Energie der Atome oder Moleküle eines Systems.



Als Symbol für die Temperatur werden uns das “ ϑ ” (Theta) und das “T” begegnen, je nach verwendeter Einheit.

Doch davon mehr in Abschnitt 9.1.4. Bewegen sich die kleinsten Teilchen langsam (Abbildung 1a), so ist die dazugehörige Temperatur tiefer, als wenn sie sich schnell bewegen (Abbildung 1b).

9.1.2 Physikalische Definition der Wärme

Bringt man zwei Körper unterschiedlicher Temperatur miteinander in Kontakt, so kommt ein Energiefluss vom Körper mit der höheren Temperatur zum Körper mit der niedrigeren Temperatur zustande. Die Temperatur des ersteren sinkt, diejenige des zweiten steigt dabei.



Wärme Q ist die aufgrund einer Temperaturdifferenz übertragene Energiemenge.

¹ Thermodynamischer Parameter, der den Zustand eines thermodynamischen Systems charakterisiert und von dessen Vorgeschichte unabhängig ist. Auch Druck und Volumen sind Zustandsgrössen.

Da es sich bei der Wärme um eine Energieform handelt, trägt auch sie die Einheit Joule:

$$[Q]=J. \quad (9.1)$$

Es gibt aber wesentliche qualitative Unterschiede zu den bereits bekannten mechanischen Energieformen: So lässt sich Wärme z.B. nicht mehr einfach komplett in andere Energieformen überführen.

9.1.3 Wie macht man ein Thermometer?

Grundsätzlich ist die Herstellung eines Thermometers nicht schwierig. Sehr viele machen sich die Tatsache zunutze, dass sich Materialien mit steigender Temperatur ausdehnen. Früher wurde als sich ausdehnende Flüssigkeit Quecksilber verwendet, welches in einer Glaskapillare aufstieg, wenn das Vorratsgefäss erhitzt wurde, wie das in Abbildung 2 dargestellt ist. Das Vorgehen zur Kalibrierung ist nun denkbar einfach: Man einigt sich auf zwei Fixpunkte in der Temperaturskala (z.B. Schmelzpunkt von Wasser und Siedepunkt von Wasser). Bei den entsprechenden Fixpunkten werden Markierungen auf dem Thermometer angebracht. Anschliessend muss man sich nur noch darüber einig werden, wieviele Einheiten man zwischen diesen beiden Fixpunkten haben will.

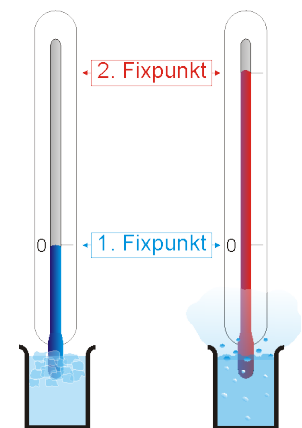


Abbildung 2 Festlegung von zwei Fixpunkten zur Temperaturmessung.

9.1.4 Einheiten der Temperaturmessung

9.1.4.1 Allgemein gebräuchliche Temperatureinheiten

Der Schwede Anders Celsius (1701 - 1744) verwendete als Fixpunkte den Schmelzpunkt von Wasser (Eispunkt) und den Siedepunkt von Wasser (Dampfunkt). Die Strecke zwischen den beiden Punkten teilte er durch 100. Es entstand die nach ihm benannte Celsius-Skala für die Temperatur. In der Celsius-Skala ist ein Grad als der 100ste Teil der Temperaturdifferenz zwischen Eispunkt (0 °C) und Dampfunkt (100 °C) von Wasser festgelegt.

In allen europäischen Staaten werden heute die Temperaturen in Celsius gemessen. In Amerika hingegen wird bis heute die sogenannte Fahrenheit Skala verwendet. Diese wurde vom Physiker Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 - 1736) aus Danzig entwickelt. In ihr wird der Gefrierpunkt des Wassers mit 32 °F und der Siedepunkt des Wassers mit 212 °F bezeichnet. Fahrenheit hatte damals als ersten Fixpunkt (0 °F) ein Gemisch aus Eis, Wasser und Salmiak (-17.8 °C) und als zweiten Fixpunkt (100 °F) die Körpertemperatur eines gesunden Menschen (35.6°C). In Abbildung 3 sind die beiden Temperaturskalen einander gegenübergestellt.

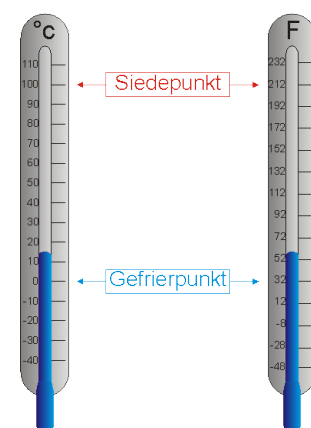


Abbildung 3 Vergleich der beiden Temperaturskalen Celsius und Fahrenheit.

9.1.4.2 Die Kelvin - Skala

Der Physiker Lord Kelvin schlug 1848 vor, den absoluten Nullpunkt ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) als null anzunehmen. Genau wie Celsius verwendete auch Kelvin die gleiche Einteilung zwischen Schmelztemperatur des Eises und Siedetemperatur des Wassers. Also liegt bei Kelvin der Eis – Schmelzpunkt bei 273 K. Eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin entspricht einer Temperaturdifferenz von 1°Celsius (Abbildung 4).

Die Kelvin Skala hat sich weltweit in der Wissenschaft durchgesetzt, weil sie auf physikalischen Gesetzmässigkeiten beruht. Man spricht auch von der absoluten Temperaturskala².

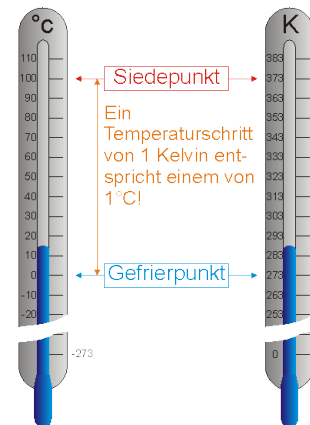


Abbildung 4 Vergleich der beiden Temperaturskalen Celsius und Kelvin.

Aufgabe Beantworten Sie die folgenden Fragen zu nebenstehendem Video.

- Welche zwei Fixpunkte wurden für die Fahrenheit-Skala gemäss vieler Quellen verwendet?
- Was war die Todesursache von Daniel Gabriel Fahrenheits Eltern?
- Welche politische Position hatte Ole Romer inne, als er 1708 Fahrenheit traf?
- Wann entwickelte Romer seine Temperatureinheit und welche Fixpunkte verwendete er?
- Welche Temperaturen wies Fahrenheit seinen Fixpunkten zunächst zu?
- Welches war der Vorteil der Verwendung von Quecksilber als Thermometerflüssigkeit durch Fahrenheit anstelle des damals verwendeten Alkohols?
- Was ist das Problem mit der Aussage, dass 0° Fahrenheit der Temperatur eines Salz-Eis-Wassergemisches entsprechen?



Moment! Anders Celsius soll nicht der Erfinder der gleichnamigen Temperaturskala sein? Dem müssen wir nachgehen!

Aufgabe Beantworten Sie die folgenden Fragen zu nebenstehendem Video.

- In welcher Stadt wohnte Anders Celsius und welche Funktion hatte er wo inne?
- Was war der Vorteil, den Siedepunkt von Wasser zu 0°C und den Gefrierpunkt zu 100°C zu setzen?
- Wer invertierte 1745 die von Celsius verwendete Temperaturskala?
- Wer benutzte schon 1743 die invertierte Celsius-Skala?



² Diese Einheit ist von der Thermometersubstanz unabhängig und beruht auf dem 2. und 3. Hauptsatz der Thermodynamik, basiert also auf physikalischen Gesetzen. Darauf werden wir dann später zurückkommen.

- Heutzutage werden nicht mehr die Phasenübergänge von Wasser zur Definition der Celsius-Skala verwendet. Wie wird sie heute definiert?

9.1.4.3 Temperaturumrechnungen

Damit Sie in der Physik rechnen können, müssen Sie in der Lage sein, Temperaturangaben ineinander umrechnen zu können. Die Tabelle 1 gibt ihnen dazu die Vorschriften.



Um die Temperaturangaben in Kelvin und Celsius unterscheidbar zu machen, gebraucht man das als Formelzeichen das ϑ für Angaben in Grad Celsius und das grosse T für Temperaturen in Kelvin.

Tabelle 1 Umrechnungsvorschriften für ausgewählte Temperatureinheiten

	Kelvin (K)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)
T_{Kelvin}	$= T_K$	$= (\{\vartheta\} + 273.15) K$	$= \left(\frac{(\{T_F\} + 459 \frac{2}{3})}{\frac{9}{5}} \right) K$
$\vartheta_{\text{Celsius}}$	$= (\{T_K\} - 273.15) ^\circ C$	$= \vartheta$	$= \left(\frac{(\{T_F\} - 32)}{\frac{9}{5}} \right) ^\circ C$
$T_{\text{Fahrenheit}}$	$= \left(\{T_K\} \cdot \frac{9}{5} - 459 \frac{2}{3} \right) ^\circ F$	$= \left(\{\vartheta\} \cdot \frac{9}{5} + 32 \right) ^\circ F$	$= T_F$

Beispiel Sie liegen krank im Bett und haben Fieber. Das Thermometer zeigt eine Temperatur von 39.8°C an. Was würde ein Fahrenheit-Thermometer anzeigen? Wie krank sind Sie in Kelvin?

Lösung: Wir wenden einfach die Umrechnungsformel aus Tabelle 1:

$$T = \left(39.8 \cdot \frac{9}{5} + 32 \right) ^\circ\text{F} = \underline{\underline{103.6^\circ\text{F}}}$$

In Kelvin beträgt die Körpertemperatur

$$T = (39.8 + 273.15) \text{K} = \underline{\underline{313\text{K}}}$$

9.2 Feste Körper und Flüssigkeiten bei Änderung der Temperatur

Wird eine Eisenkugel, welche gerade noch durch eine Öffnung passt mit dem Bunsenbrenner stark erhitzt, so passt sie anschliessend nicht mehr durch die Öffnung hindurch. Die Eisenkugel vergrössert ihr Volumen, wenn die Temperatur steigt. Diese Erscheinung können Sie bereits deuten: Mit zunehmender Temperatur steigt die Eigenbewegung der kleinsten Teilchen an, weshalb sie mehr Platz brauchen – das Volumen steigt.

Allgemein nimmt das Volumen von Stoffen mit steigender Temperatur zu. Es gibt nur wenige Ausnahmen (z.B. Gummi, Anomalie des Wassers).

9.2.1 Zunahme der Länge

Beschränkt man sich bei der Beobachtung in eine Dimension, so spricht man von Längenänderung. Misst man z.B. die Länge eines Eisenrohres als Funktion der Änderung der Temperatur, so stellt man fest, dass eine Zunahme der Temperatur von ϑ_0 auf $\vartheta_0 + \Delta\vartheta$ eine Zunahme der Länge von l_0 auf $l_0 + \Delta l$ zur Folge hat, wie das in Abbildung 5 gezeigt ist.

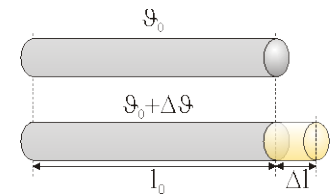


Abbildung 5 Längenausdehnung eines Feststoffes.

Betrachten wir zwei gleichlange Eisenstäbe mit der Anfangslänge l_0 , wie in Abbildung 6a) dargestellt, welche durch eine Temperaturzunahme um $\Delta\vartheta$ jeweils um Δl verlängert werden. Würde man die beiden Eisenstäbe hintereinanderlegen (Abbildung 6b), so wäre die gesamte Längenänderung $\Delta l + \Delta l = 2\Delta l$. Diese Längenänderung entspricht einer Anfangslänge von $l_0 + l_0 = 2l_0$. Offensichtlich ist die Längenänderung Δl proportional zur Anfangslänge l_0 .

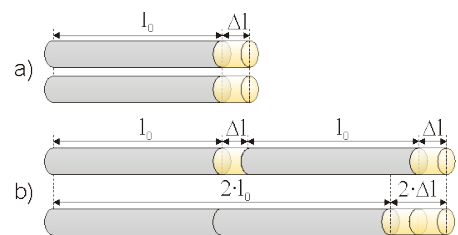


Abbildung 6 Zur Gesetzmässigkeit der Längenausdehnung.

Für moderate Temperaturänderungen zeigt sich ausserdem, dass Δl proportional zu $\Delta\vartheta$ ist. Die bisherigen Erkenntnisse lassen sich wie folgt darstellen



$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta\vartheta \quad [\alpha] = \frac{1}{^\circ\text{C}} \quad (9.2)$$

Der Proportionalitätsfaktor α heisst *Längenausdehnungszahl* oder *Längenausdehnungskoeffizient*. Er ist material- und temperaturabhängig!

Nachfolgende Tabelle zeigt einen kleinen Auszug der Längenausdehnungskoeffizienten fester Stoffe. Tabelle 2 gibt einen kleinen Überblick zu Längenausdehnungszahlen.

Tabelle 2 Einige Längenausdehnungszahlen von Feststoffen

Längenausdehnungskoeffizienten von Feststoffen α Gültig zwischen 0 - 100 °C [in $10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$]			
Aluminium	23.8	Granit	3 – 8
Bernstein	54	Harz	212
Chrom	6.6	Sandstein	7 – 12
Eisen	12.1	Teflon	60 – 100
Gold	14.3	Wolfram	4.3

Beispiel Ein 12m langer Stahlträger wird von 20°C auf 43°C erwärmt. Berechnen Sie seine Längenzunahme!

Lösung: Der Längenausdehnungskoeffizient von Stahl beträgt $\alpha = 11.7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$. Damit ergibt sich eine Längenänderung von

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta = 12\text{m} \cdot 11.7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (43^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = \underline{\underline{0.0032\text{m}}}$$

Das sind doch immerhin *3mm*.



Wichtig: Formel (9.2) darf nur in Richtung positiver Temperaturänderungen benutzt werden!

Hierzu ein

Beispiel Ein 12m langer Stahlträger wird von 43°C auf 0°C abgekühlt. Welche Länge besitzt er bei 0°C?

Lösung: Wir beantworten die Frage umgekehrt. Welche Anfangslänge l_0 muss der Stahlträger haben, damit er durch eine Temperaturzunahme von 0°C auf 43°C eine Endlänge von $l_1 = 12\text{m}$ erhält? Dazu schreiben wir Formel (9.2) zunächst aus

$$l_1 - l_0 = l_0 \cdot \alpha \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0)$$

und lösen nach l_0 auf

$$l_0 = \frac{l_1}{\alpha(\vartheta_1 - \vartheta_0) + 1} = \frac{12\text{m}}{11.7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (43^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) + 1} = \underline{\underline{11.994\text{m}}}$$

Aufgabe Finden Sie heraus, was Dehnungsfugen sind, welchen physikalischen Zweck sie erfüllen und notieren Sie sich mindestens 2 Anwendungsbeispiele!



Aufgabe Führen Sie das Experiment unter 9.6 durch. Der Zeitbedarf beträgt rund eine Lektion und die Durchführung kann nicht auf mehrere Lektionen aufgeteilt werden.

9.2.2 Zunahme des Volumens

Natürlich dehnen sich Feststoffe wie Flüssigkeiten in alle drei Raumrichtungen aus, vergrößern also ihr Volumen. Die Längenausdehnung wird dort gebraucht, wo der betrachtete Körper viel länger ist, als breit und hoch. Dies ist z.B. bei Hochspannungsleitungen, Brücken oder Eisenbahnschienen der Fall. Betrachtet man die Volumenänderung ΔV eines Festkörpers oder einer Flüssigkeit, so schreibt man halt einfach

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta \quad (9.3)$$

Dabei ist V_0 das Anfangsvolumen und γ die Volumenausdehnungszahl (Tabelle 3). Man kann zeigen, dass zwischen der Längenausdehnungszahl α und der Volumenausdehnungszahl γ bei Feststoffen der einfache Zusammenhang



$$\gamma \approx 3 \cdot \alpha \quad (9.4)$$

besteht. Dies ist umso wichtiger, als in Formelwerken aufgrund dieser Beziehung meistens nur die Längenausdehnungszahlen von Metallen tabelliert sind.

Tabelle 3 Einige Volumenausdehnungszahlen von Flüssigkeiten.

Volumenausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten γ Bei 20 °C [in $10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$]			
Propanon	149	Oktan	114
Ameisensäure	102	Salpetersäure	124
Benzin	106	Pyridin	112
Diethylether	162	Toluol	111
Ethanol	108	Wasser	20.7
Glykol	64	Xylol	98

Dem Problem von Längen- und Volumenänderung begegnen Sie überall: Fahrleitungen bei der Eisenbahn werden von beweglichen Gewichten immer straff gespannt, Brücken dehnen sich ebenfalls aus und ziehen sich zusammen – deshalb auch die Dehnungsfugen. Auch bei langen Wasserleitungen muss man dem Problem durch sogenannte Dehnungsbogen abhelfen.

Den Effekt der Längenänderung kann man auch nutzbar machen. Bimetalle gehören in diese Kategorie. Bimetalle bestehen aus zwei miteinander verbundenen, verschiedenen Metallen mit unterschiedlichem Längenausdehnungskoeffizienten. Wird ein solcher Bimetallstreifen erwärmt, so beginnt er sich zu krümmen. Diesen Effekt verwendet man z.B. im Bau von hitzeempfindlichen Schaltern.

Den Effekt der Längenänderung kann man auch nutzbar machen. Bimetalle gehören in diese Kategorie. Bimetalle bestehen aus zwei miteinander verbundenen, verschiedenen Metallen mit unterschiedlichem Längenausdehnungskoeffizienten. Wird ein solcher Bimetallstreifen erwärmt, so beginnt er sich zu krümmen. Diesen Effekt verwendet man z.B. im Bau von hitzeempfindlichen Schaltern.

9.2.3 Änderung der Dichte

Da sich die Masse bei der Ausdehnung nicht verändert, verändert sich aber bei Temperaturänderungen die Dichte eines Stoffes. Für diese gilt dann

$$\rho_{\vartheta} = \frac{m}{V_{\vartheta}} = \frac{m}{V_0 + \Delta V} = \frac{m}{V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta} = \frac{m}{V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta)} = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta} \quad (9.5)$$

9.3 Die Speicherung von Wärme oder ...

9.3.1 ...die Wärmekapazität C

Wird ein Körper erhitzt oder abgekühlt, also seine Temperatur erhöht oder erniedrigt, so fließt bei diesem Prozess Wärme Q zum Körper hin oder von ihm weg. Dabei nimmt die ungeordnete Teilchenbewegung im Körper zu beziehungsweise sie erniedrigt sich.

Nun ist es aber so, dass das fließen einer gegebenen Wärmemenge Q bei verschiedenen Körpern in der Regel auch eine unterschiedliche Temperaturänderung zur Folge hat, weil Stoffe die Wärme unterschiedlich gut speichern können, also eine unterschiedliche Kapazität dafür aufweisen. Deshalb nennt man diese Eigenschaft eben Wärmekapazität C . Sie gibt an, welche Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ eine Wärmemenge Q in einem Körper erzeugt:

$$C = \frac{Q}{\Delta\vartheta} = \frac{Q}{\Delta T}. \quad (9.6)$$

Die Einheit der Wärmekapazität ist

$$[C] = \frac{J}{^{\circ}C} \triangleq \frac{J}{K}. \quad (9.7)$$

Kurz zusammengefasst:



Die Wärmekapazität C ist die zum Erwärmen des Körpers um ein Kelvin oder ein Grad Celsius erforderliche Wärmemenge.

Je mehr Energie notwendig ist, um einen Körper um ein Grad Celsius zu erwärmen, umso besser kann er die Energie speichern.

Beispiel Die im Praktikum verwendeten Isolationsgefässe haben eine Wärmekapazität von $C_{\text{Gefäss}} = 157 \frac{J}{K} \triangleq 157 \frac{J}{^{\circ}C}$. Wie viel Energie wird benötigt, um bei einem solchen Gefäss die Temperatur um $25^{\circ}C$ zu erhöhen?

Lösung: Für die benötigte Energie gilt nach (9.6)

$$Q = C \cdot \Delta\vartheta = 157 \frac{J}{^{\circ}C} \cdot 25^{\circ}C = \underline{\underline{3925J}}$$

9.3.2 ... die spezifische Wärmekapazität c

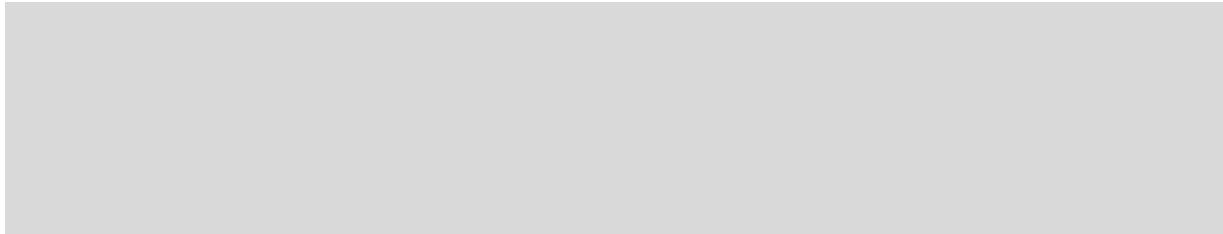
Betrachtet man reine Stoffe, so ergibt es Sinn, wenn man die Wärmekapazität auf die Masse bezieht. Diese



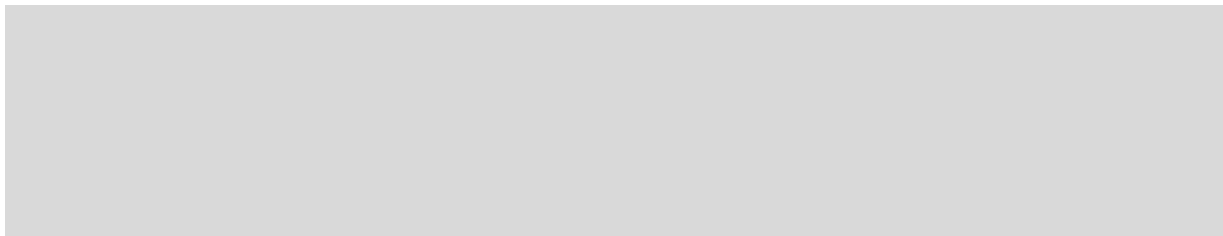
spezifische Wärmekapazität c gibt an, welche Energiemenge nötig ist, um ein Kilogramm eines Stoffes um ein Kelvin oder ein Grad Celsius zu erwärmen.

Aufgabe Suchen Sie sich Tabellen mit den spezifischen Wärmekapazitäten von Feststoffen und Flüssigkeiten in einer Übersicht.

Was fällt generell – bis auf wenige Ausnahmen – auf, wenn man die spezifischen Wärmekapazitäten von Feststoffen mit denjenigen von Flüssigkeiten bei gleichen Temperaturen vergleicht?



Woran könnte es liegen, dass die spezifische Wärmekapazität von Eis nur rund die Hälfte so gross ist wie diejenige von flüssigem Wasser?



Als Formel geschrieben ergibt der Merksatz von oben

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta \vartheta} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}. \quad (9.8)$$

Mit der Einheit

$$[c] = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta T]} = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta \vartheta]} = \frac{J}{kg \cdot K} = \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}. \quad (9.9)$$

Beispiel Um die Temperatur eines Aluminiumkörpers von 15°C auf 35°C zu erhöhen, wird eine Energie von 216 J benötigt. Berechnen Sie die Masse des Aluminiumkörpers.

Lösung Die spezifische Wärmekapazität von Aluminium beträgt $c_{Al} = 896 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$. Aus (9.8) folgt für die Energie

$$Q = c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot \Delta \vartheta$$

oder aufgelöst nach der gesuchten Masse

$$m_{Al} = \frac{Q}{c_{Al} \cdot \Delta\vartheta} = \frac{Q}{c_{Al} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0)} = \frac{216J}{896 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (35^\circ C - 15^\circ C)} = \underline{\underline{0.012kg}}$$

Aufgabe Die Anfangstemperatur von 150g Ethanol war 22°C. Berechnen Sie die Endtemperatur vom Alkohol, wenn eine Energie von 3240J zugeführt wurde.



9.4 Kalorimetrie...

...oder wie misst man spezifische Wärmekapazitäten? Für Flüssigkeiten bestehen diesbezüglich keine Schwierigkeiten. Man führt mit Hilfe z.B. eines Tauchsieders Energie zu, misst diese und die damit erreichte Temperaturzunahme – fertig. Bei Feststoffen muss man einen Umweg machen, wie mit dem folgenden Beispiel gezeigt werden soll. Das beschriebene Vorgehen ist dabei grundsätzlich auf jeden Festkörper anwendbar.

9.4.1 ...am Beispiel von Aluminium

Ein Körper der Masse m_{Al} aus Aluminium wird in einem Wasserbad auf die bekannte Anfangstemperatur $\vartheta_{Al,0}$ gebracht (Abbildung 7a). Normalerweise ist das die Siedetemperatur des Wassers ϑ_{Siede} , weil sich diese gut konstant halten lässt.

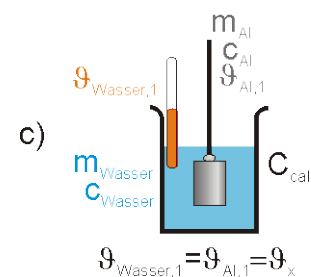
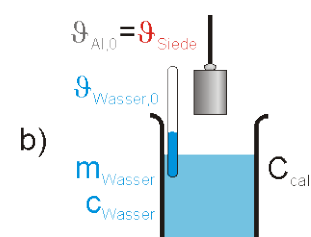
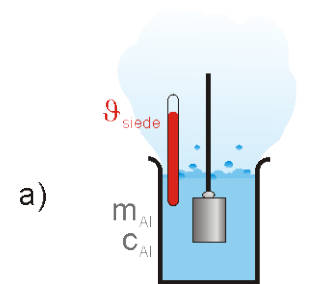


Abbildung 7 Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Feststoffen am Beispiel von Aluminium.

Anschliessend transferiert man den Körper in ein isoliertes Gefäss³ mit bekannter Wärmekapazität C_{Cal} , welches Wasser der Masse m_{Wasser} und der Temperatur $\vartheta_{Wasser,0}$ enthält (Abbildung 7b).

Es folgt ein Wärmeaustausch bei dem Energie vom Aluminium ins Wasser, ins Isolationsgefäss und ins Thermometer fliesst. Die Temperatur des Aluminiums sinkt, währendem die Temperaturen des Wassers und des Isolationsgefässes steigen.

Wartet man eine Weile, so stellt sich für alle beteiligten Körper und Stoffe die gleiche Mischtemperatur $\vartheta_{Wasser,1} = \vartheta_{Al,1} = \vartheta_x$ ein. Misst man diese, so kann die spezifische Wärmekapazität von Aluminium berechnet werden.

Man macht sich dabei zunutze, dass die gesamte vom Aluminium abgegebene Wärme vom Wasser und dem Isolationsgefäss wieder aufgenommen wird – es soll also keine Energie an die Umgebung abgegeben werden – die Energiesumme also null sein muss. Dann lautet die Wärmebilanz

$$Q_{Al} + Q_{Wasser} + Q_{Cal} = 0$$

respektive

$$c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot (\vartheta_{Al,1} - \vartheta_{Al,0}) + c_{Wasser} \cdot m_{Wasser} \cdot (\vartheta_{Wasser,1} - \vartheta_{Wasser,0}) + C_{Cal} \cdot (\vartheta_{Cal,1} - \vartheta_{Cal,0}) = 0 \quad (9.10)$$

Wir machen nun noch von der Tatsache Gebrauch, dass die Endtemperaturen vom Wasser und vom Aluminium gleich sind und benennen diese um: $\vartheta_{Wasser,1} = \vartheta_{Al,1} = \vartheta_x$. Es folgt somit aus (9.10)

$$c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot (\vartheta_x - \vartheta_{Al,0}) + c_{Wasser} \cdot m_{Wasser} \cdot (\vartheta_x - \vartheta_{Wasser,0}) + C_{Cal} \cdot (\vartheta_x - \vartheta_{Cal,0}) = 0 \quad (9.11)$$

Aus Gleichung (9.11) erhalten wir durch umformen dann für die gesuchte spezifische Wärmekapazität

$$c_{Al} = - \frac{(c_{Wasser} \cdot m_{Wasser} + C_{Cal}) \cdot (\vartheta_x - \vartheta_W)}{m_{Al} \cdot (\vartheta_x - \vartheta_{Al})} \quad (9.12)$$

Analog könnte man natürlich auch die Mischungstemperatur selbst berechnen, wenn man alle anderen Daten zur Verfügung hat.

Aufgabe Führen Sie das Experiment unter 9.7 durch. Der Zeitbedarf beträgt rund eine halbe Lektion und die Durchführung kann nicht auf mehrere Lektionen aufgeteilt werden.

³ Auch Kalorimeter genannt, deshalb die Indexbezeichnung "Cal".

9.5 Aggregatzustände und ihre Änderungen

Wie Sie bereits aus dem letzten Kapitel wissen, kommen Stoffe in drei Aggregatzuständen (Phasen) vor. Die Phasen unterscheiden sich dabei durch die innere Struktur des Stoffes voneinander und haben deshalb auch unterschiedliche Eigenschaften (Abbildung 8).

Phasenumwandlungen passieren bei für den betrachteten Stoff charakteristischen Temperaturen. Die Phasenumwandlung fest \leftrightarrow flüssig geschieht bei einer bestimmten (druckabhängigen) Temperatur, dem *Schmelzpunkt* ϑ_m . Umgekehrt erstarrt eine Flüssigkeit am Erstarrungspunkt ϑ_{err} . Es dabei $\vartheta_m = \vartheta_{err}$, weshalb in Tabellenwerken auch nur der Schmelzpunkt angegeben wird. Analog dazu nennt man die (stark druckabhängige) Temperatur, bei welcher der Phasenübergang flüssig \leftrightarrow gasförmig vonstattengeht, den *Siedepunkt* ϑ_b . Der Siedepunkt entspricht ebenfalls gerade dem Kondensationspunkt, an dem Dampf in den flüssigen Aggregatzustand wechselt.

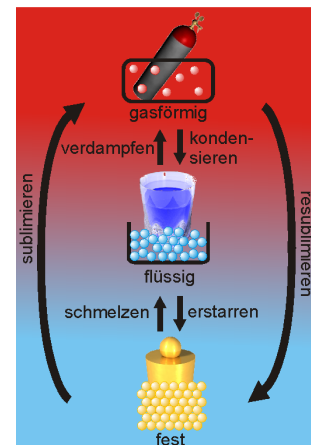


Abbildung 8 Aggregatzustände und ihre Änderungen.

9.5.1 Spezifische Verdampfungswärme

Sie haben vielleicht schon mal Wasser zum Sieden gebracht und festgestellt, dass man ständig Energie zuführen muss, damit das Wasser am Sieden bleibt. Die Temperatur des Wassers nimmt dabei aber nicht zu – die bleibt auf der Siedetemperatur stehen. Wo geht denn aber die zugeführte Energie hin? In den Dampf? Das kann nicht sein, hat dieser ja keine Verbindung mehr zur Pfanne und steht damit auch nicht mehr mit der Heizplatte in Kontakt (Abbildung 9). Es gibt nur eine Erklärung: der Phasenübergang selbst benötigt die Energie. Das leuchtet ein, müssen doch beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand die anziehenden zwischenmolekularen Kräfte vollständig überwunden werden!

In physikalischem Deutsch: Für die Phasenumwandlung flüssig \leftrightarrow gasförmig einer gegebenen Masse einer Flüssigkeit braucht es eine bestimmte Umwandlungswärme Q_b . Sie wird benötigt, um die zwischenmolekularen Kräfte zu überwinden, ohne die Bewegungsenergie der kleinsten Teilchen zu erhöhen. Man nennt sie Verdampfungswärme (Kondensationswärme). Falls man sie auf die Masse normiert, spricht man von der **SPEZIFISCHEN VERDAMPFUNGSWÄRME** L_v :

$$L_v = \frac{Q_v}{m} \quad (9.13)$$



Unter der spezifischen Verdampfungswärme L_v versteht man diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg eines flüssigen Stoffes am Siedepunkt vollständig zu verdampfen.



Abbildung 9 Was geschieht am Siedepunkt mit der zugeführten Wärme Q ?

Diese spezifischen Verdampfungswärmen können sehr gross sein. So beträgt sie für Wasser zum Beispiel $L_v = 2.25 \cdot 10^6 \frac{J}{kg}$. Zum Vergleich: Um ein Kilogramm Wasser von Raumtemperatur (20°C) auf Siedetemperatur zu bringen, werden lediglich $Q = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta \vartheta = 4182 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 1kg \cdot 80^\circ C = 334560J$ benötigt. Das ist rund 7-mal weniger! Kondensiert Wasserdampf, weil er z.B. mit der kühleren Haut in Berührung kommt, so werden entsprechend $2.25 \cdot 10^6 J$ pro Kilogramm wieder frei!

Und damit kommen wir zu einem wichtigen Punkt: Aus Energieerhaltungsgründen wird bei der Kondensation eines Gases wieder genauso viel Energie freigesetzt, wie ursprünglich für seine Verdampfung benötigt wurde:



Die spezifische Kondensationswärme L_{kond} entspricht der negativen spezifischen Verdampfungswärme L_v !

Beispiel Wie viel Kondensationswärme wird freigesetzt, wenn 2.5 kg Wasserdampf am Siedepunkt von 100°C kondensieren?

Lösung: Die spezifische Kondensationswärme beträgt $L_{k,H_2O} = -L_{v,H_2O} = -2.26 \cdot 10^6 \frac{J}{kg}$. Damit berechnet sich die gesuchte Wärmemenge nach (9.13) zu

$$Q_{\text{kond}} = L_{\text{kond},H_2O} \cdot m_{H_2O} = -L_{v,H_2O} \cdot m_{H_2O} = -2.26 \cdot 10^6 \frac{J}{kg} \cdot 2.5kg = \underline{\underline{-5.65 \cdot 10^6 J}}$$

Gerade bei Phasenübergängen ist es sehr wichtig, das korrekte Vorzeichen zu verwenden, weil es, anders als bei der Berechnung von Temperaturdifferenzen, nicht einfach automatisch korrekt erscheint.

Beispiel 15g Dampf m_{Dampf} der Temperatur $\vartheta_{\text{Siede}} = 100^\circ C$ werden in $m_{H_2O} = 500g$ Wasser der Temperatur $\vartheta_{0,H_2O} = 25^\circ C$ eingeleitet. Welche Mischtemperatur ϑ_{Misch} stellt sich ein?

Lösung: Wir stellen die Wärmebilanzgleichung auf. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Temperatur des vorhandenen Wassers steigt, der Dampf kondensiert und dass die Temperatur des daraus entstandenen Wassers noch sinkt.

$$Q_{\text{kond},H_2O} + Q_{\text{Kondensationswasser}} + Q_{H_2O} = 0.$$

Wir ersetzen durch die bekannten Terme und erhalten

$$\underbrace{L_{\text{kond},H_2O} \cdot m_{\text{Dampf}}}_{\text{Dampf kondensiert am Siedepunkt}} + \underbrace{c_{H_2O} \cdot m_{\text{Dampf}} \cdot (\vartheta_{\text{Misch}} - \vartheta_{\text{Siede}})}_{\text{Das Kondenswasser kühlt ab}} + \underbrace{c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (\vartheta_{\text{Misch}} - \vartheta_{0,H_2O})}_{\text{Das vorhandene Wasser wird erwärmt}} = 0.$$

Diesen Term löst man nach der gesuchten Mischtemperatur auf:

$$\vartheta_{\text{Misch}} = \frac{-L_{\text{kond,H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{H}_2\text{O}} m_{\text{Dampf}} \vartheta_{\text{Siede}} + c_{\text{H}_2\text{O}} m_{\text{Wasser}} \vartheta_{0,\text{H}_2\text{O}}}{c_{\text{H}_2\text{O}} (m_{\text{Dampf}} + m_{\text{H}_2\text{O}})}.$$

Nun machen wir Gebrauch von der Tatsache, dass $L_{\text{kond,H}_2\text{O}} = -L_{\text{v,H}_2\text{O}}$ ist und erhalten

$$\vartheta_{\text{Misch}} = \frac{-(-L_{\text{v,H}_2\text{O}}) \cdot m_{\text{Dampf}} + c_{\text{H}_2\text{O}} m_{\text{Dampf}} \vartheta_{\text{Siede}} + c_{\text{H}_2\text{O}} m_{\text{Wasser}} \vartheta_{0,\text{H}_2\text{O}}}{c_{\text{H}_2\text{O}} (m_{\text{Dampf}} + m_{\text{H}_2\text{O}})}.$$

Setzt man die angegebenen Werte noch korrekt ein, so bekommt man für die Mischtemperatur schliesslich $\vartheta_{\text{Misch}} = \underline{\underline{42.9^\circ\text{C}}}$.

9.5.2 Spezifische Schmelzwärme

Auch am Schmelzpunkt braucht es für die Phasenumwandlung fest \leftrightarrow flüssig eine bestimmte Umwandlungswärme Q_m . Sie wird benötigt, um die Moleküle, Atome oder Ionen von ihren Gitterplätzen zu trennen (Zerstörung der Gitterstruktur) ohne deren Bewegungsenergie zu erhöhen. Man nennt diese Wärme Schmelzwärme (Erstarrungswärme). Falls man sie auf die Masse normiert, spricht man von der **SPEZIFISCHEN SCHMELZWÄRME** L_m :

$$L_m = \frac{Q_m}{m} \quad (9.14)$$



Unter der spezifischen Schmelzwärme L_m versteht man diejenige Wärmemenge, die nötig ist, damit 1 kg eines festen Stoffes am Schmelzpunkt vollständig vom festen in den flüssigen Aggregatzustand überführt wird.

Da die Gitterkräfte viel kleiner sind als die zwischenmolekularen Kräfte, sind auch die spezifischen Schmelzwärmen kleiner als die entsprechenden spezifischen Verdampfungswärmen. Davon kann man sich durch einen Blick in ein Tabellenwerk schnell überzeugen.

Beispiel Wie viel Energie wird benötigt, um 2.5kg Eis an seinem Schmelzpunkt vollständig in Schmelzwasser zu überführen?

Lösung Die spezifische Schmelzwärme von Eis beträgt $L_m = 333500 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Die gesuchte Energie entspricht gerade der Schmelzwärme:

$$Q_m = L_m \cdot m = 333500 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 2.5\text{kg} = \underline{\underline{833750\text{J}}}$$

Natürlich wird die Schmelzwärme wieder frei, wenn eine Substanz den Aggregatzustand von flüssig nach fest ändert. Hierbei spricht man von Erstarrungswärme. Diese ist aus Energieerhaltungsgründen genau gleich gross wie die Schmelzwärme derselben Menge an Substanz.



Die spezifische Erstarrungswärme L_f entspricht der negativen spezifischen Schmelzwärme L_m !



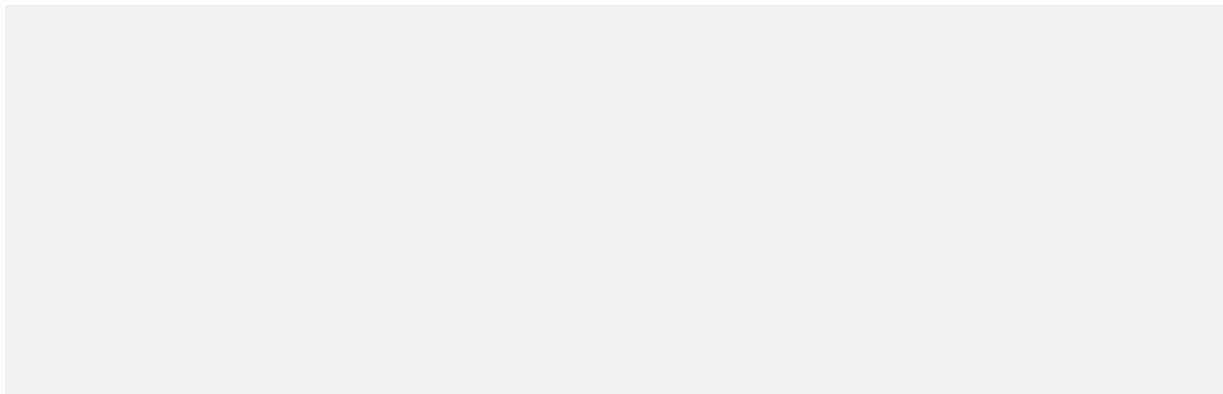
Achtung! Leider sind im Formelbuch die Erstarrungswärmen L_f nicht mit einem negativen Vorzeichen versehen! Sie müssen jeweils selbst für das korrekte Vorzeichen sorgen!



Aufgabe Einem auf -20°C gekühlten Eisblock mit einer Masse von 1kg wird kontinuierlich Wärme zugeführt, bis schlussendlich Dampf von 110°C entstanden ist. Erstellen Sie ein Temperatur-Wärme-Diagramm. Markieren Sie in diesem Diagramm die Phasen fest, flüssig und gasförmig. Beschriften sie die Temperatur der Phasenumwandlungen.

Benutzen Sie zur Umsetzung ein Computerprogramm ihrer Wahl!

Aufgabe Ein Eiswürfel mit einer Masse von $m_{\text{Eis}} = 5.8\text{g}$ und einer Temperatur von $\vartheta_{\text{Eis}} = -10^\circ\text{C}$ wird in einen Behälter ($C_{\text{Behälter}} = 120 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$) mit $m_{\text{H}_2\text{O}} = 250\text{g}$ Wasser mit der Temperatur $\vartheta_{\text{H}_2\text{O}} = 21^\circ\text{C}$ gegeben. Welche Mischtemperatur stellt sich ein? Hinweis: Es tauchen 5 Terme in der Wärmebilanzgleichung auf!



9.6 Experiment Bestimmung der Längenausdehnungszahl α verschiedener Feststoffe

Aufgabe

Bestimmen Sie die Längenausdehnungszahl α von Eisen, Messing oder Kupfer.

Material

- Brett zur Messung der Längenausdehnung
- Schlauch mit Schlauchklemme für Wassereinlass
- Schlauch für den Wasserauslass
- Wasserbecken
- 1 grosser Aluminiumbecher (2l) und 1 kleiner Aluminiumbecher (½l)
- Stativ mit Stativklemme
- Glastrichter
- Massband
- Thermometer

Durchführung (für ein Material)

- Messen Sie die Länge des Metallrohrs aus dem Material Ihrer Wahl (l_0) und notieren Sie sich den Wert in untenstehender Tabelle.
- Notieren Sie sich die Raumtemperatur (ϑ_0). Diese ist zugleich Ausgangstemperatur.
- Befestigen Sie Metallrohr auf dem Messbrett. Sorgen Sie dafür, dass die beiden Einkerbungen im Rohr auf den dafür vorgesehenen Fixierungen auf dem Messbrett zu liegen kommen. Klemmen Sie das Metallrohr fest.
- Befestigen Sie das eine Ende des braunen Schlauches mit der Klemme am festen Ende des Metallrohres. Das andere Ende wird vorsichtig über den Glastrichter geschoben und dieser mit der Stativklemme am Stativ befestigt.
- Am anderen Ende des Metallrohres wird der weisse Schlauch festgemacht und dessen Ende in das Wasserbecken gehängt.
- Klopfen Sie leicht in der Nähe des beweglichen Aluminiumschlittens auf das Brett, um die Apparatur zu entspannen. Stellen anschliessend das Längenmessgerät auf null ein (*Instruktion verlangen – Sie haften für Schäden*).
- Machen Sie sich nun vom Versuchsaufbau eine Skizze.
- Setzen Sie im grossen Aluminiumbecher etwa 2 Liter Wasser einer Temperatur um die 35 °C an und notieren Sie sich die Temperatur (ϑ_1).
- Lassen Sie nun dieses Wasser solange über den Trichter durch das Rohr laufen, bis sich die Anzeige für die Länge nicht mehr verändert (*leichtes Klopfen am Brett hilft, die Haftreibungskraft zu überwinden*). Notieren Sie sich den Endstand (Δl_1).
- Wiederholen Sie den letzten Schritt, indem Sie nun so heisses Wasser wie möglich durchlaufen lassen (ϑ_2). Notieren Sie sich den Endstand der Längenanzeige wieder (Δl_2).
- Berechnen sie aus den gemessenen Daten die Längenausdehnungszahl α für das Material Ihrer Wahl.

Auswertung

Material 1

Material	Anfangslänge [mm]	Anfangstemperatur
	$l_0=$	$\vartheta_0=$
Endtemperatur [°C]	Längenänderung [mm]	Längenausdehnungszahl [10^{-6} °C^{-1}]
$\vartheta_1=$	$\Delta l_1=$	$\alpha_1=$
$\vartheta_2=$	$\Delta l_2=$	$\alpha_2=$
Mittelwert		

Material 2

Material	Anfangslänge [mm]	Anfangstemperatur
	$l_0=$	$\vartheta_0=$
Endtemperatur [°C]	Längenänderung [mm]	Längenausdehnungszahl [10^{-6} °C^{-1}]
$\vartheta_1=$	$\Delta l_1=$	$\alpha_1=$
$\vartheta_2=$	$\Delta l_2=$	$\alpha_2=$
Mittelwert		

Resultat

Vergleichen Sie Ihr Resultat für die Längenausdehnungszahl mit dem entsprechenden Wert in der Literatur. Wie gut (in %) ist ihr Ergebnis (=relativer Fehler, verglichen mit dem Literaturwert)? Was sind die möglichen Gründe für eine vorhandene Abweichung?

9.7 Experiment Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium

Aufgabe

Mittels Kalorimetrie soll die spezifische Wärmekapazität von Aluminium bestimmt werden.

Material

- Isolationsgefäss
- Magnetrührer mit Magnetfisch
- Blechbehälter (für heisses Wasser)
- 2 Vernier Temperatursonden
- Vernier Interface
- Probekörper aus Aluminium

Vorbereitung

Legen Sie eine LoggerPro Datei an, welche entsprechend den Anforderungen lange genug misst. Es soll 2 mal pro Sekunde gemessen werden. Mittels LoggerPro sollen sowohl die Temperatur des Heisswassers wie auch der Temperaturverlauf des Wassers im Isolationsgefäss aufgezeichnet werden.

Durchführung

Hinweis: Überlegen Sie sich selber, welche Massen und Temperaturen während des Versuches zu bestimmen sind!

- Füllen Sie das Isolationsgefäss mit Wasser (der Probekörper muss nach dem Transfer gerade mit etwas Wasser bedeckt sein, es werden etwa 170g Wasser benötigt) aus der Kaltwasserleitung und stellen sie es auf den Magnetrührer.
- Füllen Sie Wasser aus der Heisswasserleitung in den Blechbehälter. Der Aluminiumkörper wird nun in diesen Blechbehälter transferiert und dadurch auf die Zieltemperatur gebracht. Lassen Sie der Natur dazu etwas Zeit. Messen Sie Temperatur unmittelbar vor dem Transfer!
- Transferieren Sie den Aluminium – Körper ins Isolationsgefäss. Warten Sie ab, bis der Temperatureausgleich vollständig ist (das ist leicht an der aufgezeichneten Temperaturkurve zu erkennen).

Auswertung und Diskussion

- Ermitteln Sie mittels der Statistikfunktion in LoggerPro die Anfangs- und die Endtemperatur des Wassers im Isolationsgefäss.
- Berechnen Sie aus den ermittelten und gemessenen Werten die spezifische Wärmekapazität von Aluminium! Dazu ist die Wärmebilanzgleichung aufzustellen und entsprechend aufzulösen.
- Wie gut ist das Ergebnis (relativer Fehler zum Theoriewert)? Wo liegen mögliche Fehlerquellen

9.8 Experiment Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis

Aufgabe

Mittels Kalorimetrie soll die spezifische Schmelzwärme L_f von Eis bestimmt werden. Die Theorie dazu finden sie im Abschnitt 9.5 und in zusammengefasster Form gleich anschliessend.

Theorie

Für den Phasenübergang fest→flüssig wird pro Masse für jeden Stoff eine spezifische Wärmemenge benötigt. Man nennt sie spezifische Schmelzwärme respektive spezifische Kristallisationswärme, falls der Phasenübergang in die andere Richtung abläuft. Während des Phasenübergangs selbst ändert sich die Temperatur nicht. Die am Phasenübergang beteiligte Energie bleibt also verborgen, weshalb man auch von latenter Wärme spricht.

Die spezifische Schmelzwärme wird mit Hilfe der Kalorimetrie bestimmt. Ein auf die Schmelztemperatur $\vartheta_{\text{Schmelz}}$ gebrachter Eiswürfel der Masse m_{Eis} , wird in ein mit Wasser der Temperatur $\vartheta_{\text{Wasser}}$ und der Masse m_{Wasser} , gefülltes Isolationsgefäss gebracht. Der Eiswürfel entzieht dem Wasser die für den Schmelzvorgang notwendige Energie, weshalb die Wassertemperatur sinkt:

$$Q_{\text{Schmelz,Eis}} + Q_{\text{Schmelzwasser}} + Q_{\text{Wasser}} + Q_{\text{Gefäss}} = 0$$

$$L_f \cdot m_{\text{Eis}} + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Eis}} \cdot (\vartheta_{\text{Misch}} - \vartheta_{\text{Schmelz,Eis}}) + c_{\text{Wasser}} \cdot m_{\text{Wasser}} \cdot (\vartheta_{\text{Misch}} - \vartheta_{\text{Wasser}}) + \underbrace{C_{\text{Gefäss}} \cdot (\vartheta_{\text{Misch}} - \vartheta_{\text{Wasser}})}_{\text{wird in der Auswertung vernachlässigt}} = 0$$

Der Gefässterm darf in der Auswertung vernachlässigt werden, weil nur ein sehr geringer Teil des Gefässes am Energieaustausch beteiligt sein wird.

Material

Isolationsgefäss
Thermometer

Magnetrührer
Magnetfisch

Filterpapier

Durchführung

Hinweis: überlegen Sie sich selber, welche Massen zu bestimmen sind!

- Füllen Sie das Isolationsgefäss etwa mit 140g Wasser mit einer Temperatur zwischen 22°C und 24°C und stellen sie es auf den Magnetrührer. Warten Sie, bis das Gefäss und das Wasser dieselbe Temperatur angenommen haben. Diese ist zu bestimmen.
- Entnehmen Sie der Styroporbox einen Eiswürfel und warten Sie, bis er rundherum angetaut ist (das Eis soll 0°C haben).
- Ein Filterpapier wird auf eine Waage gelegt und diese tariert. Anschliessend wird der angetaute Eiswürfel zunächst mit Papier getrocknet, dann auf das Filterpapier gelegt, und die Masse bestimmt. Nun ist der Eiswürfel **schnell** ins Isolationsgefäss zu transferieren! Die Masse des Filterpapiers mit Schmelzwasser wird ebenfalls bestimmt, um die Masse des Eises berechnen zu können.

- Notieren Sie die tiefste Temperatur, die beim Schmelzvorgang (dauert etwa eine Minute) des Eises zu messen ist.

Fragen

- Verstehen Sie das Auftauchen von $Q_{\text{Schmelz,Eis}}$ und $Q_{\text{Schmelzwasser}}$ in der Gleichung? Wofür stehen die beiden Angaben?
- Weshalb benötigt man das Filterpapier?
- Bestimmen Sie aus ihren Messwerten die spezifische Schmelzwärme von Eis und vergleichen Sie ihren Wert mit demjenigen aus der Formelsammlung.
- Was ist der Unterschied zwischen der spezifischen Schmelzwärme und der spezifischen Erstarrungswärme?
- Welche technischen Anwendungen hat die Latente Wärme im Alltag? Wo macht man sich diese zunutze?