

An welche Stichwörter von der letzten Vorlesung können Sie sich noch erinnern?

Temperatur

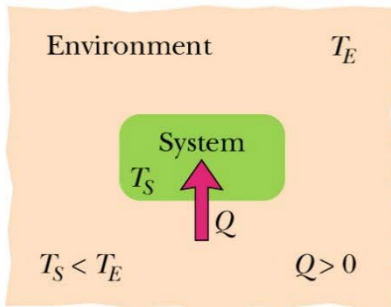
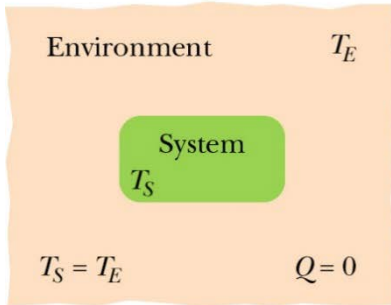
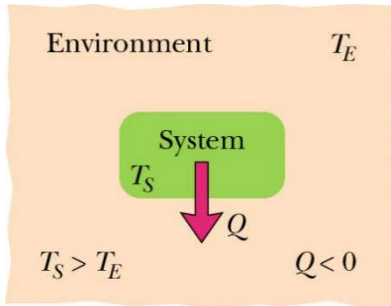
Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik:

Thermoskop und Thermometer

Kelvin, Celsius- und der Fahrenheit-Skala

Wärmeausdehnung

15.6 Temperatur und Wärme



Wenn ein Objekt eine höhere/tiefere Temperatur als die Zimmertemperatur besitzt, nimmt die Temperatur des Objekts zu/ab - zunächst schneller und später langsamer bis die Objekt-Temperatur gleich der Zimmertemperatur ist (beide befinden sich dann im thermischen Gleichgewicht).

Wir betrachten das Objekt als ein System (der Temperatur T_S), und den für den Vorgang wesentlichen Teil des Zimmers als die Umgebung (mit der Temperatur T_E) dieses Systems.

Sind T_S und T_E verschieden, so wird sich nach unserer Beobachtung die Temperatur T_S solange ändern, bis die beiden Temperaturen gleich sind und der Zustand des thermischen Gleichgewichts eingetreten ist. (Was ist mit T_E passiert?)

Eine solche Temperaturänderung beruht auf einer Energieübertragung zwischen der thermischen Energie des Systems und der thermischen Energie (WS14/15!) der Umgebung.

Die übertragene Energie bezeichnet man als Wärme, und sie wird mit Q bezeichnet.

15.6 Temperatur und Wärme

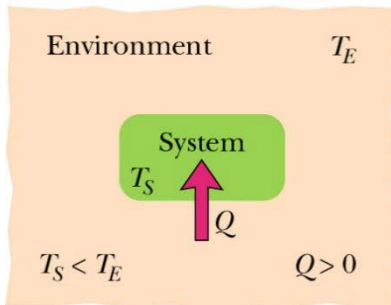
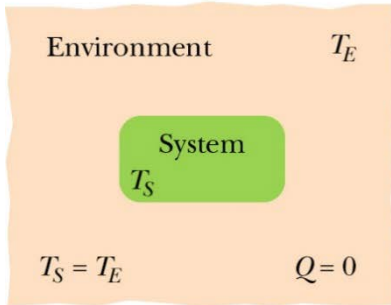
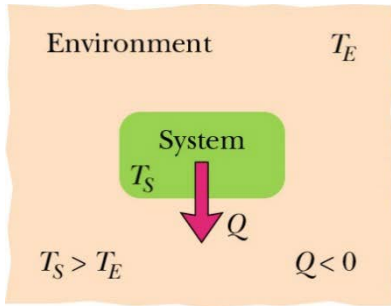
Die Wärme ist positiv, wenn Energie aus der Umgebung der inneren Energie eines Systems zugeführt wird (in diesem Fall spricht man auch davon, dass Energie aufgenommen wurde). Wärme ist negativ, wenn Energie von der inneren thermischen Energie des Systems an die Umgebung abgegeben wird.

Wärme ist die zwischen einem System und seiner Umgebung aufgrund eines Temperaturunterschieds ausgetauschte Energie.

Zwischen einem System und seiner Umgebung kann Energie auch in Form von Arbeit W übertragen werden, wenn nämlich auf das System eine Kraft wirkt, gegen die das System Arbeit verrichtet.

Anders als Temperatur, Druck oder Volumen sind Wärme und Arbeit keine intrinsischen Eigenschaften eines Systems. Sie haben nur insoweit eine Bedeutung, als mit ihnen eine Übertragung von Energie in das System oder aus dem System heraus beschrieben wird.

„Dieses System enthält 450 J Wärme“ oder „Dieses System enthält 385 J Arbeit“



Einheiten der Wärme

Kalorie: eine Kalorie (cal) definierte man früher als die Wärmemenge, die zur Erhöhung der Temperatur von 1 g Wasser von 14,5 °C auf 15,5 °C notwendig ist. Da es sich bei Wärme (wie bei Arbeit) um einen Energieübertrag handelt, wird die Einheit für Energie (keine Basiseinheit!) (Joule) als SI-Einheit für die Wärme übernommen. Eine Kalorie wurde (exakt) als 4,1860 J definiert, ohne Bezug auf die Erwärmung von Wasser.

Die im Zusammenhang mit der Ernährung verwendete „Kalorie“ (Cal) ist in Wirklichkeit eine Kilokalorie

$$1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal} = 4186,0 \text{ J}$$

15.7 Die Wärmeaufnahme bei Festkörpern und Flüssigkeiten

Die Wärmekapazität C eines Gegenstands ist die Proportionalitätskonstante zwischen der Wärme Q, die von dem Gegenstand aufgenommen oder abgegeben wird, und der Temperaturänderung ΔT dieses Gegenstands: $Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$

Die Wärmekapazität C hat die Einheit einer Energie pro Grad oder Energie pro Kelvin. Die Wärmekapazität C eines Gegenstandes kann beispielsweise 179 cal/°C betragen, was man auch als 179 cal/K oder als 749 J/K schreiben kann.

Die spezifische Wärme

Die Wärmekapazitäten zweier Gegenstände aus demselben Material - z. B. Stahl - sind proportional zu ihren Massen. Daher ist es nahe liegend, eine „Wärmekapazität pro Masse“ zu definieren: die spezifische Wärmekapazität (oder kurz spezifische Wärme) c . Sie bezieht sich nicht auf einen bestimmten Gegenstand, sondern auf das Material, aus dem dieser Gegenstand besteht.

$[c]=\text{J}/(\text{kgK})$ oder $[c]=\text{cal}/\text{g}^\circ\text{C}$

$$Q = cm\Delta T = cm(T_f - T_i)$$

Aus der ursprünglichen Definition der Kalorie ergibt sich für die spezifische Wärme von Wasser:

$$c_{\text{Wasser}} = 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) = 4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Die molare spezifische Wärme

In vielen Fällen ist es sinnvoll, die Menge einer Substanz durch das Mol (mol) anzugeben, wobei: $1 \text{ mol} = 6,022\,1415(10) \cdot 10^{23}$ Elementareinheiten (Atome, Moleküle) von jeder Substanz ist. 1 mol Aluminium besteht daher aus ca. $6 \cdot 10^{23}$ Atomen und 1 mol Aluminiumoxid entspricht ca. $6 \cdot 10^{23}$ Molekülen des Oxids.

Werden Mengen in Mol angegeben, müssen sich auch die spezifischen Wärmen auf das Mol beziehen; diese bezeichnet man als molare spezifische Wärmen.

Die spezifischen Wärmen einiger Substanzen bei Zimmertemperatur

Spezifische Wärme

cal/gK

J/kgK

Molare Spezifische Wärme

J/molK

Elementare Festkörper

Blei 0,0305 128 26,5

Silber 0,0564 236 25,5

Aluminium 0,215 900 24,4

Flüssigkeiten

Quecksilber 0,033 140

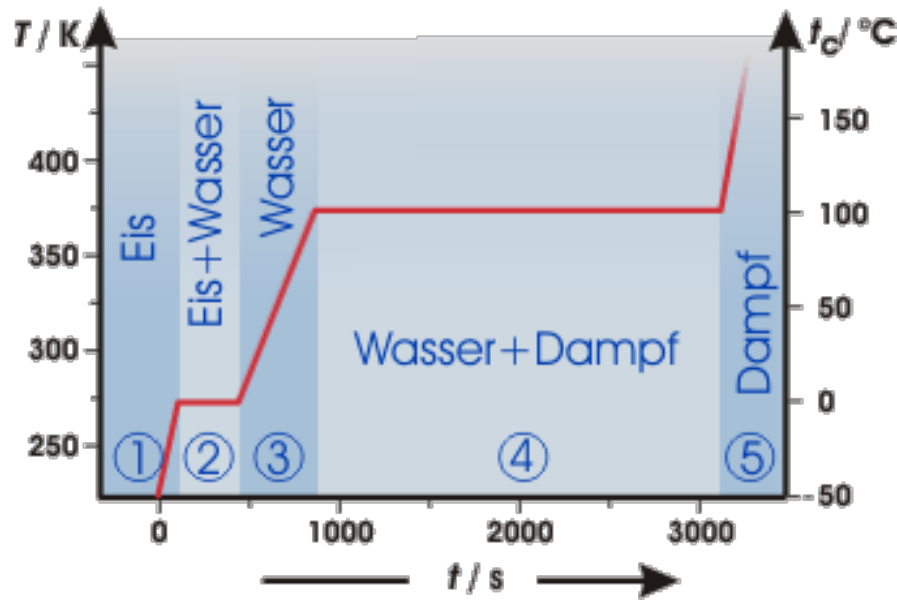
Ethylalkohol 0,58 2430

Meerwasser 0,93 3900

Wasser 1,00 4190

N.B. : wenn wir die spezifische Wärme einer Substanz messen bzw. mit ihr arbeiten, müssen wir wissen, unter welchen Bedingungen die Energie in Form von Wärme übertragen wird. Bei Festkörpern und Flüssigkeiten nehmen wir gewöhnlich an, dass sich die Probe bei der Energieübertragung unter konstantem Druck (meist Atmosphärendruck) befindet. Man könnte sich aber auch vorstellen, dass die Probe während der Energieaufnahme unter konstantem Volumen gehalten wird. In diesem Fall müsste die Wärmeausdehnung der Probe durch einen äußeren Druck unterbunden werden. Wie wir noch sehen werden, sind die Werte für die spezifischen Wärmen bei Gasen für die beiden Bedingungen (konstanter Druck bzw. konstantes Volumen) sehr verschieden.

Umwandlungswärmen



Wenn ein Festkörper oder eine Flüssigkeit Wärme aufnehmen, muss die Temperatur der Probe nicht notwendigerweise zunehmen.

Wärme verursacht Änderungen des Zustands der Probe?

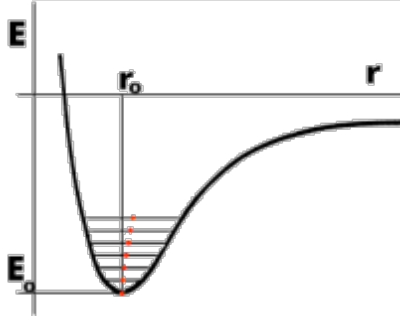
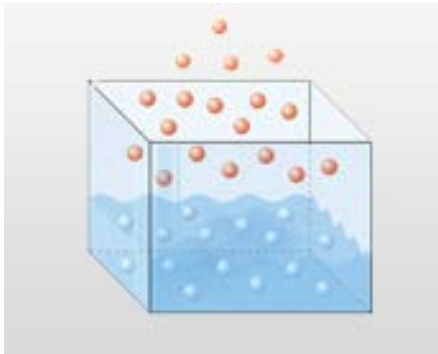
Drei Zustände der Materie:

Fester Zustand : die Moleküle einer Probe sind durch ihre gegenseitige Anziehung zu einer mehr oder weniger festen Struktur miteinander

Flüssiger Zustand: die einzelnen Moleküle bewegen sich freier umher. Sie können sich kurzzeitig zu größeren Klumpen verbinden, aber allgemein hat die Probe keine feste Struktur und kann fließen oder sich einem Behälter anpassen.

Gasförmiger Zustand (Dampf): die einzelnen Moleküle haben sich voneinander befreit und können das Volumen eines geschlossenen Behälters ausfüllen.

Beim Schmelzen wandelt sich ein Festkörper von einem festen in einen flüssigen Zustand um. Dieser Prozess erfordert Energie, da die Moleküle des Festkörpers erst aus ihrer starren Struktur befreit werden müssen. Bei dem umgekehrten Vorgang, dem Gefrieren einer Flüssigkeit zu einem Festkörper, muss der Flüssigkeit Energie entzogen werden, damit sich die Moleküle zu einer starren Struktur zusammenfinden können



Die Verdampfung einer Flüssigkeit bedeutet, sie von ihrem flüssigen Zustand in einen gasförmigen Zustand, den Dampf, zu überführen.

Wie das Schmelzen erfordert auch dieser Prozess Energie, da die Moleküle aus ihren Humpen befreit werden müssen. Die Kondensation von einem Gas zu einer Flüssigkeit ist der zur Verdampfung umgekehrte Vorgang. In diesem Fall muss dem Gas Energie entzogen werden, sodass die Moleküle sich wieder zu losen Humpen zusammenfinden können und nicht mehr frei und unabhängig voneinander umherfliegen.

Die in Form von Wärme übertragene Energiemenge pro Masse bei einem vollständigen Übergang einer Probe in eine neue Phase bezeichnet man als spezifische Umwandlungswärme L . Wenn eine Probe der Masse m sich vollständig von einer Phase in eine andere umwandelt, ist die übertragene Gesamtenergie (die so genannte latente Wärme) gleich:

$$Q = mL$$

Verdampfungswärme (Gas-Flussigkeit), L_V Wasser

$$L_V = 539 \text{ cal/g} = 2256 \text{ kJ/kg} = 40,7 \text{ kJ/mol}$$

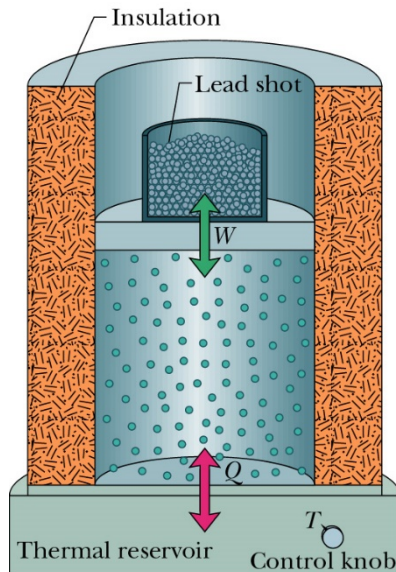
Schmelzwärme (Flussigkeit-Festkörper), L_S Wasser

$$L_S = 79,5 \text{ cal/g} = 333 \text{ kJ/kg} = 6,01 \text{ kJ/mol}$$

Einige spezifische Umwandlungswärmen

Material	Schmelzen		Verdampfen	
	Schmelzpunkt (K)	Schmelzwärme L_S (kJ/kg)	Siedepunkt (K)	Verdampfungswärme L_V (kJ/kg)
Wasserstoff	14,0	58,0	20,3	455
Sauerstoff	54,8	13,9	90,2	213
Quecksilber	234	11,4	630	296
Wasser	273	333	373	2256
Blei	601	23,2	2017	858
Silber	1235	105	2323	2336
Kupfer	1356	207	2868	4730

15.8 Wärme und Arbeit



Betrachten wir ein in einem Zylinder eingeschlossenes Gas. Das Volumen des Zylinders sei über einen beweglichen Kolben veränderbar. Die nach oben gerichtete Kraft auf den Kolben durch den Druck des eingeschlossenen Gases wird durch das Gewicht der Bleikugeln oben auf dem Kolben ausgeglichen.

Die Zylinderwände bestehen aus einem isolierenden, wärmeundurchlässigen Material. Der Zylinderboden befindet sich auf einem Reservoir für thermische Energie, einem Wärmereservoir oder auch Wärmebad, deren Temperatur T sich über einen Schalter regulieren lässt.