

66-770

Experimentalphysik I/II für Studierende der Biologie und der Zahnmedizin

Prof. Arwen Pearson & Prof. Nils Huse
arwen.pearson@cfel.de & nils.huse@uni-hamburg.de

Vorlesungen:

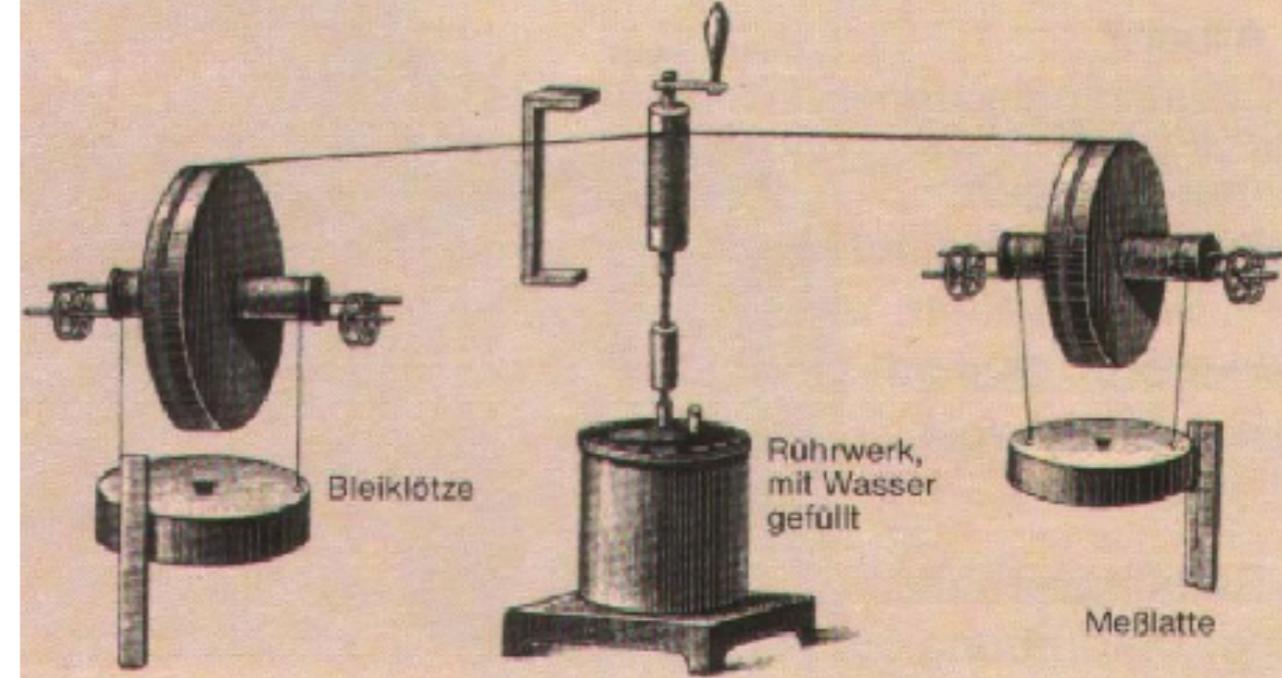
Mittwoch 08:15-09:45 Junguisstr. 9 Hörsaal 2

Freitag 08:15-09:45 Junguisstr. 9 Hörsaal 1

Information zur Vorlesung unter/über **STiNE**

Rührversuch von James Joule, 1843

- wenn man die Temperatur von Wasser erhöhen will muss man dem Wasser Energie zuführen, entweder durch Arbeit oder als Wärme
- dadurch erhöht sich die innere Energie des Wassers



Definition:

- **Wärme ist eine Form von Energie - wird daher auch in Joule angegeben**
- jeder Baustein führt um seine mittlere Lage Schwingungen aus, dies ist der jeweilige Anteil zur Wärmebewegung
- die einem System zugeführte Wärme erhöht daher seinen Energiegehalt
- **Q** bezeichnet die einem System zugeführte oder entzogene Wärmemenge

bedeutet ?

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

- die zugeführte Wärmemenge ist proportional zu Masse und Temperaturänderung
- C (J/K) : Wärmekapazität
- c (J/kg K) : spezifische Wärmekapazität
- c gibt an, welche Wärmemenge pro 1 kg für 1 Grad Temperaturerhöhung erforderlich ist

$$c_m = \frac{C}{n}$$

- neben der **spezifischen Wärmekapazität** wird auch häufig die **molare Wärmekapazität c_m** (J/(mol K)) verwendet, d.h. die Wärmekapazität pro Mol , - n : Molenzahl eines Stoffes

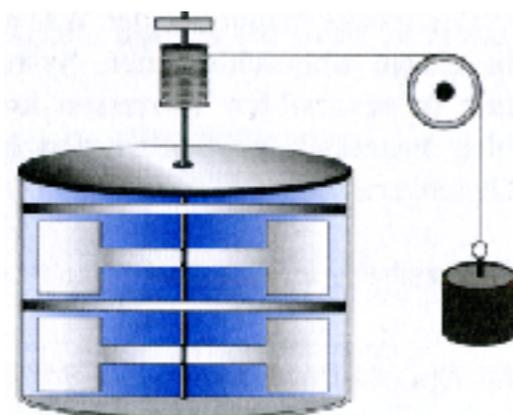
Hauptsätze der Wärmelehre



Prescot Joule
1818-1889

1. Hauptsatz

- die **Energie** der dem Körper zugeführten Wärme ist gleich der Zunahme der Inneren Energie ΔU und der nach aussen geleisteten Arbeit ΔW
- d.h. Wärmeenergie kann nicht aus dem Nichts entstehen oder spurlos verschwinden sondern kann nur zu Lasten oder Gunsten einer anderen Energieform umgewandelt werden



$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

- J.P. Joule hat mit dem skizzierten Apparat mechanische Hubarbeit in Wärme umgewandelt
- die Gewichtskraft treibt Schaufelräder an, welche Reibungswärme in einer zähen Flüssigkeit (z.B. Quecksilber) erzeugen
- durch Gegenüberstellung von mechanischer Energie und eingetretener Erwärmung errechnet sich:

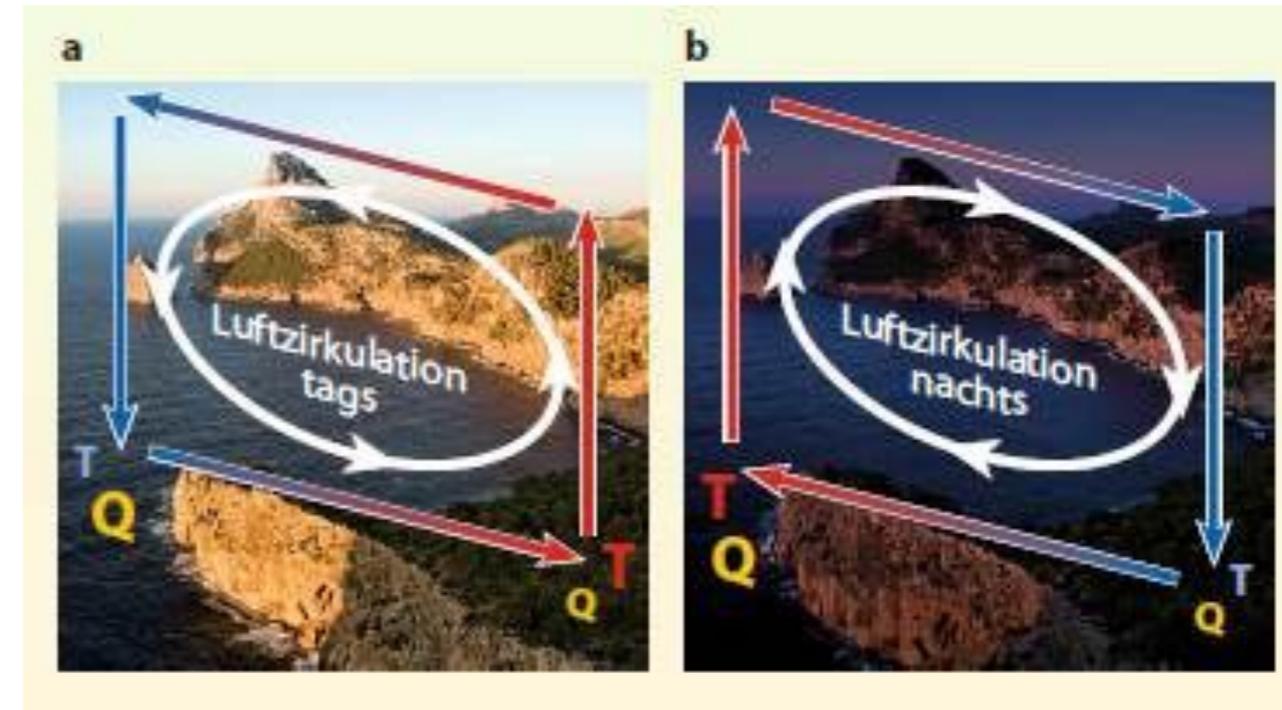
Wärmemenge : 1 Newtonmeter = 1 Joule ca. 0,25 Kalorien

1 Kalorie :: ca. 4,2 Joule = 4,2 Newtonmeter

1 Kalorie: die Wärmemenge die 1g Wasser von 14,5°C auf 15.5°C erwärmt soll seit 1979 (Gesetz über Einheiten und Messwesen) nicht mehr benutzt werden

Wärmekapazität

- das Wasser der Erde verhindert durch seine hohe spezifische Wärmekapazität grosse Temperaturunterschiede
- damit sind grosse jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur auch verhindert
- die Ozeane wirken stark dämpfend auf Temperaturschwankungen



Im Tagescyclus:

- Das Meer hat eine grössere Wärmekapazität als das Land, daher erwärmt sich Land schneller bei Tag und Sonneneinstrahlung und die Luft dehnt sich dort schneller aus und steigt auf. Das Wasser speichert die Energie und bleibt kühler.
- Nachts ist es umgekehrt, das Wasser ist dann noch wärmer und dort steigt die Luft auf.
- Die Luftströmung dreht sich daher.

- Die Wärmekapazität ist weiterhin von grosser Bedeutung für das Klima, als auch Klimawandel
- Das kontinental geprägte Sibirien erlebt Temperaturschwankungen von im Mittel 62°C
- Die Faröer-Inseln lediglich 8°C

Wärmekapazität

- das Wasser der Erde verhindert durch seine hohe spezifische Wärmekapazität grosse Temperaturunterschiede
- damit sind grosse jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur auch verhindert
- die Ozeane wirken stark dämpfend auf Temperaturschwankungen

Menschlicher Körper:

- effektive Temperaturregulation ist nur möglich, da der Körper zu ca. 70% aus Wasser besteht

Material	Wärme c in J/kg K	Wärme c in kcal/kg K
Alkohohl	2430	0,48
Aluminium	920	0,22
Blei	130	0,031
Eis (bei -10°C)	2230	0,53
Eisen	460	0,11
Gartenerde	1000	0,24
Glas	840	0,20
Granit	790	0,19
Holz	1680	0,40
Kupfer	390	0,093
Luft (bei 50°C)	1050	0,25
Meerwasser	3900	0,93
H ₂ O	4200	1,0

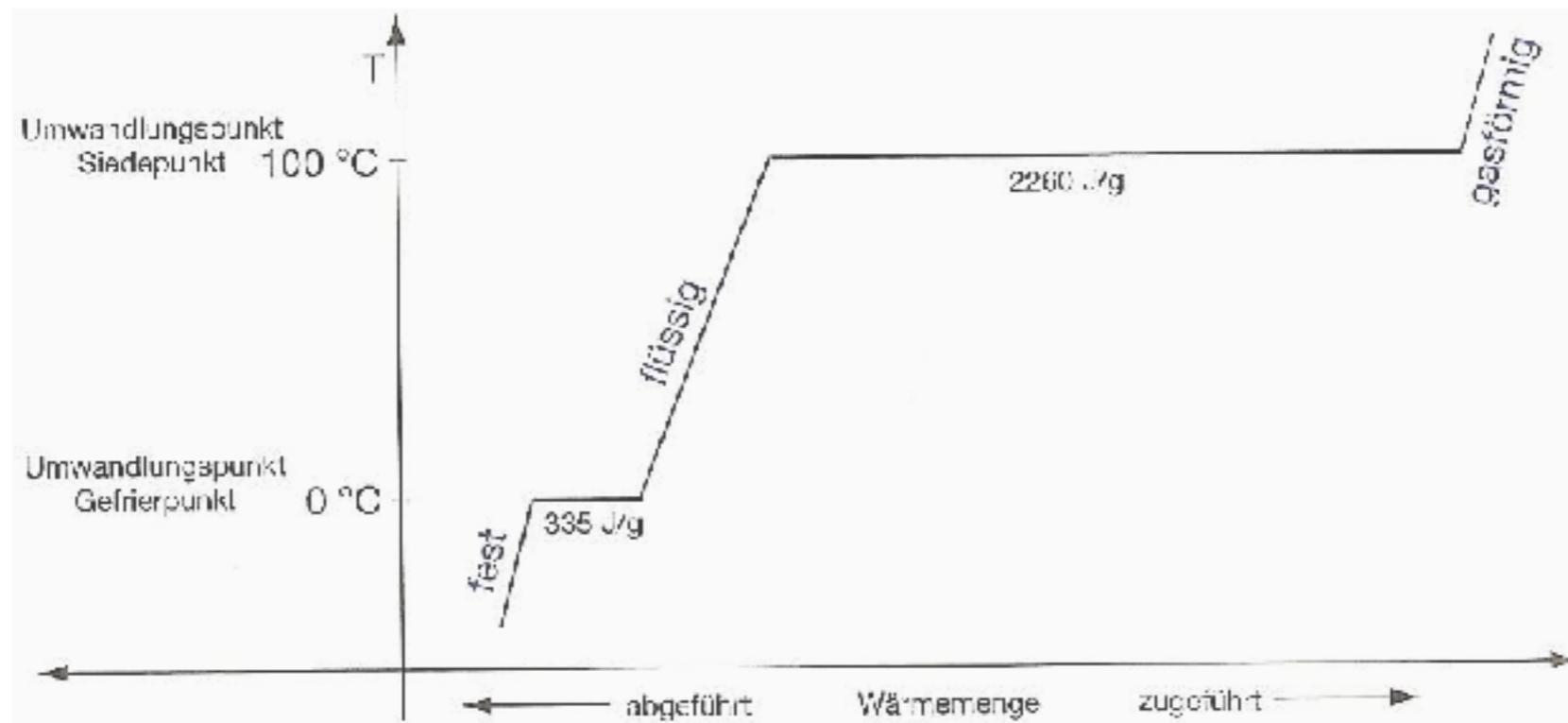
Frage:

- 500 g Wasser werden in einem Isoliergefäss mit einem 250 W Tauchsieder für 5 min erhitzt welche Temperaturerhöhung wird erreicht ?

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

Änderung eines Aggregatzustandes

- die entsprechende Umwandlungswärme für die **Verdampfung** bzw. **Kondensation** heisst **Verdampfungswärme**
- man definiert die **spezifische Verdampfungswärme** = **Verdampfungswärme/Masse**

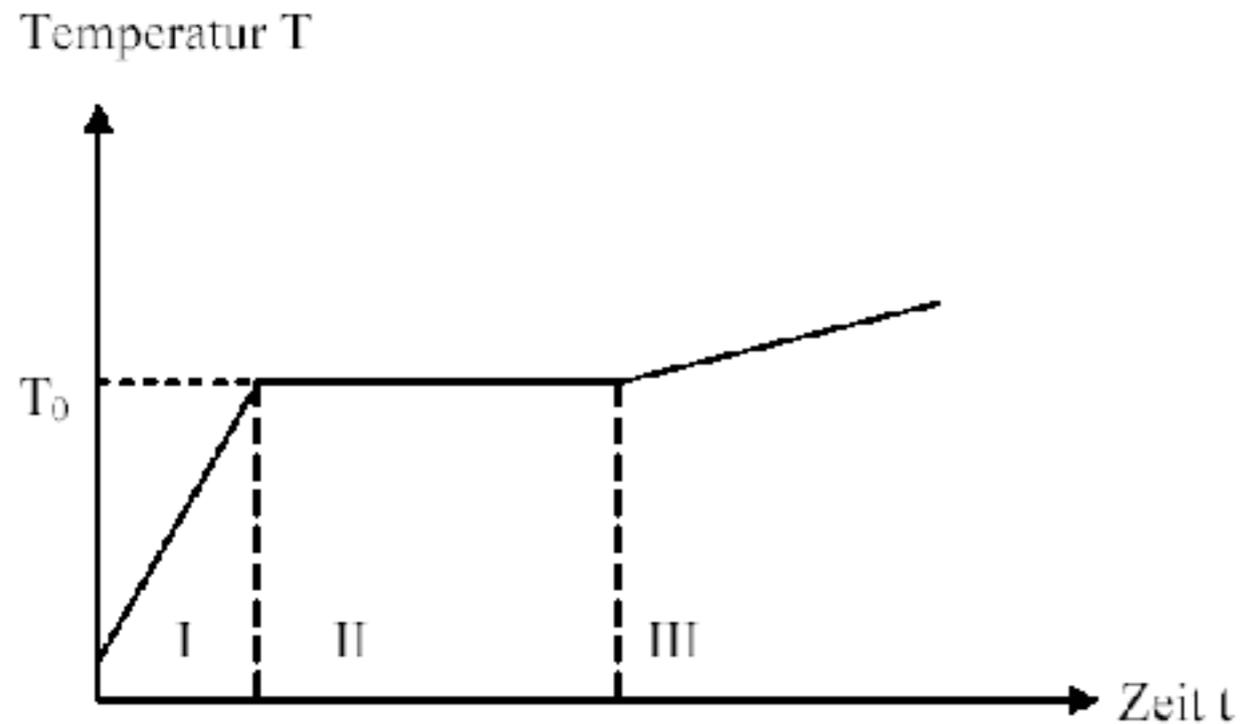


Die Abbildung zeigt die Änderung der Temperatur in Abhängigkeit von zu- oder abgeführter Wärmemenge am Beispiel von 1g Wasser

Beispiel:

- beim Schwitzen wird die Hautoberfläche befeuchtet damit Wasser verdunsten kann
- pro 1 Gramm verdampftes Wasser werden der Hautoberfläche ca. 540 Kalorien entzogen

Bei zeitlich konstanter Wärmezufuhr - die zugeführte Wärmemenge ist proportional zur Zeit - zu einem Körper findet man den unten stehenden Temperatur-Zeit-Verlauf.



Welche Schlüsse können Sie ziehen?

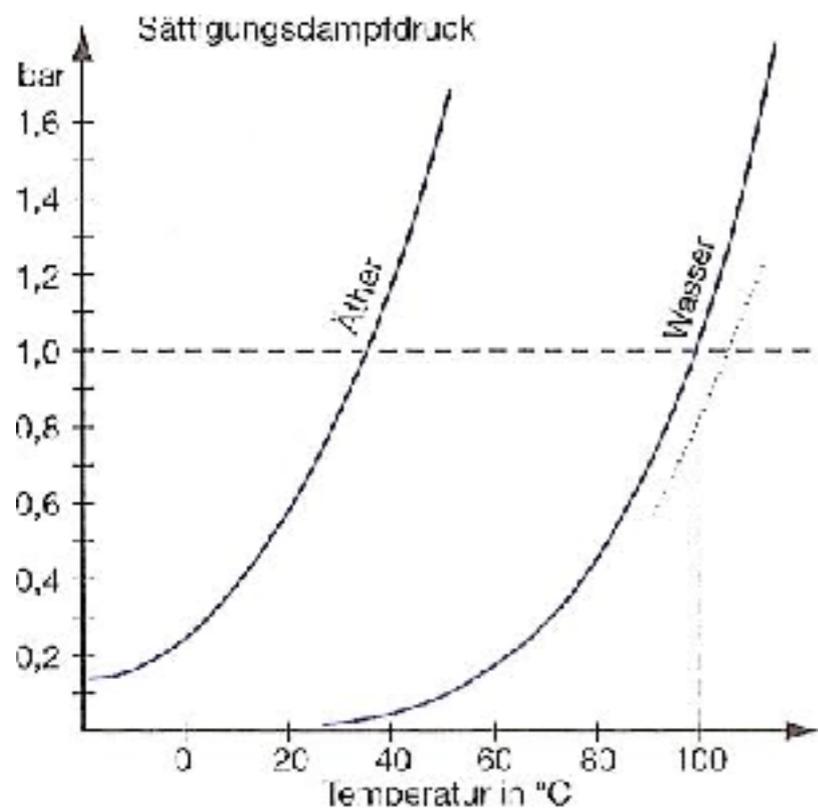
- a) bei der Temperatur T_0 findet eine Änderung des Aggregatzustandes statt
- b) die Wärmekapazität des Körpers ist im Bereich I kleiner als im Bereich III
- c) im Bereich II sind zwei Phasen des Körpers koexistent
- d) das Temperatur-Zeit-Diagramm ist unabhängig von der Masse des Körpers

Lösung:

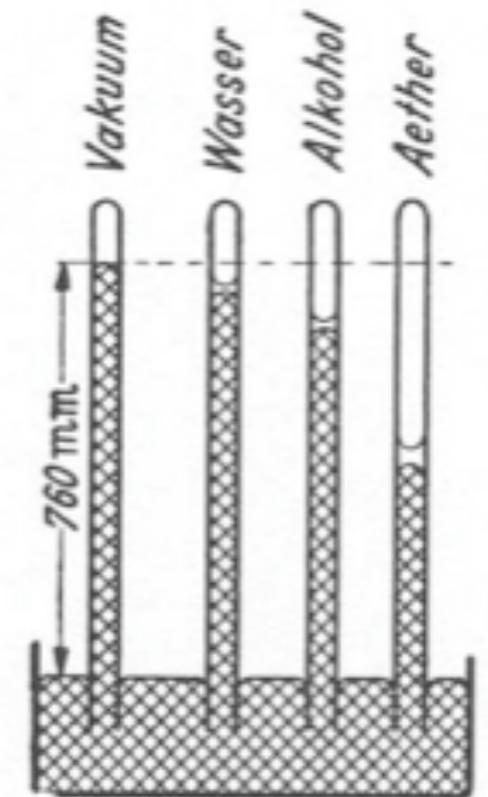
- in Phase II wird zugeführte Energie als Schmelz- oder Verdampfungsenergie von der Substanz aufgenommen (a ist richtig)
- hier gibt es auch zwei Aggregatzustände (c ist richtig)
- je höher die Wärmekapazität ist, desto flacher ist der Kurvenverlauf (b ist auch richtig)
- eine Verdopplung der Masse entspricht einer Halbierung der Steigung (d ist falsch)

Dampfdruckkurve und Sättigungsdruck

- Im dynamischen Gleichgewichtszustand zwischen Flüssigkeit und Dampf stellt sich über der Flüssigkeit der Sättigungsdampfdruck ein.
- Er hängt allein von der Art der Flüssigkeit und der Temperatur ab und steigt mit der Temperatur an. Er gibt die höchste Konzentration an die Gasmoleküle bei der gegebenen Temperatur haben können.
- Wenn der Sättigungsdruck gleich oder grösser dem äusseren Luftdruck ist siedet die Flüssigkeit.

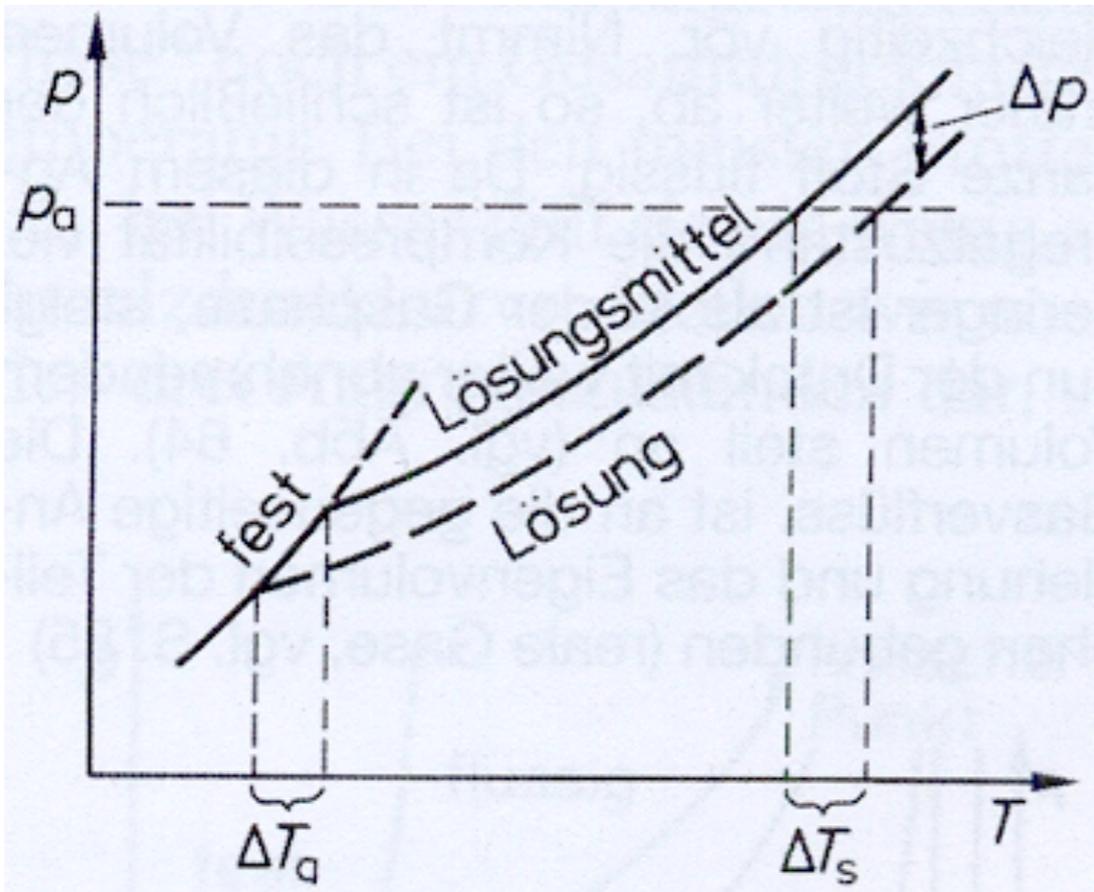


Anwendungen: Autoklaven, 2 bar: 121 °C , 3 bar 134°C
Dampfdruckkochtopf



Beispiel:

- Pusten über eine Tasse Tee setzt den Dampfdruck des verdampfenden Wassers herab, neu aus der Oberfläche heraustretende Moleküle entziehen der Flüssigkeit Verdunstungswärme



Dampfdruckkurven

- von reinem Feststoff
- reinem **Lösungsmittel** und einer **Lösung**
- mit Temperaturerniedrigung um ΔT_g und -
- Siedepunkterhöhung um ΔT_s

dem Schema liegt eine logarithmische Skala zugrunde

- eine Flüssigkeit siedet, wenn ihr Dampfdruck ebenso gross geworden ist, wie der äussere Atmosphären-Druck p_a
- *wird ein Stoff in ihr gelöst, so erniedrigt sich der Dampfdruck. Wieso ?*
- **Weil:** sich der gelöste Stoff gleichmässig verteilt und an der Flüssigkeitsoberfläche einige Wassermoleküle verdrängt, so dass weniger Wassermoleküle verdampfen können
- die Kondensation hingegen wird nicht behindert
- damit eine Lösung, nach Lösung eines Stoffes im Lösungsmittel wieder die Siedebedingung erreicht, muss nun die Temperatur um ΔT_s erhöht werden

Flüssige Mischungen und Lösungen

Gefrierpunktserniedrigung

- die Gefrierpunktserniedrigung ΔT ist für verdünnte Lösungen proportional zur Molarität n des gelösten Stoffes
- dabei senkt sich der Gefrierpunkt pro Mol gelöstem Stoff pro Kilogramm Lösungsmittel um einen lösungsmittelspezifischen Wert
- diesen Wert nennt man die kryoskopische Konstante E_n , die **nur vom Lösungsmittel und nicht vom gelösten Stoff abhängt** (bei Wasser ist dieser Wert 1,86 (K·kg)/mol)

$$\Delta T = E_n \cdot n$$

$$\text{Kryoskopische Konstante } E_n = R \frac{T_g^2}{L_s}$$

R die Gaskonstante = 8,314472 J/(mol K)

T_g der Gefrierpunkt des Lösungsmittels in K

L_s die spezifische Schmelzwärme

Stoff	Schmelzpunkt in °C	Gefrierpunktserniedrigung in (K · kg) / mol
Wasser	0	-1,86
Naphthalin	80,2	-6,80
Chloroform	-63,5	-4,68
Benzol	5,5	-5,12
Campher	179	-39,7
Ethanol	-114,6	-1,99
Cyclohexan	6,4	-20,2

- da der Gefrierpunkt jeweils genau um 1,86 °C sinkt, wenn man ein Mol eines Stoffes in einem Kilogramm Wasser löst, wird die dazugehörige Temperaturdifferenz auch **molare Gefrierpunktserniedrigung** genannt. Dieser Effekt ist unabhängig von der Art des gelösten Stoffes, es handelt sich um eine kolligative Eigenschaft
- es ist dabei zu beachten, dass Salze in wässriger Lösung dissoziieren.
 - Kochsalz (NaCl) zerfällt z. B. in die Ionen Na^+ und Cl^-
 - die Gefrierpunktserniedrigung ist daher in verdünnten Kochsalzlösungen doppelt so hoch wie zunächst erwartet

Annahme

- reines Wasser zeigt eine molare Gefrierpunktserniedrigung von $1,86 \text{ K kg mol}^{-1}$.
- in 1000 g Wasser werden 23,0 g einer unbekanntes Substanz gelöst
- es wird eine Gefrierpunktserniedrigung von 0,93 K beobachtet

Frage:

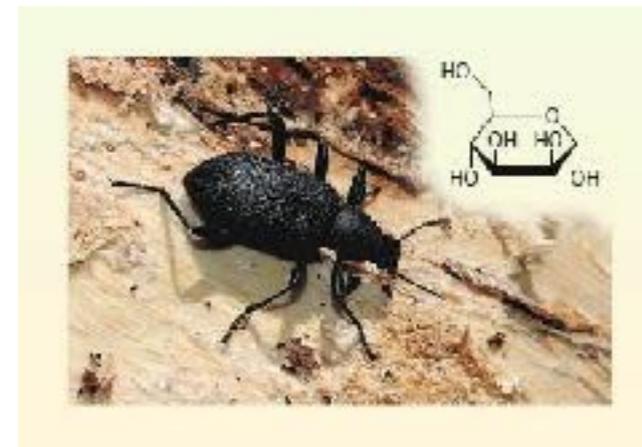
Wie groß ist die Molmasse der unbekanntes Flüssigkeit ?

Antwort:

- der Gefrierpunkt sinkt proportional mit der Osmolarität (Osmolarität = gelöste Teilchen in Mol/Liter Lösungsmittel)
- 1 M Lösung bewirkt Gefrierpunkt-Reduzierung von 1,86 K
- also ist die Lösung 0,5-molar
- wenn 0,5 mol 23 g sind, beträgt die Molmasse der gesuchten Substanz 46 g
 - ?
 - Ethanol: $\text{C}_2 \text{H}_5 \text{OH}$

Beispiel aus den Lebenswissenschaften:

- Viele Pflanzen und Tiere nutzen chemische Substanzen (Glykoproteine) als Frostschutzmittel in ihren Zellen
- Käfer der Art *Upis ceraboides* aus Alaska lagern Zuckermoleküle in den Zellen an und vermögen so Temperaturen bis -60°C zu überstehen



Volumenarbeit eines idealen Gases

- die Arbeit, dW , die ein Gas gegen eine äussere Kraft leistet, wird Volumenarbeit genannt
- die Arbeit hat ein negatives Vorzeichen, weil dem System Energie entzogen wird

$$dW = -PdV$$

Wärmekraftmaschinen:

- bei Wärmekraftmaschinen bezeichnet man die Umwandlung der kinetischen Energie der Gasmoleküle als Volumenarbeit, wobei Wärmeenergie in mechanische Energie umgewandelt wird

z B.

- chemische Energie der Brennstoffe wird in kinetische Energie der Gasmoleküle umgewandelt
- erhitzte Gase, z.B. Wasserdampf treiben Turbinen oder Kolben an und geben einen Teil ihrer kinetischen Energie ab
- dieses Prinzip eignet sich hervorragend zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie und wurde von **Carnot** durchdacht

Wirkungsgrad

- der theoretisch maximale Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie wird definiert

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$T_2 = \text{Ausgangstemperatur}$

$T_1 = \text{Endtemperatur (Kühlwasser)}$

d.h. der Wirkungsgrad ist um so höher je höher die Temperaturdifferenz ist

Beispiel:

Dampfmaschine mit einer Dampftemperatur von $T_2 = 440^\circ\text{C} = 673\text{K}$ und einer Kühltemperatur von $T_1 = 50^\circ\text{C} = 323\text{K}$, liefert einen Wirkungsgrad von:

$$\eta = \frac{673 - 323}{673} = \frac{350}{673} = 0,52$$

- die restlichen 48% gehen im Kühlwasser der Dampfmaschine verloren
- 52% ist der theoretisch mögliche Wert, tatsächlich werden nur 10-20% erreicht
 - bei Dampfturbinen: 25 - 35%
 - Dieselmotoren 30 - 40 %

Andere Motoren, die nicht Wärme in mechanische Energie sind viel effizienter.

- Elektromotoren 70 - 95 %
- Wasserturbinen 90 - 95 %

2. Hauptsatz der Wärmelehre

- die ungeordnete Wärmebewegung der Moleküle führt bei Flüssigkeiten und Gasen dazu, dass sich die Moleküle gleichmässig verteilen
- auf dieser Erscheinung beruhen auch Transportvorgänge wie z.B. Diffusion >> Brownsche Molekularbewegung
- das Streben nach Gleichverteilung ist die Triebkraft vieler physikalischer und chemischer Vorgänge
- **Wichtig:** Wärme wird niemals vom kälteren auf einen wärmeren Körper übergehen, d.h. spontan nur vom wärmeren auf den kälteren Körpern
- es gibt in der Natur zahlreiche Prozesse die ohne äussere Einflüsse nur in eine Richtung vorkommen
- Sie sind **irreversibel** und führen zu bleibenden Zustandsänderungen :: $\Delta S > 0$
- für **reversible** Prozesse gilt: $\Delta S = 0$

2. Hauptsatz

die Entropie S eines abgeschlossenen Systems kann nur gleich bleiben oder zunehmen, niemals jedoch abnehmen

2. Hauptsatz der Wärmelehre

die Entropie S eines abgeschlossenen Systems kann nur gleich bleiben oder zunehmen, niemals jedoch abnehmen

- Entropie ist eine Zustandsgrösse der Wärmelehre, SI Einheit ist: Joule / Kelvin
- Die in einem System vorhandene Entropie ändert sich bei Aufnahme oder Abgabe von Wärme
- Diese Entropieänderung ist bei Wärmezufuhr positiv, bei Wärmeabfuhr negativ.

- In einem abgeschlossenen System, bei dem es keine Wärme oder Materieaustausch gibt kann Entropie nicht vernichtet werden

- Aber es kann in einem System Entropie entstehen, Prozesse bei den dies geschieht, werden als irreversibel bezeichnet

- z.B. dadurch, dass mechanische Energie, durch Reibung, in thermische Energie umgewandelt wird. Eine Umkehrung ist nicht möglich

2. Hauptsatz

die Entropie S eines abgeschlossenen Systems kann nur gleich bleiben oder zunehmen, niemals jedoch abnehmen

- die Konsequenz aus dem 2. Hauptsatz ist für den Bau von Kraftwerken aller Art bedeutsam
- die Wärme, welche nicht in mechanische Energie überführt werden kann, muss durch Kühlung entfernt werden
- technisch löst man dieses Problem indem man Kühlwasser aus Flüssen entnimmt und dann erwärmt wieder in diese zurückleitet
- oder mittels riesiger Kühltürme die Luft aufheizt
- beide Methoden bedeuten eine erhebliche Umweltbelastung



Hauptsätze der Wärmelehre

3. Hauptsatz

der absolute Nullpunkt ist nie erreichbar

die spezifische Wärmekapazität aller Stoffe verschwindet am absoluten Nullpunkt

demzufolge lässt sich auch keine Maschine mit einem Wirkungsgrad von 1 konstruieren

$$\eta = (T_2 - T_1)/T_2$$

Zusammenfassung der Hauptsätze

0. Hauptsatz: Stehen zwei Systeme jeweils mit einem dritten im thermodynamischen Gleichgewicht, so stehen sie auch untereinander im Gleichgewicht

1. Hauptsatz: Energie kann weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur in andere Energiearten umgewandelt werden

2. Hauptsatz: Thermische Energie ist nicht in beliebigem Maße in andere Energiearten umwandelbar

3. Hauptsatz: Der absolute Nullpunkt der Temperatur ist unerreichbar

Wärmetransport

Wärmeleitung oder Wärmeübertragung

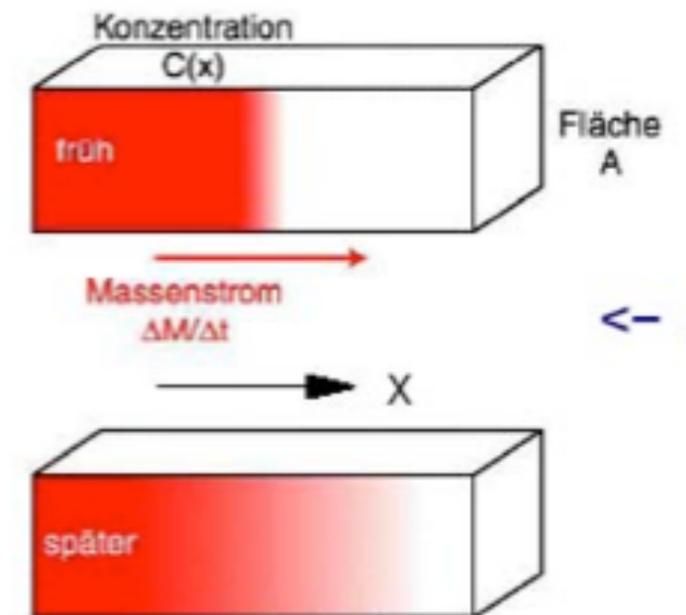
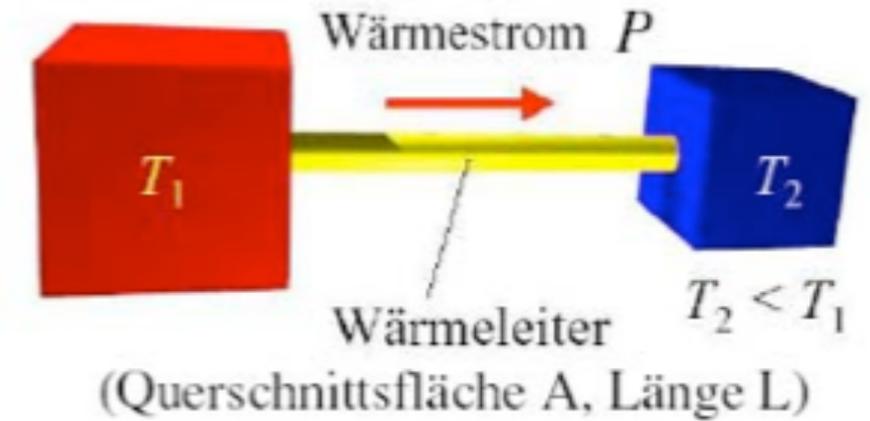
Kann erfolgen durch:

direkte Wärmeleitung: direkten Kontakt

Konvektion: Wind, Meeresströmung

Wärmestrahlung: z.B. Sonne, >>

- setzt ein Temperaturgefälle voraus
- wird durch die Wärmeleitfähigkeit des Stoffes bestimmt
- **die Wärmeleitfähigkeit λ ist eine Materialkonstante** und gibt an wieviel Joule/Sekunde durch einen Würfel mit der Kantenlänge 1 m hindurchtransportiert werden, bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin zwischen Vorder- und Rückseite



Wärmetransport

Wärmeleitfähigkeit

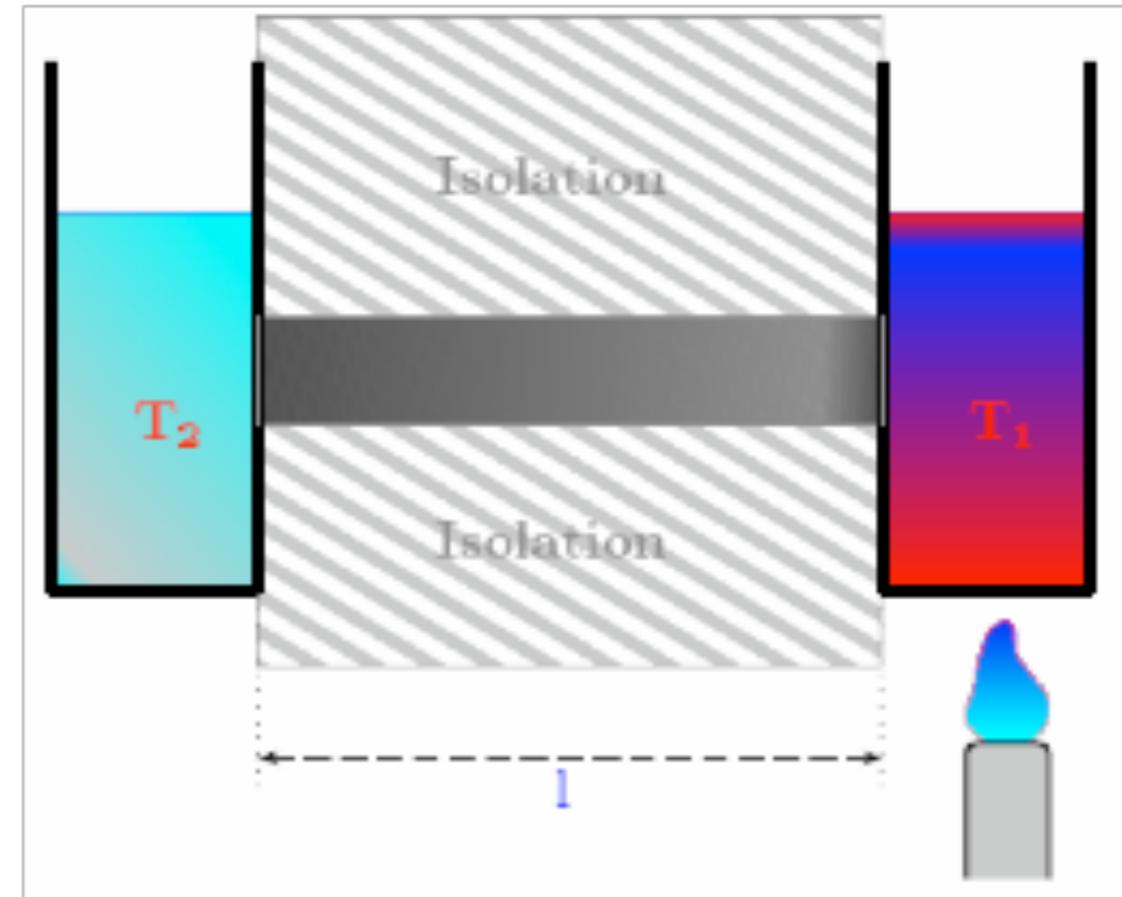
wird beschrieben über folgende Größen:

Wärmemenge Q (J)

Wärmestrom $\phi = dQ/dt$ ($J\text{s}^{-1}$ oder W)

Wärmestromdichte $q = \phi/A$ ($J\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ oder Wm^{-2})

Temperaturegradient dT/dx (Km^{-1})



Wärmeleitfähigkeitsgleichung:
$$\Phi = -\lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta T$$

Wärmeleitfähigkeit: λ $J/s \cdot K \cdot m$ (Materialeigenschaft)

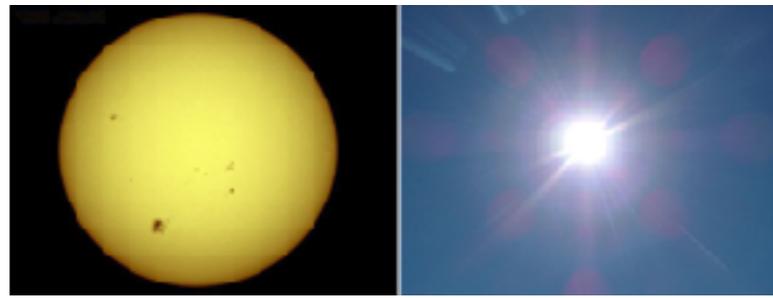
Wärmetransport



Konvektion

- bei der Konvektion wandert Materie „mit hoher Temperatur“ zu Orten mit tieferen Temperaturen, d.h. Wärmetransport wird mit Massetransport gekoppelt
- da erwärmte Substanzen eine geringere Dichte besitzen, setzt von selber ein Materialfluss ein, wenn Temperaturunterschiede bestehen
- die Bewegung kann als freie Konvektion vorkommen, z.B. Auftriebskräfte infolge von Temperaturunterschieden
- oder über erzwungene Konvektion, - Pumpen -, hierzu zählt auch der Blutkreislauf des Menschen
- die übertragene Wärmeleistung hängt von der spezifischen Wärmekapazität des transportierten Stoffes ab

Wärmestrahlung



Ludwig Boltzmann



Josef Stefan

- fehlt zwischen zwei Körpern auf unterschiedlichen Temperaturen infolge Evakuierung jegliche Materie, so wird dennoch ein Wärmeaustausch beobachtet
- wie ?
- Wärmeleitung und/oder Konvektion sind nicht möglich
- es bleibt nur noch die Energieübertragung mittels Strahlung, da jeder Gegenstand eine elektromagnetische Wärmestrahlung aussendet
- Wärmestrahlung ist elektromagnetische Strahlung (materiefrei)
- **Beispiel:**
- die Sonne sendet Wärmeenergie auf die Erde, ihr Energiestrom (Strahlungsleistungsdichte) E auf die Erdoberfläche ist $E \sim 800 \text{ W/m}^2$
- die **Strahlungsleistung P** wird über das **Stefan - Boltzmann Gesetz** beschrieben:

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15h^3c^2} = (5,670\,373 \pm 0,000\,021) \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$$

besagt auch:

- die Energie, die ein Körper durch Strahlung abgibt, ist nur von seiner Eigentemperatur abhängig, aber nicht von der Temperatur der Umgebung

bedeutet: die abgegebene Strahlungsleistung wächst mit der 4. Potenz der Temperatur

>> bei einer Verdopplung der absoluten Temperatur steigt die Strahlungsleistung um $2^4 = 16$



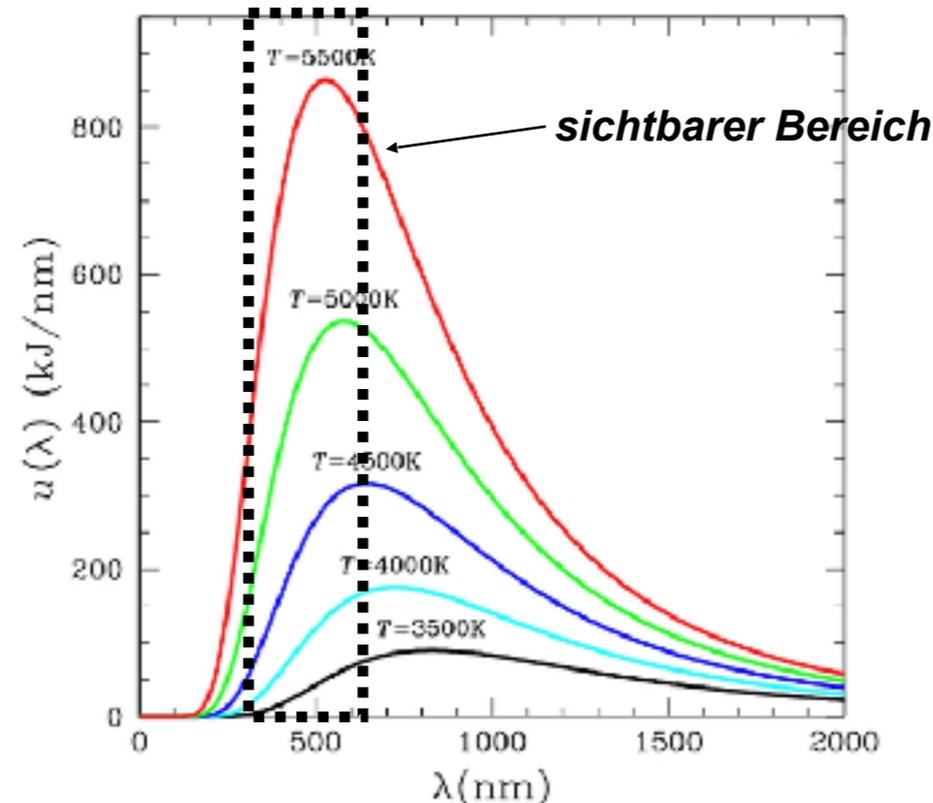
Infrarobild eines
Jungen
mit Hund

Wärmestrahlung

- die spektrale Verteilung der Wärmestrahlung bei verschiedenen Temperaturen wird über das **Wiensche Verschiebungsgesetz beschrieben**:

$$\lambda_{max} \times T = konst. = 2898 \text{ K} \times \mu\text{m}$$

- die Energie der Oberflächenstrahlung hängt von der Oberflächentemperatur des strahlenden Gegenstandes ab
- **je höher die Temperatur desto kürzer ist die Wellenlänge**
- kennt man die Absorption eines Körpers ist T messbar (über Pyrometer)
- weiterhin: Wärmestrahlung ist/sind elektromagnetische Wellen, daher werden Sie auch reflektiert, transmittiert, gebeugt und absorbiert



Wärmestrahlung

- **Schwarzer Körper**

besagt:

- die Energie, die ein Körper durch Strahlung abgibt, ist nur von seiner Eigentemperatur abhängig, aber nicht von der Temperatur der Umgebung

Energiestromdichten E und $\varepsilon = \frac{\text{Strahlungsleistung}}{\text{Fläche}}$

$$P = E \cdot A = \varepsilon \cdot \alpha \cdot A$$

$A = \text{Fläche}$

$\alpha = \text{Absorptionskoeffizient, d.h. Anteil der von der Fläche absorbierten Strahlung}$

- im Gleichgewicht ist die absorbierte Strahlung einer Fläche gleich der von ihr abgestrahlten Strahlungsleistung
- ein Körper, der alle auftretende Strahlung absorbiert ($\alpha = 1$) heisst **schwarzer Körper**
- **der schwarze Körper, schwarzer Strahler oder Planckscher Strahler** ist in der Physik ein idealisierter Körper, der auf ihn treffende elektromagnetische Strahlung bei jeder Wellenlänge vollständig absorbiert

Wärmetransport

Wärmeisolierung

Vakuum:

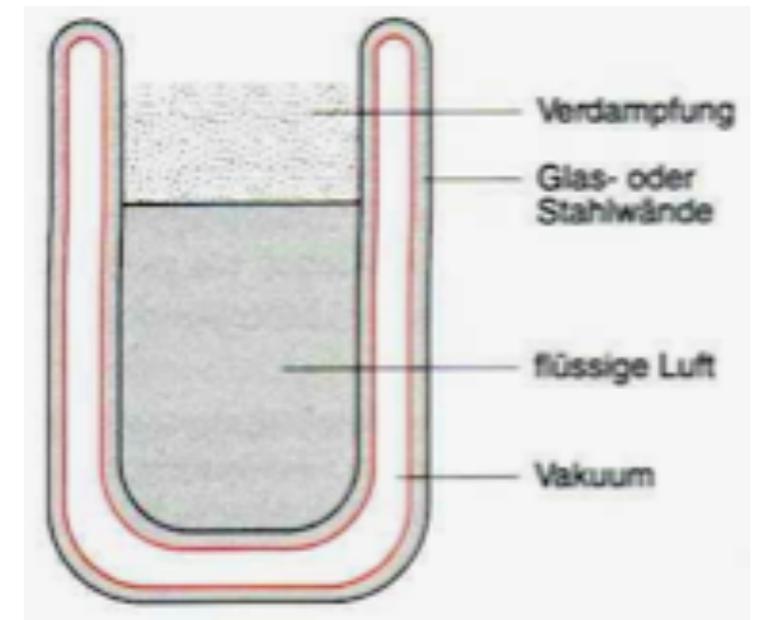
- >> keine Wärmeleitung
- >> keine Konvektion
- aber Wärmestrahlung

Verspiegelte Innenwände :

- >> keine Verluste durch Wärmestrahlung



Thermosflasche



„Dewar“

Materietransport

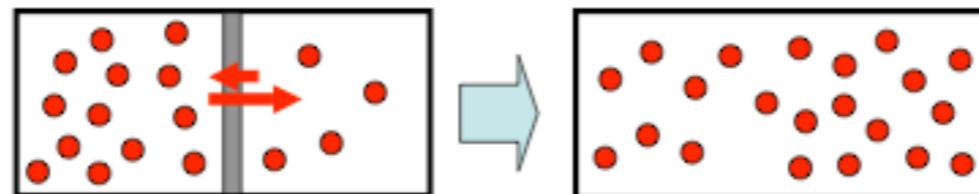
Konvektion: *Energie und Materietransport bei Temperaturunterschieden*

Diffusion: *Materietransport (bei Konzentrationsunterschieden), massgeblich für lebende Organismen, Zellen etc.*

bedeutet:

- der Transport von Materie anhand der Eigenbewegung der Moleküle (Atome) in Gasen und Flüssigkeiten ist möglich
- auch können dadurch Gas-Moleküle in Festkörper und Flüssigkeiten eindringen (Fremddiffusion)
- hierbei handelt es sich um einen irreversiblen Vorgang

den Ortswechsel von Molekülen oder Atomen nennt man Diffusion

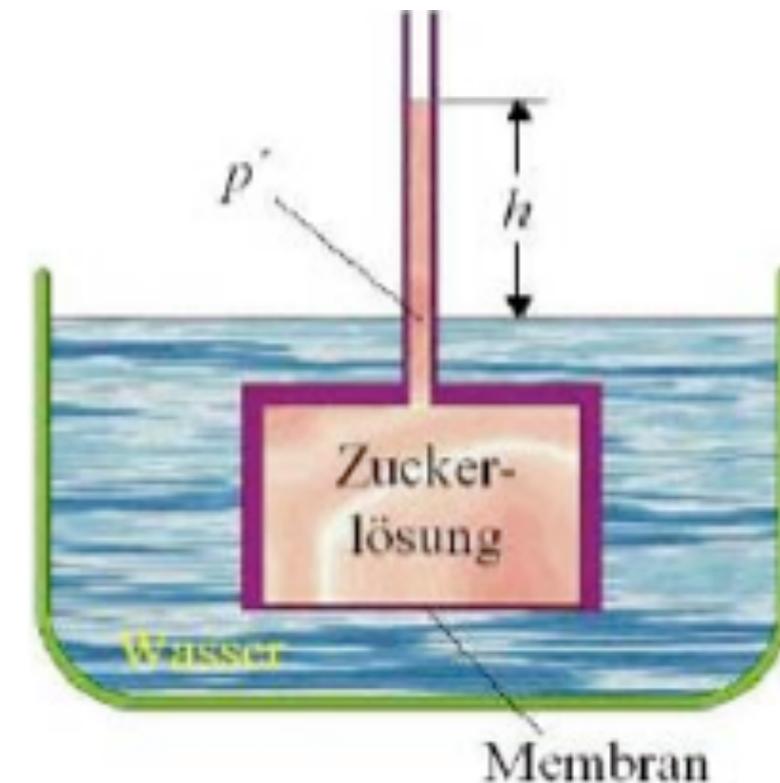
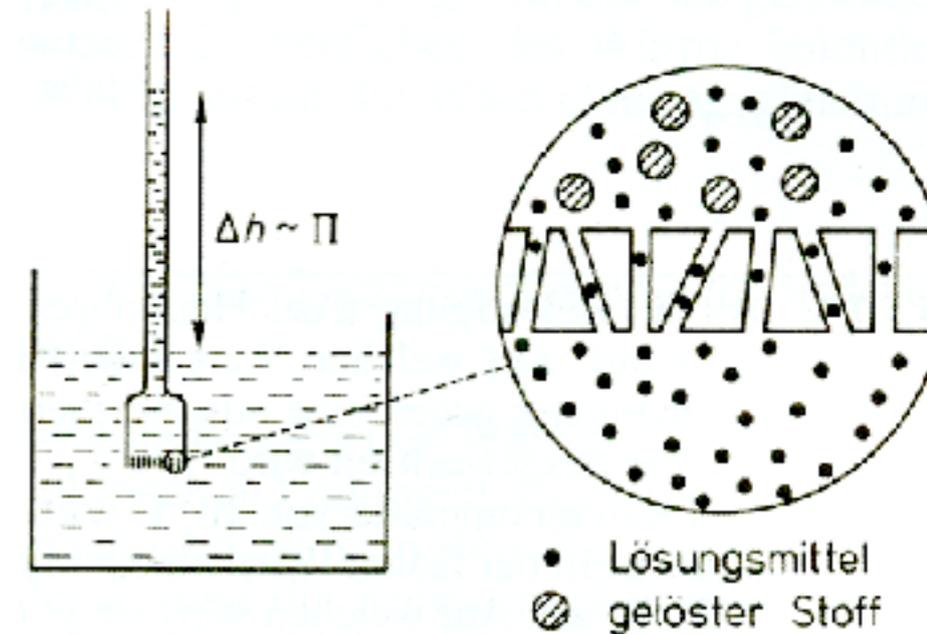


Osmose

Diffusion durch eine semipermeable Wand

- Entsteht, wenn zwei Flüssigkeiten mit Teilchen unterschiedlicher Grösse durch eine poröse Wand getrennt, die nur eine Partikelsorte durchlassen (semipermeable Wand)
- bei Pflanzen, Tieren, im Körper des Menschen sowie machen technischen Anwendungen gestatten halbdurchlässige Wände den Durchtritt von Wassermolekülen, nicht jedoch den von Partikeln gelöster Stoffe
- infolge thermischer Bewegung versucht Wasser in dem Raumbereich mit dem gelösten Stoff seine Konzentration auszugleichen, d.h. dort die Lösung zu verdünnen
- dadurch steigt der hydrostatische Druck, auch **osmotischer Druck** genannt, in diesem Teil des Systems bis er zum Beispiel durch den Schweredruck oder einen Stempeldruck ausgeglichen wird

$$\Pi = \rho_{\text{Lösung}} \cdot g \cdot h$$



Osmose

1. Nobelpreis für Chemie, 1901



- für ein verdünntes System ist der **Osmotische Druck** π direkt proportional – nur – zum Anteil eines gelösten Stoffes
- dieses Phänomen wurde von **Van't Hoff – 1886** - aus Experimenten ermittelt,

$$\pi = [A]RT/M_w$$

[A] = Konzentration (M), M_w = Molekulargewicht

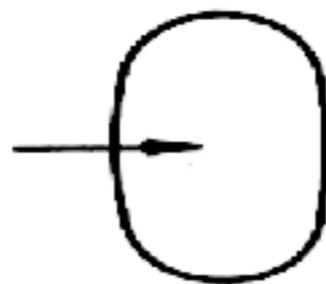
- Der **Osmotische Druck** wird auch definiert als der Druck: der auf eine Lösung - Lösungsmittel & gelöster Stoff - ausgeübt werden muß, um diese Lösung im Gleichgewicht mit dem reinem Lösungsmittel zu halten.

Biologische Relevanz:

- im menschlichen Körper gilt Isotonie: Konstanz von $\rho_{osm} = 7 \times 10^6$ Pa

9g NaCl in 1 Liter H_2O = physiologische Kochsalzlösung

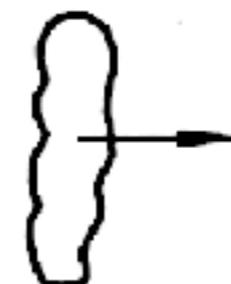
1 Mol Kochsalz = 58g



$c < 0,15M$
Wassereintritt

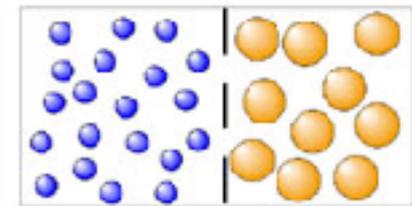


$c = 0,15M$
Zellvolumen
konstant

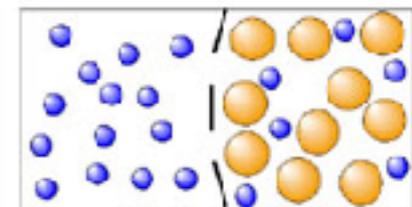


$c > 0,15M$
Wasseraustritt

Osmose an einer semipermeablen Membran



vor Versuchsbeginn



nach einiger Zeit