

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:

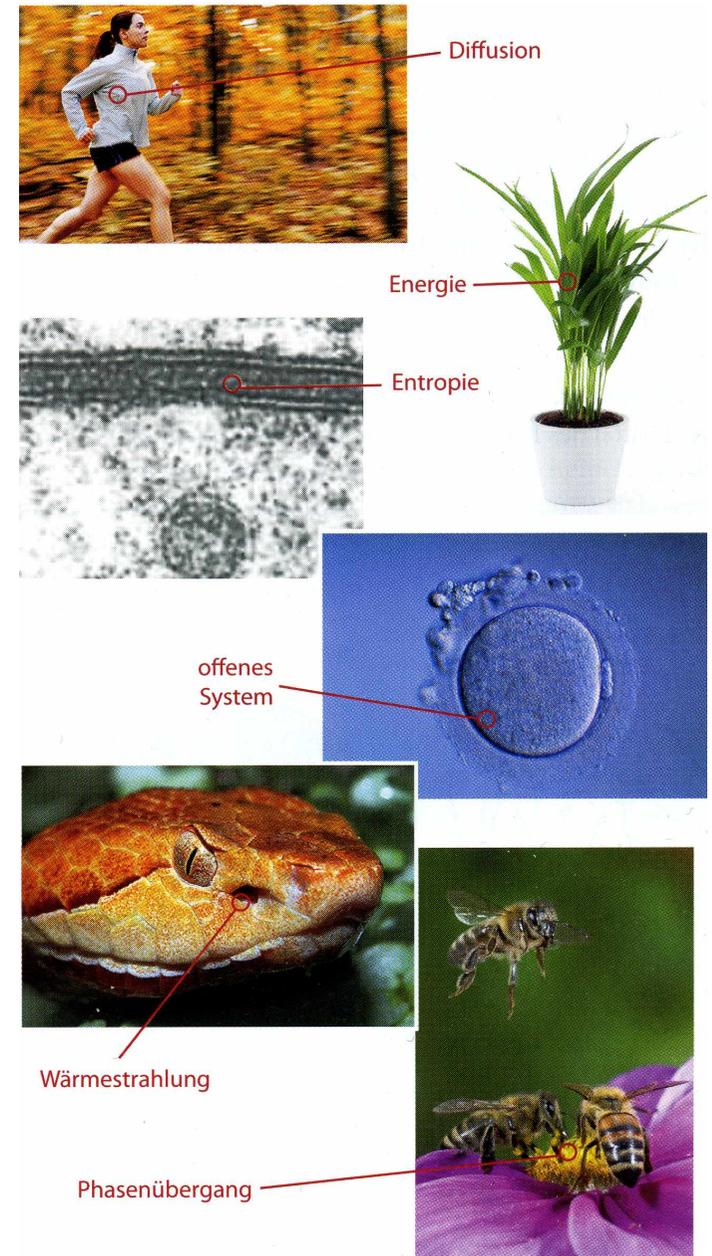
Mittwoch 08:15-09:45 Junguisstr. 9 Hörsaal 2

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

Information zur Vorlesung unter/über **STiNE**

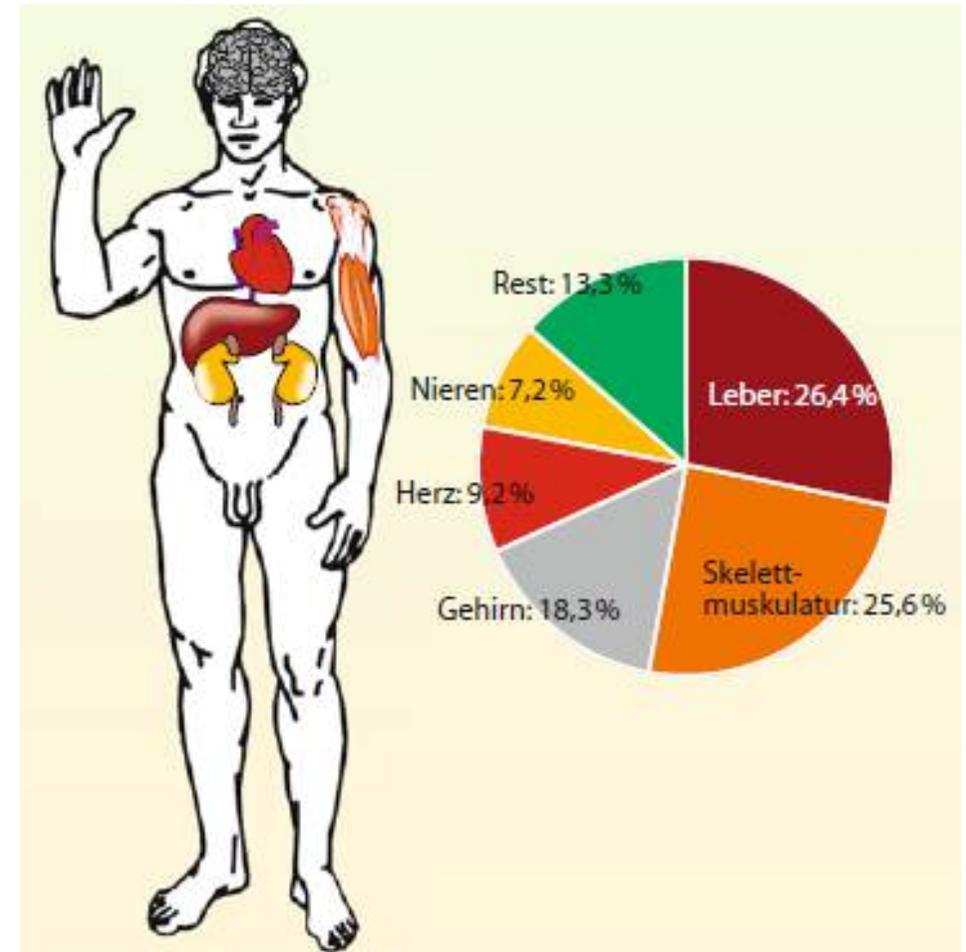
Wärmelehre

- Wärmelehre in den Lebenswissenschaften
 - die Wärmelehre bzw. Thermodynamik erklärt uns, welche Zustände Systeme wie Biomoleküle, Zellen einnehmen können und wodurch die Prozesse an denen sie beteiligt sind angetrieben werden
 - ein zentraler Aspekt sind hierbei die Phänomene **Wärme** und **Energie**, ohne die weder physikalische, chemische oder biologische Prozesse ablaufen könnten



Wärmelehre

- Wärmelehre in den Lebenswissenschaften
- Ein Mensch wird täglich etwa sein Körpergewicht in ATP gebrauchen
- Obwohl das Gehirn nur 2% der Masse eines Körpers ausmacht benötigt es ca. 20% der gesamten Energie.



Wärmelehre

Die **Temperatur** (T) ist eine wichtige Grösse in der Natur

- chemische Reaktionen sind temperaturabhängig
- das Leben von Säugetieren ist an definierte/bestimmte Temperaturen gekoppelt

Beispiel Mensch / Körpertemperatur in °C:

35,2-37,4 :: Normal

ab 38,1 :: Fieber

42 :: Kreislaufversagen

42,6 :: Tod über Denaturierung von Proteinen

33,0 :: Unterkühlung

27 :: Tod

Wärmelehre

- physikalische Eigenschaften der Materie sind an T gekoppelt
 - Volumen, Viskosität....
 - *Aggregatzustände*
 - elektrische Leitfähigkeit
- Wir können diese Beziehung anhand des idealen Gasgesetzes beschreiben

$$PV = nRT = Nk_B T$$

P ist der Druck des Gases,

V ist das Volumen des Gases,

n ist die Stoffmenge des Gases (auch als Molzahl bezeichnet),

N ist die Anzahl der Gasmoleküle (oder die Avogadro-Konstante mal die Menge der Substanz N_{AN}).

R ist die ideale oder universelle Gaskonstante, die dem Produkt der Boltzmann-Konstante und der Avogadro-Konstante entspricht ($8.31441 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

k_B ist die Boltzmann-Konstante

T ist die absolute Temperatur des Gases.

Wärmelehre



Amedeo Avogadro
1811

Definitionen & Wiederholung: Stoffmenge und das Mol

- zur **Beschreibung der Gasgesetze** und auch ganz allgemein in der Chemie benötigt man neben der **Masse** für die Mengenangabe die **Stoffmenge**
- SI Basiseinheit ist das Mol (mol)
- die Einheit 1 Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in 12 g des Kohlenstoff-Nuklids ^{12}C enthalten sind
- diese Teilchenzahl ist gegeben durch die **Avogadrosche Konstante** $N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- und, ein Mol eines idealen Gases nimmt ein Volumen von $22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (=L) ein

Wärmelehre

Wärmelehre wird auch als Thermodynamik bezeichnet, da die Wärme eines Stoffes (insbesondere für Gase und flüssige Stoffe) auf der ungeordneten Bewegung seiner Atome oder Moleküle beruht. Für Festkörper sind dies Schwingungen um eine zentrale Position.

- Wärme ist verknüpft mit der ungeordneten Molekularbewegung von sehr vielen Teilchen
- die Temperatur definiert damit die mittlere kinetische Energie
- hierbei können in einem molekularem Bild nur statistische Aussagen über Mittelwerte und Verteilungen, d.h. der Orte x_i und Geschwindigkeiten v_i angegeben werden

Wärmelehre

Aggregatzustände

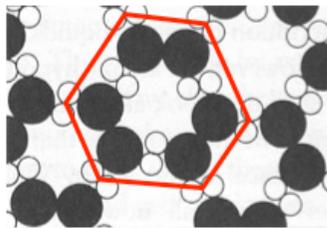
- sind äussere Erscheinungsformen von Stoffen

- fest

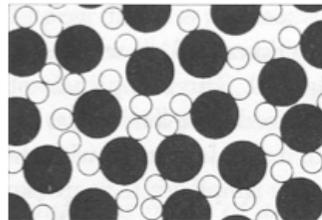
- flüssig

- gasförmig

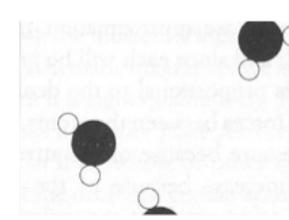
- *feste Körper:*
 - Widerstand gegen Veränderungen der Form und des Volumens
- *Flüssigkeiten:*
 - die Form des Gefässes wird angenommen, das Volumen bleibt gleich
- *Gas:*
 - Gas füllt jeden Raum aus; sein Volumen wird durch den äusseren Druck vorgegeben
- Substanzen bestehen aus Atomen oder Molekülen, **sie ändern sich nicht bei der Änderung des Aggregatzustandes**, nur die **Anordnung der Moleküle**
- verantwortlich für den Aggregatzustand sind die Kräfte zwischen benachbarten Molekülen



Eis



Wasser

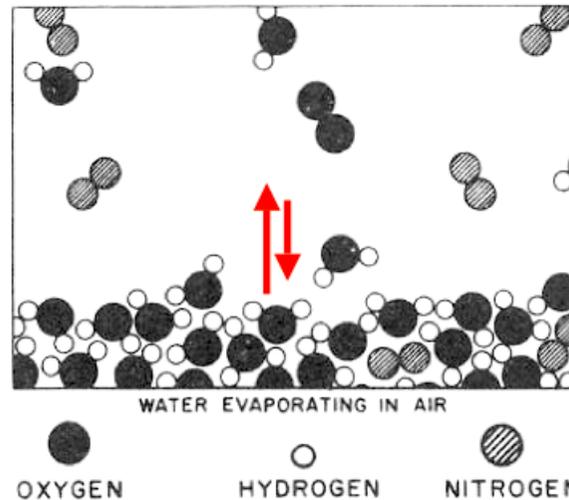
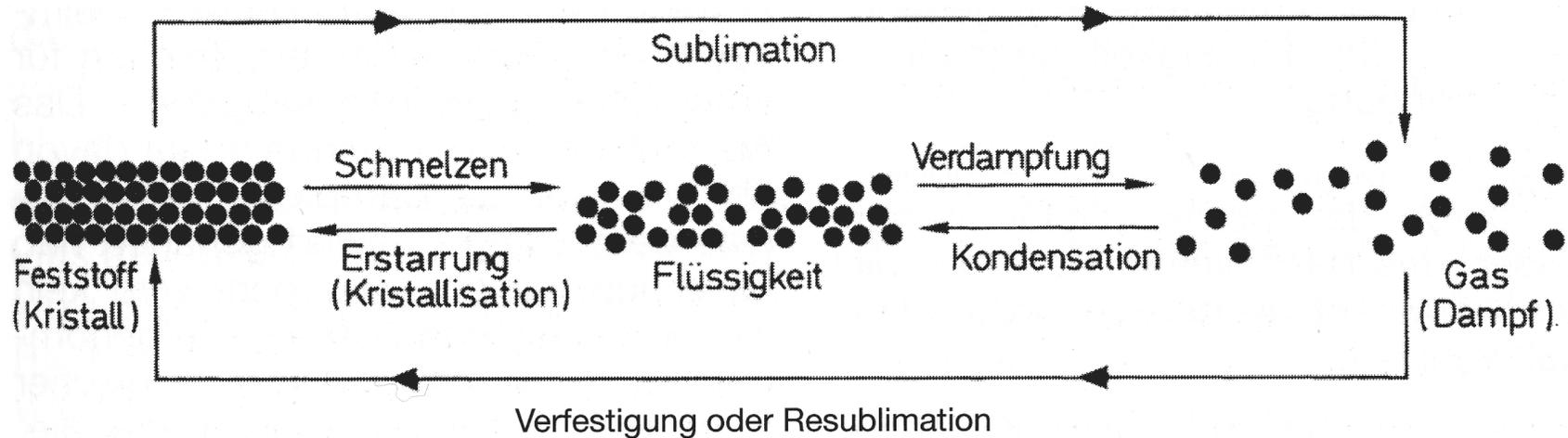


Wasserdampf

Wärmelehre

Übergänge zwischen Aggregatzuständen

- für eine *Umwandlung* von Aggregatzuständen muss **Energie** - bzw. **Umwandlungswärme** *zugeführt* oder *entzogen* werden

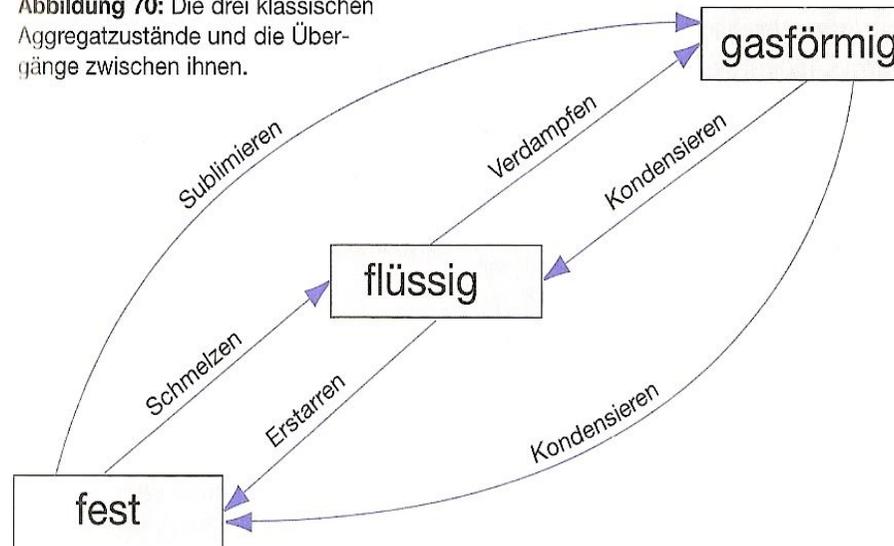


Wärmelehre

Änderung eines Aggregatzustandes

- von welchen physikalischen Randbedingungen hängt es ab, wie ein Stoff vorliegt ?
- **Druck** und **Temperatur**

Abbildung 70: Die drei klassischen Aggregatzustände und die Übergänge zwischen ihnen.

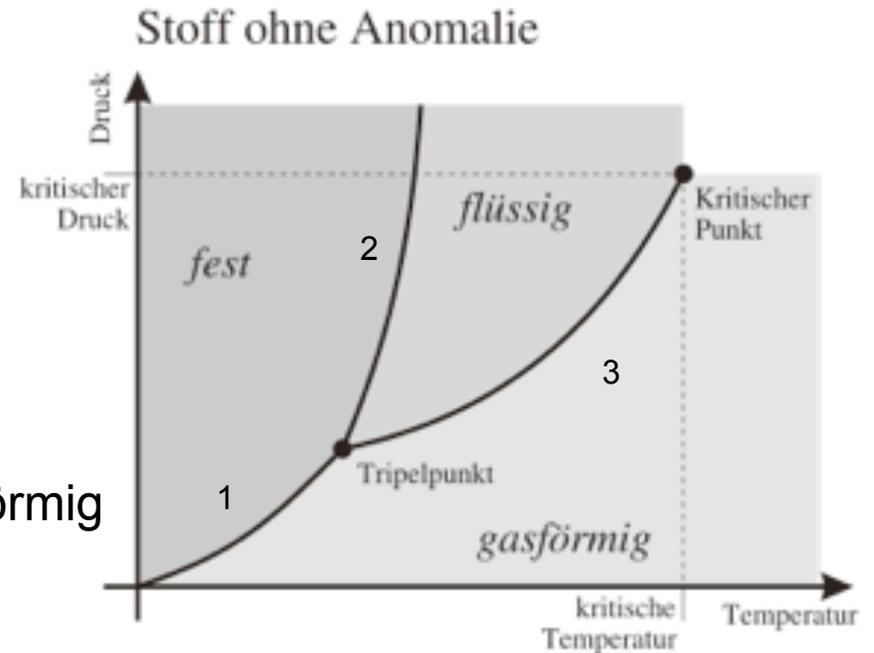


- im festen Aggregatzustand sind die Moleküle an ihre Plätze gebunden
- beim Schmelzen wird den Molekülen *Wärmeenergie* zugeführt
- sie führen starke Eigenschwingungen durch und werden von ihren Plätzen gerissen
- die dazu **benötigte Energie** wird **Schmelzwärme** bezeichnet und wird beim Erstarren wieder freigesetzt, d.h. die Flüssigkeit kann erst dann wieder erstarren, wenn sie die Schmelzwärme abgegeben hat
- man definiert die **spezifische Schmelzwärme** = **Schmelzwärme/Masse**

Wärmelehre

- auf den gezeigten Kurven sind jeweils zwei Phasen im Gleichgewicht
- in Druck und Temperaturabhängigkeit

1. Sublimationsdruckkurve: Phasengrenze fest-gasförmig
2. Schmelzdruckkurve: Phasengrenze fest - flüssig
3. Siedepunktkurve: Phasengrenze flüssig-gasförmig



Am Tripelpunkt sind alle drei Phasen im thermodynamischen Gleichgewicht vorhanden

An der Kritischerpunkt sind die Flüssig- und Gasphase nicht mehr unterscheidbar.

Wärmelehre

Wärmeausdehnung und Dichte

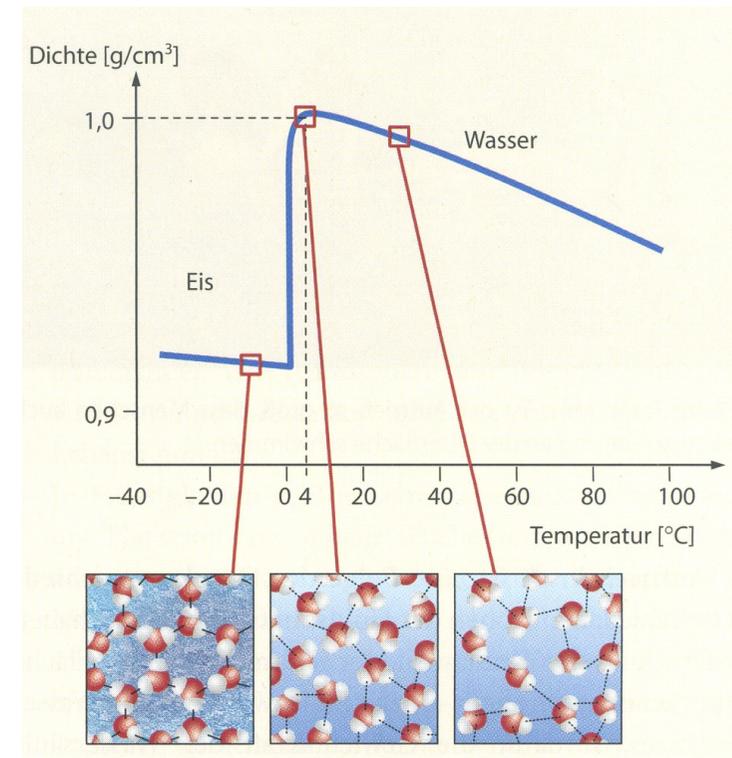
- mit der thermischen Ausdehnung ändert sich auch die Dichte
- d.h. Stoffe zeigen bei der **Umwandlung des Aggregatzustandes auch eine Änderung der Dichte**
- in fast allen Fällen ist in der Nähe des Umwandlungspunktes die Dichte der festen Phase grösser als jene der Flüssigkeit
- **Folge:** die noch festen Bestandteile sinken jeweils an den Boden des Gefässes

Ausnahme: ?

- Wasser
- die Dichte des Eises ist etwa 10% geringer als jene des Wassers
- bedeutet ca. 10% des Eis-Volumens ragt aus dem Wasser >> Eisberge, Eisschollen
- Meere frieren nicht vollständig zu, würde Eis auf den Boden sinken würde es viel länger dauern bis es wieder auftaut, in Flüssen etc. **Folge >> kein Leben möglich**

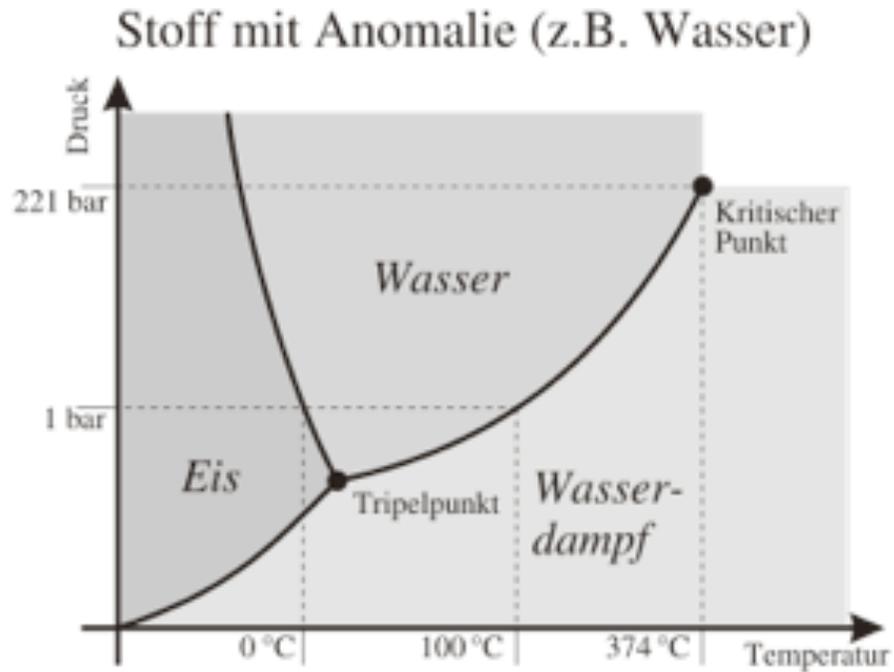


aussergewöhnliche Dichteanomalie des Wassers

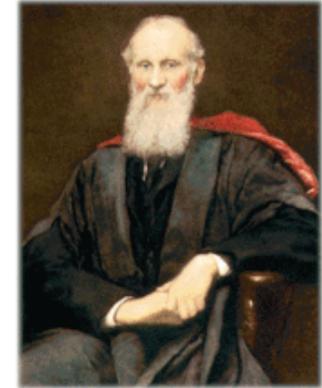


Wärmelehre

Phasendiagramm des Wassers mit Tripelpunkt



Wärmelehre



William Kelvin
1824-1907

Wärme und Temperatur

Die Temperatur T eines Körpers lässt sich erhöhen mit:

- mechanischer Energie - Reibung -
- elektrischer Energie - Kochen -
- chemischer Energie - Metabolismus, Explosion -
- nach dem Energieerhaltungssatz geht eine aufgewendete Energie nicht verloren
- es entsteht eine **Wärmemenge Q**

- Kalorienverbrauch eines Menschen
- ca: 2200 kcal/Tag
- 1 Ws = 0,239 cal
- 3-4 kWh/Tag
- ca: 1 €, falls elektrisch „vergütet“

$$\Delta W = \Delta Q \propto \Delta T$$

Zugeführte Energie
(N x m) oder (Ws)
1Nm = 0,239 cal

Wärmemenge
(Joule)
kg x m²/ sec²

Temperaturerhöhung

Wärmelehre

Zusammenfassung zu Definitionen in der Wärmelehre:

Die Wärme oder Wärmemenge:

- ist eine **makroskopische Grösse zur Beschreibung** der **ungeordneten Bewegung** von Molekülen, oder Schwingungen, Rotationen, Stößen in Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen
- **der Wärmeinhalt einer Substanz ist die Summe aller Bewegungen** aller Teilchen
- die Anzahl der Moleküle in einem Körper (Gasvolumen) ist „sehr hoch“
- die Berechnung und Bestimmung der einzelnen Bewegungen (mikroskopisch) aller Moleküle über einen längeren Zeitraum ist prinzipiell möglich aber praktisch unmöglich
- daher führt man die Temperatur als „neue“ Basisgrösse ein

Temperatur:

ist damit eine **makroskopische Angabe des Energieinhaltes** (des thermischen Zustandes) eines Körpers >>> **Temperatur ist eine Zustandsgrösse**

Wärmelehre:

- aus dem Vorherigen folgt, Wärmelehre ist auch eine **statistische Wissenschaft**

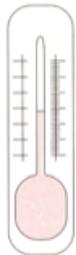
Wärmelehre

Messung der Temperatur (?)

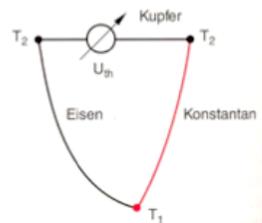
über stark temperaturabhängige physikalische
Größen der Materie

- Länge
- Volumen
- elektrischer Widerstand
- Viskosität

man nimmt Größen die mit der Temperatur
proportional zunehmen oder sich proportional verändern



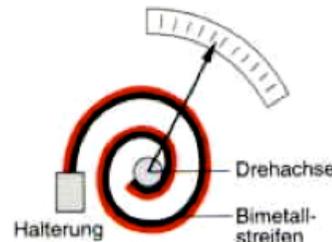
Flüssigkeits-
thermometer
Volumenaus-
Dehnung $\sim \Delta T$



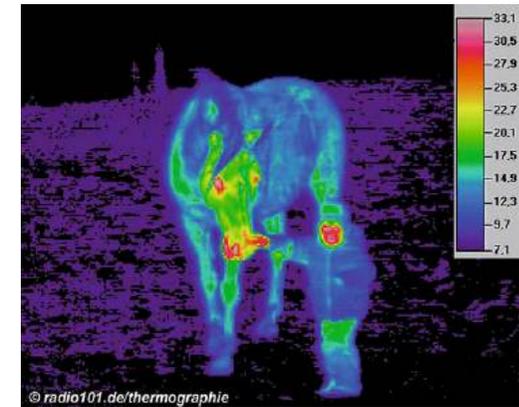
Thermoelement
Thermospannung



Messing/Stahl
der lineare Ausdehnungskoeffizient
der zwei Metalle ist verschieden



Bimetall-Thermometer
Krümmung $\sim \Delta T$



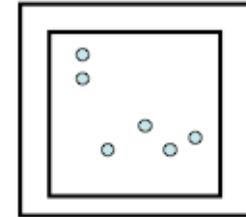
- Pyrometer** : nutzen Wärmestrahlung
- berührungslose Messung von 50° - 4000° C möglich
 - jeder Gegenstand mit einer Temperatur grösser 0 Kelvin emittiert Wärmestrahlung deren Intensität von seiner Temperatur abhängt



Wärmelehre

Grundlagen für Messungen in der Wärmelehre und zur Erklärung der Phänomene

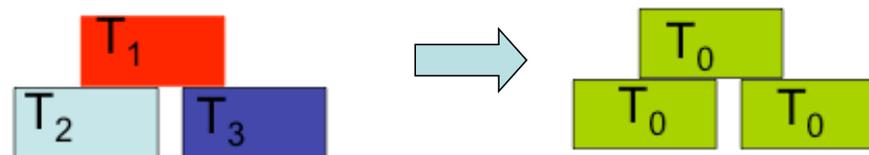
Abgeschlossenes System (in der Wärmelehre):



- ist definiert als:
- - ein System, welches **mit keinem anderem System in Wechselwirkung steht**
- - welches keinen Teilchen- oder Wärmeaustausch mit der Aussenwelt hat

Gleichgewichtszustand

- befinden sich zwei Körper mit einem dritten im thermischen Gleichgewicht, so sind sie auch untereinander im Gleichgewicht
- **Nullter Hauptsatz der Thermodynamik**

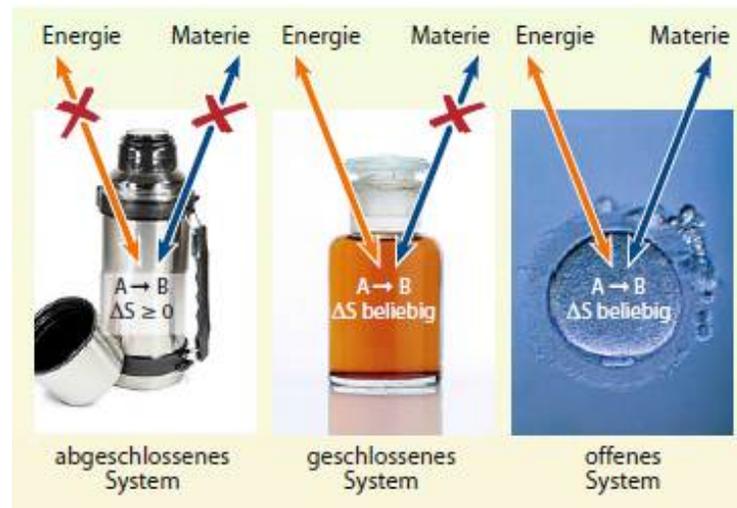


Wärmelehre

Grundlagen für Messungen in der Wärmelehre und zur Erklärung der Phänomene

Abgeschlossenes System (in der Wärmelehre):

- ist definiert als:
- - ein System, welches *mit keinem anderem System in Wechselwirkung steht*
- - kein Teilchen- oder Wärmeaustausch mit der Aussenwelt hat



Definitionen in Anlehnung an die Lebenswissenschaften:

- **Abgeschlossene Systeme:** Sind vollständig isoliert und tauscht weder Energie noch Materie mit der Umgebung aus. Dewargefäße oder Thermoskannen sind annähernd abgeschlossen.
- **Geschlossene Systeme:** Sind z.B. Glasgefäße mit Deckel, lassen keine Materie hinein, stehen aber im Energieaustausch mit der Umgebung
- **Offene Systeme:** Lebewesen sind offene System, Sie lassen eine Verschiebung von Energie und Materie zu