

## Letzte Stunde

- Anomalie des Wassers: größte Dichte bei 4 °C
- 0. Hauptsatz der Thermodynamik
  - Bringt man Körper unterschiedlicher Temperatur in Wärmekontakt, so kommen sie ins thermische Gleichgewicht und nehmen dieselbe Temperatur an
- Thermometer
  - Flüssigkeitsausdehnung, Ausdehnung von Gas
  - Bimetall (unterschiedliche Längenausdehnung von Metallen)
  - Elektrisch (Widerstandsveränderung, Thermoelemente)
  - Optisch (Pyrometer, Thermographie)
- Temperaturänderung  $\Delta T$  eines Körpers ist proportional zur aufgenommenen/abgegebenen Wärmemenge  $\Delta Q$  (Energie)
  - spezifische Wärmekapazität  $c$  *Einheit: J/(kg K)*  $\Delta Q = c m \Delta T$

## Heute

- 11.2 Aggregatzustände

<http://www.ep1.rub.de/lehre/veranstaltungen/ws0910/physikcbg/>

## zu 11.1. Wärmekapazität

Alte Einheit: cal

1 g Wasser um 1 K erwärmt (bz: 15°)

$$E = c \cdot m \Delta T = 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1 \text{g} \cdot 1 \text{K}$$

$$= 4,185 \text{ J} = 1 \text{ cal}$$

1 Kcal (= Kalorie NÄHRWERT-  
angaben)

Bsp. Badewanne 200 l Wasser  
 mit 40°C Wasser füllen  
 Zulauftemperatur 10°C

Energiebedarf?  $c = 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow m: 200 \text{ kg H}_2\text{O}$

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 200 \text{ kg} \cdot 30 \text{ K}$$

$$\Delta Q = 25 \text{ MJ} = 7 \text{ kWh}$$

Zeit für Aufheizung durch Sonnenenergie?

Solar Konstante:  $1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$  Sonnenkollektor  $1 \text{ m}^2$

$\rightarrow 1 \text{ kW}$

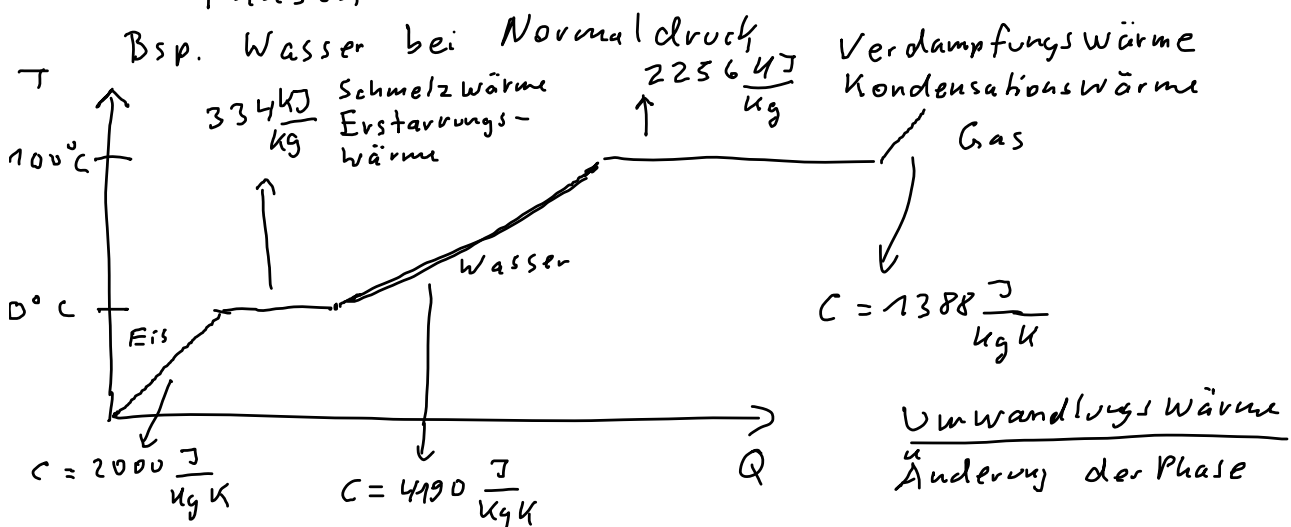
$\eta = 0,7$  (Wirkungsgrad)

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{P \cdot \eta} = \frac{7 \text{ kWh}}{1 \text{ kW} \cdot 0,7} = \underline{\underline{10 \text{ h}}}$$

## 11.2 Aggregatzustände

Wärmemengen — Änderung der Temperatur  
 — Änderung des Aggregatzustandes

Allgemein Übergänge zwischen verschiedenen Phasen



## Werte

Material	Schmelzt.	Siedetemp.	spez. Schmelzwärme	spez. Siedewärme
Wasser	0 °C	100 °C	334 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	2257 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Blei	327 °C	1750 °C	23 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	8600 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Eisen	1535 °C	2735 °C	277 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	6399 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
CO <sub>2</sub>	-57 °C	-79 °C	184 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	574 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Besonderheiten:

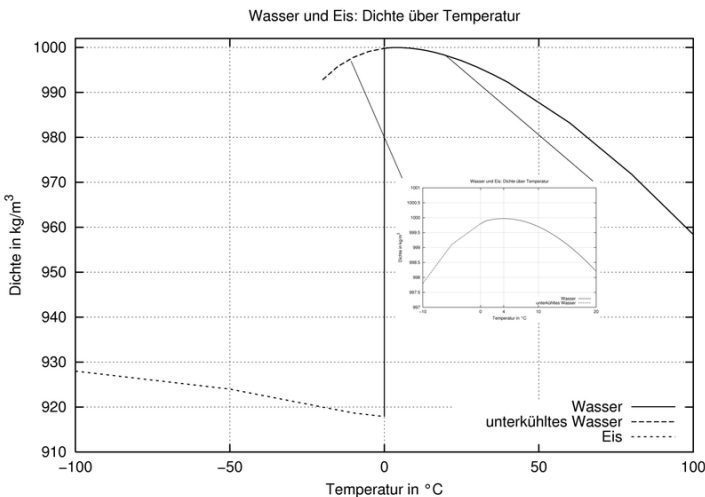
Gefrierpunkt erniedrigung durch gelöste Stoffe

Siedepunkt erhöhung für Lösungen

Normal: Ausdehnung beim Schmelzen

Wasser:  $\approx 10\%$  Volumenzunahme beim Erstarren  
( $\rightarrow$  Erosion)

Druck auf Eis  $\rightarrow$  Kompression  
 $\rightarrow$  Schmelzen



Erstarrungsverzug  
(Wasser bei -10 °C)

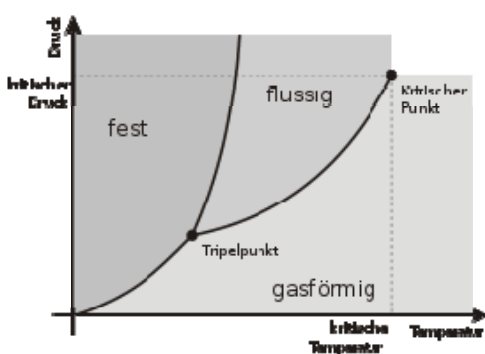
Siedeverzug über 100 °C  
 $\rightarrow$  Verdampfung explosionsartig

$\rightarrow$  Steinchen im Glaskolben

Verdunstung von kaltem Wasser  
 (stat. Prozess, einige Moleküle können die  
 Auschnittsarbeit aufbringen)

## Druckabhängigkeit der Phasenübergänge

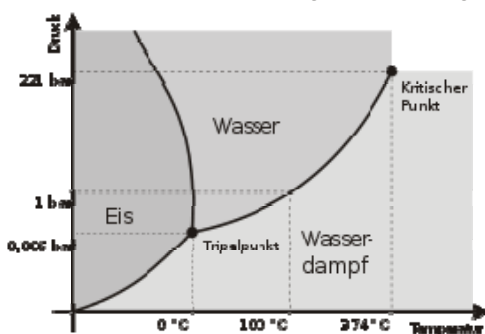
Stoff ohne Anomalie



Versuch Frigen

Trockeneis

Stoff mit Anomalie (z.B. Wasser)



Sublimation: Übergang  
 fest  $\rightarrow$  gasförmig

# Zusammenfassung

- Änderung des Aggregatzustandes (bzw. allgemein der Phase eines Stoffes) erfordert Energie bzw. es wird Energie frei.
  - Schmelzwärme, Verdampfungswärme (Energiezufuhr)
  - Erstarrungswärme, Kondensationswärme (Energieabgabe)
  - Die zugehörigen Haltetemperaturen (Schmelzpunkt, Siedepunkt) sind druckabhängig
- Koexistenz zweier Phasen wird im p-T-Diagramm beschrieben. Am Tripelpunkt existieren alle drei Phasen gleichzeitig.