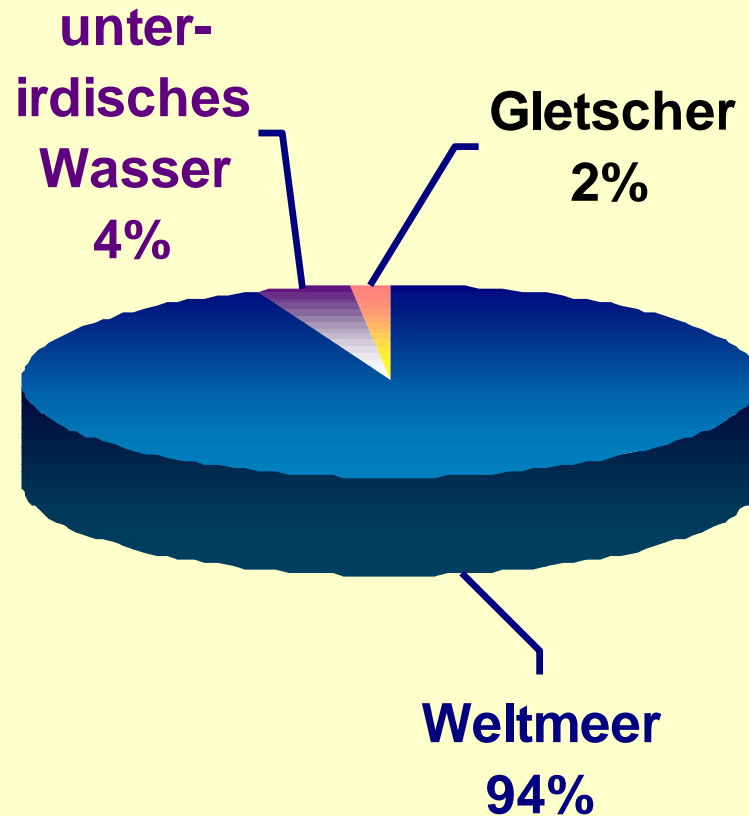
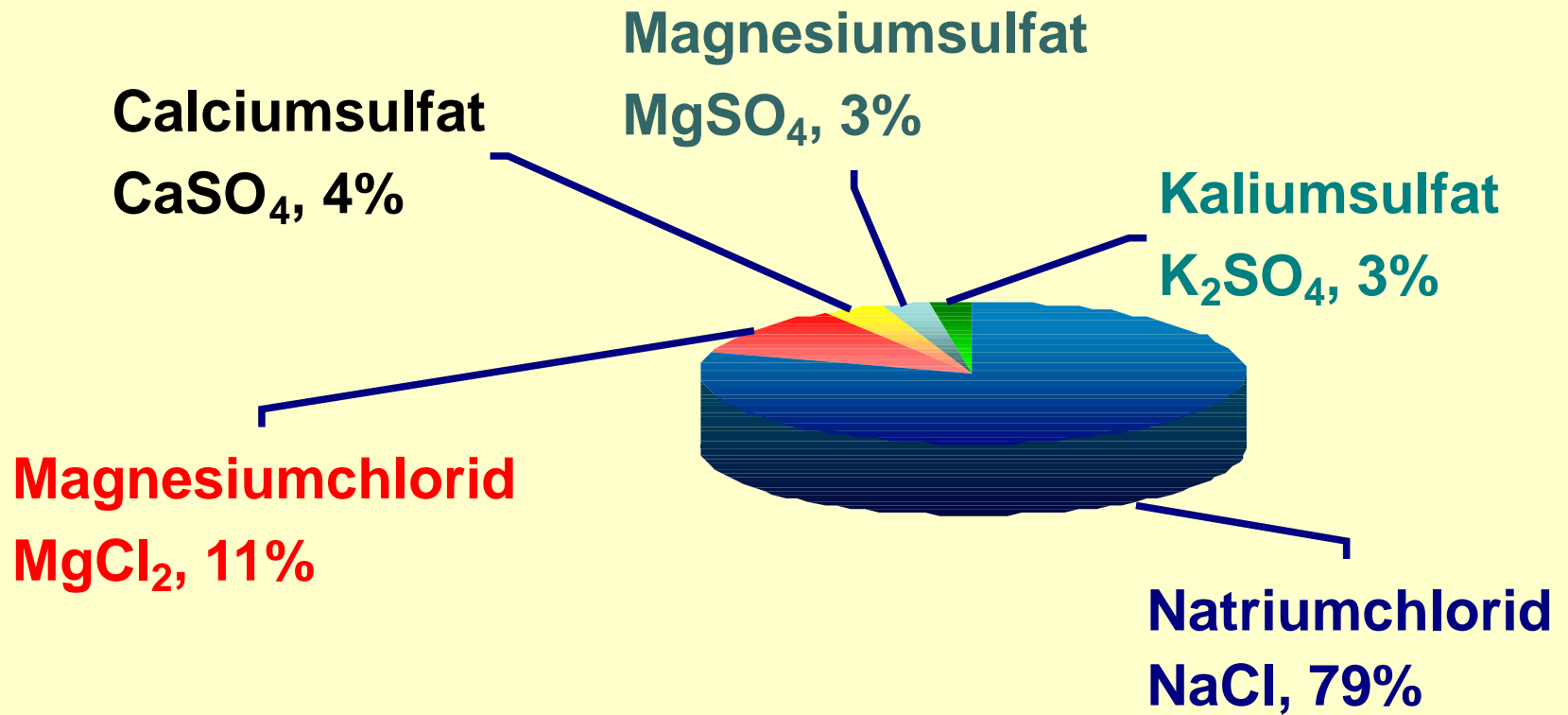


# H<sub>2</sub>O, Verteilung auf der Erde

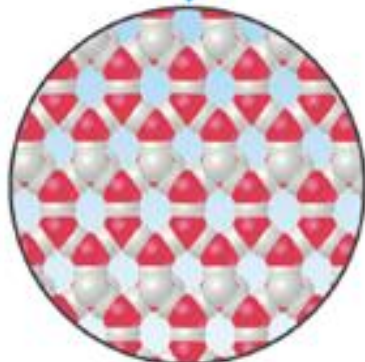


Das Wasser von Seen und Flüssen besitzt einen Anteil von 0.016 %, der Wasserdampf in der Atmosphäre von 0.001%. 1

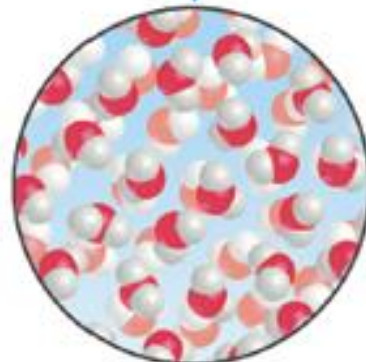
# Häufigste Inhaltsstoffe im Meerwasser



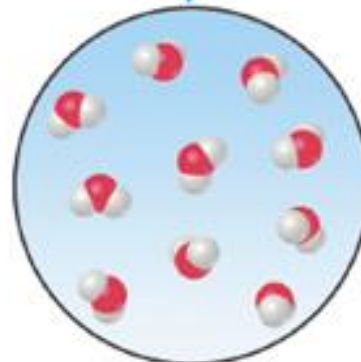
# Aggregatzustände



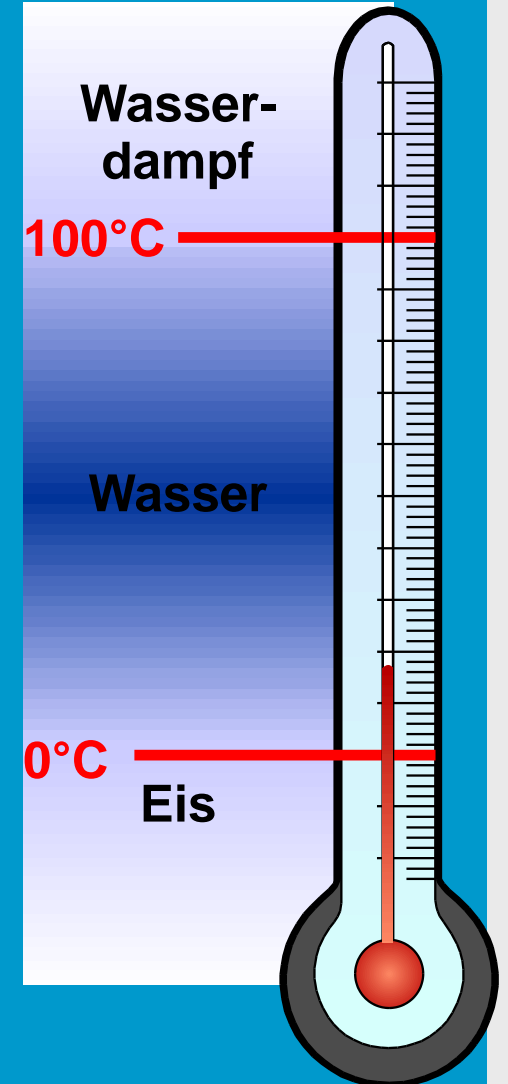
fest



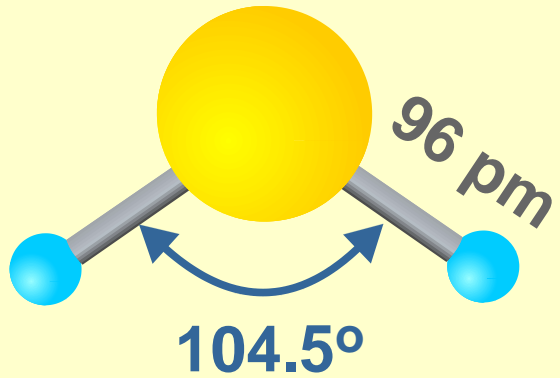
flüssig



gasförmig



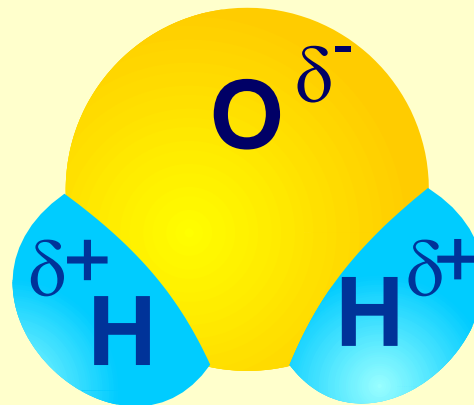
# Molekülstruktur und Dipolmoment



$C_{2v}$

$\mu = 1.84 \text{ D}$

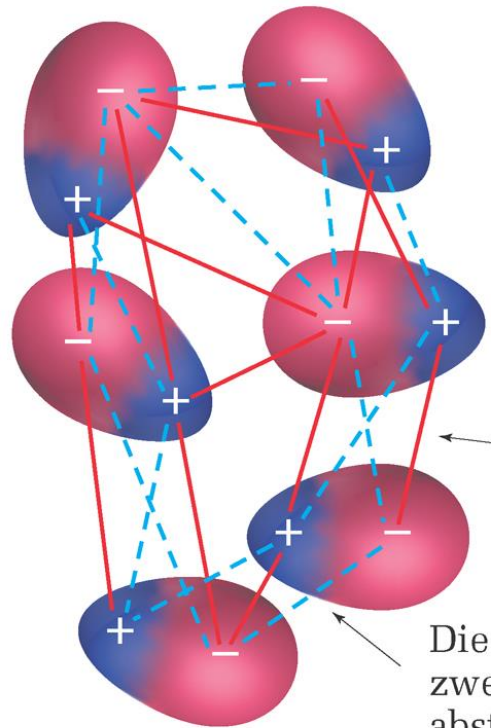
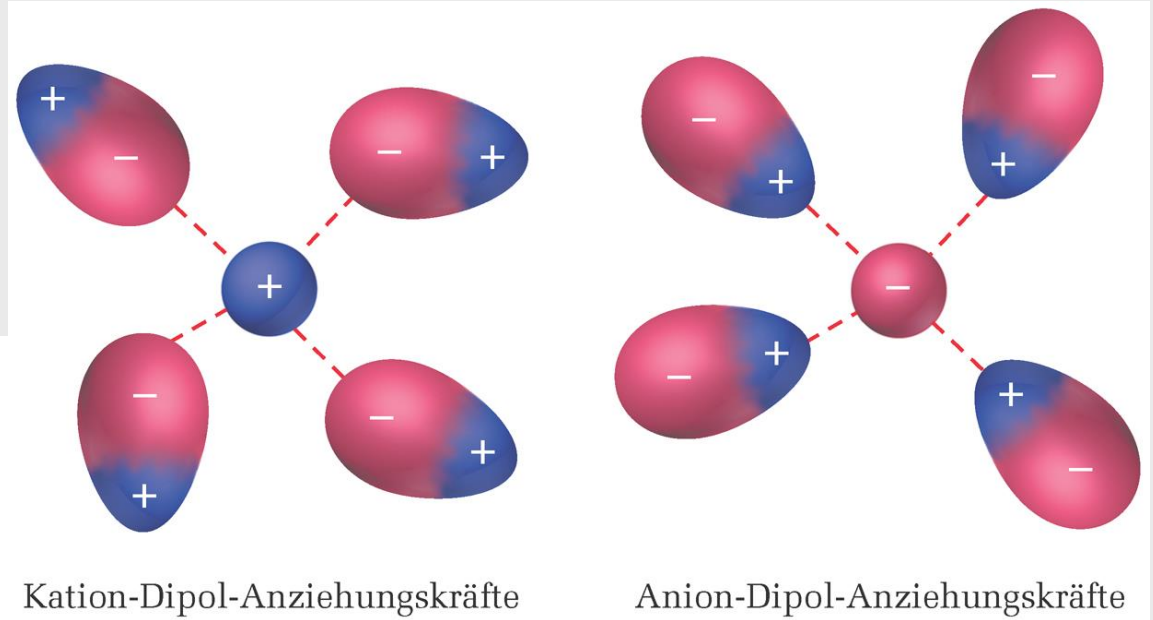
Wassermolekül



Dipol



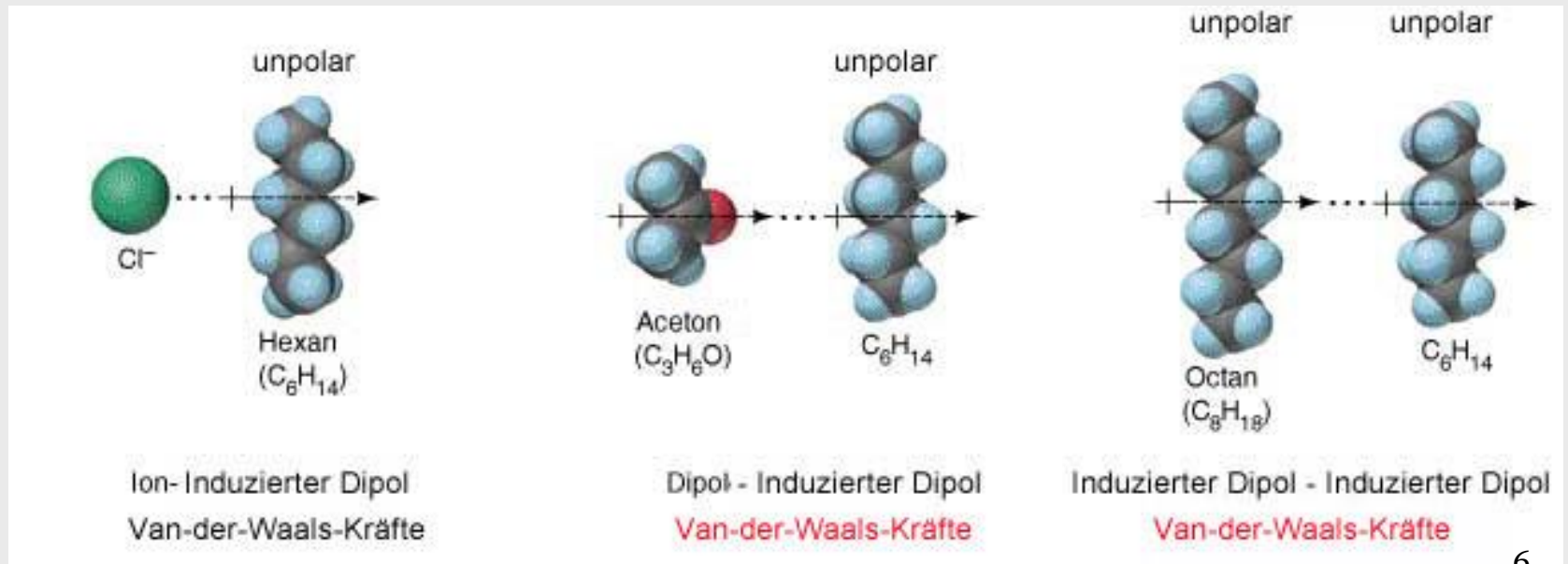
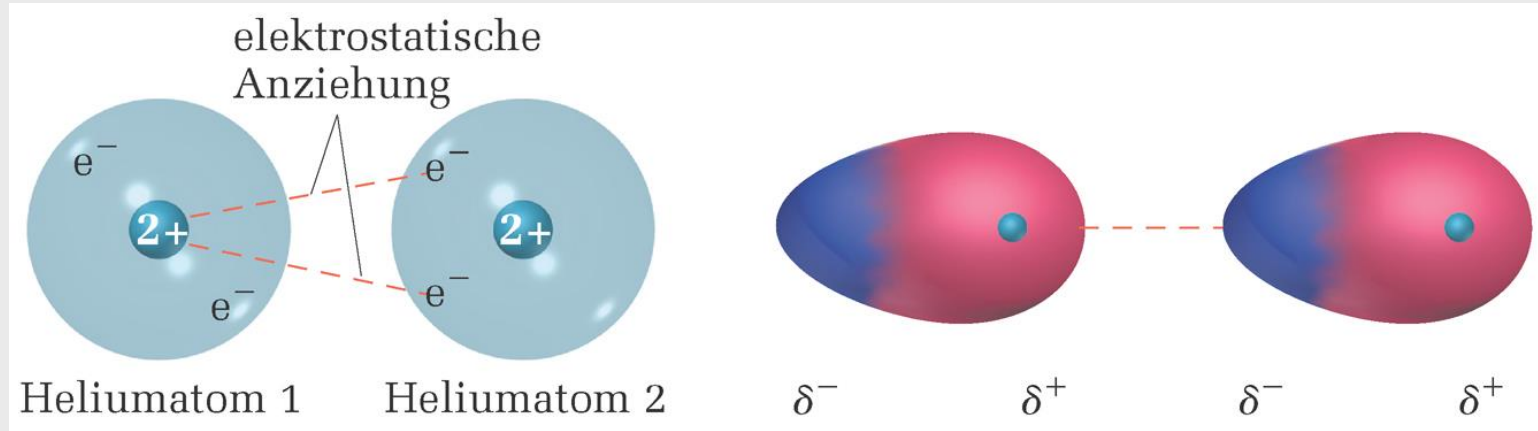
# Intermolekulare Kräfte: Dipol-Dipol / Dipol-Ion



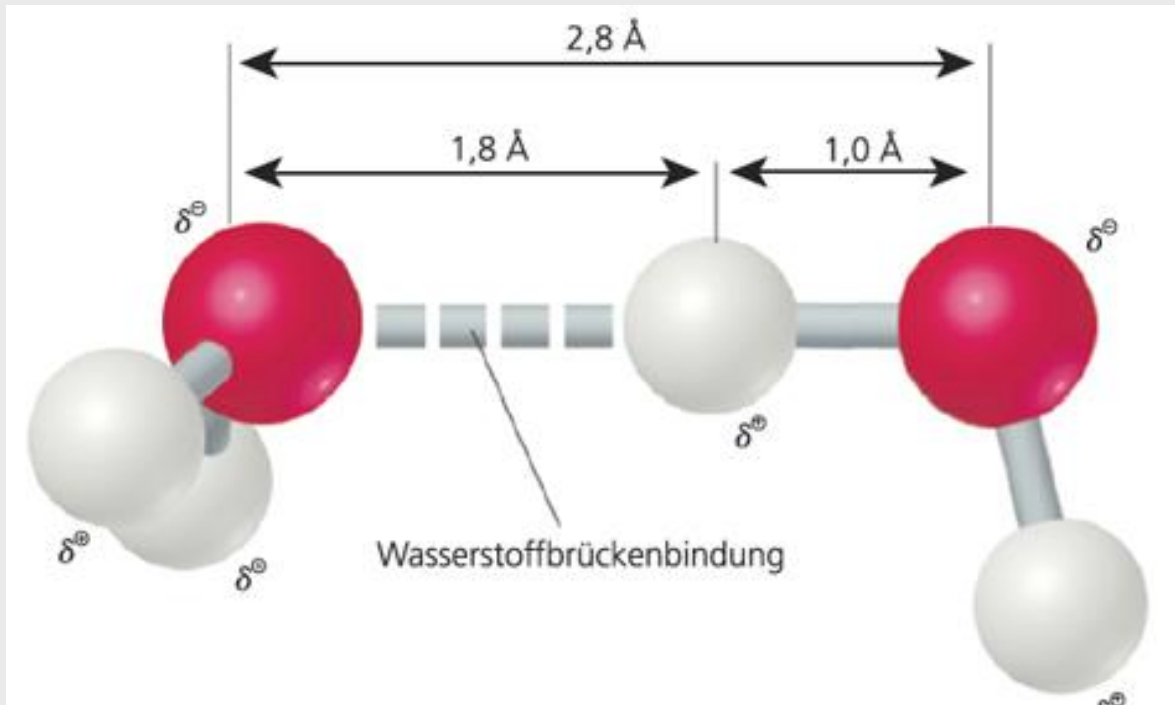
Die Wechselwirkung zwischen zwei entgegengesetzten Ladungen ist anziehend (durchgehende rote Linien).

Die Wechselwirkung zwischen zwei gleichen Ladungen ist abstoßend (gestrichelte blaue Linien).

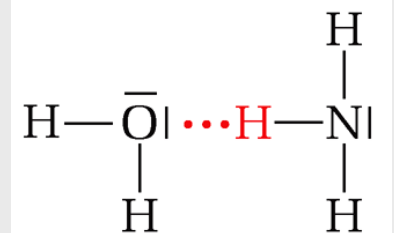
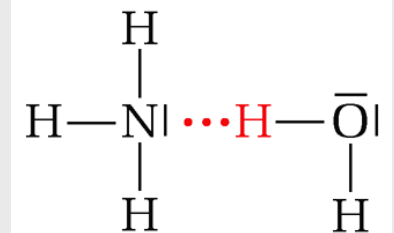
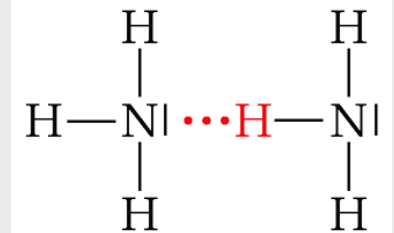
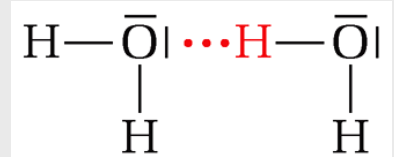
# Intermolekulare Kräfte: Induzierte Dipole



# Wasserstoffbrückenbindungen

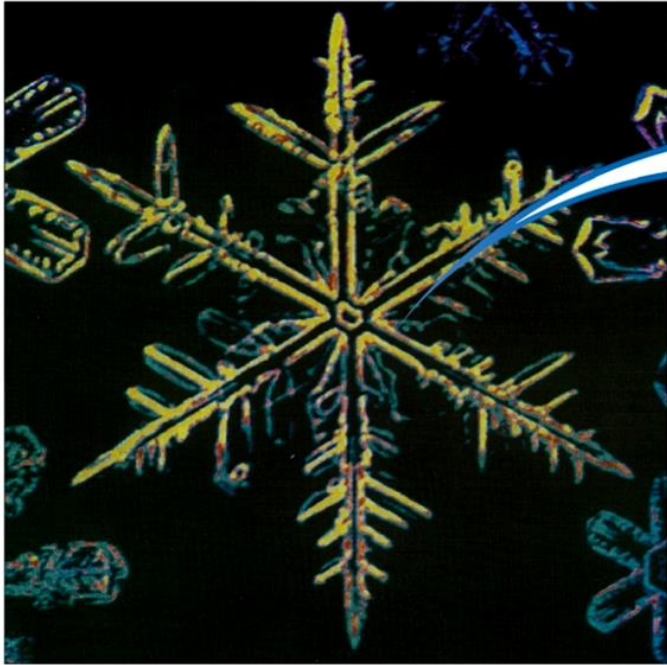


Bindung	$\Delta H_f^{\text{Bind}}$ [kJ/mol]
O-H	463
O-O	146
C-H	413
<b>O...H</b>	<b>20</b>

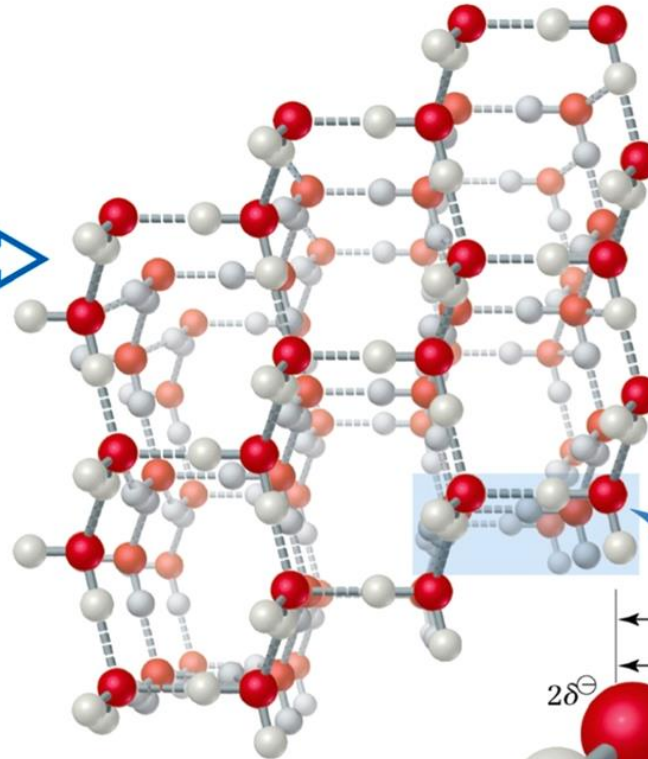




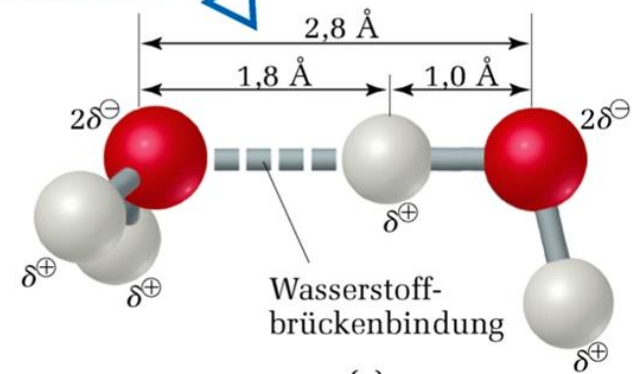
# Struktur von Eis



(a)



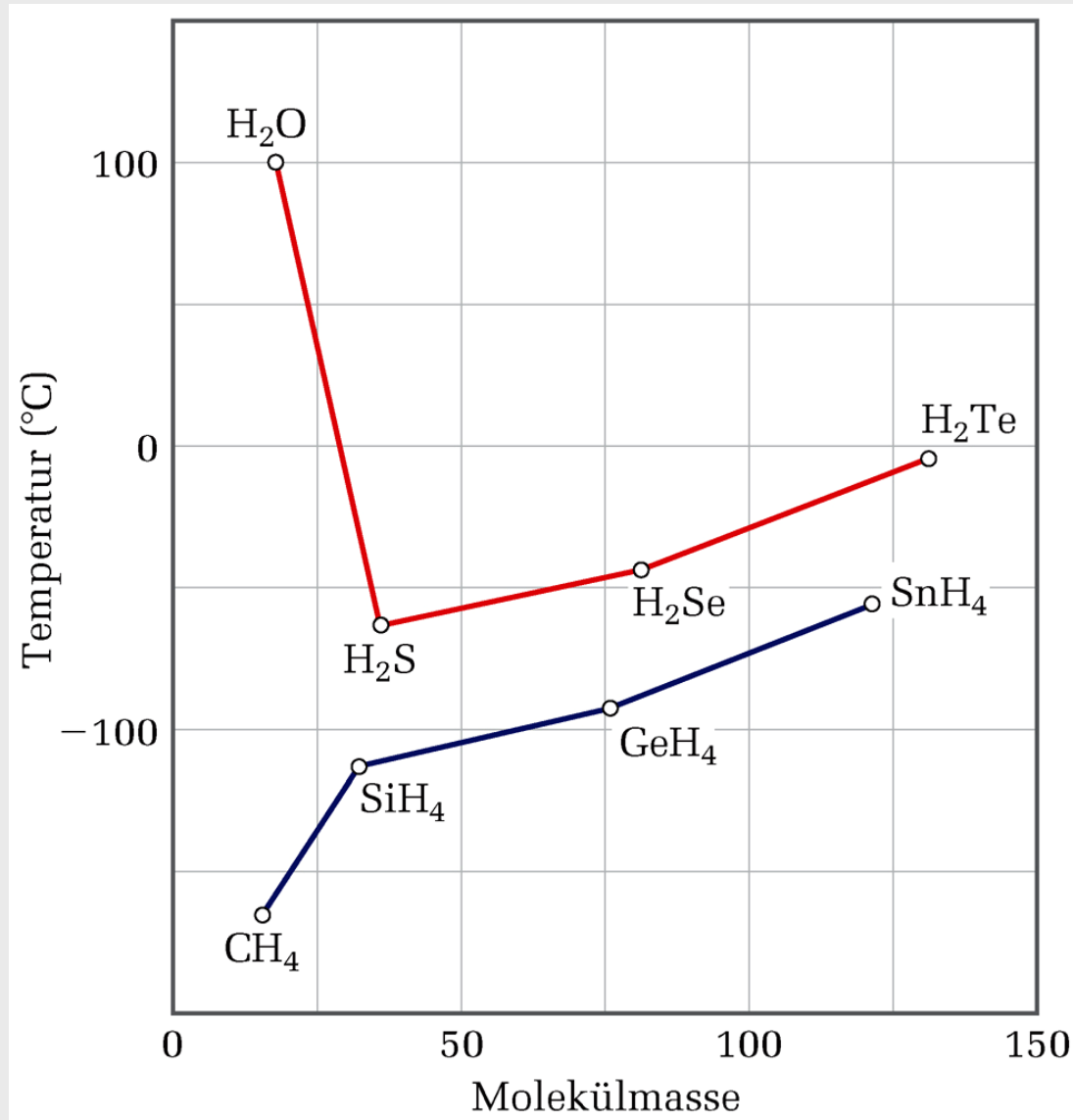
(b)



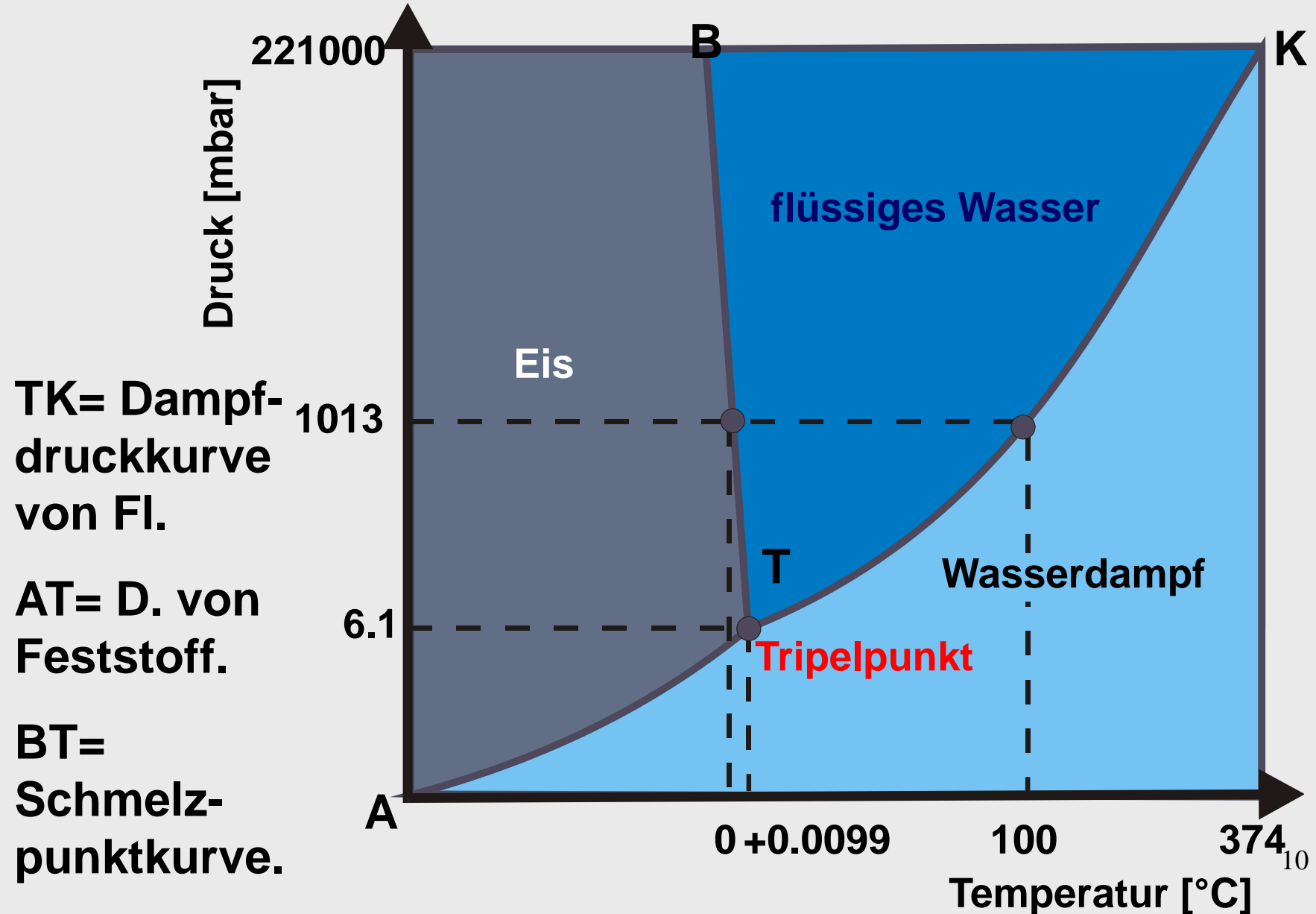
(c)



# Siedepunkte der Wasserstoffverbindungen der Gruppen 14 & 16



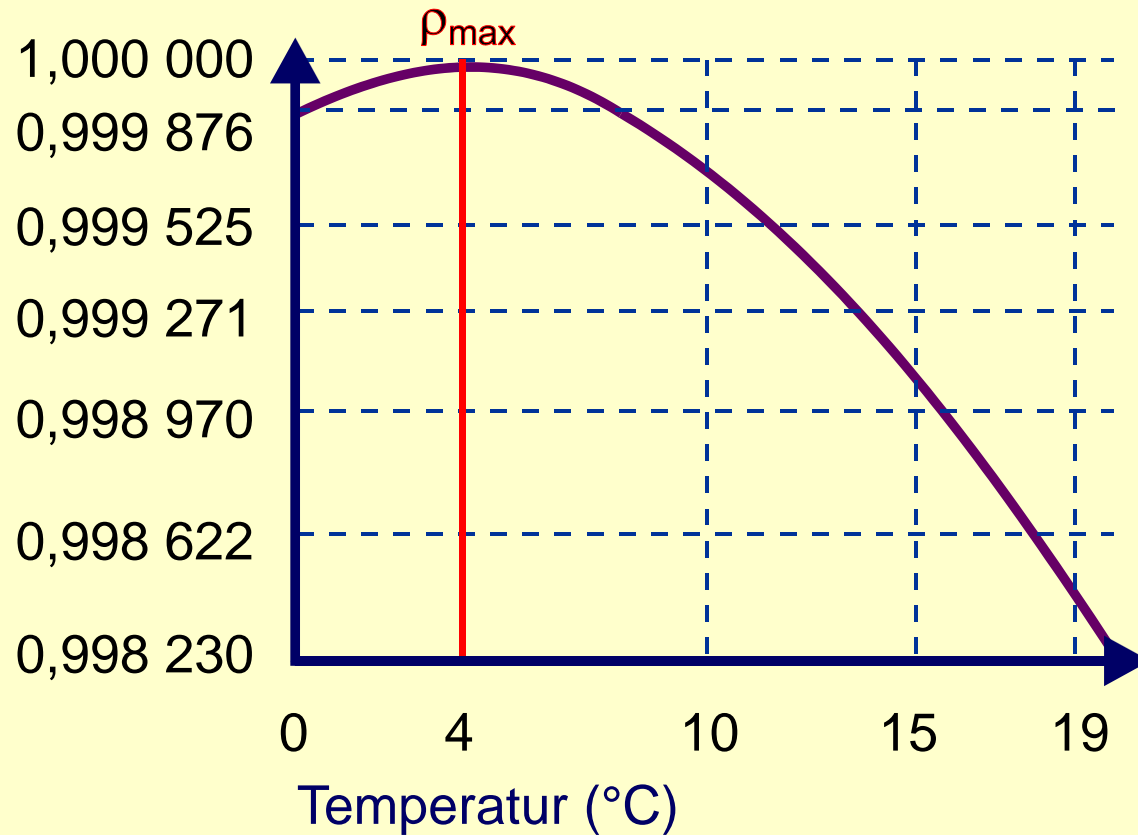
# Zustands- oder Phasendiagramm von Wasser



# Dichte in Abhängigkeit der Temperatur - Dichteanomalie

flüssiges Wasser

Dichte [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]



flüssig

fest

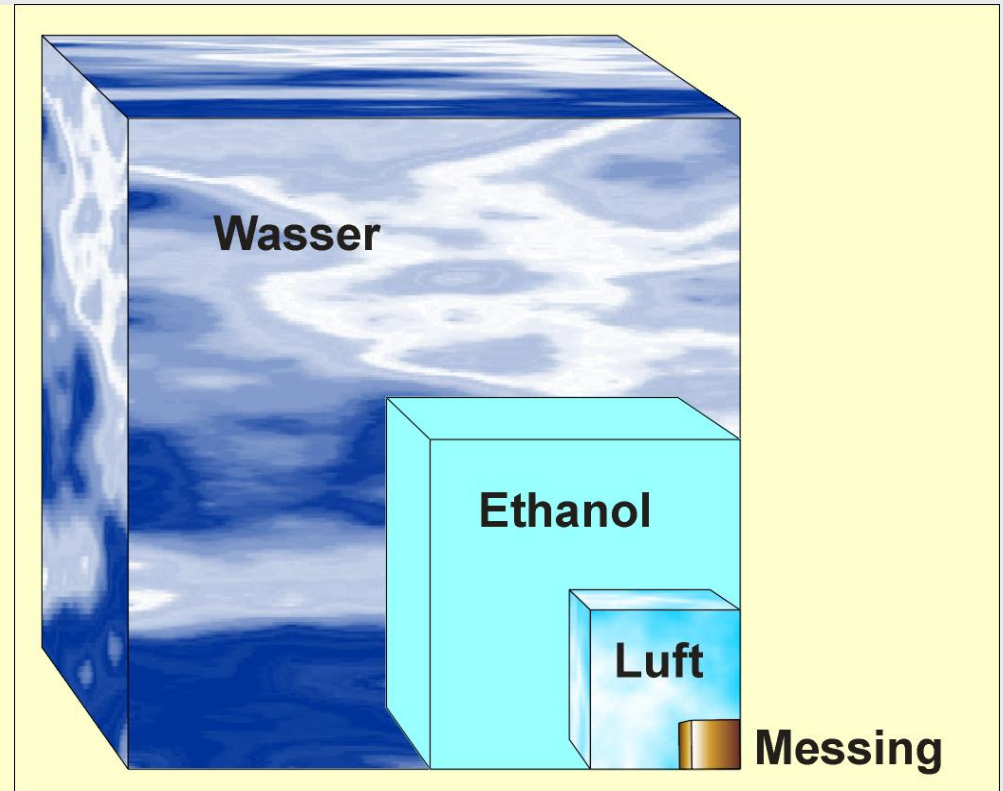


$\Delta V \sim 9\%$

# Spezifische Wärmekapazität c (0°C - 100°C)

Substanz	c [J · K <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> ]
Messing	0.37
Kupfer	0.38
Luft	1.01
Glas	0.80
Ziegelmauer	0.92
Wasser (g)	2.01
Wasser (s)	2.03
Ethanol	2.42
<b>Wasser (l)</b>	<b>4.18</b>

**Wärmespeicherung!**



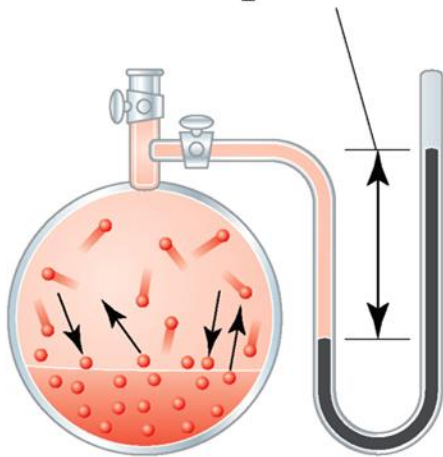
$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

Q = zu- oder abgeführte Wärmemenge, m = Masse, t<sub>1</sub> = Anfangstemperatur, t<sub>2</sub> = Endtemperatur

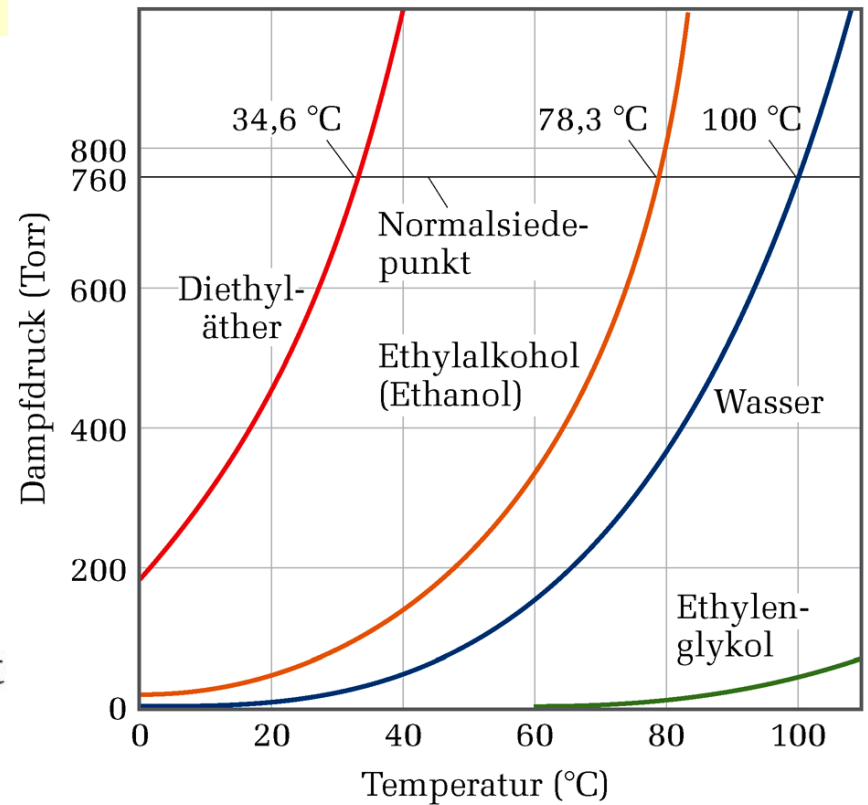
# Dampfdruck

Eine Flüssigkeit siedet, wenn ihr Dampfdruck  $p_{\text{Dampf}}$  so groß geworden ist wie der äußere Druck  $p_{\text{außen}}$ .

$p_{\text{Gas}} =$  Gleichgewichts-  
dampfdruck



Im Gleichgewicht gehen Moleküle mit der gleichen Geschwindigkeit in die Flüssigkeit und aus der Flüssigkeit.



**760 Torr = 1013 mbar**

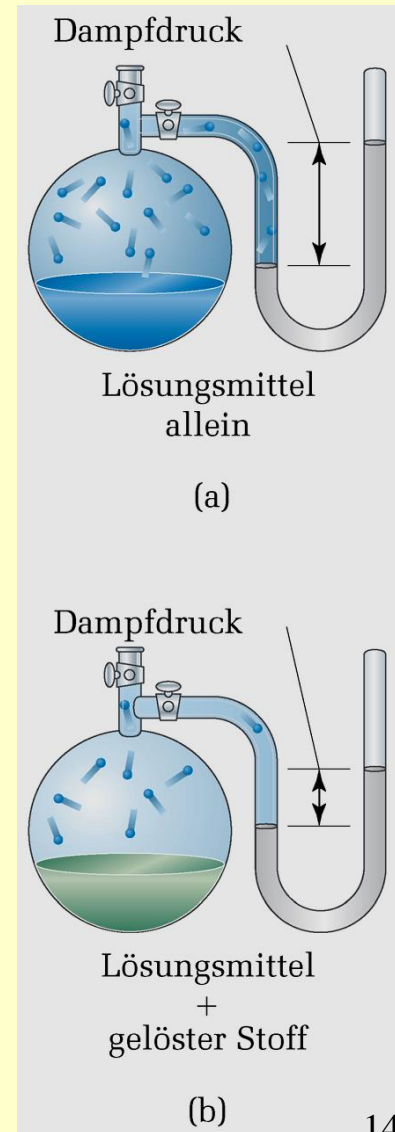
# kolligative Eigenschaften - Raoult'sches Gesetz

Bei Lösung eines Stoffes erniedrigt sich der Dampfdruck und die Temperatur muss erhöht werden damit die Flüssigkeit siedet.

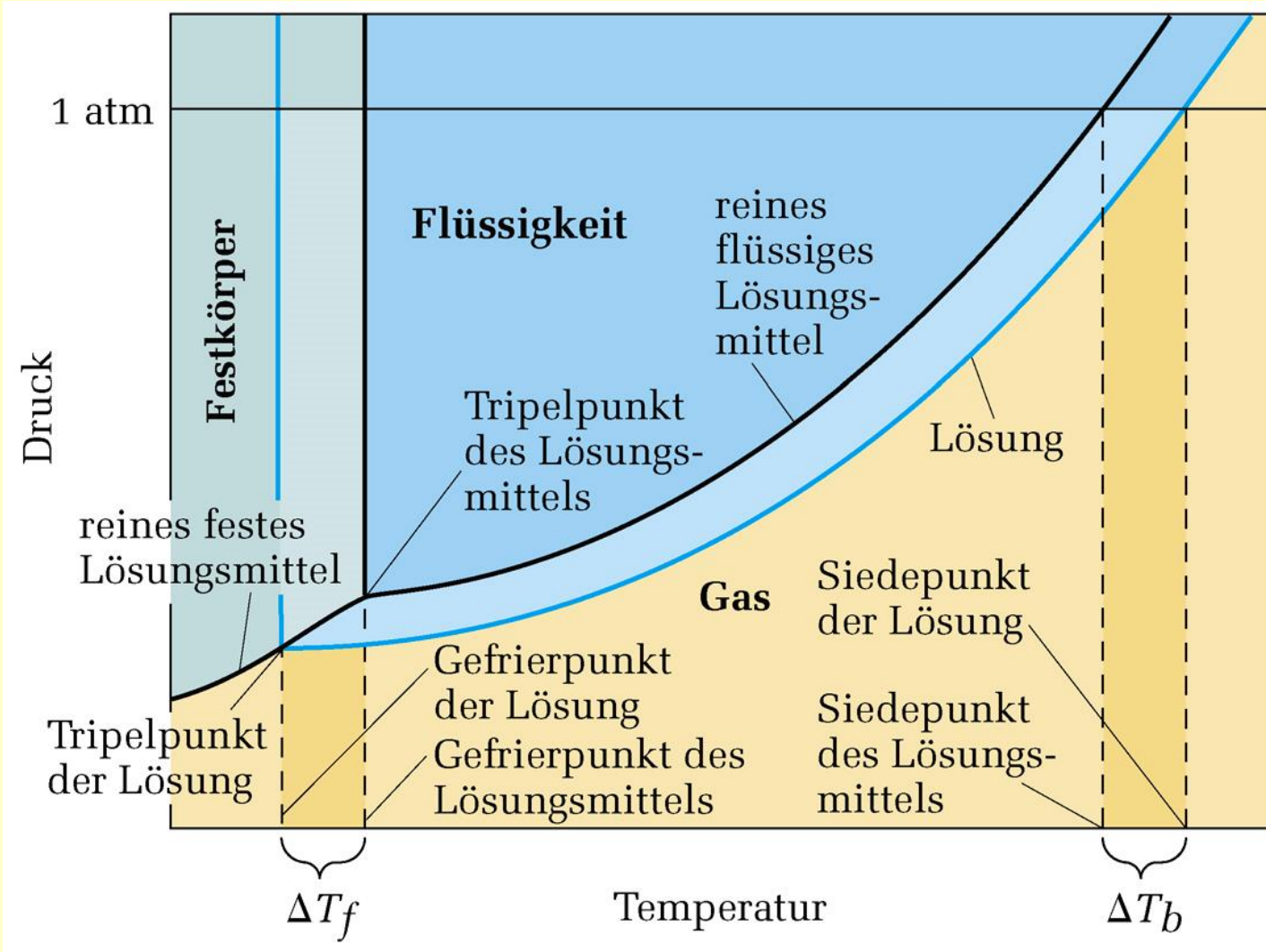
**Die relative Dampfdruckerniedrigung  $\Delta p/p$  ist nur von der Zahl  $N_s$  der gelösten Teilchen, jedoch nicht von der Art des gelösten Stoffes abhängig (kolligative Eigenschaften).**

$$\Delta p = \frac{N_s}{N_s + N_L} p$$

$N_L$  = Teilchenzahl des Lösungsmittels

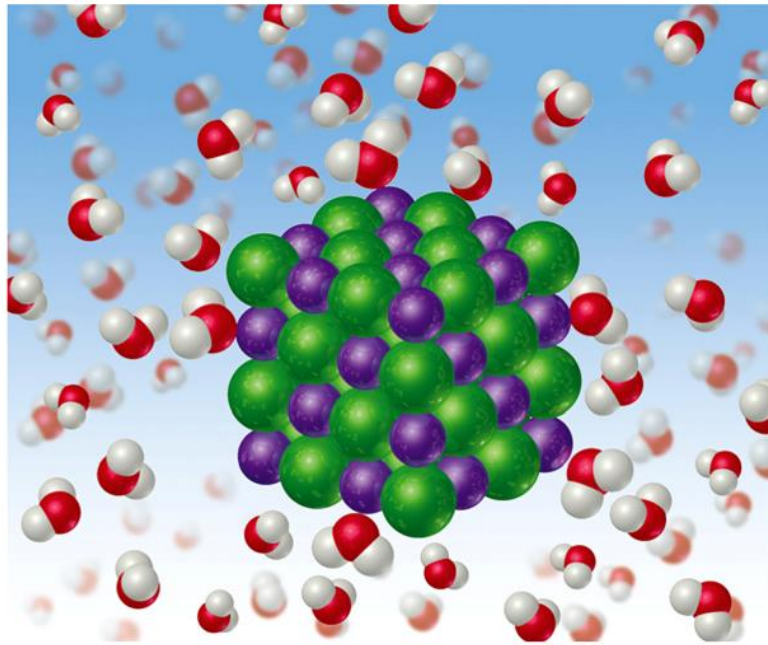


# Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung

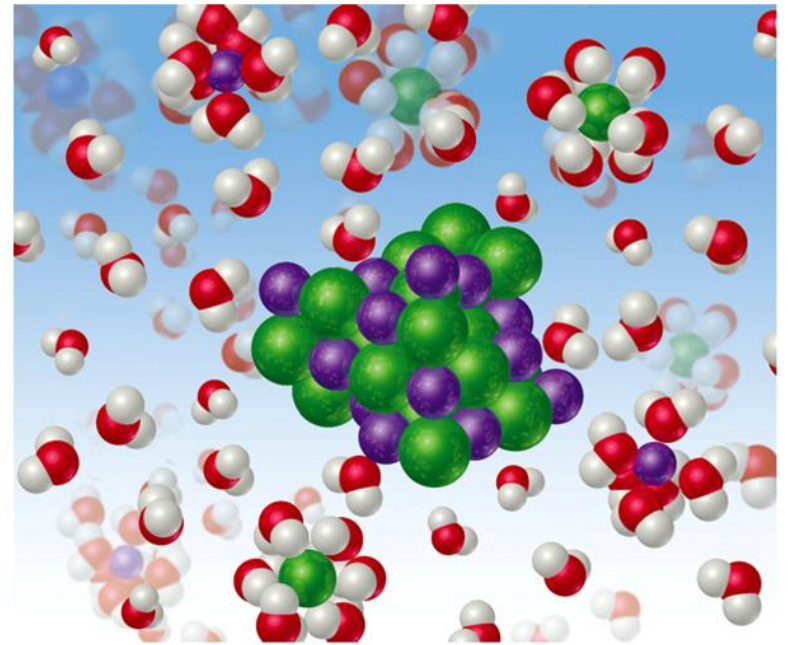




# Lösen eines Salzes in Wasser



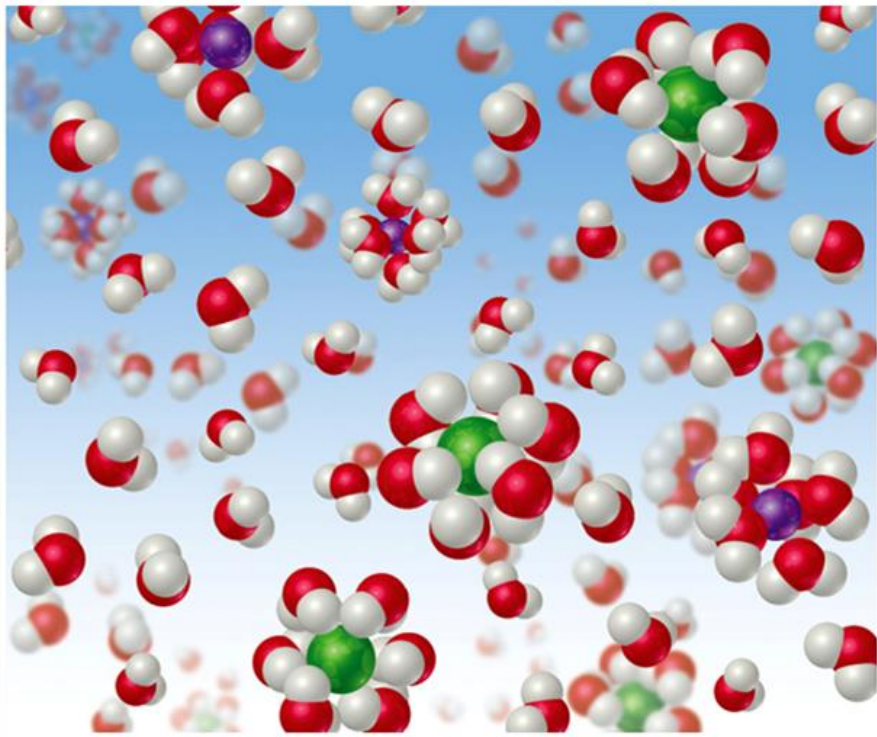
(a)



(b)

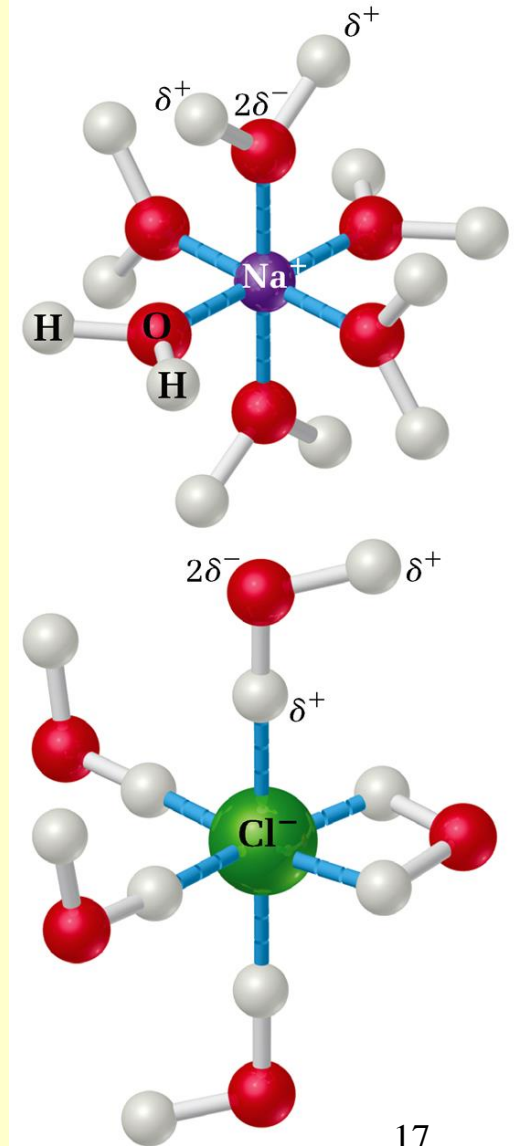
ionischer Festkörper wird in Ionen zerlegt  
Kationen / Anionen werden solvatisiert...

# Lösen eines Salzes in Wasser

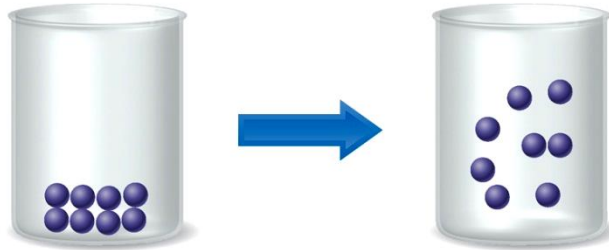


(c)

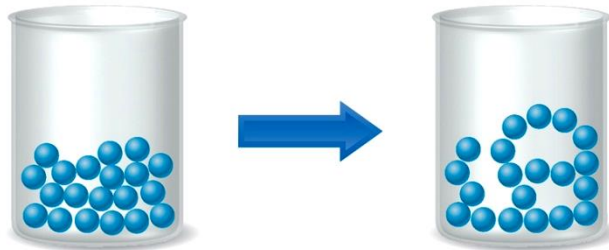
Solvatisierte Ionen stellen bewegliche  
Ladungsträger dar:  
→ Leitfähigkeit von Salzlösungen



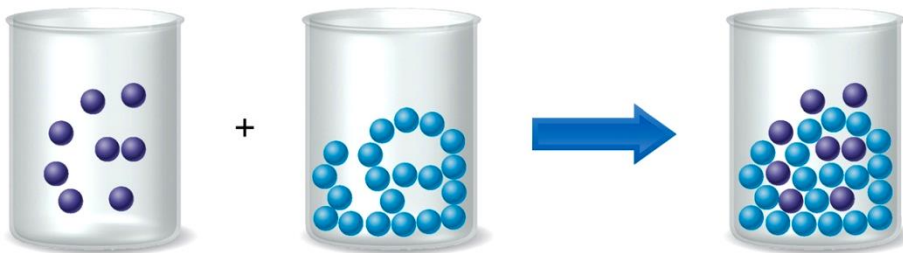
# Energetik des Lösevorganges



$\Delta H_1$ : Trennung von Molekülen des zu lösenden Stoffs



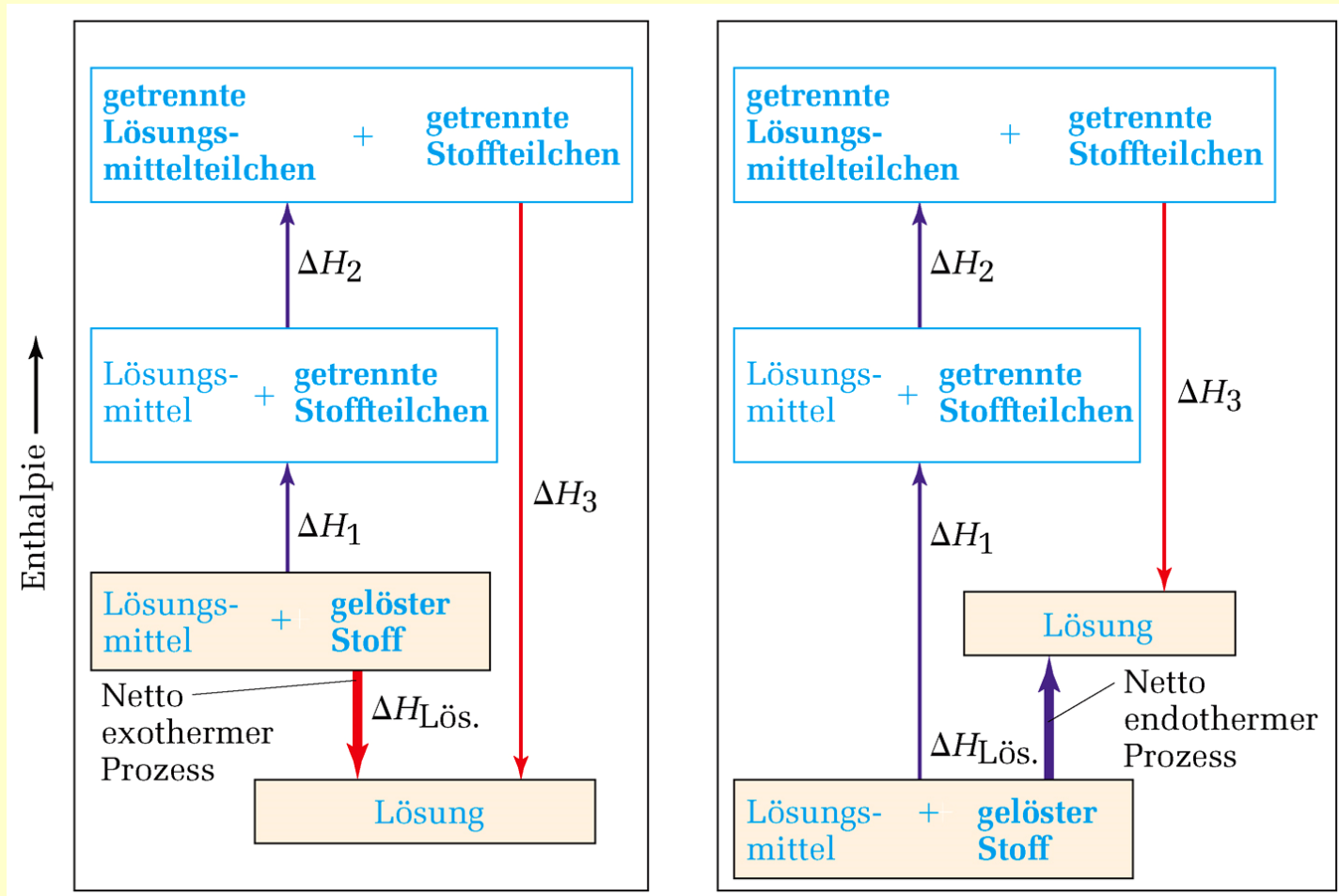
$\Delta H_2$ : Trennung von Lösungsmittelmolekülen



$\Delta H_3$ : Bildung von Wechselwirkungen zwischen gelöstem Stoff und Lösungsmittel

Generell:  
Lösungsvorgang  
führt zu einer  
**Entropiezunahme**

# Exotherme und endotherme Lösevorgänge

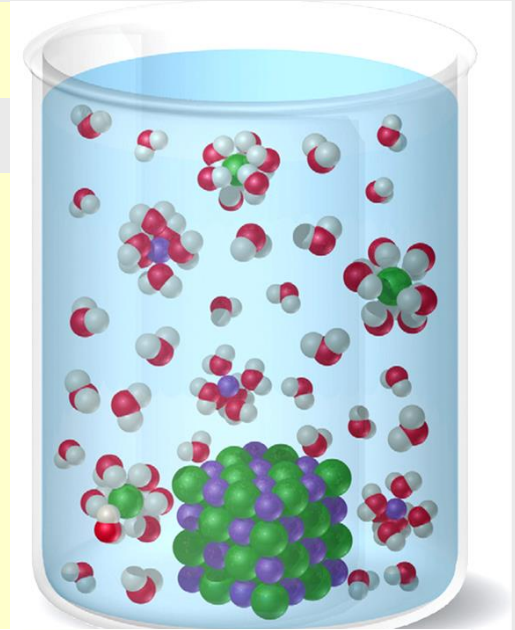




# Gesättigte Lösungen

Dynamischer Gleichgewichtszustand  
zwischen Löse- und Fällungsreaktion

Gesättigte Lösung: Es muss ein  
Bodenkörper vorhanden sein!



(a)



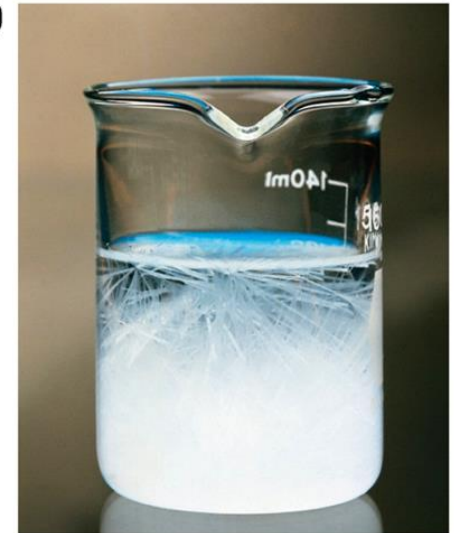
Ein Impfkristall  $\text{NaCH}_3\text{COO}$  wird zu  
einer übersättigten Lösung gegeben.

(b)



Überschüssiges  $\text{NaCH}_3\text{COO}$   
kristallisiert aus der Lösung.

(c)

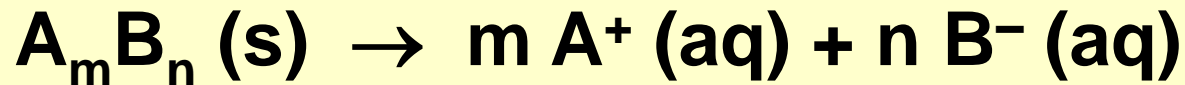


Die Lösung ist gesättigt.

# Heterogene Gleichgewichte, Löslichkeitsprodukt

**Löslichkeitsprodukt  $K_L$**  eines schwerlöslichen Salzes  $A_m B_n$ :

→ Produkt seiner Ionenkonzentrationen in gesättigter Lösung:

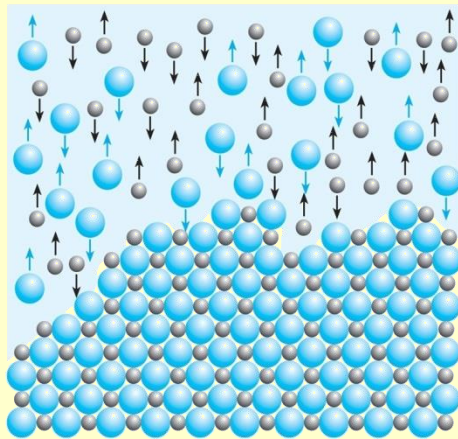
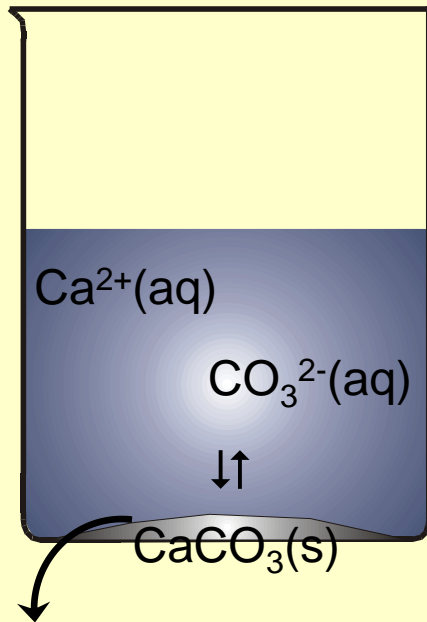


$$K_L = [A^+]^m \cdot [B^-]^n$$

$$pK_L = - \lg K_L \quad (\text{negativer dekadischer Logarithmus})$$

$$\text{z.B. } K_L = 10^{-9} \quad \Rightarrow \quad pK_L = 9$$

# Löslichkeitsprodukt (AB-Verbindungen)



- **Heterogenes Gleichgewicht**
- Lösungsvorgang folgt dem **MWG**



$$K = \frac{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{CaCO}_3]} = \frac{c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{CaCO}_3)}$$

[CaCO<sub>3</sub>] = 1, da Feststoff

$$K = K_L = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})$$

$$L(\text{CaCO}_3) = \sqrt{K_L}$$



# Löslichkeit

z.B. Löslichkeit von  $\text{BaSO}_4$



$$\Rightarrow K_L = 10^{-10} (\text{mol/l})^2$$

$$L = [\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = (10^{-10})^{1/2}$$

$$= 10^{-5} \text{ mol/l}$$

molare Löslichkeit

$$\Rightarrow (137 + 96) \text{ g/mol} \cdot 10^{-5} \text{ mol/l} = 243 \cdot 10^{-5} \text{ g/l} = 0,243 \text{ mg} / 100 \text{ ml}$$

Löslichkeit

# Löslichkeitsprodukte Anorganischer Verbindungen in H<sub>2</sub>O

## Halogenide

MgF <sub>2</sub>	$6 \cdot 10^{-9}$
CaF <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-10}$
BaF <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-6}$
PbF <sub>2</sub>	$4 \cdot 10^{-8}$
PbCl <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-5}$
PbI <sub>2</sub>	$1 \cdot 10^{-8}$
CuCl	$1 \cdot 10^{-6}$
CuBr	$4 \cdot 10^{-8}$
CuI	$5 \cdot 10^{-12}$
AgCl	$2 \cdot 10^{-10}$
AgBr	$5 \cdot 10^{-13}$
AgI	$8 \cdot 10^{-17}$
AgCN	$2 \cdot 10^{-14}$
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-18}$
Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	$1 \cdot 10^{-28}$

## Chromate

BaCrO <sub>4</sub>	$8 \cdot 10^{-11}$
PbCrO <sub>4</sub>	$2 \cdot 10^{-14}$
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$4 \cdot 10^{-12}$

## Sulfide

SnS	$1 \cdot 10^{-26}$
PbS	$3 \cdot 10^{-28}$
MnS	$7 \cdot 10^{-16}$
NiS	$10^{-21}$
FeS	$4 \cdot 10^{-19}$
CuS	$8 \cdot 10^{-45}$
Ag <sub>2</sub> S	$5 \cdot 10^{-51}$
ZnS	$1 \cdot 10^{-24}$
CdS	$1 \cdot 10^{-28}$
HgS	$2 \cdot 10^{-54}$

## Carbonate

Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$2 \cdot 10^{-3}$
MgCO <sub>3</sub>	$3 \cdot 10^{-5}$
CaCO <sub>3</sub>	$5 \cdot 10^{-9}$
SrCO <sub>3</sub>	$2 \cdot 10^{-9}$
BaCO <sub>3</sub>	$2 \cdot 10^{-9}$
PbCO <sub>3</sub>	$3 \cdot 10^{-14}$
ZnCO <sub>3</sub>	$6 \cdot 10^{-11}$
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$6 \cdot 10^{-12}$

## Sulfate

CaSO <sub>4</sub>	$2 \cdot 10^{-5}$
SrSO <sub>4</sub>	$8 \cdot 10^{-7}$
BaSO <sub>4</sub>	$1 \cdot 10^{-9}$
PbSO <sub>4</sub>	$2 \cdot 10^{-8}$

## Hydroxide

Be(OH) <sub>2</sub>	$3 \cdot 10^{-19}$
Mg(OH) <sub>2</sub>	$1 \cdot 10^{-12}$
Ca(OH) <sub>2</sub>	$4 \cdot 10^{-6}$
Ba(OH) <sub>2</sub>	$4 \cdot 10^{-3}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$2 \cdot 10^{-33}$
Pb(OH) <sub>2</sub>	$4 \cdot 10^{-15}$
Mn(OH) <sub>2</sub>	$7 \cdot 10^{-13}$
Cr(OH) <sub>3</sub>	$7 \cdot 10^{-31}$
Ni(OH) <sub>2</sub>	$3 \cdot 10^{-17}$
Fe(OH) <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-15}$
Fe(OH) <sub>3</sub>	$5 \cdot 10^{-38}$
Cu(OH) <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-19}$
Zn(OH) <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-17}$
Cd(OH) <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-14}$

→ Mineralien: kleine Löslichkeitsprodukte

## **Wichtige Begriffe:**

Intermolekulare Wechselwirkungen

Wasser: Vorkommen, Dipolmoment

Wasserstoffbrückenbindung

Zustandsdiagramm, Dichteanomalie

Wärmekapazität

Lösungen: Solvatation, Hydratation, Lösungsenthalpie

Gefrierpunktserniedrigung, Siedepunktserhöhung,  
elektrische Leitfähigkeit

Löslichkeitsprodukt

Löslichkeit