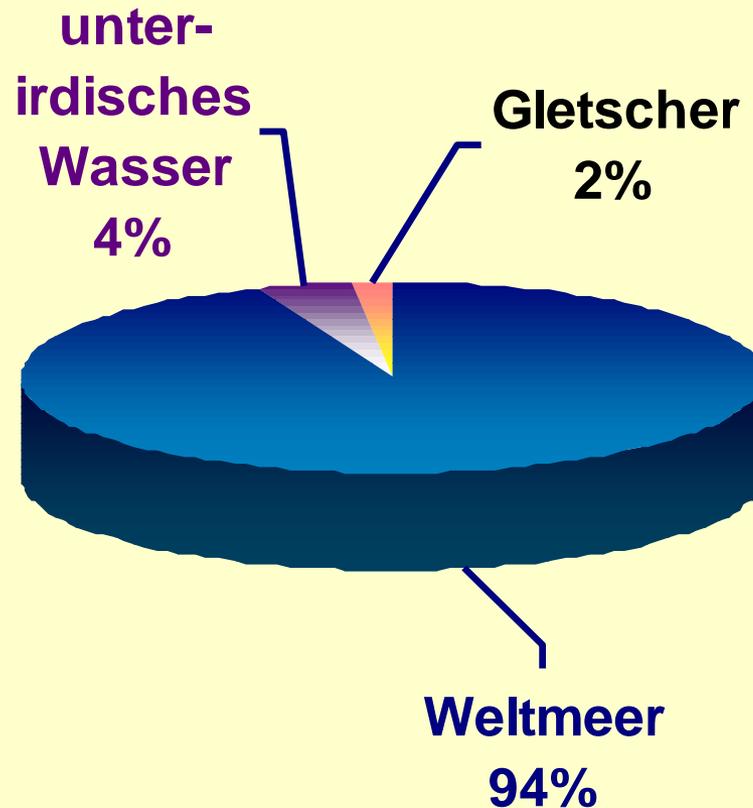
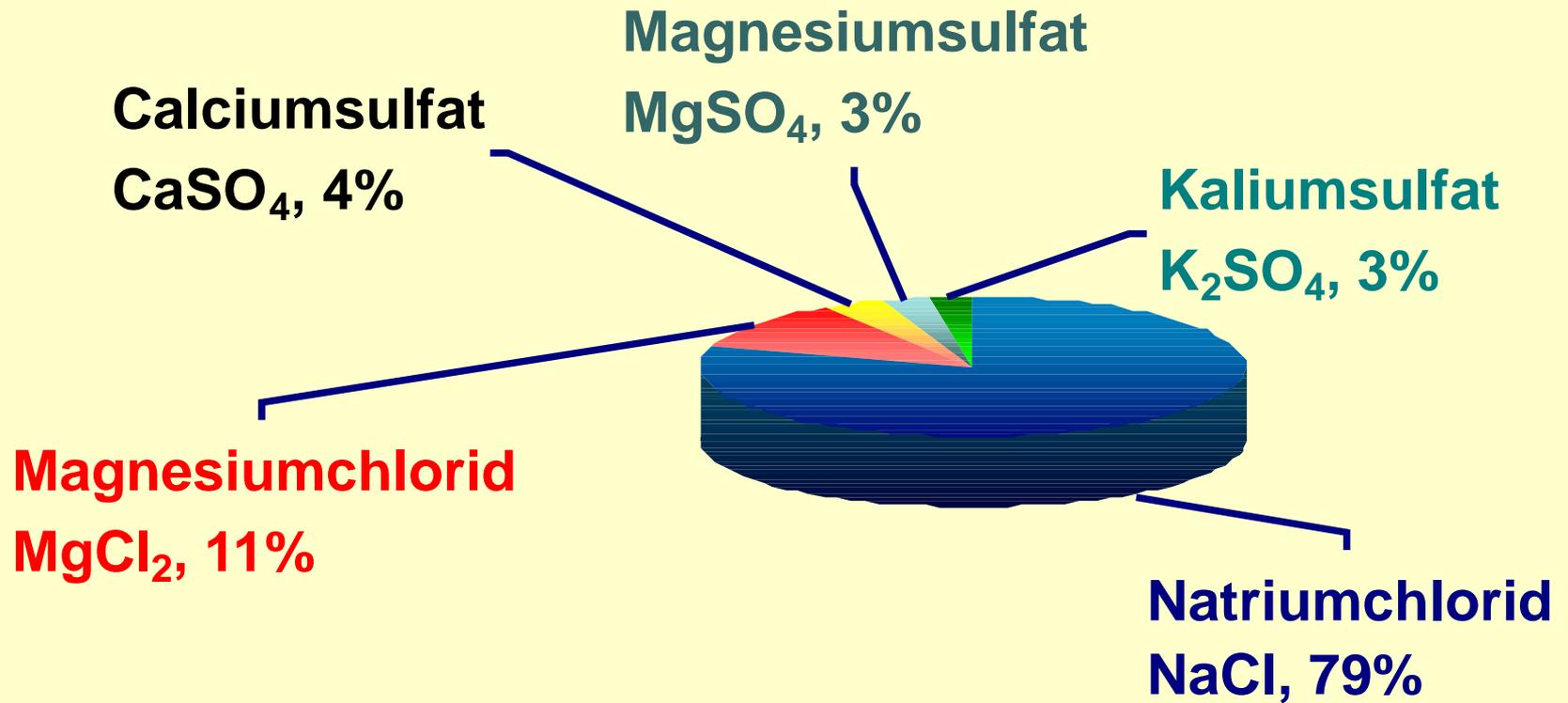


H₂O, Verteilung auf der Erde

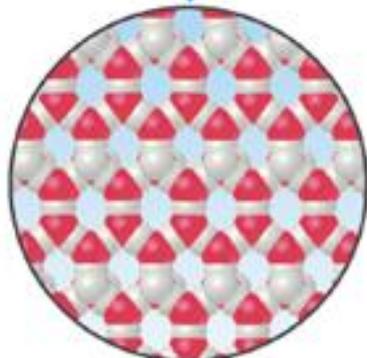


Das Wasser von Seen und Flüssen besitzt einen Anteil von 0.016 %, der Wasserdampf in der Atmosphäre von 0.001%. 1

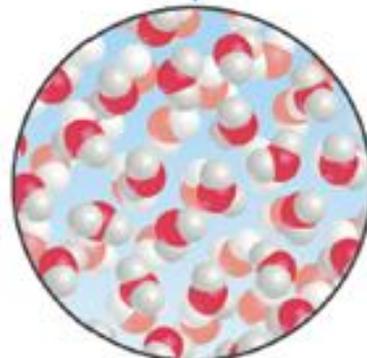
Häufigste Inhaltsstoffe im Meerwasser



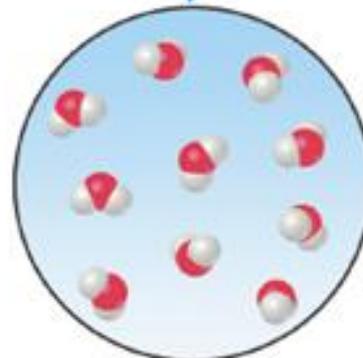
Aggregatzustände



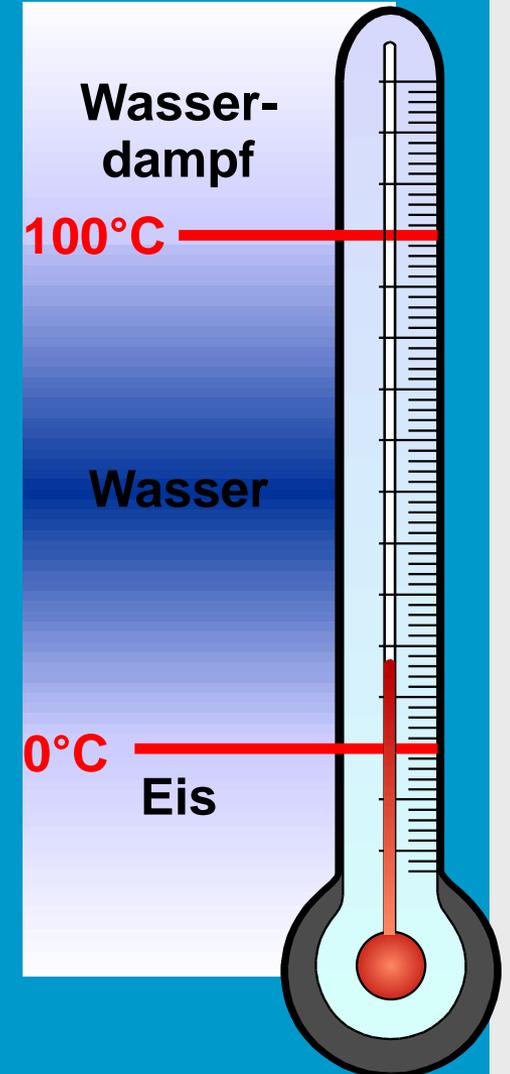
fest



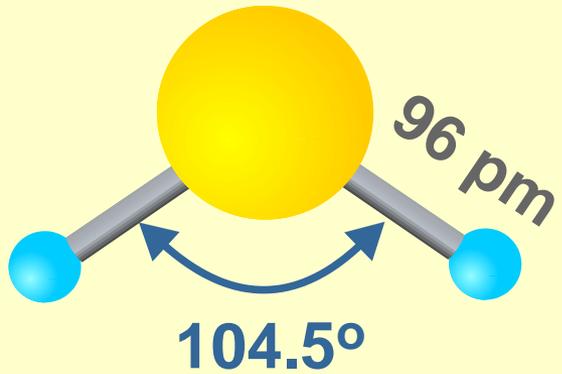
flüssig



gasförmig

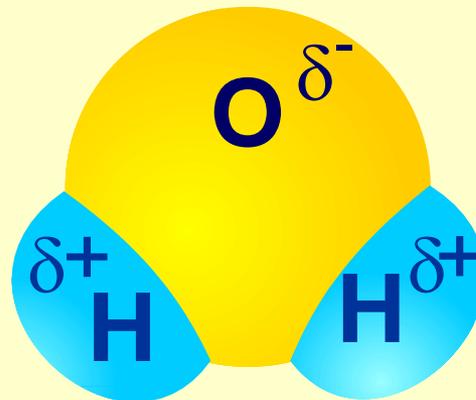


Molekülstruktur und Dipolmoment



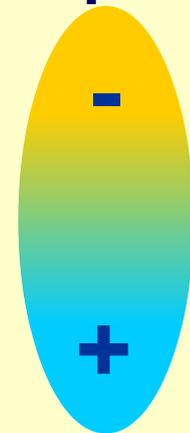
C_{2v}

Wassermolekül

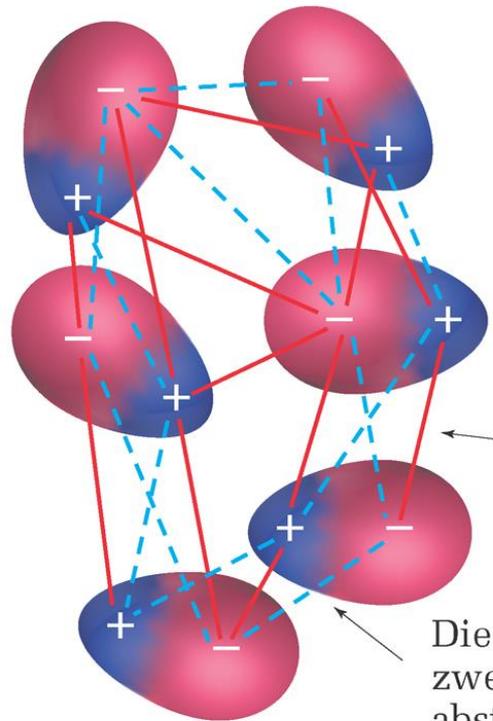
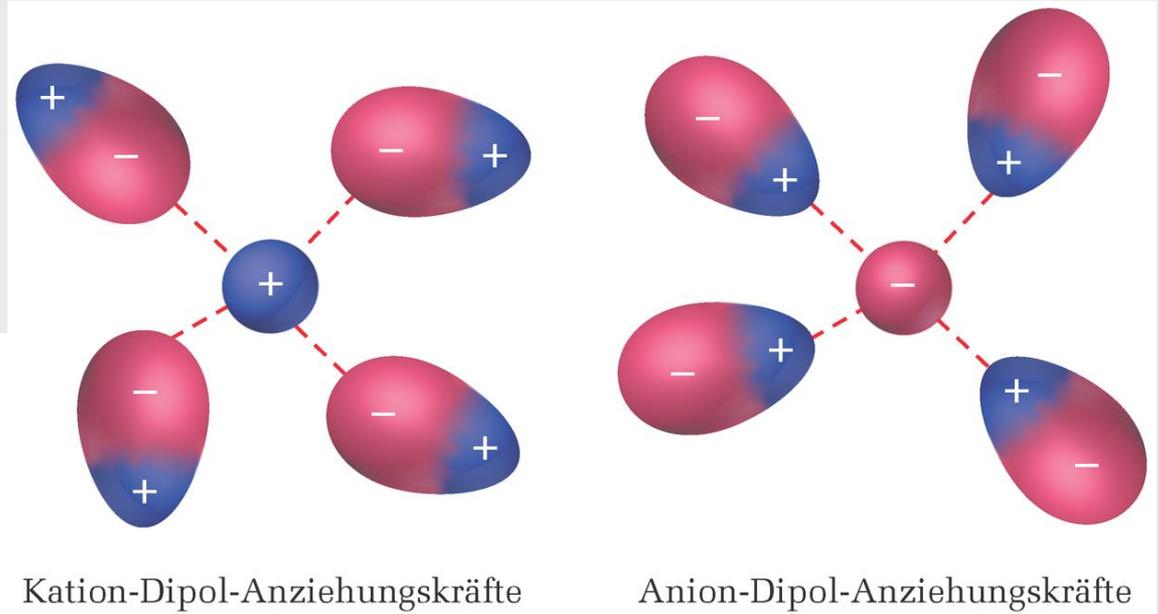


$\mu = 1.84 \text{ D}$

Dipol



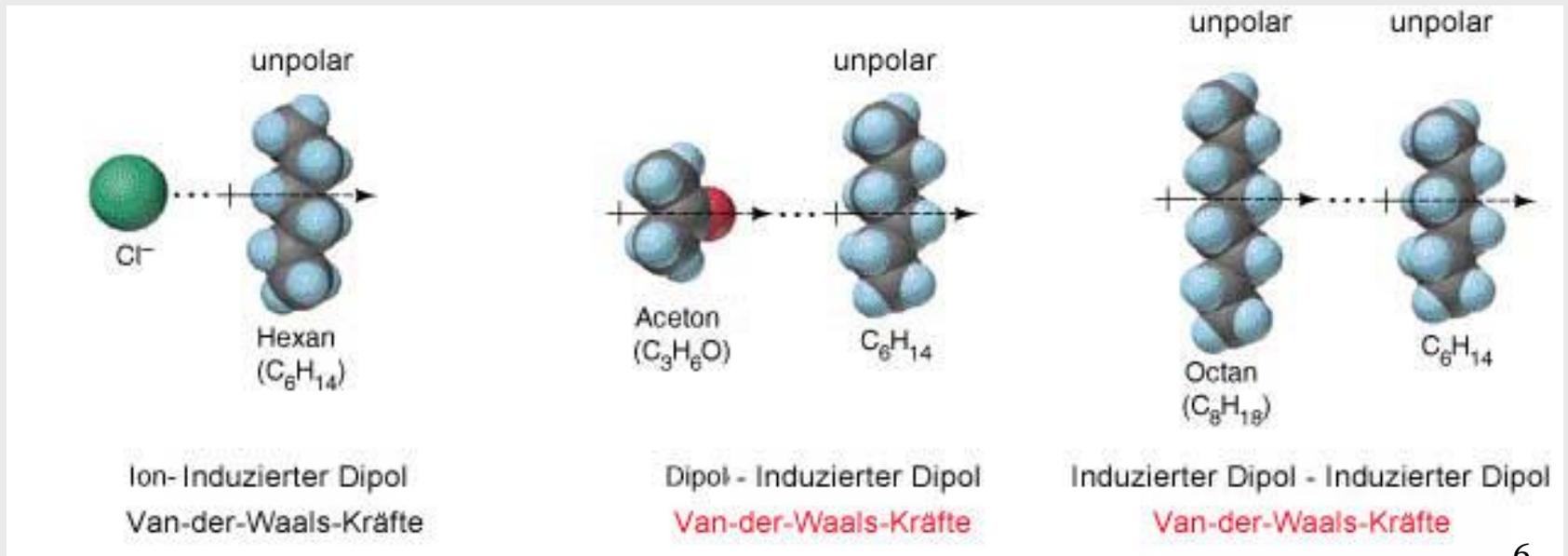
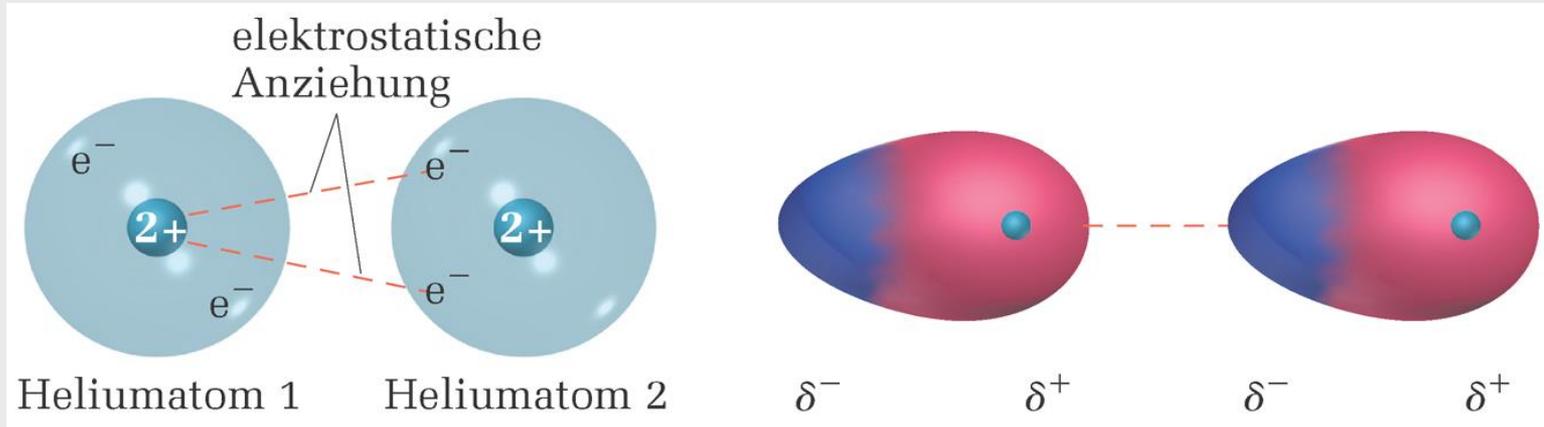
Intermolekulare Kräfte: Dipol-Dipol / Dipol-Ion



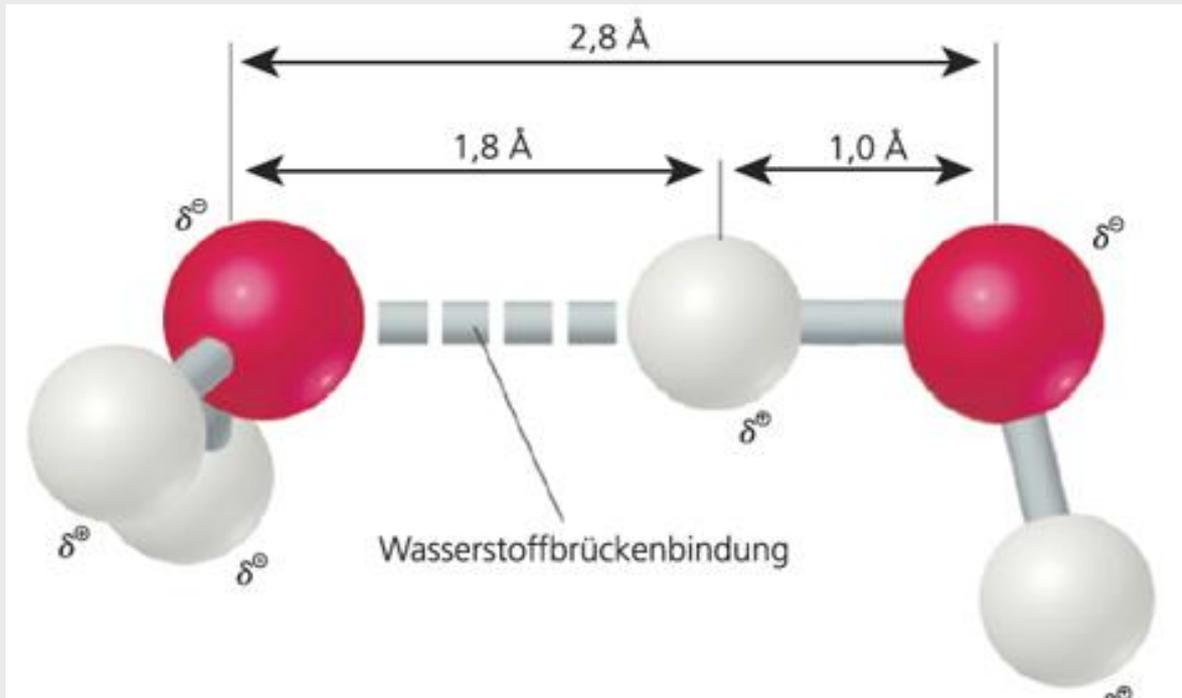
Die Wechselwirkung zwischen zwei entgegengesetzten Ladungen ist anziehend (durchgehende rote Linien).

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

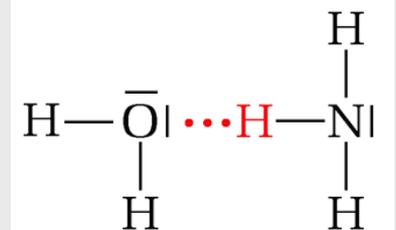
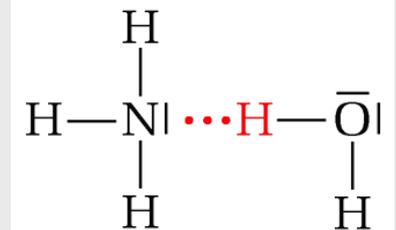
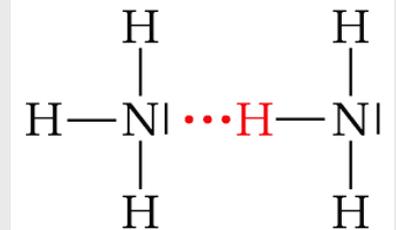
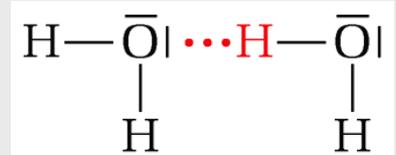
Intermolekulare Kräfte: Induzierte Dipole



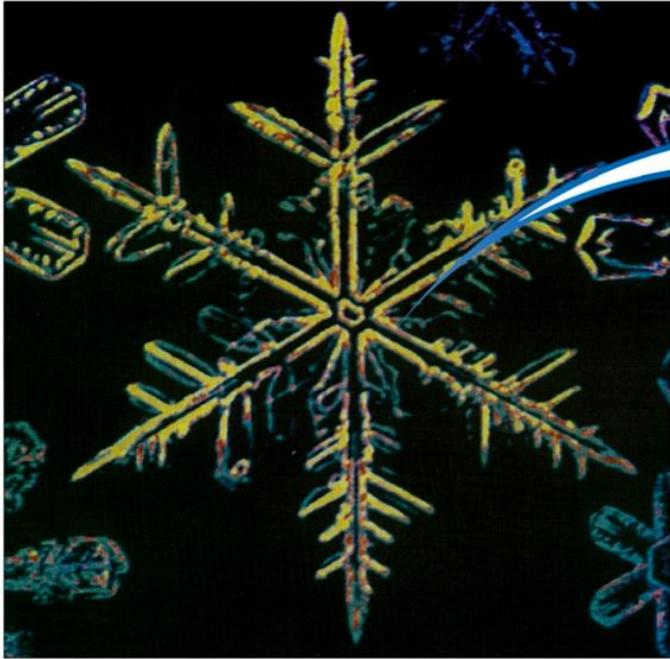
Wasserstoffbrückenbindungen



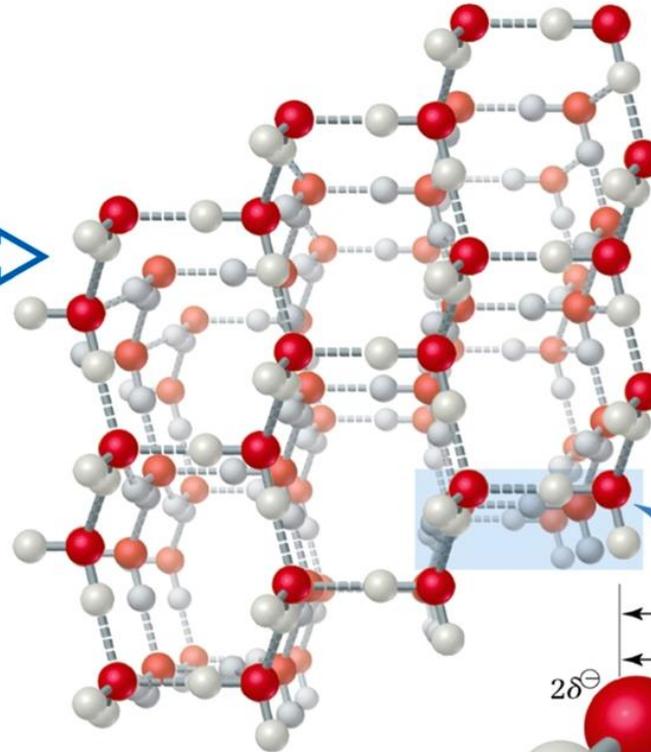
Bindung	ΔH_f^{Bind} [kJ/mol]
O-H	463
O-O	146
C-H	413
O...H	20



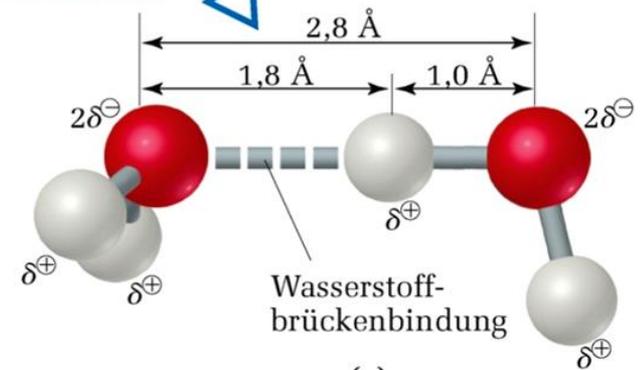
Struktur von Eis



(a)

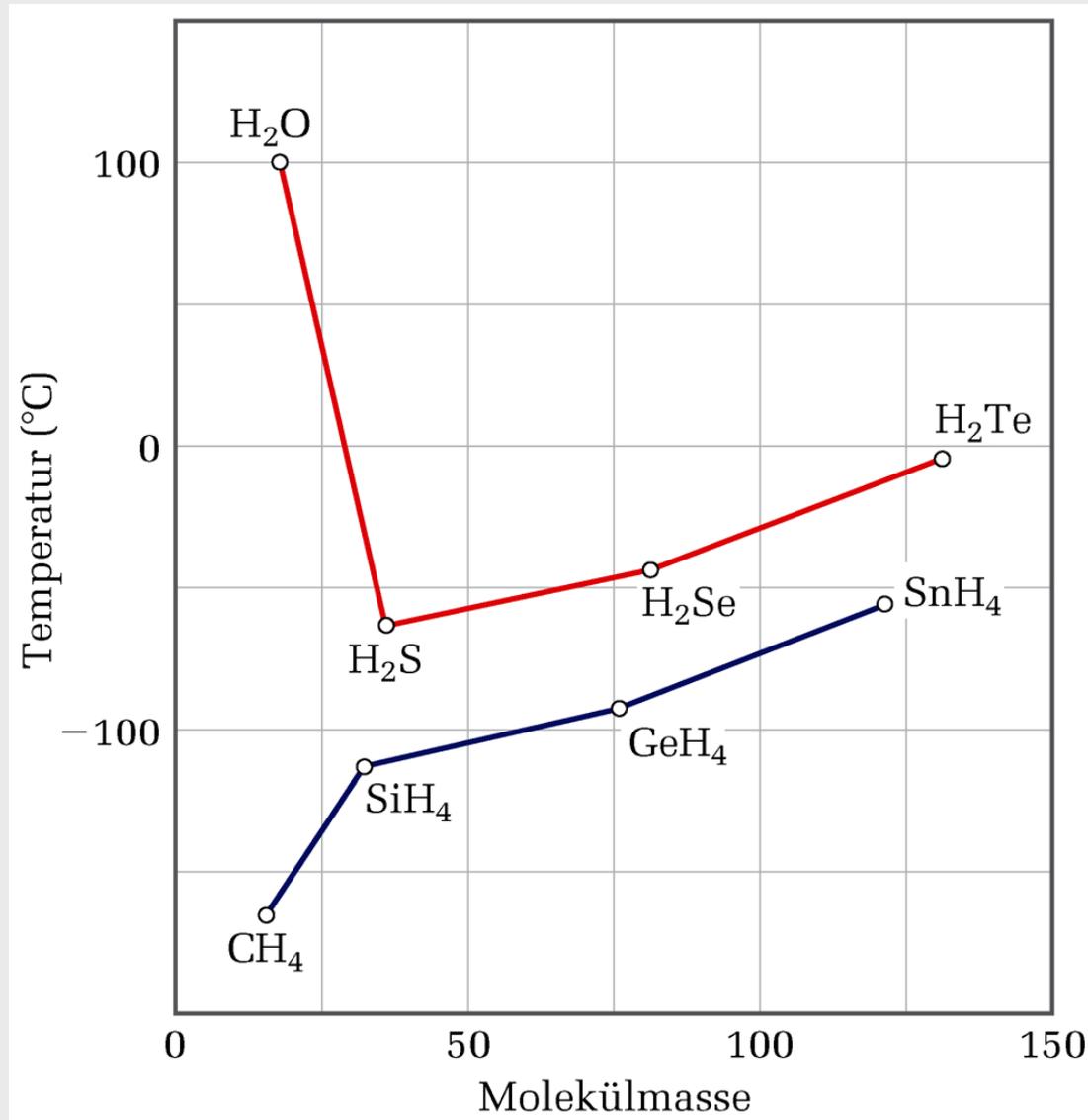


(b)

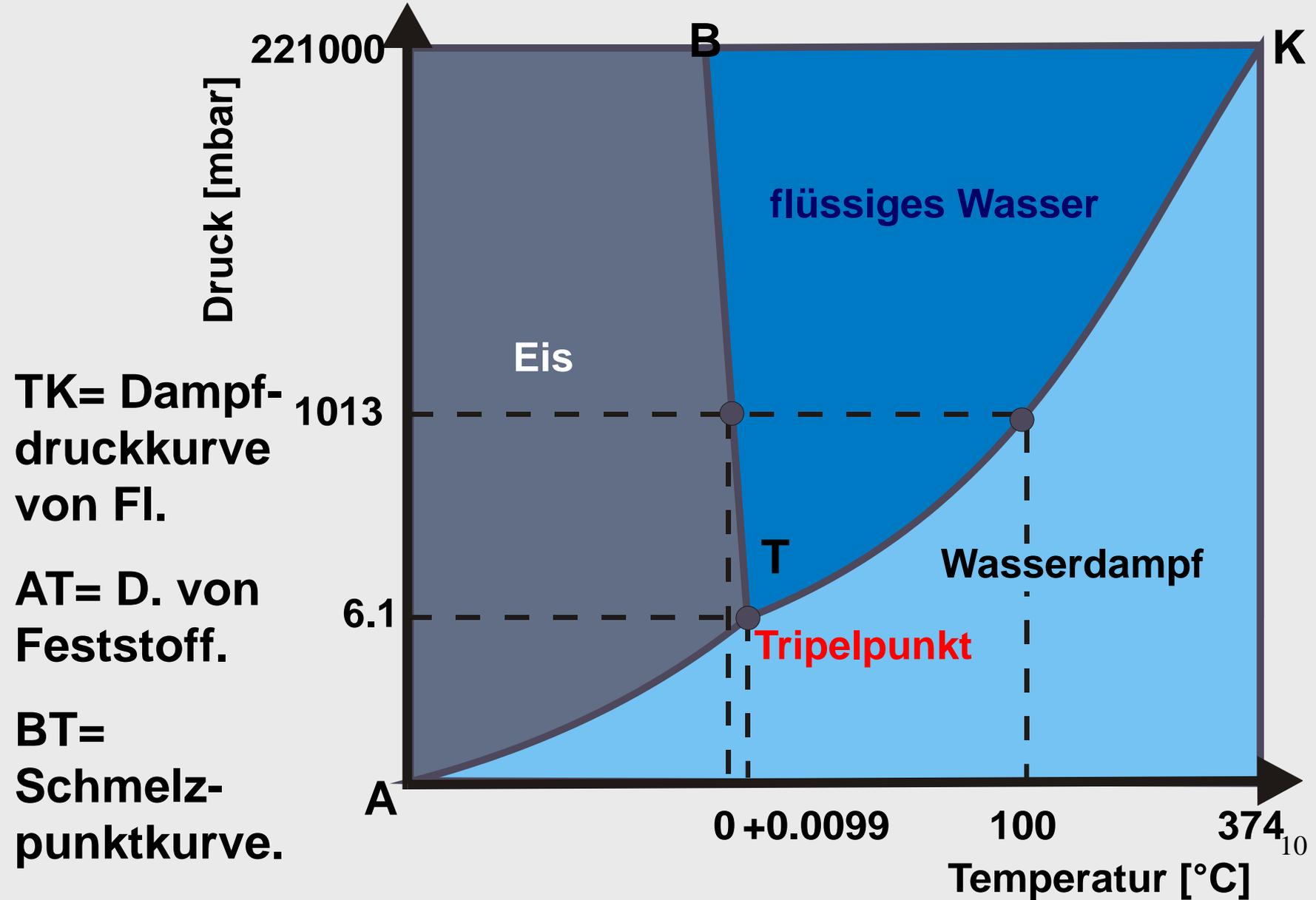


(c)

Siedepunkte der Wasserstoffverbindungen der Gruppen 14 & 16



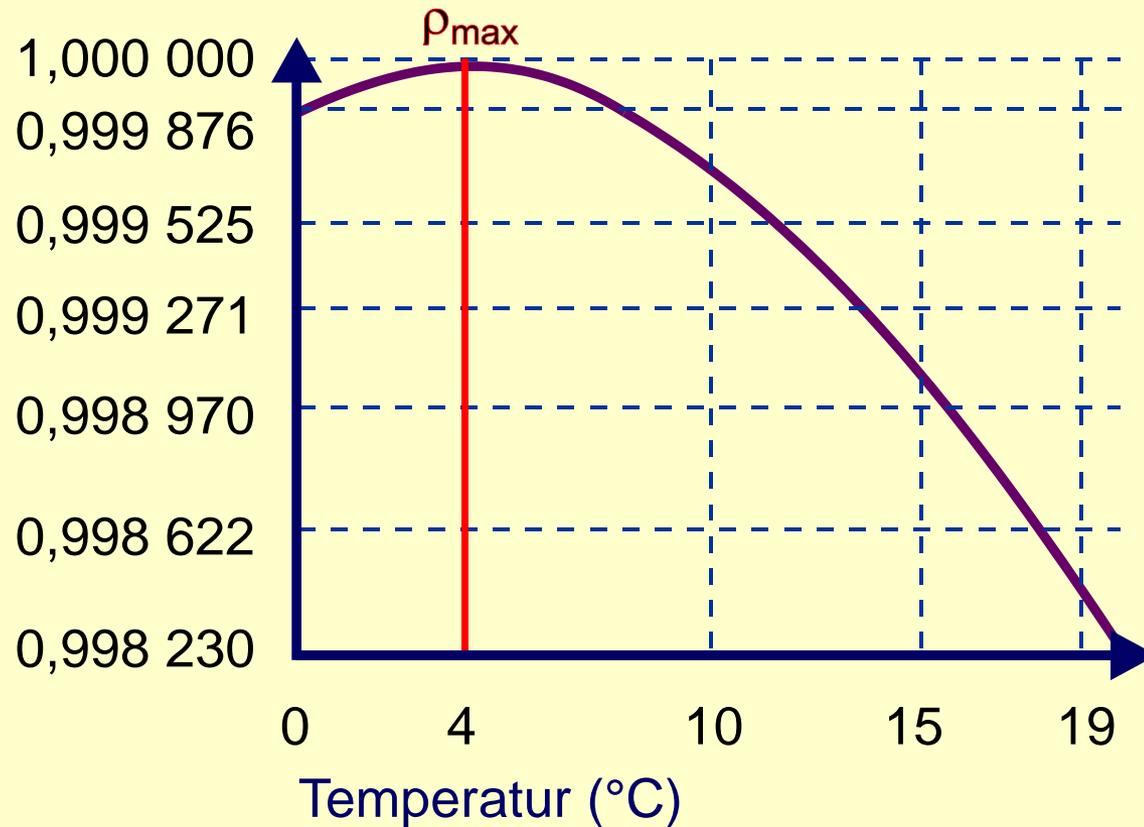
Zustands- oder Phasendiagramm von Wasser



Dichte in Abhängigkeit der Temperatur - Dichteanomalie

flüssiges Wasser

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



flüssig

fest

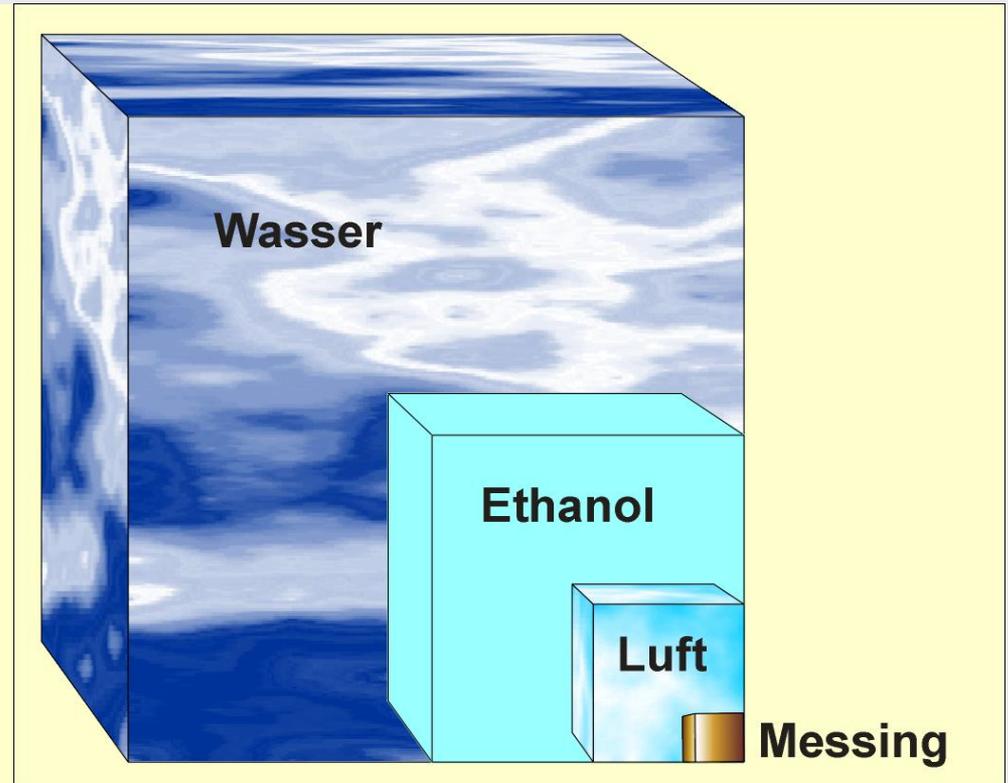


$\Delta V \sim 9\%$

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

Substanz	c [J · K ⁻¹ · g ⁻¹]
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
Wasser (l)	4.18

Wärmespeicherung!



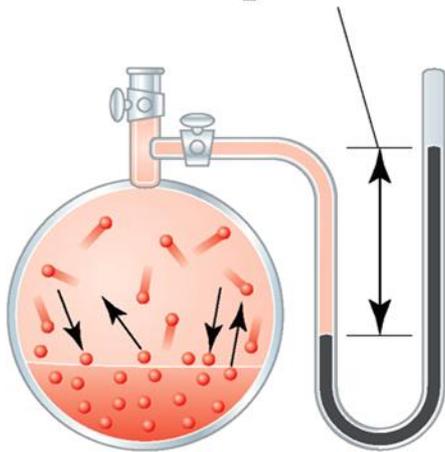
$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

Q = zu- oder abgeführte Wärmemenge, m = Masse, t₁ = Anfangstemperatur, t₂ = Endtemperatur

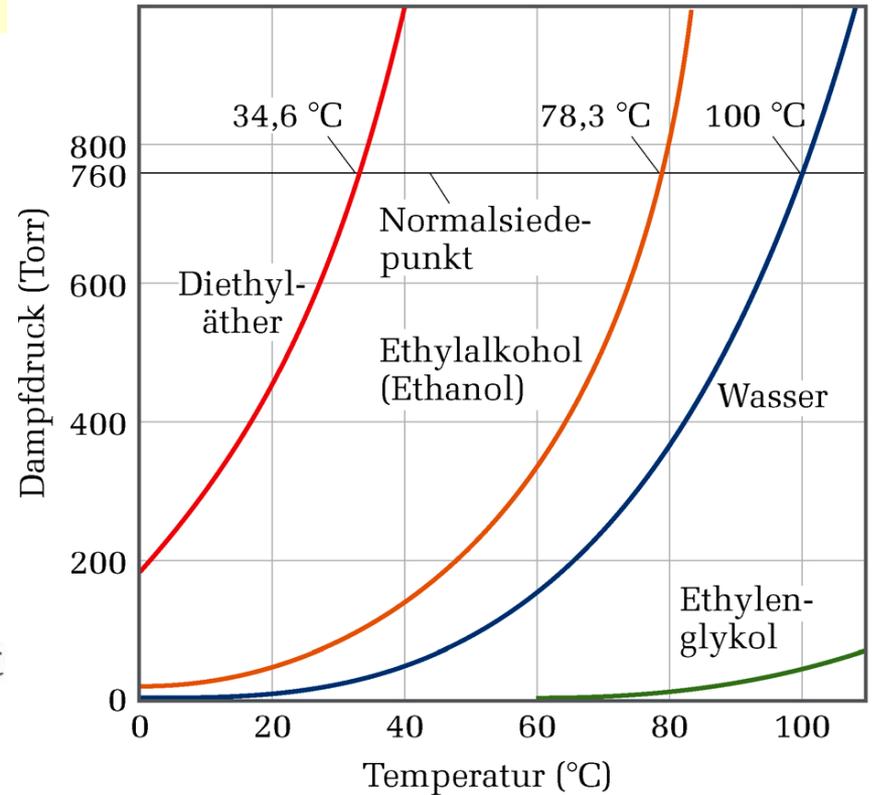
Dampfdruck

Eine Flüssigkeit siedet, wenn ihr Dampfdruck p_{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

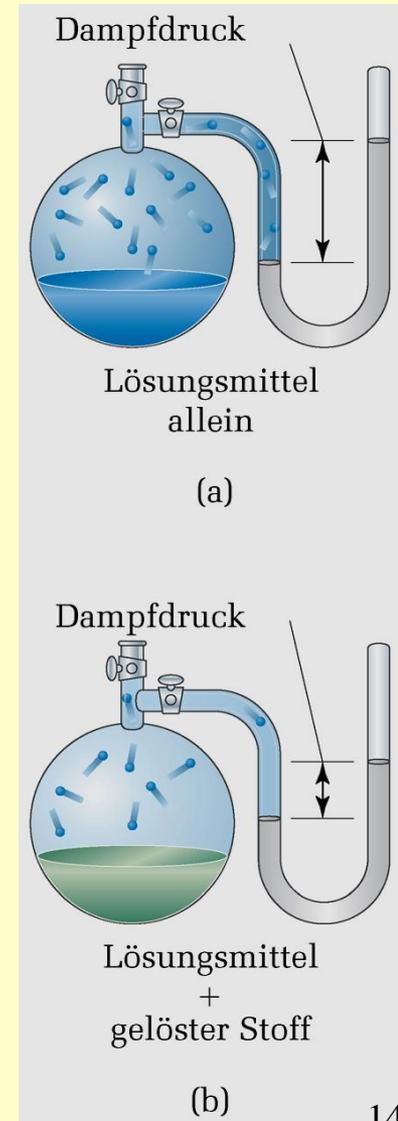
kolligative Eigenschaften - Raoult'sches Gesetz

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

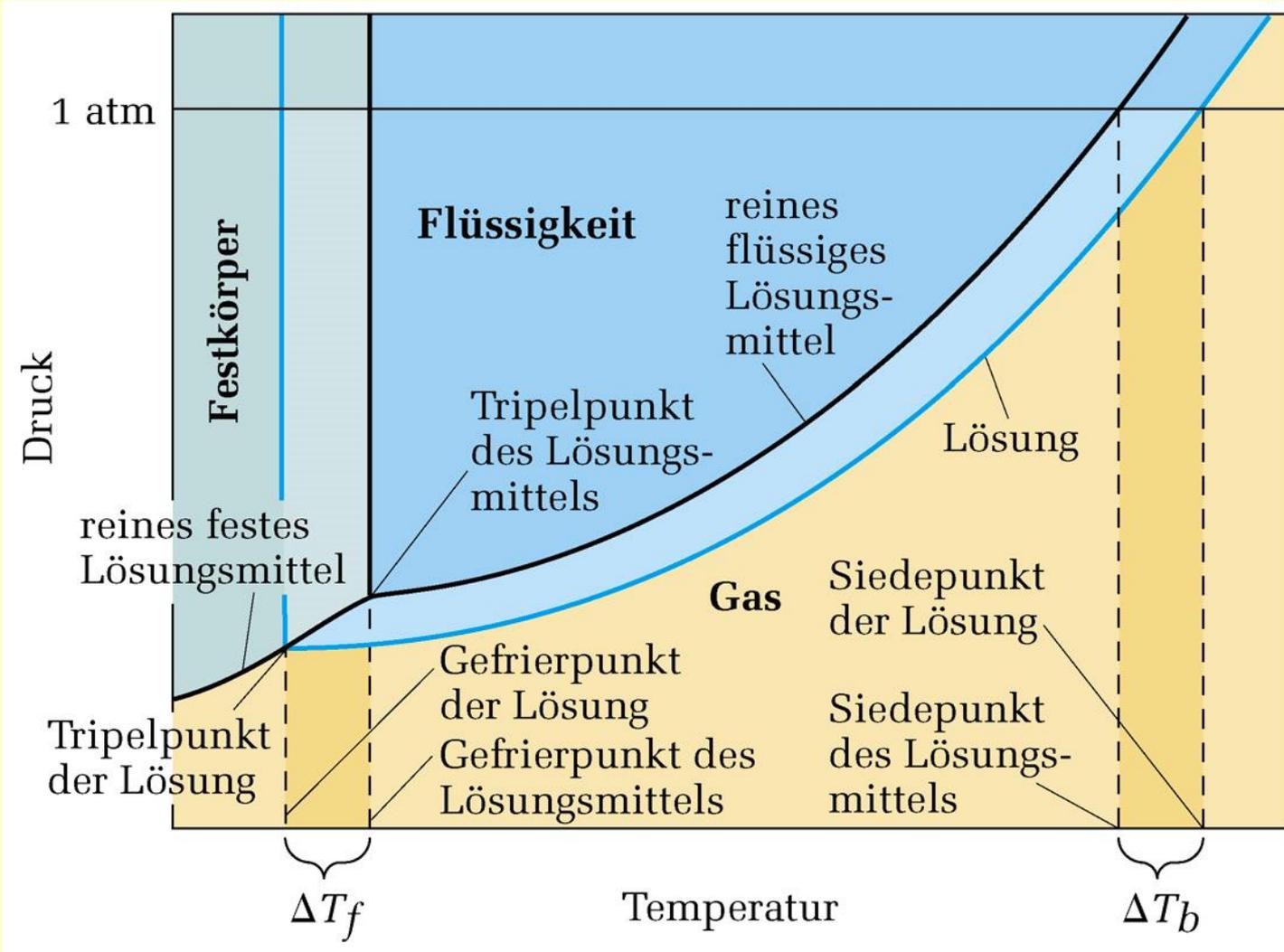
Die relative Dampfdruckerniedrigung $\Delta p/p$ ist nur von der Zahl N_s der gelösten Teilchen, jedoch nicht von der Art des gelösten Stoffes abhängig (kolligative Eigenschaften).

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

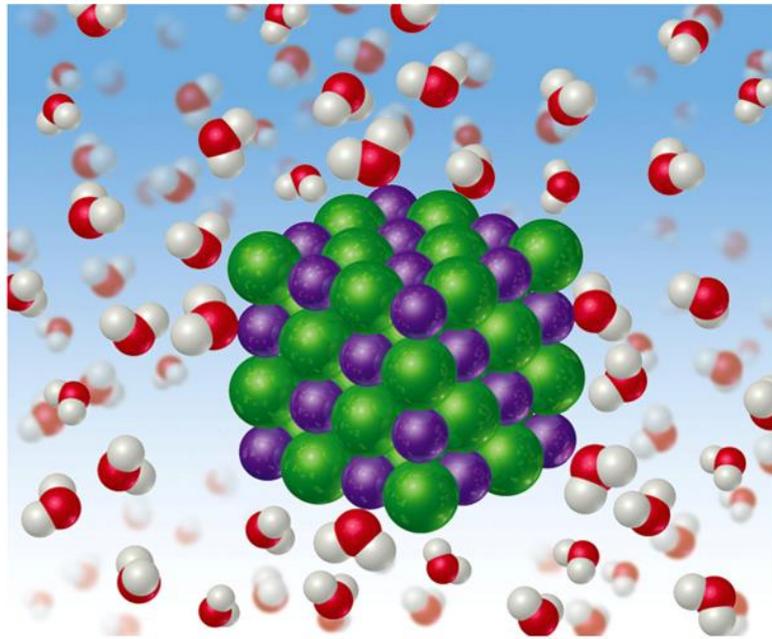
N_L = Teilchenzahl des Lösungsmittels



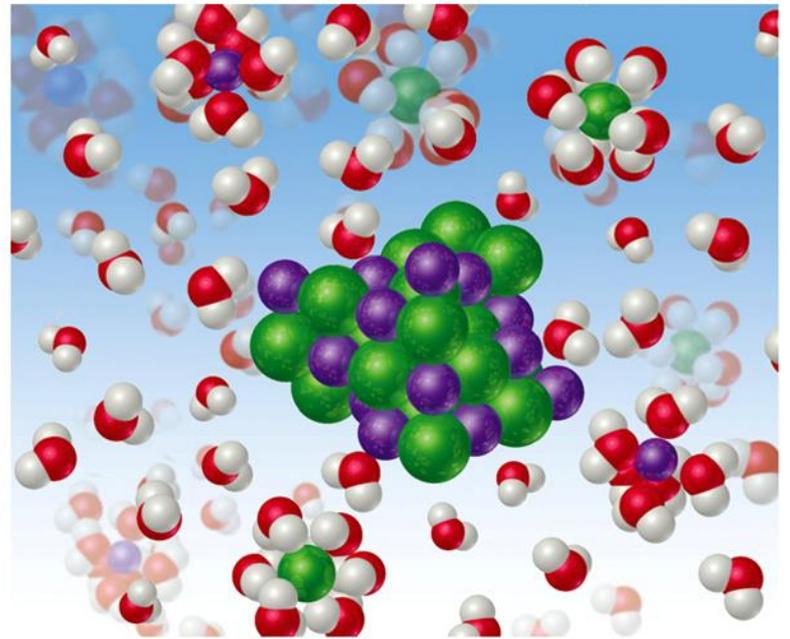
Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung



Lösen eines Salzes in Wasser



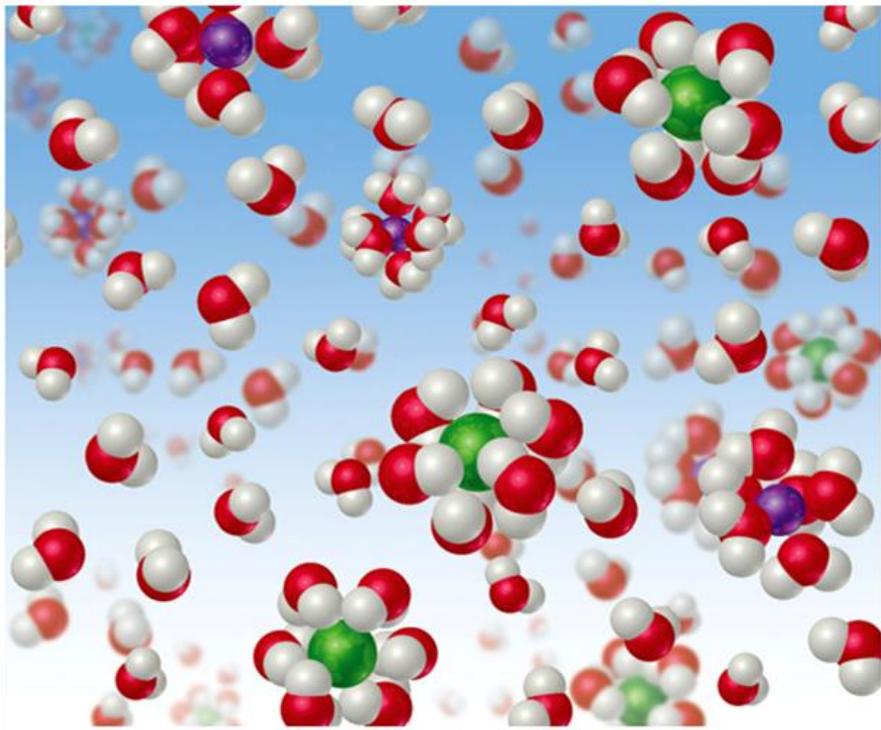
(a)



(b)

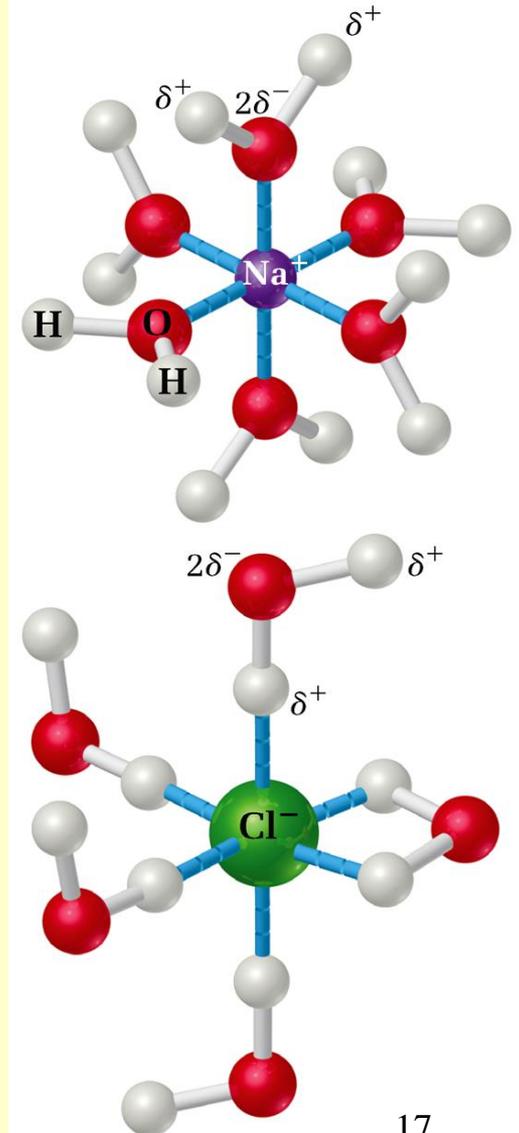
ionischer Festkörper wird in Ionen zerlegt
Kationen / Anionen werden solvatisiert...

Lösen eines Salzes in Wasser

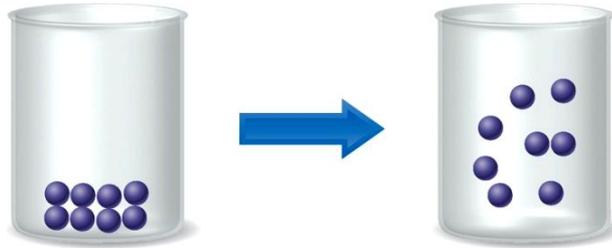


(c)

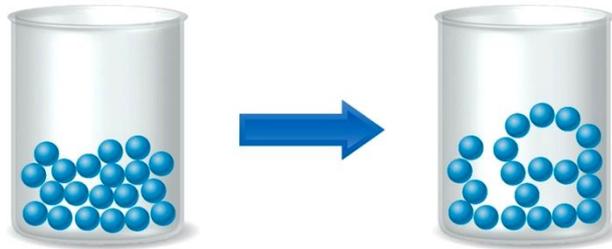
Solvatisierte Ionen stellen bewegliche
Ladungsträger dar:
→ Leitfähigkeit von Salzlösungen



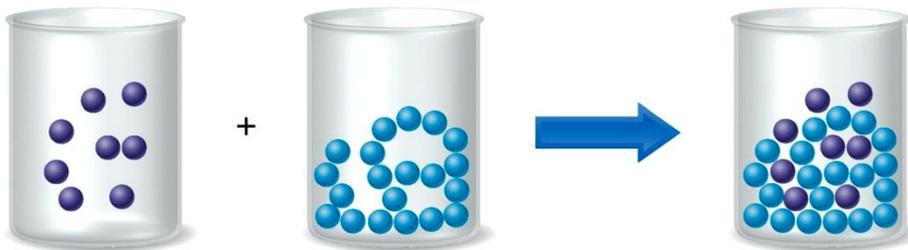
Energetik des Lösevorganges



ΔH_1 : Trennung von Molekülen des zu lösenden Stoffs



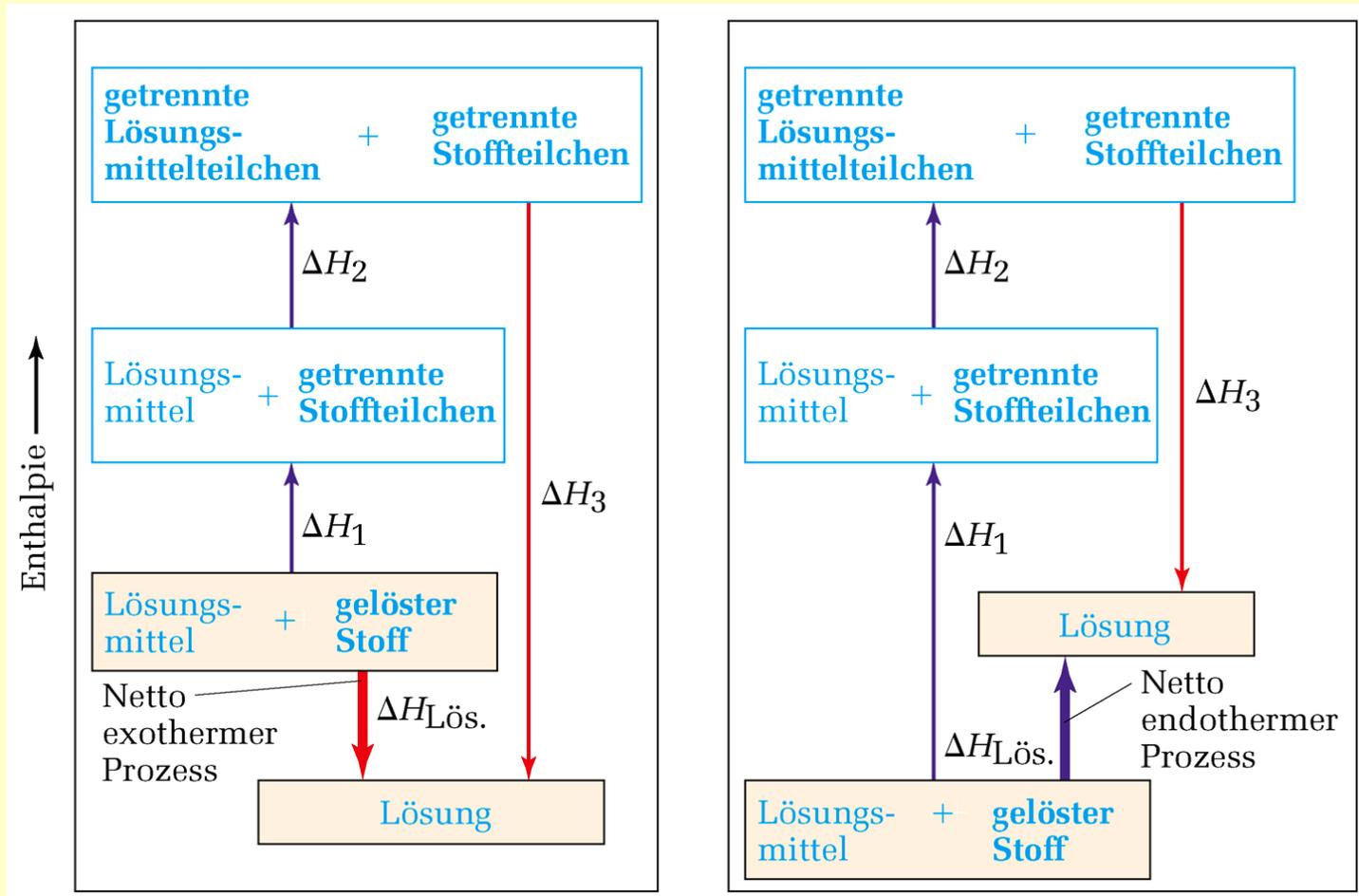
ΔH_2 : Trennung von Lösungsmittelmolekülen



ΔH_3 : Bildung von Wechselwirkungen zwischen gelöstem Stoff und Lösungsmittel

Generell:
Lösungsvorgang
führt zu einer
Entropiezunahme

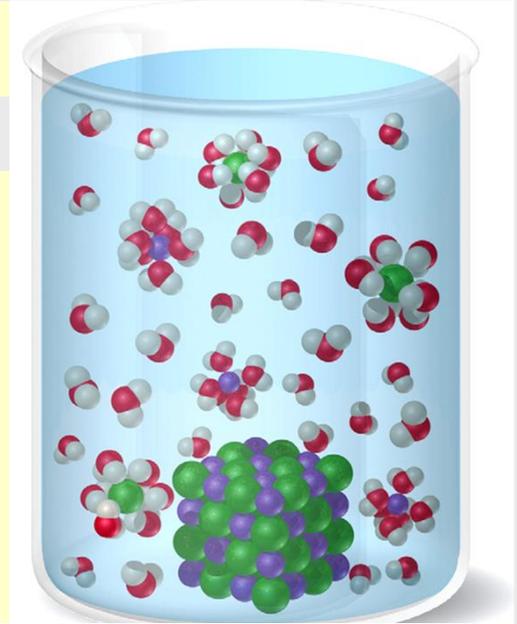
Exotherme und endotherme Lösevorgänge



Gesättigte Lösungen

Dynamischer Gleichgewichtszustand
zwischen Löse- und Fällungsreaktion

Gesättigte Lösung: Es muss ein
Bodenkörper vorhanden sein!



(a)



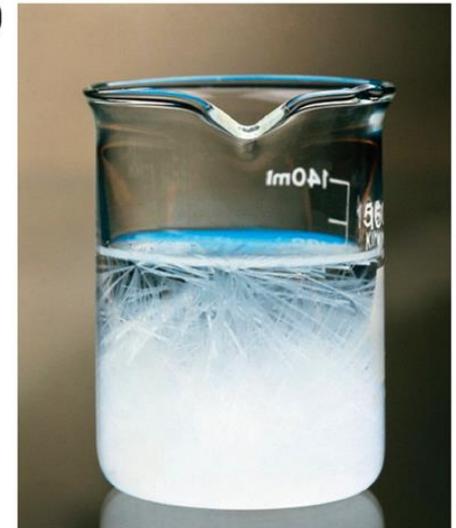
Ein Impfkristall NaCH_3COO wird zu
einer übersättigten Lösung gegeben.

(b)



Überschüssiges NaCH_3COO
kristallisiert aus der Lösung.

(c)

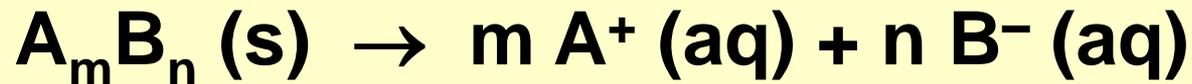


Die Lösung ist gesättigt.

Heterogene Gleichgewichte, Löslichkeitsprodukt

Löslichkeitsprodukt K_L eines schwerlöslichen Salzes $A_m B_n$:

→ Produkt seiner Ionenkonzentrationen in gesättigter Lösung:

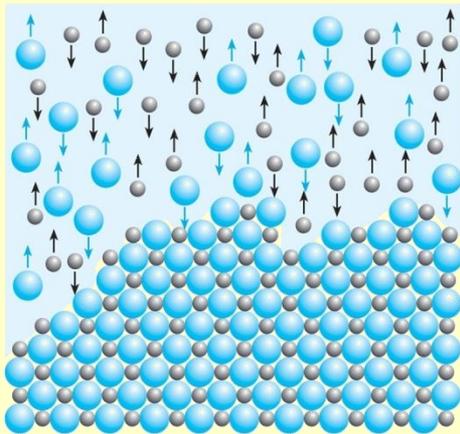
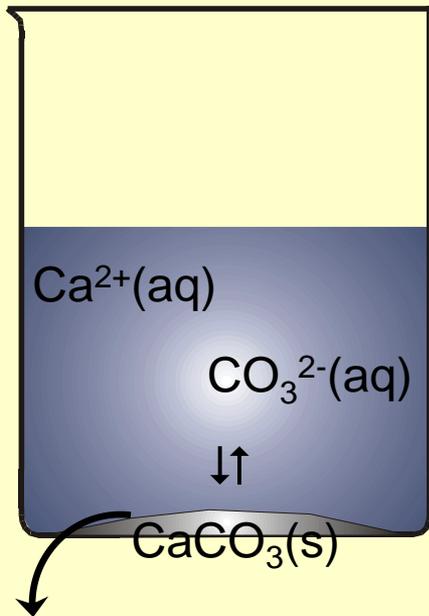


$$K_L = [A^+]^m \cdot [B^-]^n$$

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

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

Löslichkeitsprodukt (AB-Verbindungen)



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



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

[CaCO₃] = 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 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 H₂O

Halogenide

MgF ₂	$6 \cdot 10^{-9}$
CaF ₂	$2 \cdot 10^{-10}$
BaF ₂	$2 \cdot 10^{-6}$
PbF ₂	$4 \cdot 10^{-8}$
PbCl ₂	$2 \cdot 10^{-5}$
PbI ₂	$1 \cdot 10^{-8}$
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 ₂ Cl ₂	$2 \cdot 10^{-18}$
Hg ₂ I ₂	$1 \cdot 10^{-28}$

Chromate

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

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 ₂ S	$5 \cdot 10^{-51}$
ZnS	$1 \cdot 10^{-24}$
CdS	$1 \cdot 10^{-28}$
HgS	$2 \cdot 10^{-54}$

Carbonate

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

Sulfate

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

Hydroxide

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

→ Mineralien: kleine Löslichkeitsprodukte

Wichtige Begriffe:

Intermolekulare Wechselwirkungen

Wasser: Vorkommen, Dipolmoment

Wasserstoffbrückenbindung

Zustandsdiagramm, Dichteanomalie

Wärmekapazität

Lösungen: Solvatation, Hydratation, Lösungsenthalpie

Gefrierpunktserniedrigung, Siedepunktserhöhung,
elektrische Leitfähigkeit

Löslichkeitsprodukt

Löslichkeit