

Struktur der Materie: Gase, Flüssigkeiten

Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



**Institut für Biophysik und Strahlenbiologie,
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität**

29. Oktober 2025.

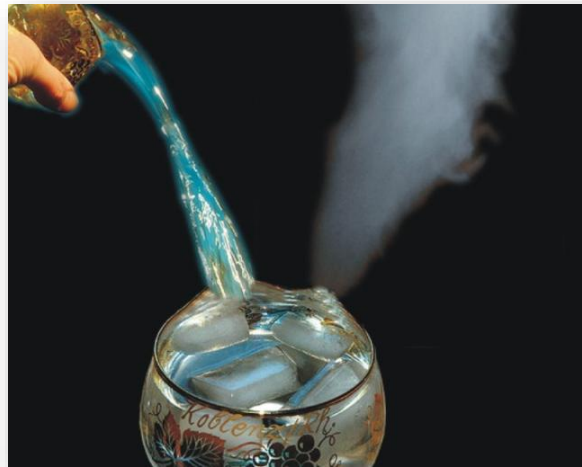
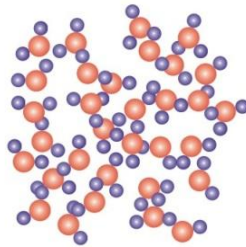
Allgemeine Beschreibung



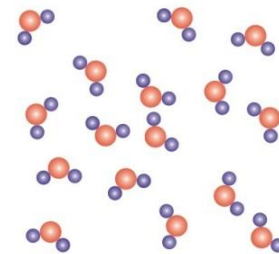
	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-



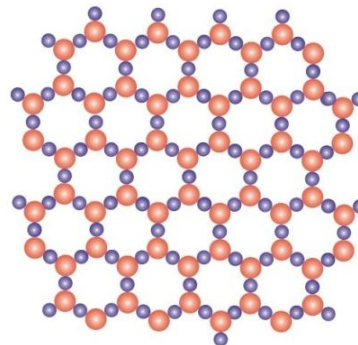
flüssiges H₂O
WASSER



gasförmiges H₂O
DAMPF



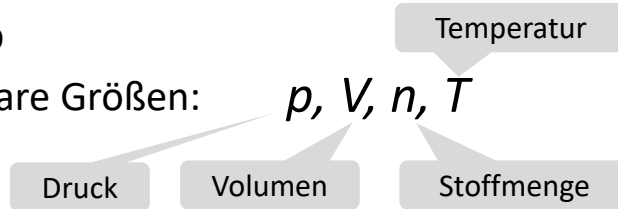
festes H₂O
EIS



Gasförmiger Aggregatzustand

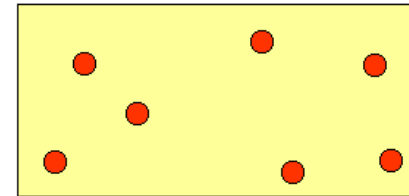
a) Makroskopische Beschreibung:

- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen: p, V, n, T



b) Mikroskopische Beschreibung:

- ungeordnet
- freie Teilchenbewegungen



(elastische Stöße)

c) Kinetische Energie eines Gasteilchens:

durchschnittliche kinetische Energie eines Teilchens

$$\overline{E}_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

Masse eines Teilchens

durchschnittliche Geschwindigkeit des Teilchens

Boltzmann-Konstante
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Temperatur

$kT = \text{„thermische Energie“}$

d) Kinetische Energie von 1 mol Gasteilchen:

durchschnittliche kinetische Energie von einem Mol Teilchen

$$\overline{E}_{\text{kin,mol}} = \frac{1}{2} M \overline{v^2} = \frac{3}{2} RT$$

Molare Masse in kg/mol

Allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,31 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$

$RT = \text{„molare thermische Energie“}$

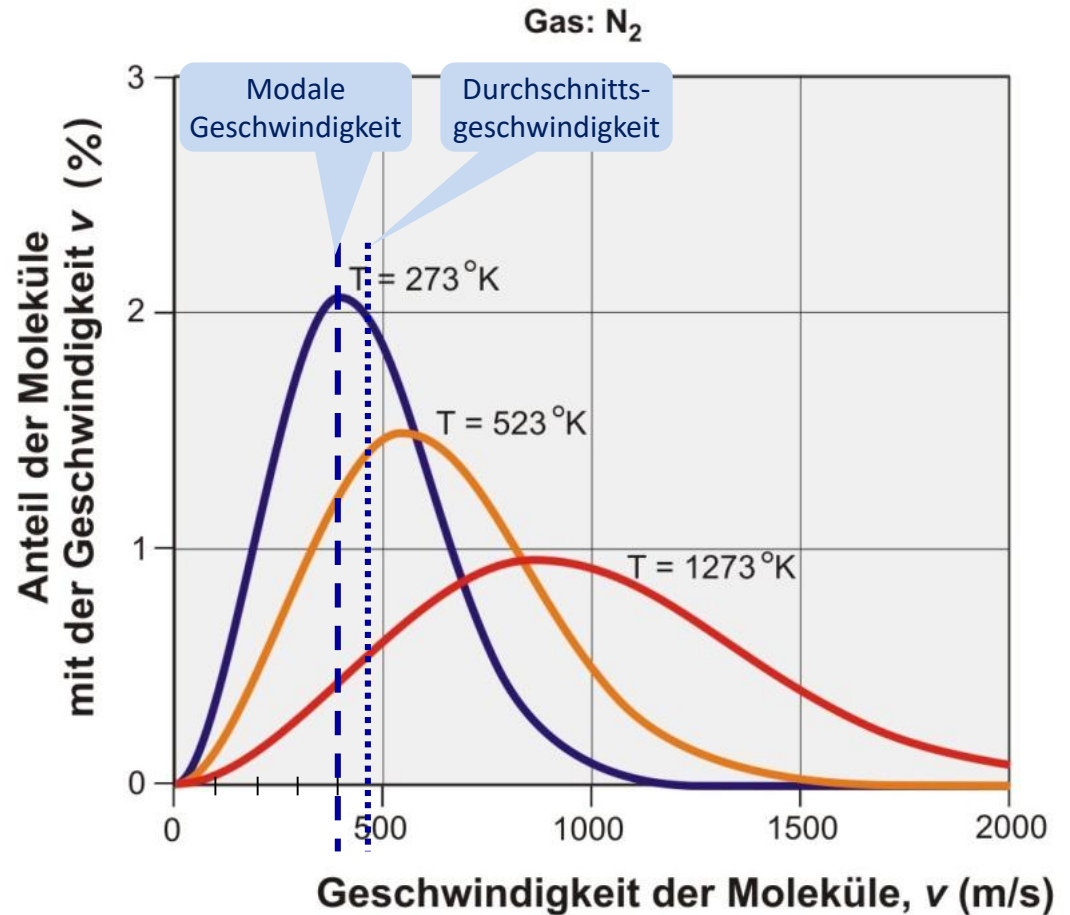
$$R = k \cdot N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 8,31$$

Maxwell-Boltzmann-Verteilung

Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen

Eigenschaften:

- **Flächenstück** unter jeder Kurve ist **gleich**
- die **Momentangeschwindigkeit** ist für jedes Teilchen **unterschiedlich**
- **nichtsymmetrisch**
- modale Geschwindigkeit (häufigster Wert) ist kleiner, als Durchschnittsgeschwindigkeit der Teilchen
- **mit zunehmender Temperatur** nimmt die **Breite** der Kurve **zu**
- **mit zunehmender Temperatur** nimmt die mittlere **Geschwindigkeit** der Teilchen **zu**



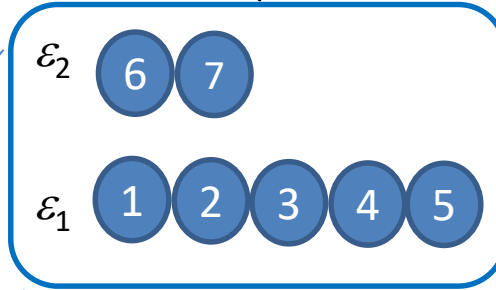
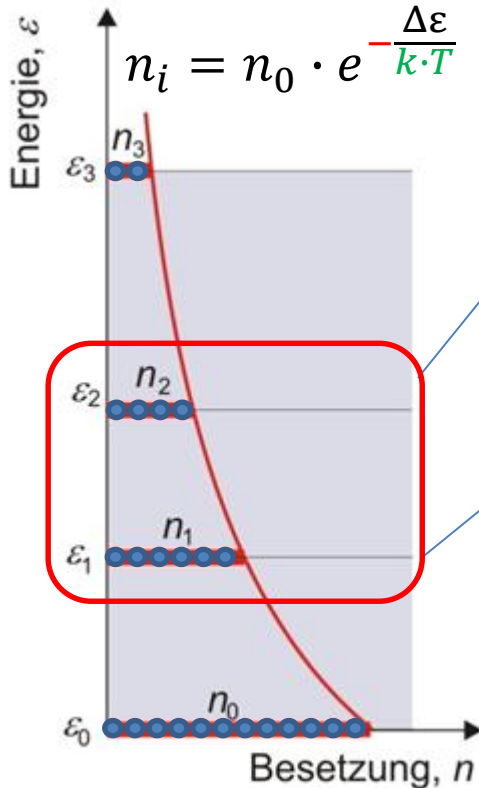
Boltzmann-Verteilung

zur Erinnerung

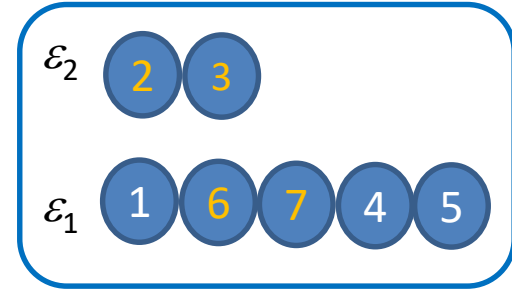
Biophysische Anwendungsbeispiele

gilt für gleiche aber unterscheidbare Teilchen

Makrozustand: 5 Teilchen bei ϵ_1 und 2 Teilchen bei ϵ_2



Mikrozustand 1



Mikrozustand 2

a) barometrische Höhenformel:

potentielle Energie = Lageenergie

$$p_h = p_0 \cdot e^{-\frac{m \cdot g \cdot h}{k \cdot T}}$$

Druck an Höhe h

Druck an der Meereshöhe

$$p \sim \rho \sim c$$

Druck

Dichte

Konzentration

b) thermische Elektronenemission bei Metallen: (s. Röntgenkathode)

Anzahl der emittierten e^-

$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{W_{aus}}{k \cdot T}}$$

Austrittsarbeit

c) Nernst-Gleichung: (s. Ruhepotenzial)

Konz. der Ionen im Raumteil „B“

$$c_B = c_A \cdot e^{-\frac{q \cdot U}{k \cdot T}}$$

elektrische potenzielle Energie

Konzentration

$$c \sim n$$

Stoffmenge

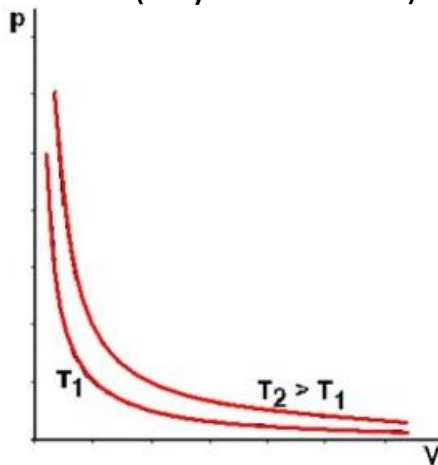
- im thermischen Gleichgewicht
- Exponentialverteilung
- die Besetzung hängt von dem Verhältnis zwischen $\Delta\epsilon$ und kT ab
- bei höheren Temperatur ist die Besetzung der höheren Energiezuständen auch größer

Gasgesetze

Zusammenhang zwischen der Zustandsparameter des (idealen) Gases

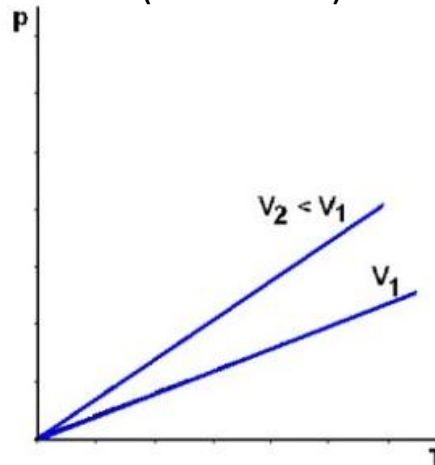
Isotherm

- $T = \text{konst.}$
- $p \cdot V = \text{konst.}$
- (Boyle-Mariotte)



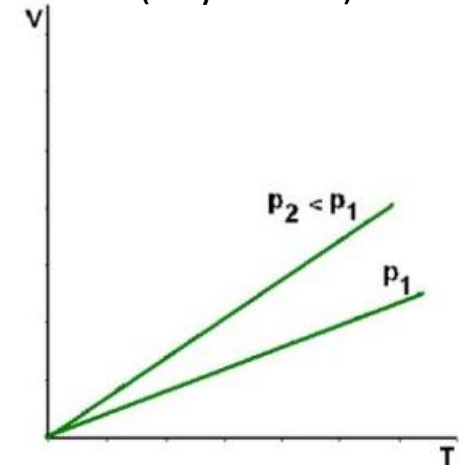
Isochor

- $V = \text{konst.}$
- $p / T = \text{konst.}$
- (Amontons)



Isobar

- $p = \text{konst.}$
- $V / T = \text{konst.}$
- (Gay-Lussac)



Avogadro

- bei einer gegebenen T und p :
- $V / N = \text{konst.}$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2} = R$$

Allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

Allgemeine Gasgleichung

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (\text{für ideale Gase})$$

oder

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T \quad \nu: N_\nu$$

oder

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T \quad N = n \cdot N_A$$

Reale Gase

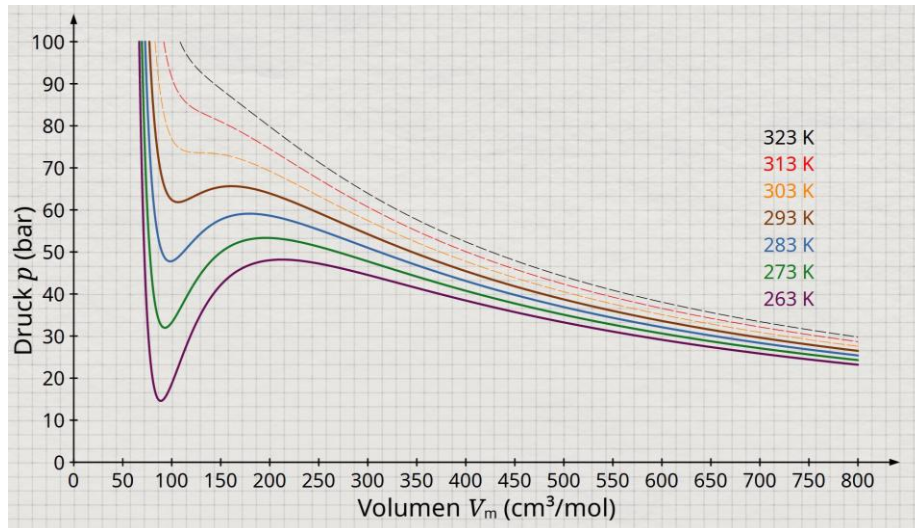
Eigenschaften:

- die Teilchen sind **nicht punktförmig**
- das **Eigenvolumen** der Teilchen (b) ist nicht vernachlässigbar $\Delta V = N \cdot b$ ΔV : „Realvolumenkorrektur“
- **Wechselwirkung** (a) zwischen Teilchen: **Druckverlust** $\Delta p = a \cdot \left(\frac{N}{V}\right)^2$ $\frac{N}{V}$: „Teilchendichte“

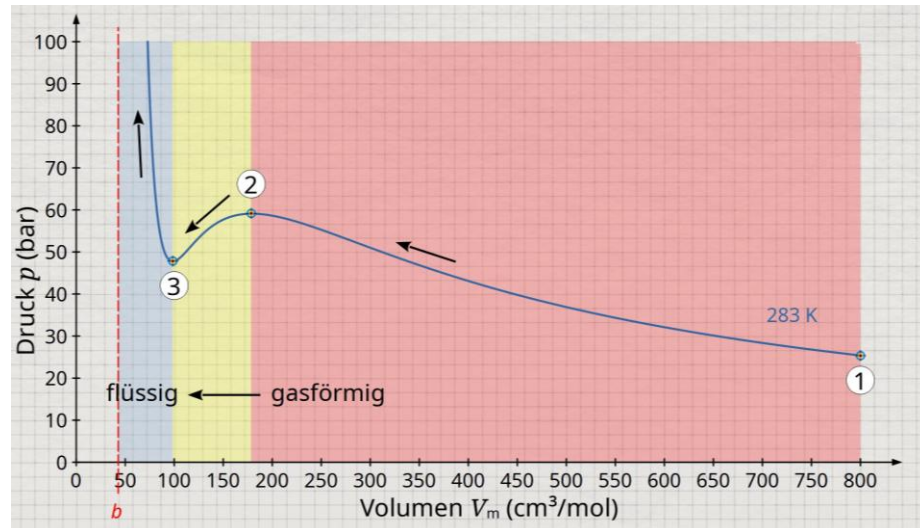
Zustandsgleichung der realen Gasen nach Van der Waals:

$$(p + \Delta p) \cdot (V - \Delta V) = N \cdot k \cdot T$$

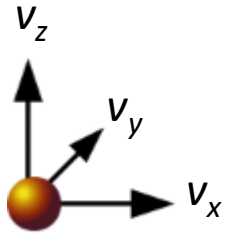
Van-der-Waals Isothermen



Beispiel von Kohlendioxid

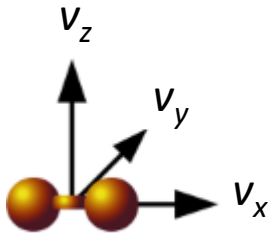


Freiheitsgrad und thermische Energie



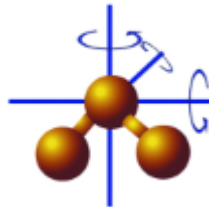
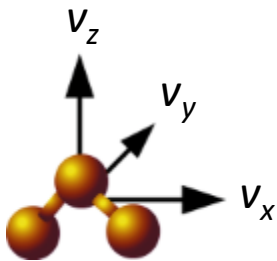
- **1-atomiges** Teilchen (z.B. **He**)
- 3 Translationsfreiheitsgrade

$$E_{\text{thermisch}} = \frac{3}{2}kT$$



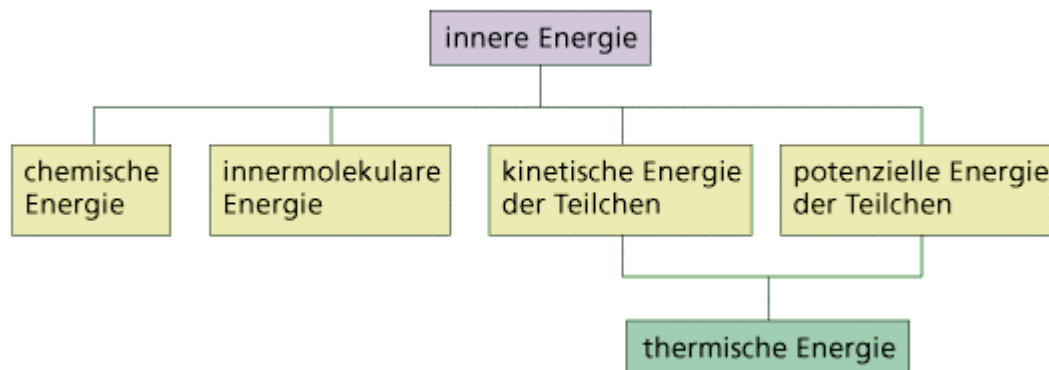
- **2-atomiges** Molekül (z.B. **O₂**)
- 3 Translationsfreiheitsgrade
- 2 Rotationsfreiheitsgrade

$$E_{\text{thermisch}} = \frac{5}{2}kT$$



- **≥ 3-atomiges** (nicht stabförmiges) Molekül (z.B. **H₂O**)
- 3 Translationsfreiheitsgrade
- 3 Rotationsfreiheitsgrade

$$E_{\text{thermisch}} = \frac{6}{2}kT$$



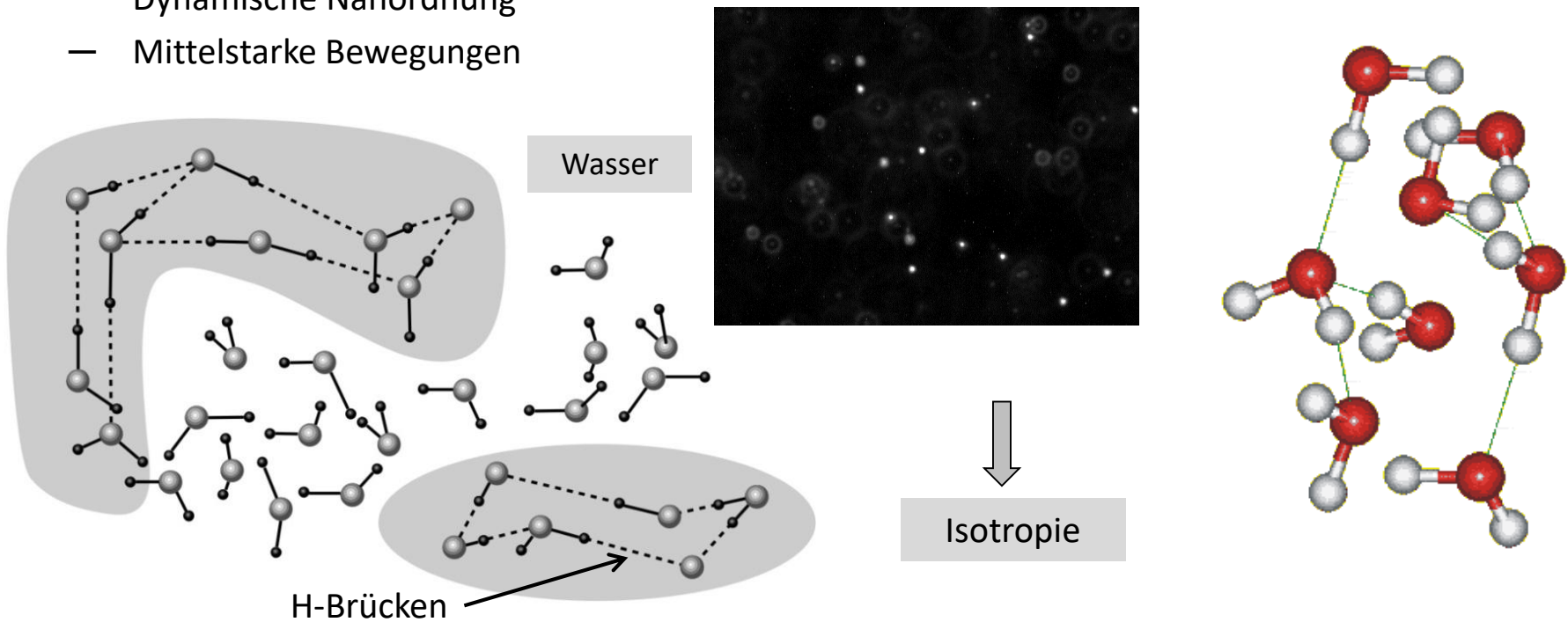
Flüssiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

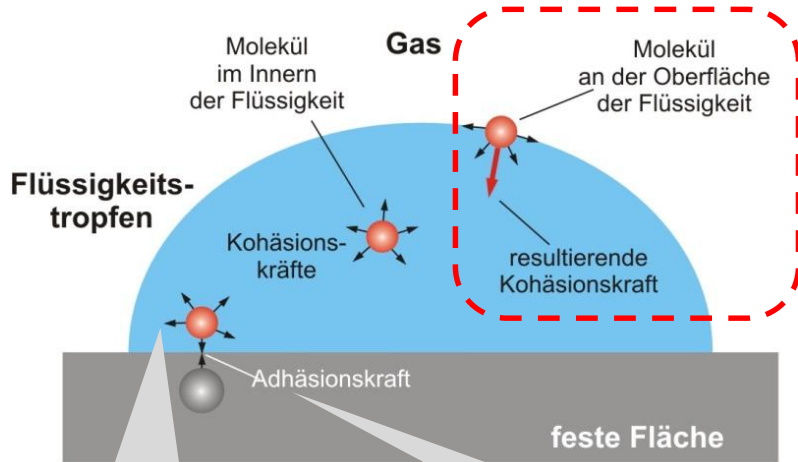
- Eigenvolumen aber keine Eigenform (keine rückstellende Scherkräfte)
- Isotrop
- Viskosität (innere Reibung)
(s. später bei Transportprozessen)

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



Oberflächenspannung #1



c) Oberflächenspannung oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

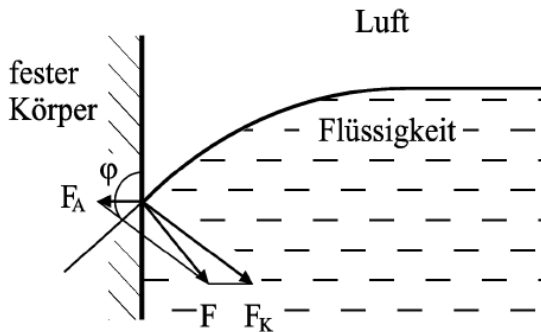
Zur Flächenvergrößerung von ΔA nötige Energie

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

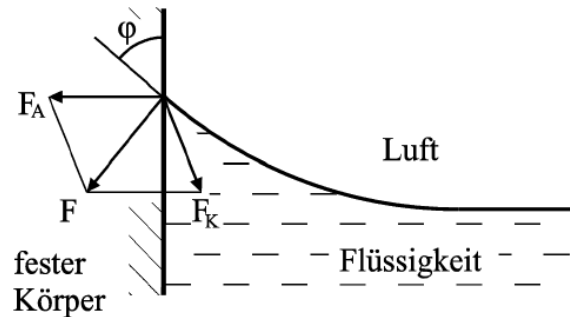
Oberflächenvergrößerung

F_K : Kohäsionskraft:
Anziehende Wechselwirkungen zwischen den Molekülen

F_A : Adhäsionskraft:
Anziehende Wechselwirkungen zwischen Molekül und Fläche



$F_K > F_A$ bei Hg



$F_K < F_A$ bei H₂O

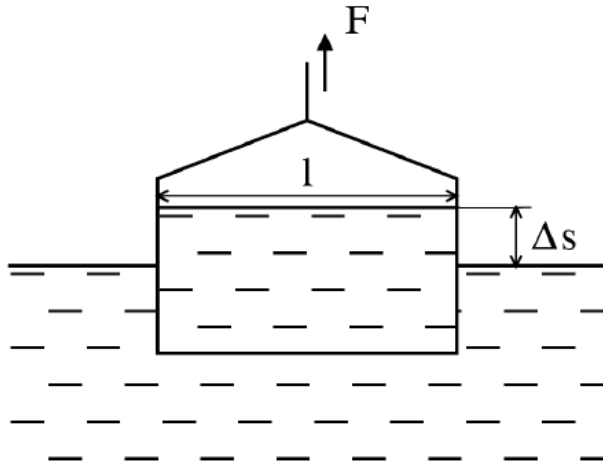
Stoff	σ (J/m ²)*
Wasser	0,073
Blut	0,06
Speichel	0,05
Alkohol	0,023
Quecksilber	0,484

* In Bezug auf Luft, 20°C

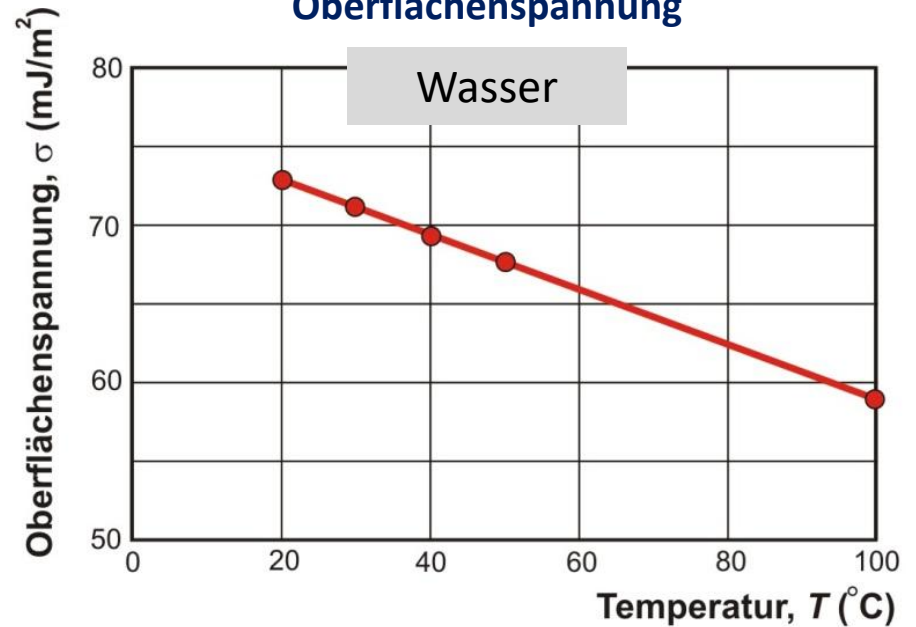
Oberflächenspannung #2

Messmethode: Abreißmethode

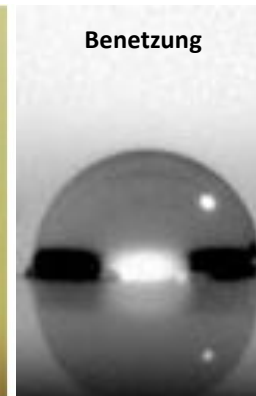
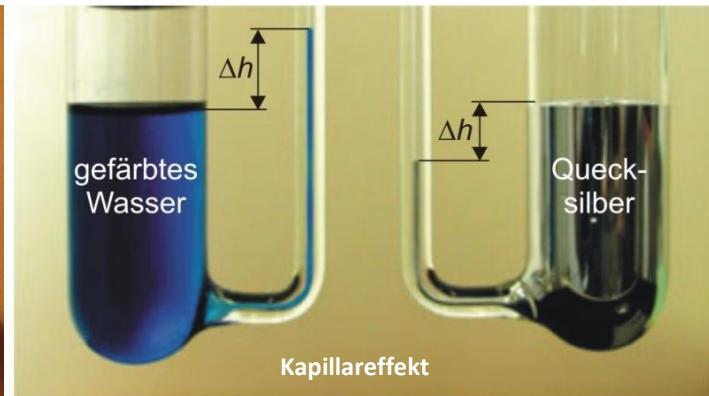
$$F = \sigma \cdot 2l$$



Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung

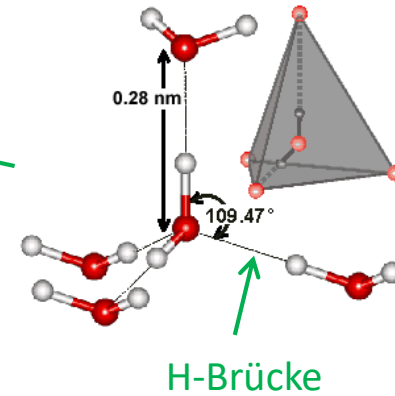


Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:

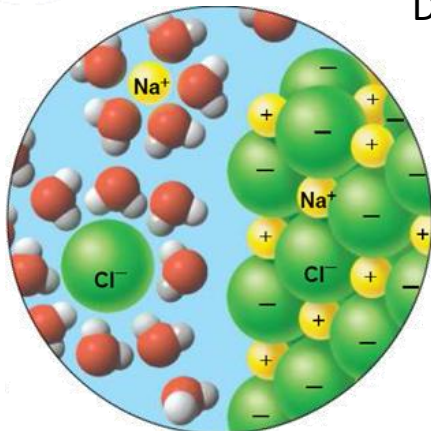
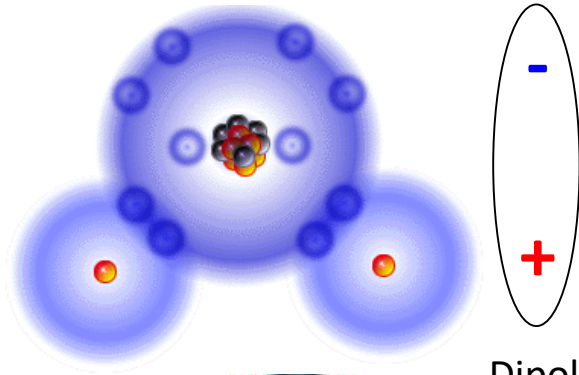


Wasser und seine besondere Eigenschaften

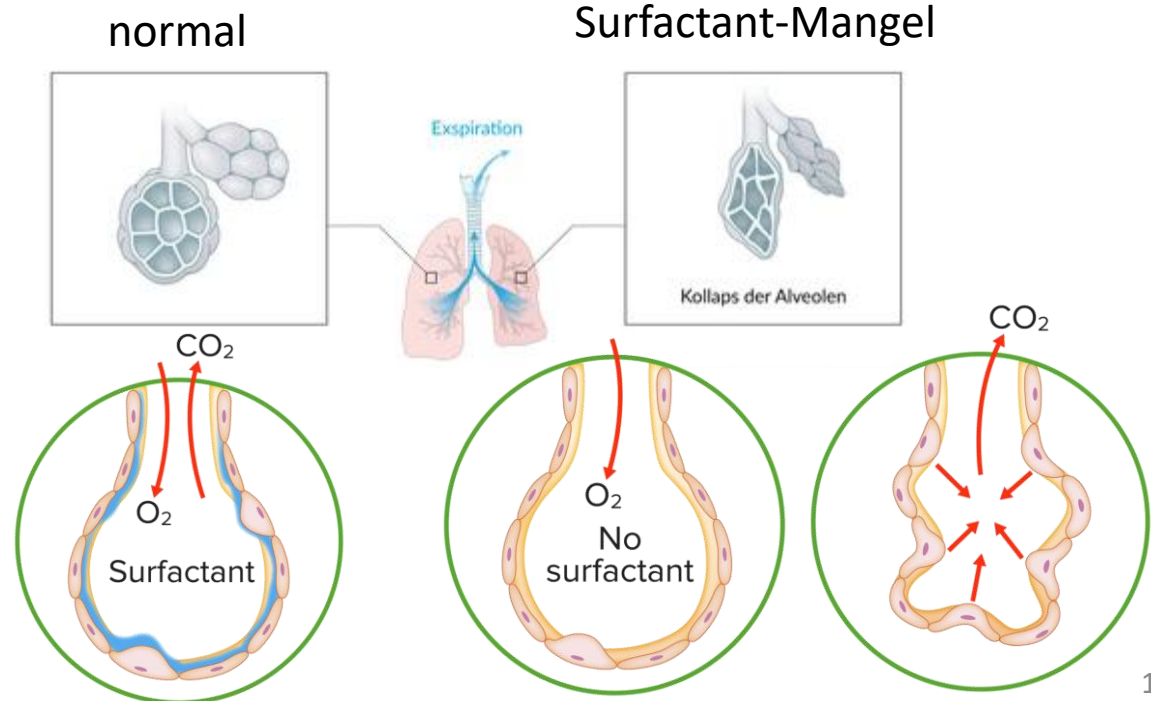
- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel für viele Stoffe



Wassermolekül



Neonatales Atemnotsyndrom



Hausaufgaben

Aufgabensammlung

1.22, 26, 27, 34, 36, 40

Feedback