

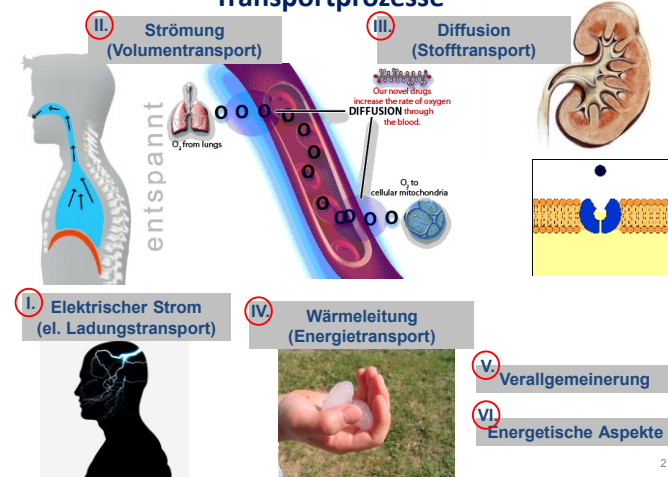
Biophysik für Pharmazeuten

Transportprozesse
Wärmeleitung
Verallgemeinerung
Energetische Beziehungen



1

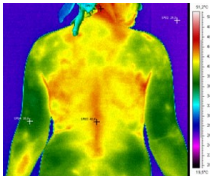
Transportprozesse



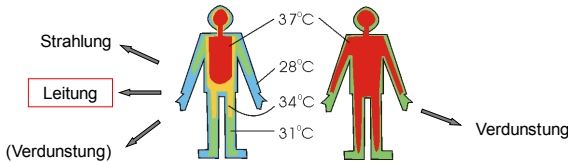
2

Wärmebildung und -abgabe

| Aktivität | Wärmebildung (W) |
|----------------------|------------------|
| In Ruhe | 115 |
| Langsames Spazieren | 260 |
| Radfahren (15 km/h) | 420 |
| Treppensteigen (2/s) | 700 |
| Laufen (15 km/h) | 1150 |

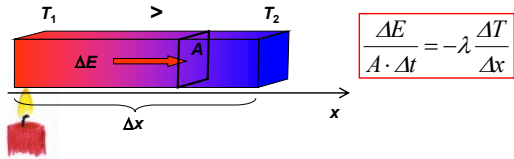


Umgebungstemperatur
20°C ← 35°C



3

IV. Wärmeleitung (Energietransport)



$$\frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



J. B. J. Fourier
1768-1830
Mathematiker
Physiker

| Stoff | λ (W/(m·K)) |
|--------|---------------------|
| Silber | 420 |
| Glas | 1 |
| Wasser | 0,6 |
| Muskel | 0,4 |
| Fett | 0,2 |
| Luft | 0,025 |

4

V. Zusammenfassung

| | Was strömt? | Stärke? | Warum? | Zusammenhang? |
|-------------------|---|---|--------------------------------|---|
| Ladungs-transport | q | $\frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$ | φ | $-\frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$ $\frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t} = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$ |
| Volumen-transport | V | $\frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$ | p | $-\frac{\Delta p}{\Delta l}$ $\frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t} = -\frac{r^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$ |
| Stoff-transport | v | $\frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$ | c^* | $-\frac{\Delta c}{\Delta x}$ $\frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t} = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$ |
| Energie-transport | E | $\frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$ | T | $-\frac{\Delta T}{\Delta x}$ $\frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$ |
| allgemein | $x_{\text{ext}} \quad J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$ extensive Gr. | $y_{\text{int}} \quad X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$ Strom-dichte intensive Gr. | thermo-dynamische Kraft | $J = LX$ onsagersche Beziehung |

* Im allgemeinen Fall μ

5

Extensive Größe:

- additiv
- Im Gleichgewicht proportional zur Ausbreitung des Systems
- In Transportprozessen: die transportierte Größe

Intensive Größe:

- nicht-additiv
- Im Gleichgewicht überall gleich in dem System
- In Transportprozessen: die sich ausgleichende Größe

Gleichgewicht: es gibt keine Transportprozesse.

0. Hauptsatz der Thermodynamik: Gleichgewicht \Leftrightarrow homogene Verteilung der intensiven Größen
 inhomogene Verteilung der intensiven Größen \Rightarrow **Transportprozesse**

Stärke und Richtung des Transportprozesses:

$J = LX$
Onsagersche Beziehung

\Rightarrow Richtung: homogene Verteilung

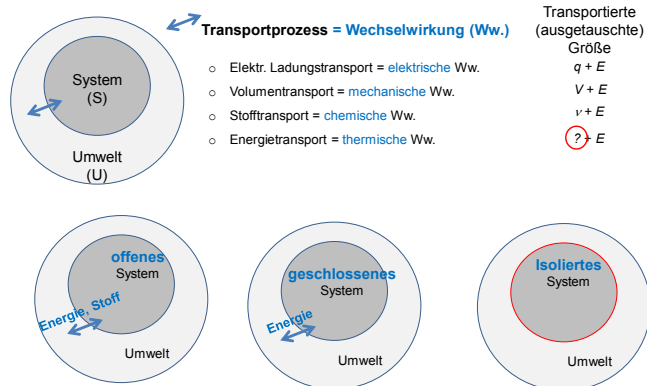
2. Hauptsatz der Thermodynamik

Irreversibilität

6

VI. Energetische Beziehungen (Thermodynamik)

1. Nomenklatur



7

2. Energietausch (Arbeit) in den einzelnen Wechselwirkungen

- Volumentransport = **mechanische** Ww.

$p_U < p_S$

$$W_{\text{mech}} = -F \cdot \Delta x = -p_A \cdot \Delta x = -p \Delta V$$

Volumenarbeit

$$W_{\text{mech}} = -p \Delta V$$

Bemerkung:

$$-p_S \Delta V \neq -p_U \Delta V !!!$$

$$W_{\text{mech}, S} \neq W_{\text{mech}, U} !!!$$

kein „Energieaustausch“

$$-p_S \Delta V = -p_U \Delta V \text{ nur, wenn } p_U = p_S$$

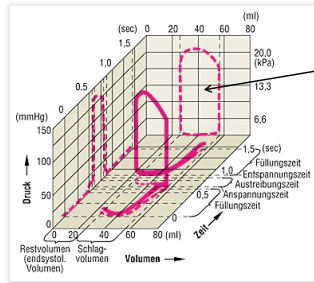
Gleichgewicht, kein Prozess!

$$p_S \neq p_U$$

aber **quasistationäre Prozessführung** („reversible Prozesse“)!
 (in kleinen Schritten immer nah dem Gleichgewicht)

$$W_{\text{mech}, S} = W_{\text{mech}, U}$$

8



Volumenarbeit des Herzens
(des linken Ventrikels):

$$W_{\text{mech}} \approx 20000 \cdot 0,000003 = 0,6 \text{ J}$$

Volumenarbeit bei isothermischer Ausdehnung eines Gases
(wenn $p \neq \text{konstant}$):

$$W_{\text{mech}} = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{vRT}{V} dV = -vRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = -vRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

2. Innere Energie (E): Summe aller kinetischen und potenziellen Energien innerhalb des Systems

3. Erster (1.) Hauptsatz der Thermodynamik

$$\Delta E = W_{\text{mech}} + W_{\text{elektr}} + W_{\text{chem}} + W_{\text{therm}} \quad (= W + Q)$$

$$\Delta E = -p\Delta V + \varphi\Delta q + \mu\Delta v + T\Delta S = \sum y_{\text{int}} \cdot \Delta x_{\text{ext}}$$

4. Entropie (S) – phenomenologische Definition:

$$Q = W_{\text{therm}} = T\Delta S \quad \Rightarrow \quad \Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T} \quad (\text{bei reversibler Prozessführung: } Q_{\text{rev, System}} = Q_{\text{rev, Umwelt}})$$

wenn $T \neq \text{konstant}$:

$$\Delta S = c_m \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Elektr. Ladungstransport = elektrische Ww.

$$W_{\text{elektr}} = \varphi\Delta q$$

allgemein

$$W = y_{\text{int}} \cdot \Delta x_{\text{ext}}$$

Stofftransport = chemische Ww.

$$W_{\text{chem}} = \mu\Delta v$$

wenn $\mu \neq \text{konstant}$:

$$W_{\text{chem}} = vRT \ln \frac{c_2}{c_1}$$

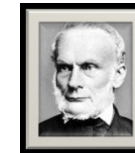


Energietransport = thermische Ww.

$$Q = W_{\text{therm}} = T\Delta S = T\Delta S$$

Entropie

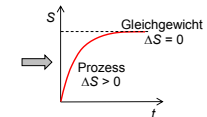
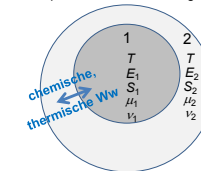
(entrepain (gr) = umkehren)



Rudolf Julius
Emmanuel Clausius
(1822-1888)
Physiker

5. Zweiter (2.) Hauptsatz der Thermodynamik: In einem isolierten System verlaufen spontane Prozesse nur in der Richtung des Ausgleichs.

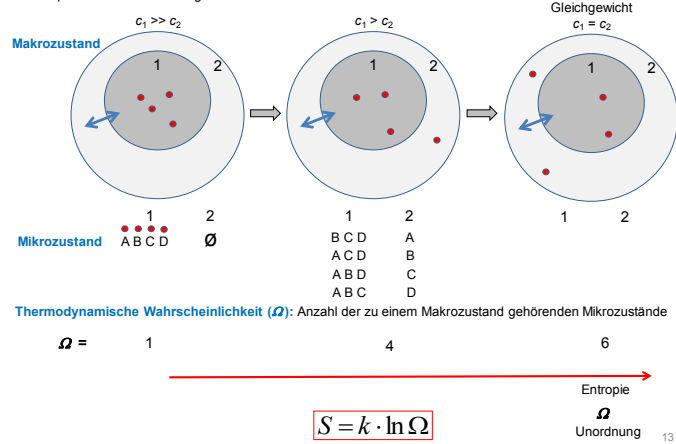
Beispiel: Konzentrationsausgleich (Ausgleich des chemischen Potentials)



Zweiter (2.) Hauptsatz der Thermodynamik: In einem isolierten System verlaufen spontane Prozesse nur in der Richtung der Entropiezunahme.

6. Entropie (S) – statistische Definition:

Beispiel: Konzentrationsausgleich



13

Ludwig Eduard
Boltzmann
(1844-1906)
Physiker



7. Thermodynamische Potenzialfunktionen

- Innere Energie (E)

- Enthalpie (H): $H = E + pV$

wenn $p = \text{konstant}$: $\Delta H = T\Delta S = Q_p$

- Freie Energie (F): $F = E - TS$

wenn $T = \text{konstant}$
 $V = \text{konstant}$: $\Delta F = \mu\Delta v$

- Freie Enthalpie (G): $G = E + pV - TS = H - TS$

wenn $T = \text{konstant}$
 $p = \text{konstant}$: $\Delta G = \mu\Delta v$

14