

Biophysik für Pharmazeuten

Transportprozesse
Wärmeleitung
Verallgemeinerung
Energetische Beziehungen



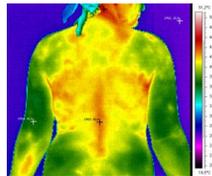
1

Transportprozesse

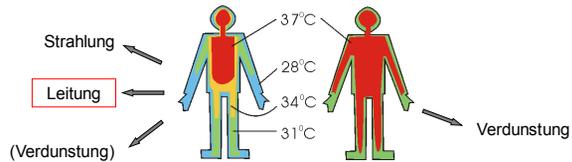
2

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

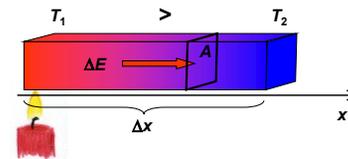


Umgebungstemperatur
20°C ← → 35°C



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

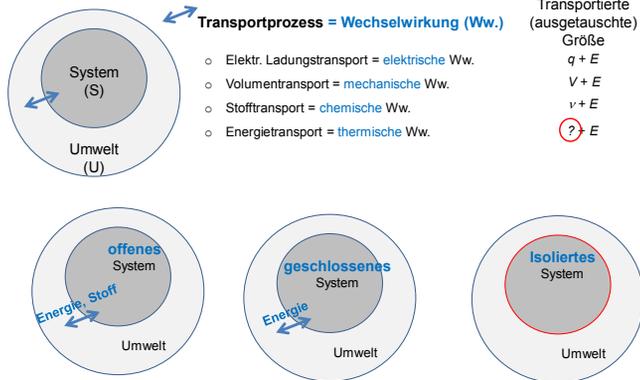
V. Zusammenfassung

	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_{ext}	$J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$	y_{int}	$X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$ $J = LX$

* Im allgemeinen Fall μ

VI. Energetische Beziehungen (Thermodynamik)

1. Nomenklatur



7

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**

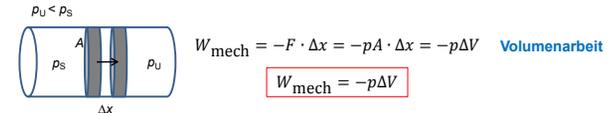
\Rightarrow Richtung: homogene Verteilung

2. Hauptsatz der Thermodynamik **Irreversibilität**

6

2. Energietausch (Arbeit) in den einzelnen Wechselwirkungen

- Volumentransport = **mechanische Ww.**



Bemerkung:

$-p_s \Delta V \neq -p_u \Delta V$!!!
 $W_{\text{mech, S}} \neq W_{\text{mech, U}}$!!!

kein „Energieaustausch“

$-p_s \Delta V = -p_u \Delta V$ nur, wenn $p_u = p_s$

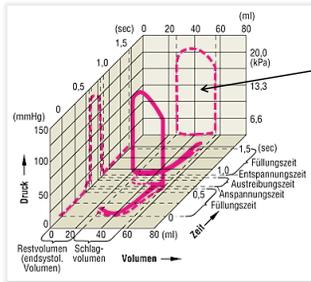
Gleichgewicht, kein Prozess!

$p_s \neq p_u$

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 $p \neq \text{konstant}$):

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

9

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

3. Erster (1.) Hauptsatz der Thermodynamik

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

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

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 $T = \text{konstant}$:

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

11

o Elektr. Ladungstransport = elektrische Ww.

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

o allgemein

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

o Stofftransport = chemische Ww.

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

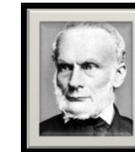


wenn $\mu \neq \text{konstant}$:

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

o Energietransport = thermische Ww.

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



Rudolf Julius
Emmanuel Clausius
(1822-1888)
Physiker

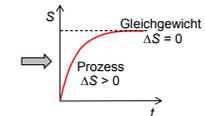
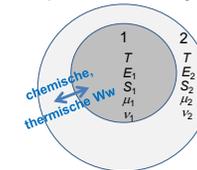
Entropie

(entrepin (gr) = umkehren)

10

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)

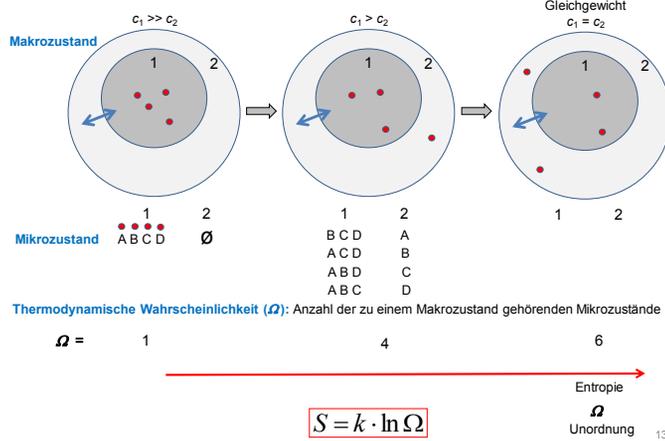


Zweiter (2.) Hauptsatz der Thermodynamik: In einem isolierten System verlaufen spontane Prozesse nur in der Richtung der Entropiezunahme.

12

6. Entropie (S) – statistische Definition:

Beispiel: Konzentrationsausgleich



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