

# Medizinische Biophysik

23

## Transportprozesse Energetische Beziehungen



1

### Transportprozesse

**Strömung (Volumentransport)**

entspannt

**Diffusion (Stofftransport)**

Our novel drugs increase the rate of oxygen DIFFUSION through the blood.

O<sub>2</sub> from lungs

O<sub>2</sub> to cellular mitochondria

**Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)**

**IV. Wärmeleitung (Energietransport)**

**V. Verallgemeinerung**

**VI. Energetische Aspekte**

2

## VI. Energetische Beziehungen (Thermodynamik)

### 1. Nomenklatur

**Transportprozess = Wechselwirkung (Ww.)**

- Elektr. Ladungstransport = elektrische Ww.
- Volumentransport = mechanische Ww.
- Stofftransport = chemische Ww.
- Energietransport = thermische Ww.

Transportierte (ausgetauschte) Größe

$q + E$

$V + E$

$v + E$

$? + E$

System (S)

Umwelt (U)

offenes System

Umwelt

geschlossenes System

Umwelt

Isoliertes System

Umwelt

3

### 2. Energietausch (Arbeit) in den einzelnen Wechselwirkungen

- Volumentransport = mechanische Ww.

$p_U < p_S$

$W_{\text{mech}} = -F \cdot \Delta x = -p \cdot A \cdot \Delta x = -p \Delta V$  **Volumenarbeit**

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

Bemerkung:

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

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

$-p_S \Delta V = -p_U \Delta V$  nur, wenn  $p_U = p_S$

Gleichgewicht, kein Prozess!

kein „Energieaustausch“

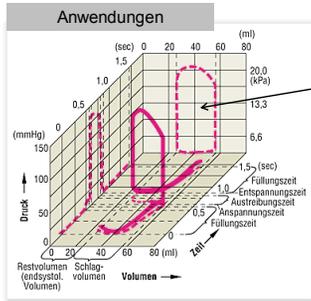
$p_S \neq p_U$

aber quasistationäre Prozessführung („reversible Prozesse“)!

(in kleinen Schritten immer nah dem Gleichgewicht)

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

4



Volumenarbeit des Herzens (des linken Ventrikels):

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

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

5

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

3. Erster (1.) Hauptsatz der Thermodynamik

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

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

4. Entropie (S) – phenomenologische Definition:

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

$$\text{wenn } T \neq \text{konstant: } \Delta S = c \ln \frac{T_2}{T_1}$$

7

o Elektr. Ladungstransport = elektrische Ww.

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

o allgemein

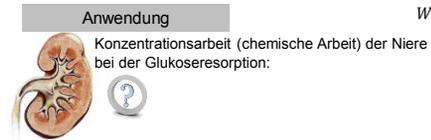
$$W = y_{\text{int}} \cdot \Delta x_{\text{ext}}$$

o Stofftransport = chemische Ww.

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

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

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

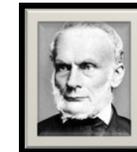


Anwendung

Konzentrationsarbeit (chemische Arbeit) der Niere bei der Glukoseresorption:

o Energietransport = thermische Ww.

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



Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888) Physiker

(entprein (gr) = umkehren)

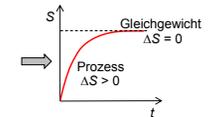
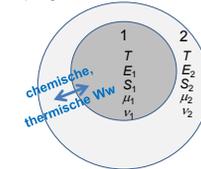
Entropie

6

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)

Wie ändert sich die Gesamtentropie?

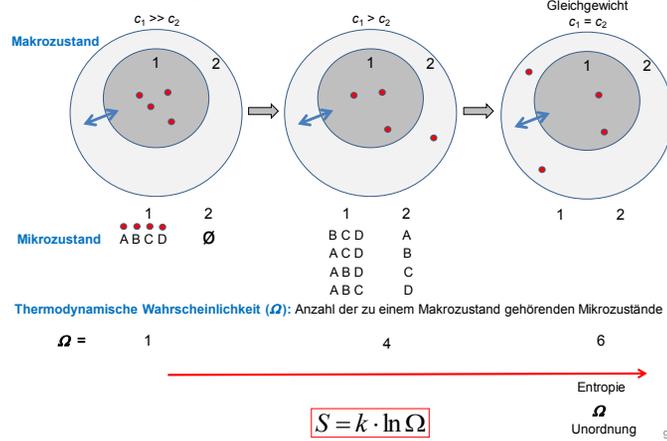


Zweiter (2.) Hauptsatz der Thermodynamik: In einem isolierten System verlaufen spontane Prozesse nur in der Richtung der Entropiezunahme.

8

## 6. Entropie (S) – statistische Definition:

Beispiel: Konzentrationsausgleich



Biophysik für Mediziner: ■ III/3.3

■ III/3.4

Rechenaufgaben (Praktikumsbuch): 69, 71

Ludwig Eduard  
Boltzmann  
(1844-1906)  
Physiker



## 7. Thermodynamische Potenzialfunktionen

o Innere Energie (E)

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

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

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

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

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

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

10