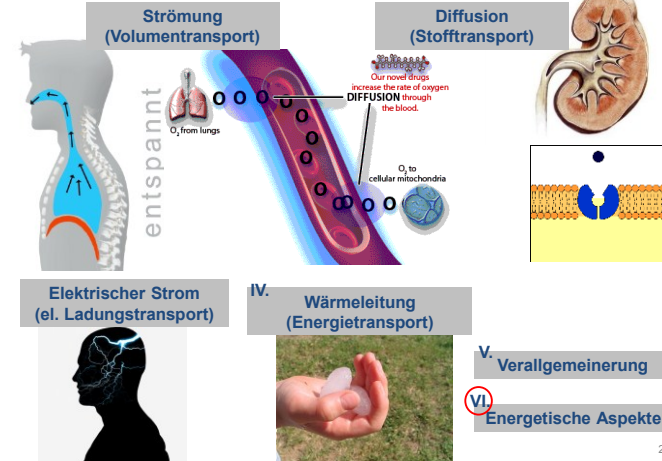


## Transportprozesse Energetische Beziehungen



1

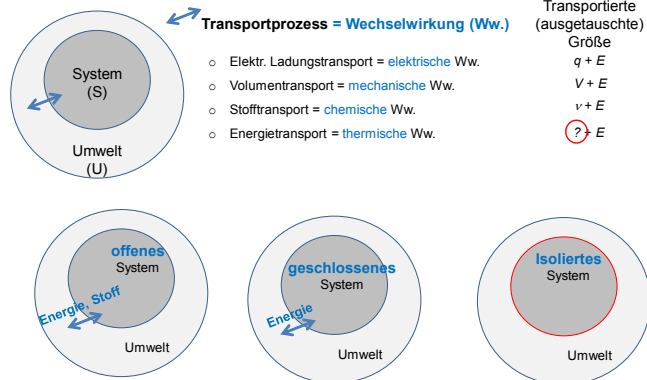
## Transportprozesse



2

## VI. Energetische Beziehungen (Thermodynamik)

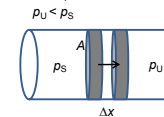
### 1. Nomenklatur



3

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

- Volumentransport = mechanische Ww.



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

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

Bemerkung:

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

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

kein „Energieaustausch“

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

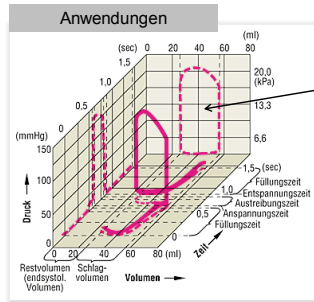
Gleichgewicht, kein Prozess!

$$p_S \neq p_U$$

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

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

4



Volumenarbeit des Herzens  
(des linken Ventrikels):



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

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

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:

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

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

7

Elektr. Ladungstransport = elektrische Ww.

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

allgemein

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

Stofftransport = chemische Ww.

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

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

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

**Anwendung**

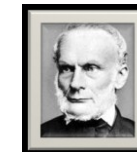


Konzentrationsarbeit (chemische Arbeit) der Niere  
bei der Glukoseresorption:



Energietransport = thermische Ww.

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



Rudolf Julius  
Emmanuel Clausius  
(1822-1888)  
Physiker

Entropie

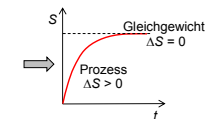
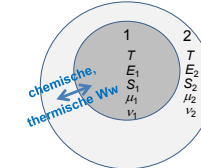
(entropien (gr) = umkehren)

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?

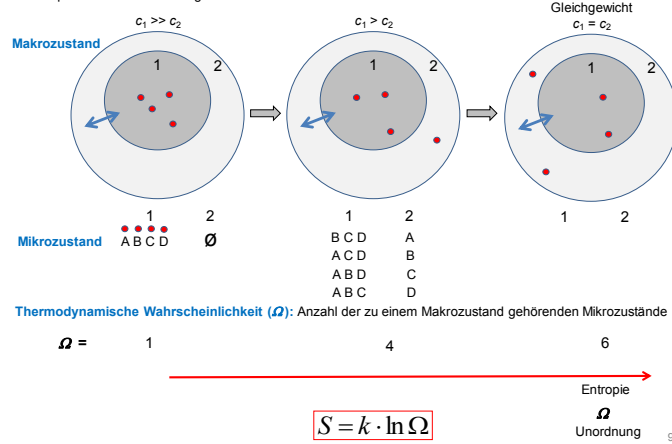


**Zweiter (2.) Hauptsatz der Thermodynamik:** In einem isolierten System verlaufen spontane Prozesse nur in der Richtung der Entropiezunahme.

8

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

Beispiel: Konzentrationsausgleich



Biophysik für Mediziner: ■ III/3.3

■ III/3.4

Rechenaufgaben (Praktikumsbuch): 69, 71

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

Ludwig Eduard  
Boltzmann  
(1844-1906)  
Physiker



10