

Biophysik für Pharmazeuten

Transportprozesse Diffusion



1

Transportprozesse

II. Strömung (Volumentransport)

entspannt
O₂ from lungs

III. Diffusion (Stofftransport)

Our novel drugs increase the rate of oxygen DIFFUSION through the blood.
O₂ to cellular mitochondria

I. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)

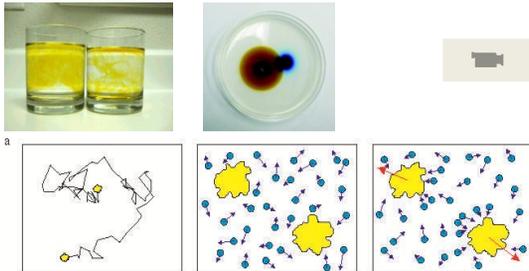
IV. Wärmeleitung (Energietransport)

V. Verallgemeinerung

VI. Energetische Aspekte

2

III. Stofftransport (Diffusion)



1. Grundbegriffe

- Diffusion: Tendenz zur gleichmäßigen Verteilung von Molekülen durch die thermische Bewegung

3

- Stoffstromstärke (I): $I = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left(\frac{\text{mol}}{\text{s}} \right)$
- Stoffstromdichte (J): $J = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t} \left(\frac{\text{mol}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right)$
- stationäre Diffusion: zeitlich konstant



Adolf Fick
1829-1901
Physiologe

2. Transportgesetz – 1. Ficksches Gesetz

thermisches Gleichgewicht

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -DA \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Konzentrationsgradient

$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Stromdichte

Diffusionskoeffizient

4

▪ Diffusionskoeffizient:

- stoffspezifisch
 - diffundierende Moleküle - Größe (r)
 - Form
- Medium (η)

➤ temperaturabhängig $D \sim e^{-\frac{AE}{RT}}$

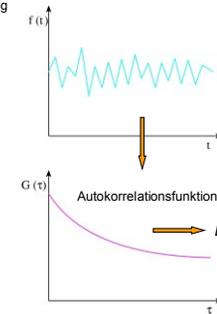
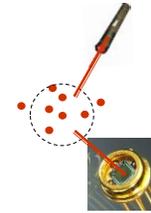
➤ Einstein-Stokes-Gleichung (für kugelförmige Teilchen)

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$

Diffundierendes Teilchen (Molmasse)	Medium	D (m ² /s)
H ₂ (2)	Luft	6,4·10 ⁻⁵
O ₂ (32)	Luft	2·10 ⁻⁵
CO ₂ (44)	Luft	1,8·10 ⁻⁵
H ₂ O (18)	Wasser	2,2·10 ⁻⁹
O ₂ (32)	Wasser	1,9·10 ⁻⁹
Glyzin (75)	Wasser	0,9·10 ⁻⁹
Serum Albumin (69 000)	Wasser	6·10 ⁻¹¹
Tropomiozin (93 000)	Wasser	2,2·10 ⁻¹¹
Tabakmosaik-virus (40 000 000)	Wasser	4,6·10 ⁻¹²

5

➤ Messung: eine Möglichkeit - dynamische Lichtstreuungsmessung



▪ Im thermischen Nichtgleichgewicht: Konzentration (c) → chemisches Potenzial (μ)

6

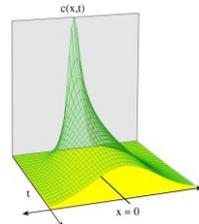
3. Das 2. Ficksche Gesetz:

$$D \frac{\Delta \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)}{\Delta x} = \frac{\Delta c}{\Delta t} \quad D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}$$

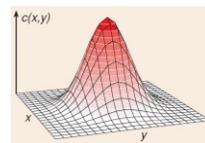
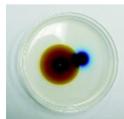
Lösungen:

➤ Für eindimensionale Diffusion:

anim $c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$
 $\sigma_x = \sqrt{2Dt}$



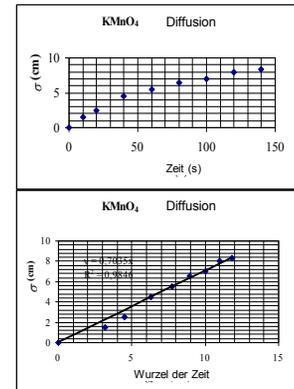
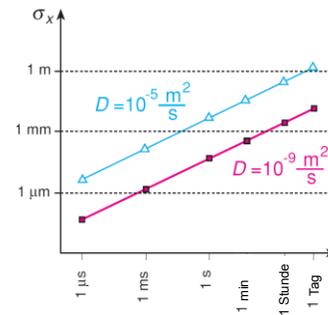
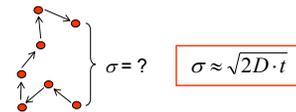
➤ Für zweidimensionale Diffusion:



Siehe auch Praktikum!

7

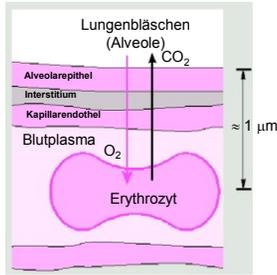
3. Diffusion als Random Walk



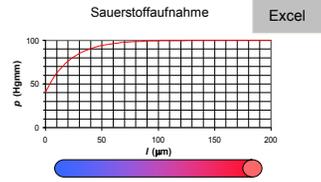
8

4. Anwendungen

- O₂/CO₂-Diffusion Lunge-Blut

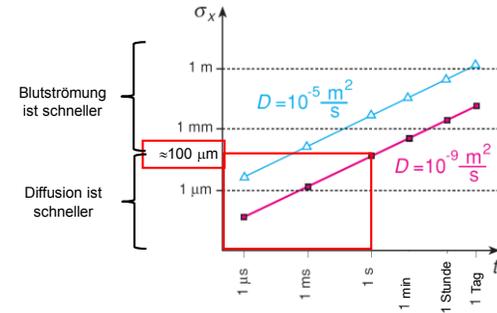


➤ 1. Ficksches Gesetz:



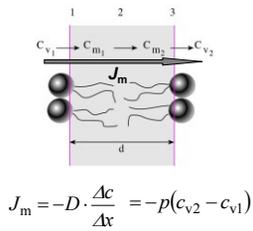
➤ Random Walk: 1 μm ⇒ 1 ms

- Diffusion ↔ Blutströmung



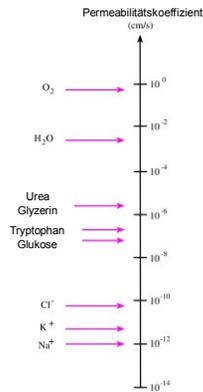
- Diffusion durch eine Membran (passiver Transport)

Für neutrale Teilchen:



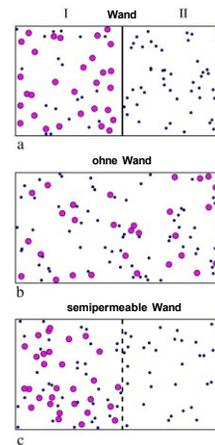
$$J_m = -p(c_{v2} - c_{v1})$$

Permeabilitätskoeffizient (m/s)



11

- Osmose

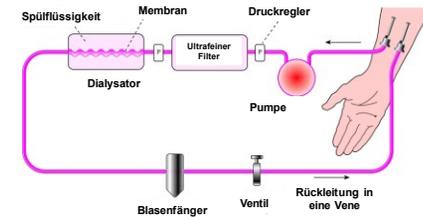


Van't Hoff-Gesetz:

$$p_{\text{Osmose}} = cRT$$



J. H. van't Hoff
1852-1911
Chemiker



12

Analogie

	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
Ladungs-transport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
Volumen-transport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
Stoff-transport	v	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	c	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$

13