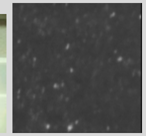
Medizinische Biophysik 2018. 04. 25.

Transportprozesse

III. Diffusion (Stofftransport) *Fortsetzung*

Diffusion

durch thermische Molekularbewegung



Diffusionsstromstärke (I): $I = \frac{\Delta \nu}{\Delta t}$ $\left(\frac{\text{mol}}{\text{s}}\right)$

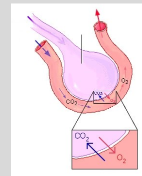
1. ficksches Gesetz $\frac{\Delta \nu}{\Delta t} = -DA\frac{\Delta c}{\Delta x}$

Diffusionskoeffizient

Diffusionskoeffizient
- stoffspezifisch
- temperaturabhängig

Einstein-Stokes-Gleichung (Diffusionskoeffizient von kugelförmigen Teilchen): $D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$

Anwendung vom 1. fickschen Gesetz: O_2-Diffusion



Die Anwendung des 1. fickschen Gesetzes ist nur bei stationären Bedingungen einfach. Ist eine Verallgemeinerung möglich?

3. Das 2. ficksche Gesetz:

$$D\frac{\Delta\left(\frac{\Delta c}{\Delta x}\right)}{\Delta x} = \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

bischen anschaulichere Form

$$D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}$$

exakte mathematische Form

- Partielle Differenzialgleichung zweiter Ordnung
- Lösung: die Funktion $c(x, t)$

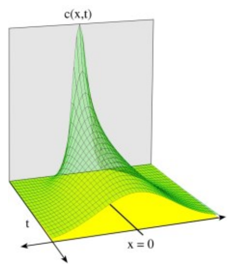
Beispiele für Lösungen:

- Für eindimensionale Diffusion:

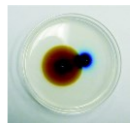
anim

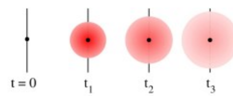
$$c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$$

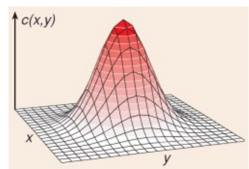
$$\sigma_x = \sqrt{2Dt}$$



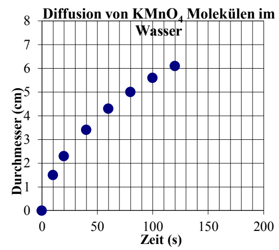
- Für zweidimensionale Diffusion:

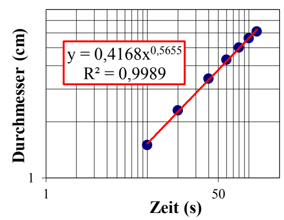




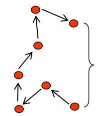


Siehe auch Praktikum!





4. Diffusion als Random Walk



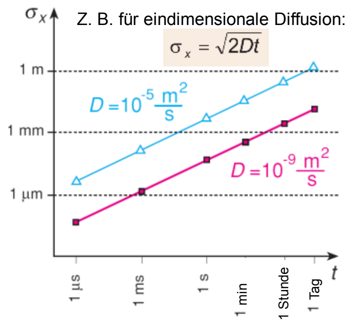
σ = ?

$\boxed{\sigma \approx \sqrt{D \cdot t}}$

5. Zusammenfassend über die „Schnelligkeit" der Diffusion

Z. B. für eindimensionale Diffusion:

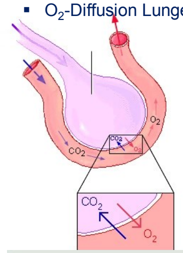
$\sigma_x = \sqrt{2Dt}$



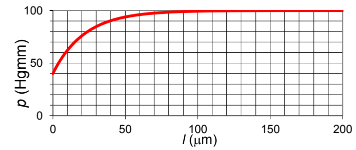
6. Anwendungen:

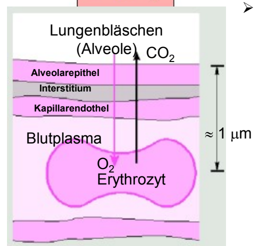
- O_2-Diffusion Lunge-Blut

➢ 1. ficksches Gesetz:



O_2 Aufnahme in den Alveolarkapillaren





➢ Random Walk: Wie viel Zeit brauchen die O_2-Moleküle dazu im Durchschnitt?

$\sigma_x = \sqrt{2Dt}$

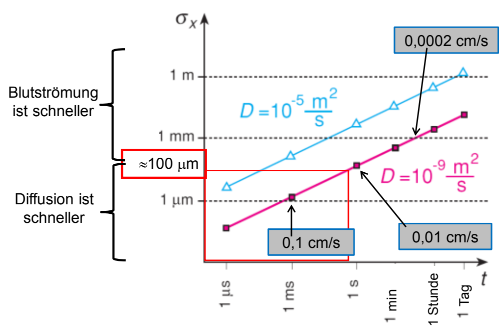
D für O_2 im Wasser:

$1{,}9 \cdot 10^{-9}$ m/s² ≈ $1 \cdot 10^{-9}$ m/s²

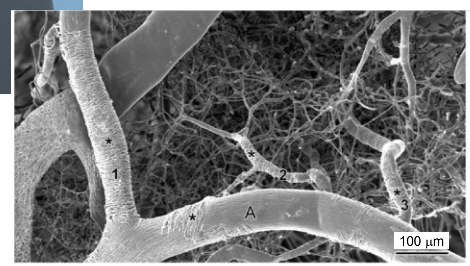
➢ Zusammenfassend: Welcher Transportprozess ist „schneller" für O_2-Transport?

Blutströmung:

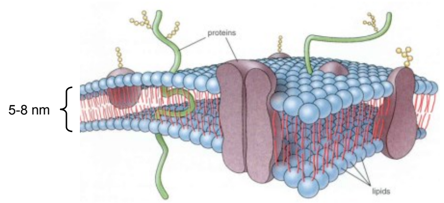
Gefäß	Kapillaren
v (cm/s)	0,022



Kapillarennetz mit einem charakteristischen Abstand von 100 µm!

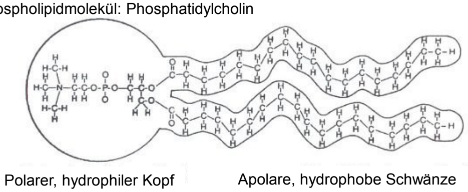


Anwendung: Diffusion in Membranen

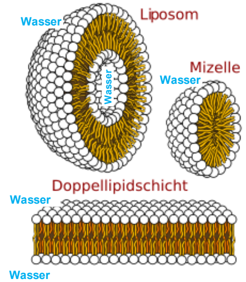


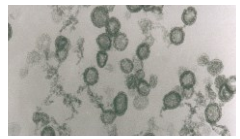
Beispiel

Ein Phospholipidmolekül: Phosphatidylcholin

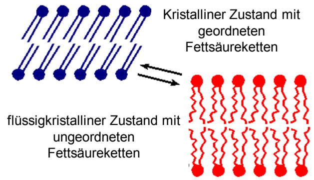


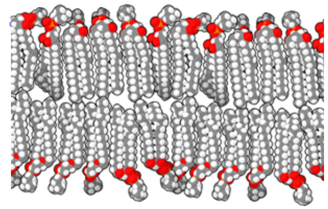
Zur Erinnerung: Lyotrope Flüssigkristalle





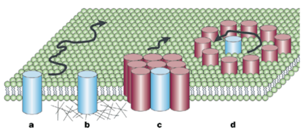
Phasenübergang in der Lipiddoppelschicht



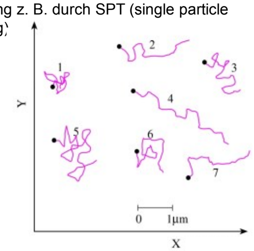


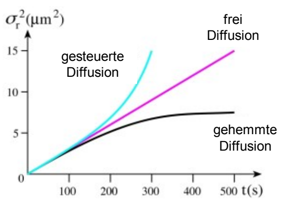
$$\eta_{\text{Gel}} > \eta_{\text{Fluid}} >> \eta_{\text{Wasser}}$$

- Laterale Diffusion in Membranen



Messung z. B. durch SPT (single particle tracking)

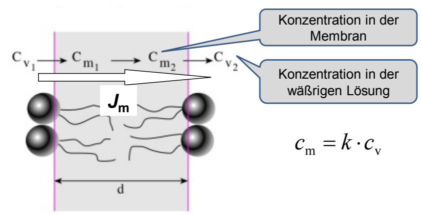




Lipide (mobiler Anteil >90%):
$D_{\text{lateral}} \approx 10^{-12}\ \text{m}^2/\text{s}$

Proteine (mobiler Anteil 10-90%):
$D_{\text{lateral}} \approx 10^{-13}$ - $10^{-17}\ \text{m}^2/\text{s}$

- Diffusion durch Membranen (passiver Transport)



$$c_{\text{m}} = k \cdot c_{\text{v}}$$

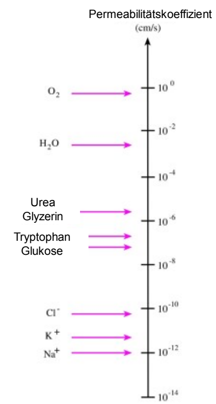
- 1. ficksches Gesetz:

$$J_{\text{m}} = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x} = -D \cdot \frac{c_{\text{m2}} - c_{\text{m1}}}{d} =$$

$$= -D \cdot k \cdot \frac{c_{\text{v2}} - c_{\text{v1}}}{d} = -p(c_{\text{v2}} - c_{\text{v1}})$$

$$J_{\text{m}} = -p(c_{\text{v2}} - c_{\text{v1}})$$

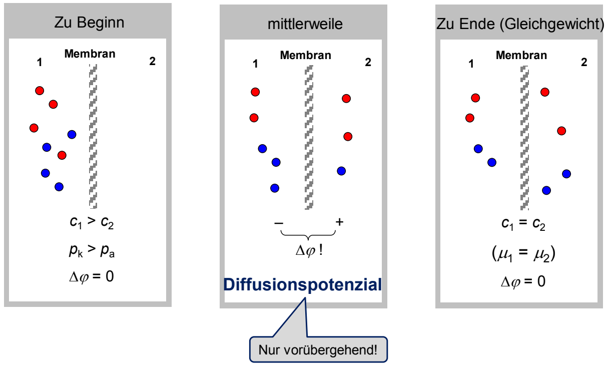
Permeabilitätskoeffizient (m/s)



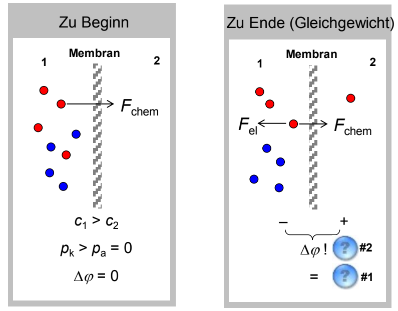
- Diffusion von Ionen durch eine Membran (zwei Spezialfälle)

einwertige Ionen: ● Kation (k) ● Anion (a)

1. Die Permeabilitätswerte sind unterschiedlich, z. B. $\boxed{p_k > p_a}$



2. Die Permeabilität für das eine Ion ist Null, z. B. $\boxed{p_a = 0}$



● Kation (k)

● Anion (a)

#1

Elektrochemisches Potenzial (J/mol):

$$\mu_e = \mu + F \cdot \varphi$$

Im Gleichgewicht:

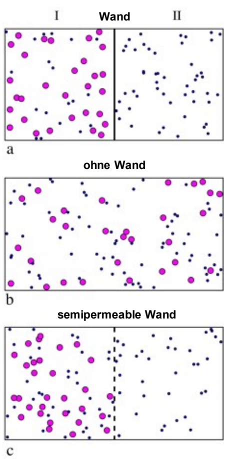
$$\mu_{e1} = \mu_{e2}$$

#2

Nernst-Gleichung:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{RT}{F}\ln\frac{c_2}{c_1}$$

Eine weitere Anwendung: Osmose



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

Van't Hoff-Gesetz:
(für Gase und auch für dünne Lösungen)

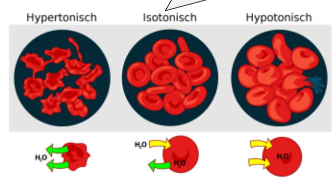
$$p_{Osmose} = cRT$$

Osmotischer Druck

Temperatur

Konzentration der Moleküle für welche die Wand undurchlässig ist

Isotonisch sind zwei Lösungen, wenn ihre osmotische Druckwerte gleich groß sind



Hämodialyse