

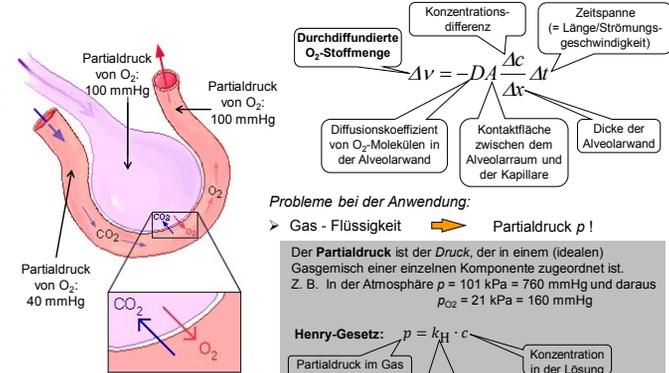
Medizinische Biophysik 2015. 04. 15.

Transportprozesse

III. Stofftransport (Diffusion)

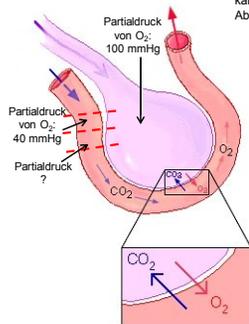
1. Grundbegriffe Stoffstromstärke, -dichte
2. Transportgesetz = 1. Ficksches Gesetz
 - Diffusionskoeffizient, Einstein-Stokes-Gleichung
 - chemisches Potenzial für Lösungen:
3. Das 2. Ficksche Gesetz
4. Diffusion als Random Walk
5. Zusammenfassend über die „Schnelligkeit“ der Diffusion
6. Anwendungen:
 - O₂-Diffusion Lunge-Blut
 - Laterale Diffusion in Membranen
 - Diffusion durch Membranen (passiver Transport)
 - Diffusion von Ionen durch eine Membran, Diffusionspotenzial, Nernst-Gleichung
 - Osmose, Van't Hoff-Gesetz

Anwendung des 1. Fickschen Gesetzes für O₂-Diffusion von Lunge ins Blut

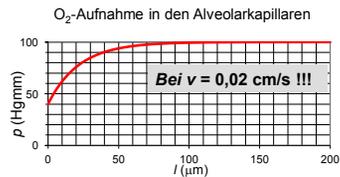


> Partialdruck im Blut wo?

Die Kapillare wird auf so kleine Abschnitte aufgeteilt, dass innerhalb eines Abschnittes der Partialdruck schon als konstant betrachtet werden kann. Das 1. Ficksche Gesetz wird dann für diese Abschnitte nacheinander verwendet. → Excel



Bei welcher Blutgeschwindigkeit wird das Blut mit O₂ gesättigt?



> Membran ≈ Wasser

Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf



Gefäß	Aorta	Arterien	Arteriolen	Kapillaren	Venolen	Venen	Hohlvenen
A (cm ²)	4,5	20	400	4500	4000	40	18
v (cm/s)	23	5	0,25	0,022	0,025	2,5	6

3. Das 2. Ficksche Gesetz:

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

bisshen anschaulichere Form

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

exakte mathematische Form

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

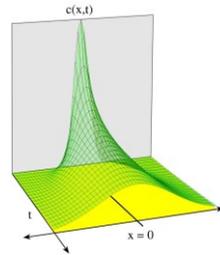
Beispiele für Lösungen:

➤ Für eindimensionale Diffusion:

anim

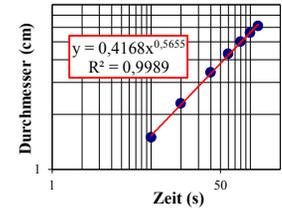
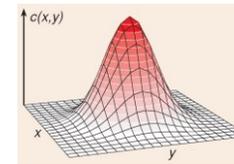
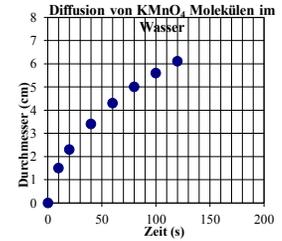
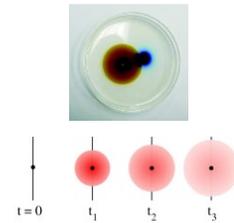
$$c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$$

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



5

➤ Für zweidimensionale Diffusion:



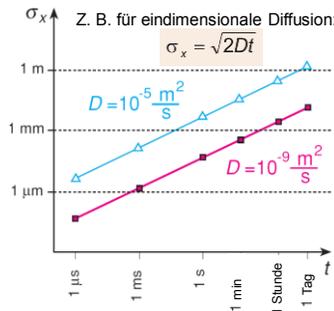
Siehe auch Praktikum!

6

4. Diffusion als Random Walk



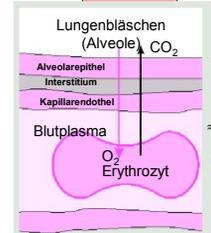
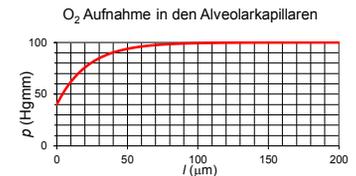
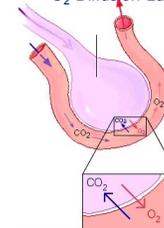
5. Zusammenfassend über die „Schnelligkeit“ der Diffusion



7

6. Anwendungen:

▪ O₂-Diffusion Lunge-Blut ➤ 1. Ficksches Gesetz:



➤ Random Walk: Wie viel Zeit brauchen die O₂-Moleküle dazu im Durchschnitt?

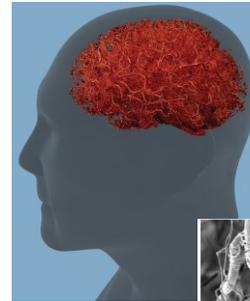
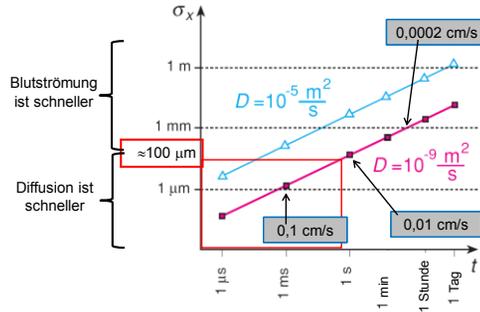
$$\sigma_x = \sqrt{2Dt}$$

D für O₂ im Wasser:
1,9 · 10⁻⁹ m/s² ≈ 1 · 10⁻⁹ m/s²

8

➤ Zusammenfassend: Welcher Transportprozess ist „schneller“ für O₂-Transport?

Blutströmung:	
Gefäß	Kapillaren
v (cm/s)	0,022



Kapillarenetz mit einem charakteristischen Abstand von 100 μm

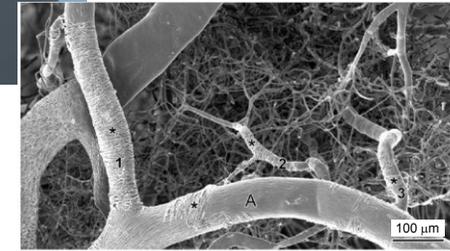
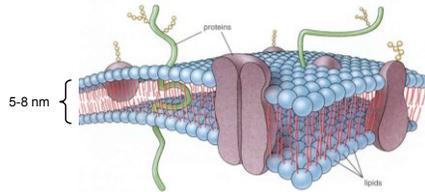


Figure 8. Scanning electron micrograph showing vasculature within the area corresponding to the maximum acoustically mediated intracranial signal. The arteries (A) and veins (V) can be clearly distinguished. 1, 2, 3. Three types of arterial collateral vessels (see text). Some evidence of smooth muscle banding (asterisk symbols) on arterial walls. bar = 100 μm .

9

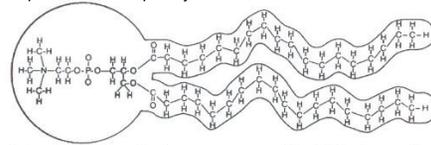
10

Anwendung: Diffusion in Membranen



Beispiel

Ein Phospholipidmolekül: Phosphatidylcholin

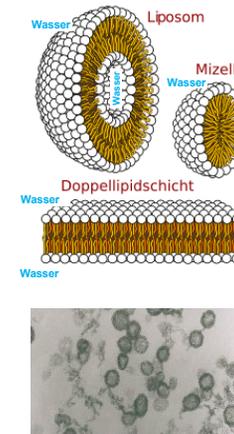


Polarer, hydrophiler Kopf

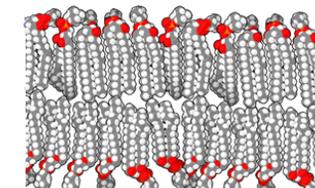
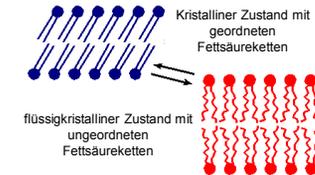
Apolare, hydrophobe Schwänze

11

Zur Erinnerung: Lyotrope Flüssigkristalle



Phasenübergang in der Lipiddoppelschicht



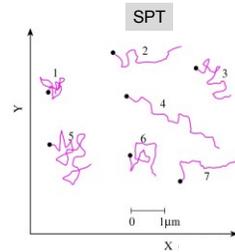
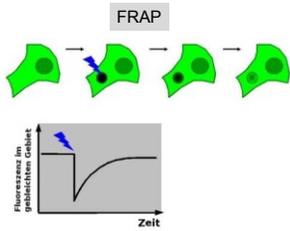
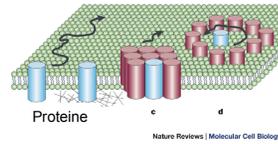
$$\eta_{\text{Gel}} > \eta_{\text{Fluid}} \gg \eta_{\text{Wasser}}$$

12

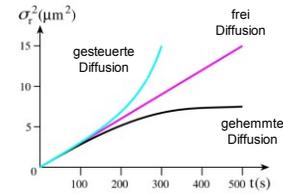
▪ Laterale Diffusion in Membranen

Messung z. B.:

- FRAP (fluorescence recovery after photobleaching)
- SPT (single particle tracking)

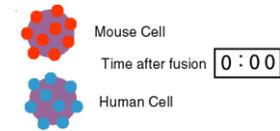


13



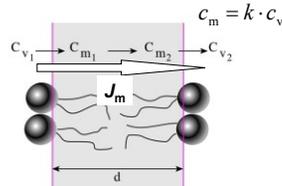
→ Lipide (>90%):
 $D_{lateral} \approx 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

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



14

▪ Diffusion durch Membranen (passiver Transport)

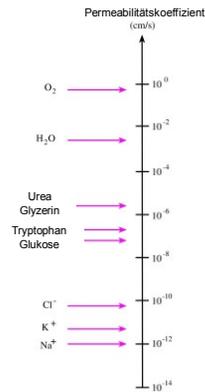


> 1. Ficksches Gesetz:

$$J_m = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x} = -D \cdot \frac{c_{m2} - c_{m1}}{d} = -D \cdot k \cdot \frac{c_{v2} - c_{v1}}{d} = -p(c_{v2} - c_{v1})$$

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

Permeabilitätskoeffizient (m/s)

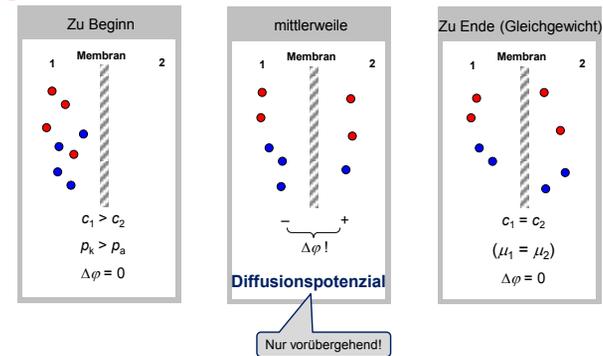


15

▪ Diffusion von Ionen durch eine Membran (zwei Spezialfälle)

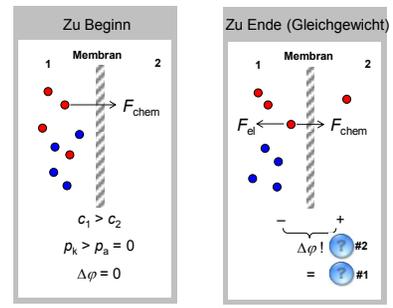
einwertige Ionen: ● Kation (k) ● Anion (a)

1. Die Permeabilitätswerte sind unterschiedlich, z. B. $p_k > p_a$



16

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



- Kation (K)
- Anion (a)

Elektrochemisches Potenzial (J/mol):

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

Im Gleichgewicht:

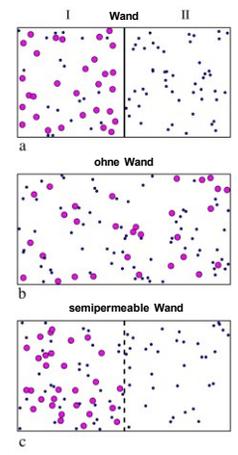
$$\mu_{e1} = \mu_{e2}$$

Nernst-Gleichung:

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

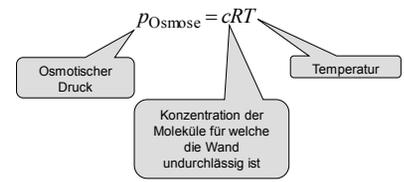
17

Eine weitere Anwendung: Osmose

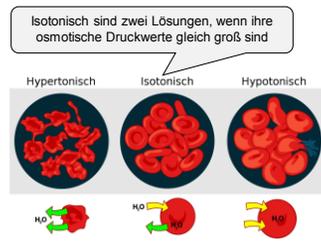


J. H. van't Hoff
1852-1911
Chemiker

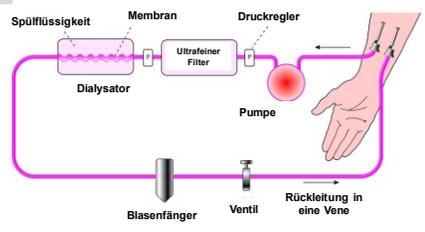
Van't Hoff-Gesetz:
(für Gase und auch für dünne Lösungen)



18



Hämodialyse



19