

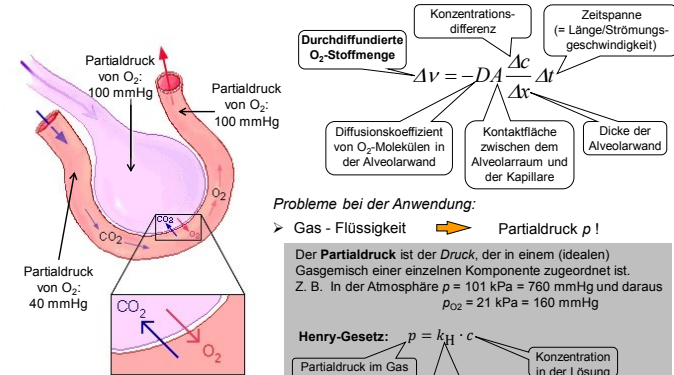
Medizinische Biophysik 2015. 04. 15.

Transportprozesse

III. Stofftransport (Diffusion)

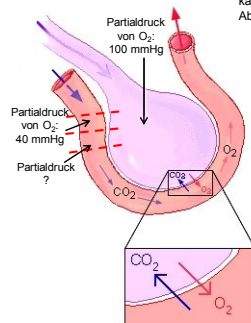
- Grundbegriffe Stoffstromstärke, -dichte
- Transportgesetz = 1. Ficksches Gesetz
 - Diffusionskoeffizient, Einstein-Stokes-Gleichung
 - chemisches Potenzial für Lösungen:
- Das 2. Ficksche Gesetz
- Diffusion als Random Walk
- Zusammenfassend über die „Schnelligkeit“ der Diffusion
- Anwendungen:
 - O₂-Diffusion 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



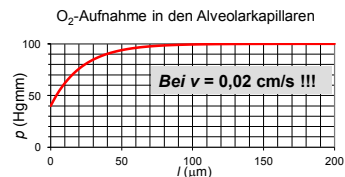
Partialdruck im Blut wo?

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

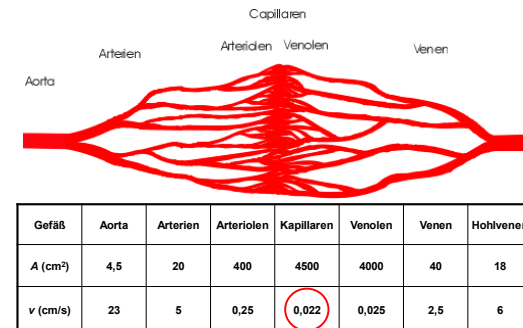


Membran ≈ Wasser

Bei welcher Blutgeschwindigkeit wird das Blut mit O₂ gesättigt?



Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf



3. Das 2. Ficksche Gesetz:

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

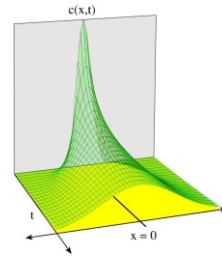
Beispiele für Lösungen:

➤ Für eindimensionale Diffusion:

anim

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

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

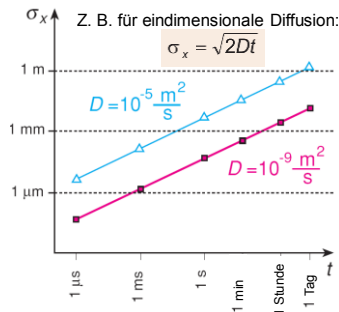


5

4. Diffusion als Random Walk

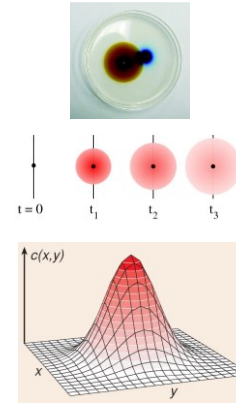
$$\sigma = \sqrt{D \cdot t}$$

5. Zusammenfassend über die „Schnelligkeit“ der Diffusion

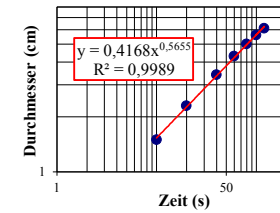
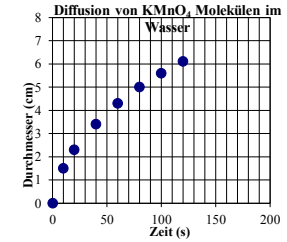


7

➤ Für zweidimensionale Diffusion:



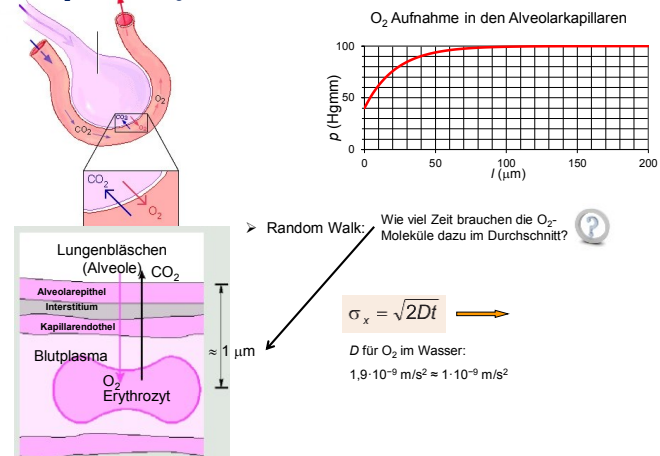
Siehe auch Praktikum!



6

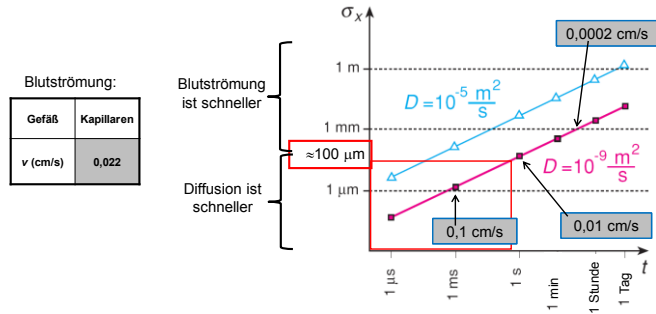
6. Anwendungen:

▪ O_2 -Diffusion Lunge-Blut ➤ 1. Ficksches Gesetz:



8

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



9



Kapillarenetz mit einem charakteristischen Abstand von 100 μm

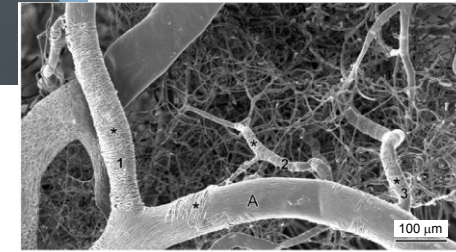
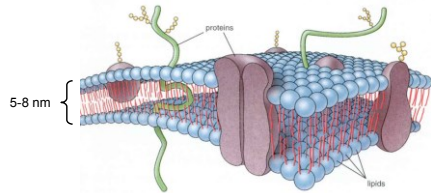


Figure 5. Scanning electron micrograph revealing vasculature within the area corresponding to the maximum acoustically mediated strain. signal. The arteries (A) and veins (B) can be clearly distinguished. 1, 2, 3: three types of arterial collateral vessels (see text). Note evidence of smooth muscle bundles (asterisk symbols) on arterial walls. Bar = 100 μm .

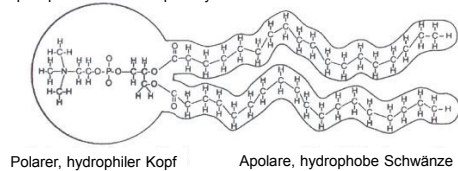
10

Anwendung: Diffusion in Membranen



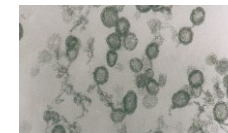
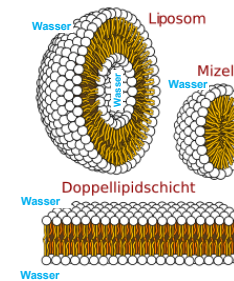
Beispiel

Ein Phospholipidmolekül: Phosphatidylcholin

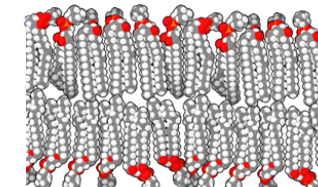
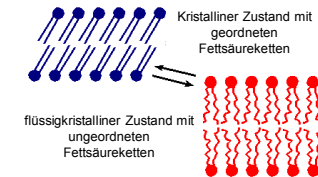


11

Zur Erinnerung: Lyotrope Flüssigkristalle



Phasenübergang in der Lipiddoppelschicht



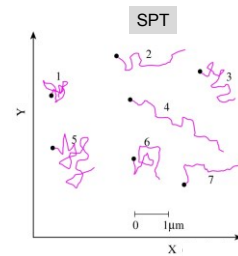
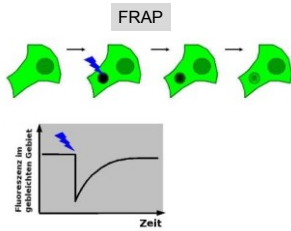
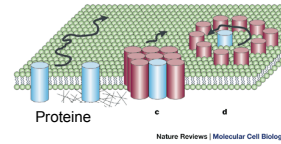
$$\eta_{\text{Gel}} > \eta_{\text{Fluid}} \gg \eta_{\text{Wasser}}$$

12

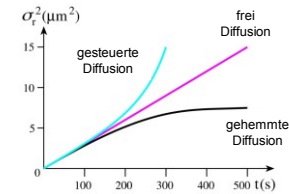
Laterale Diffusion in Membranen

Messung z. B.:

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

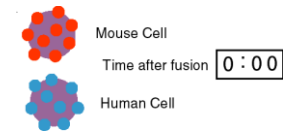


13



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

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



14

Diffusion durch Membranen (passiver Transport)

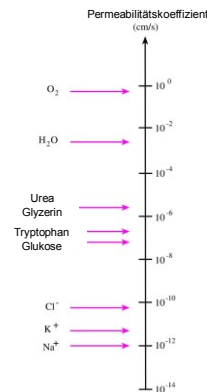
$c_m = k \cdot c_v$

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)

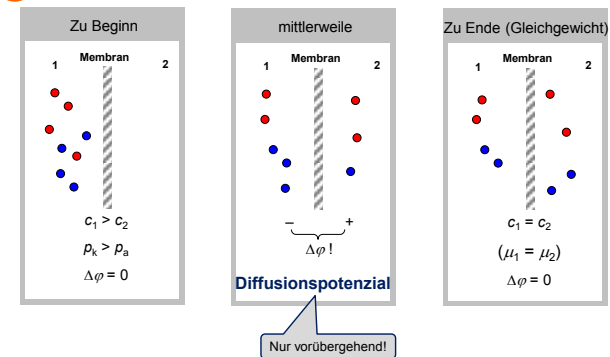


15

Diffusion von Ionen durch eine Membran (zwei Spezialfälle)

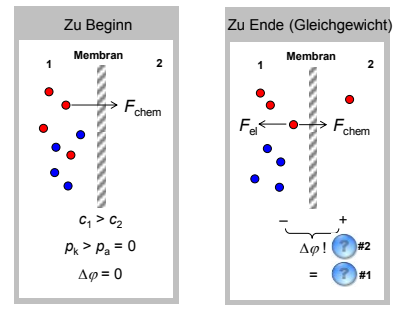
einwertige Ionen: ● Kation (k) ● Anion (a)

- 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:

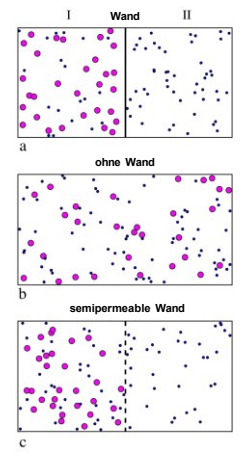
$$\mu_{e1} = \mu_{e2}$$

Nernst-Gleichung:

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

17

Eine weitere Anwendung: Osmose



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

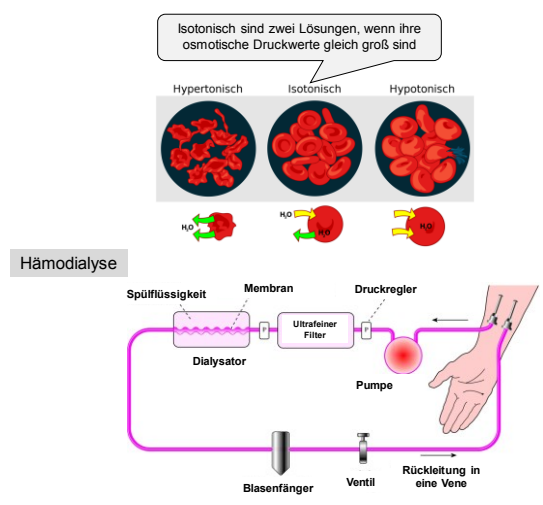
$$p_{Osmose} = cRT$$

Osmotischer Druck

Konzentration der Moleküle für welche die Wand undurchlässig ist

Temperatur

18



19