

Biologische Membranen

Stand 20.11.2020

Funktion

Wasserlösung
außerhalb der
Zelle

Erlaubt definierten
Stoffen einzudringen
(und anderen die Zelle zu
verlassen)



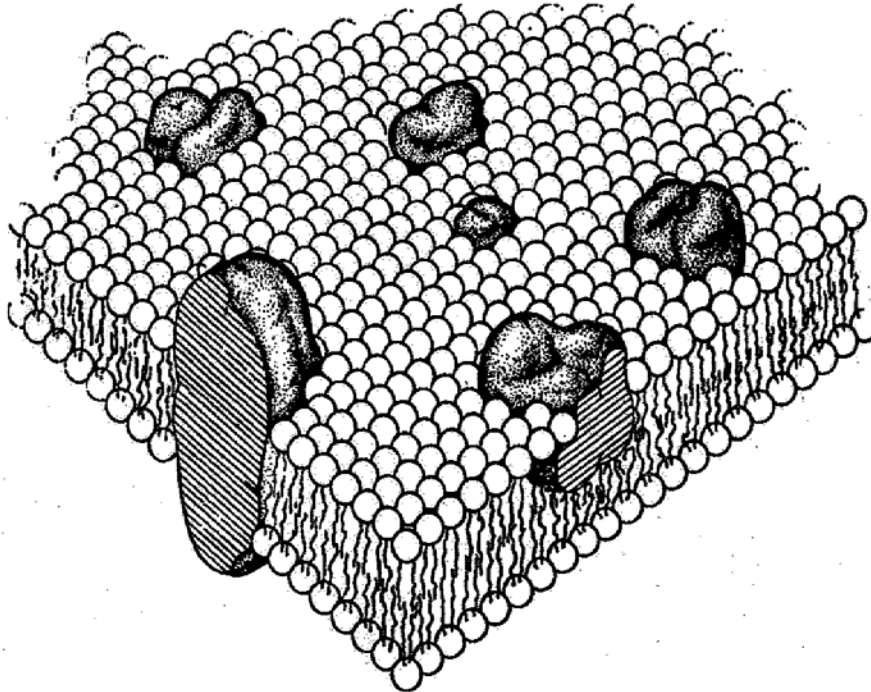
Reagiert auf
Veränderungen der
Umgebung

Trennt Lösungen und
hält Stoffe außerhalb

4. Physik der biologischen Membranen

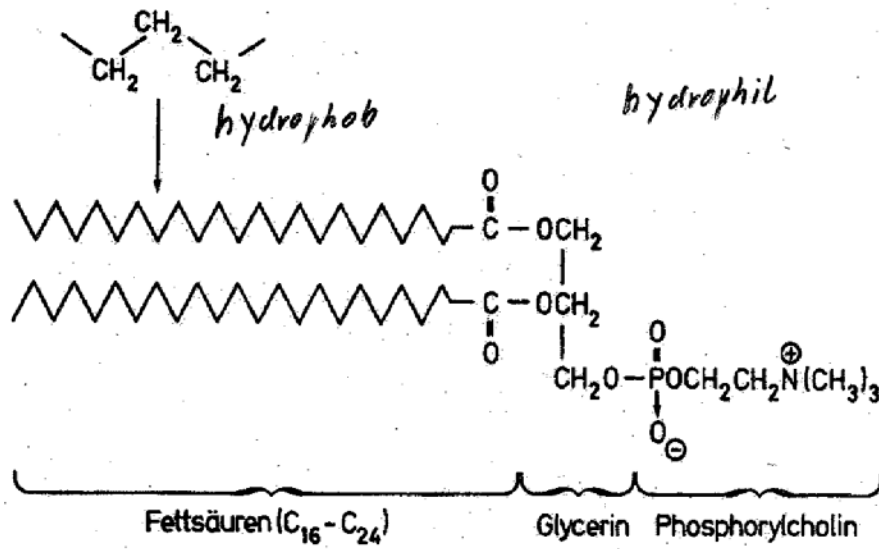
4.1 Struktur, hydrophobe Wechselwirkungen, Fluidität

flüssig-kristalliner Zustand: + höhere Diffusionsgeschwindigkeiten,
+ Beweglichkeit von Proteinmolekülen,
+ Homoviskositäts-Prinzip: Regelung des Membranzustandes durch Kopfgruppen, Sättigungsgrad, Verzweigung, cis/trans

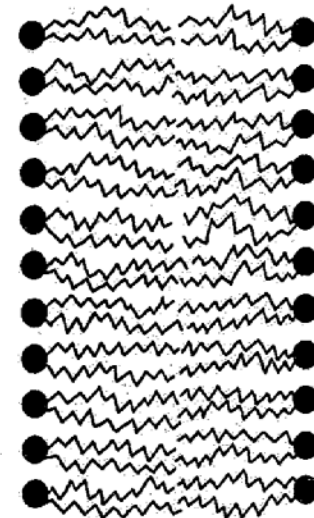
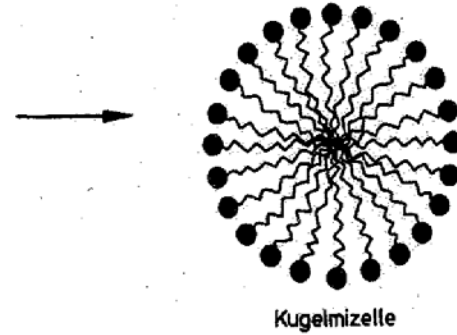


4. Physik der biologischen Membranen

4.1 Struktur, hydrophobe Wechselwirkungen, Fluidität

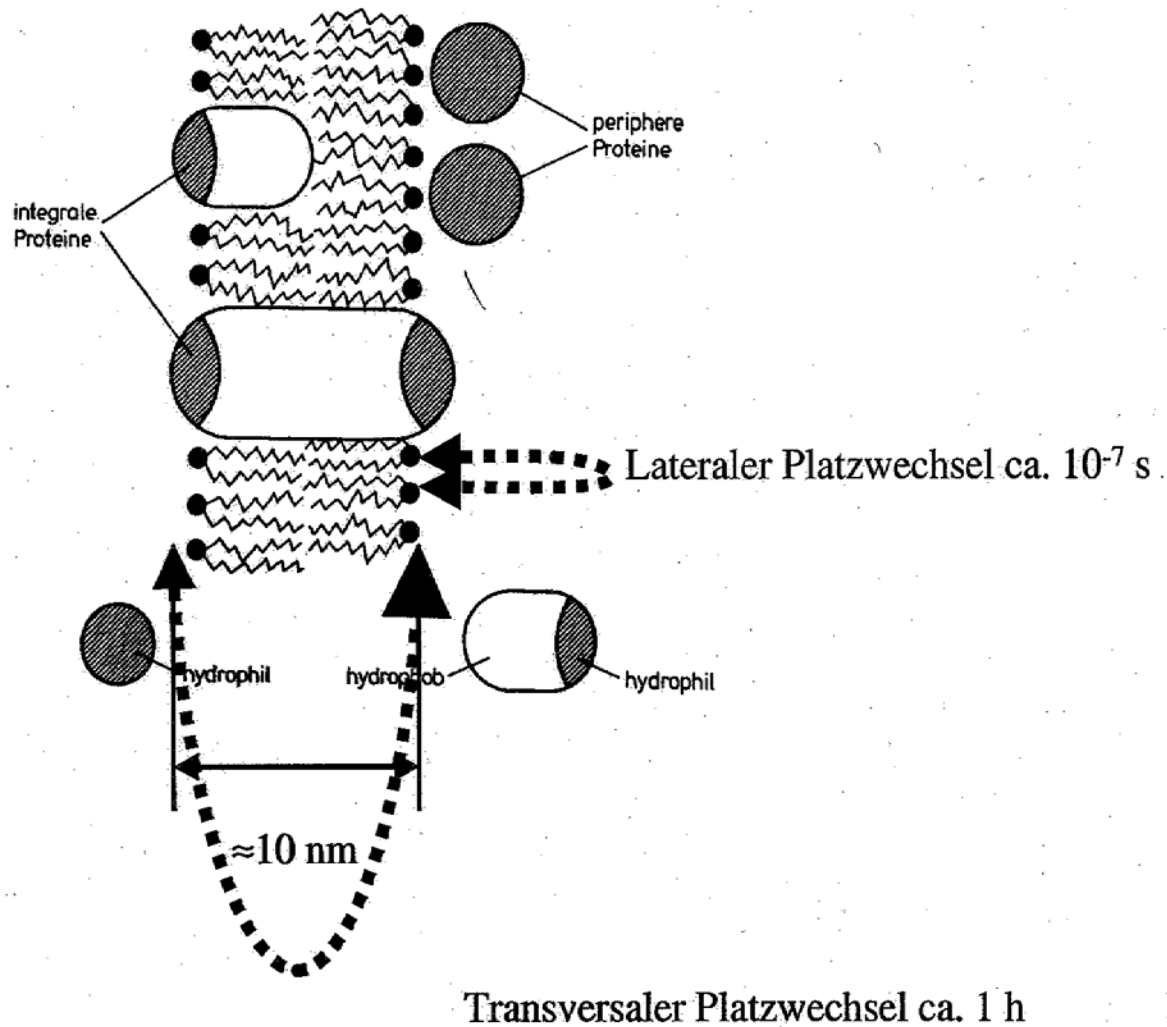


typisches Membranlipid - Lecithin



4. Physik der biologischen Membranen

4.1 Struktur, hydrophobe Wechselwirkungen, Fluidität



4. Physik der biologischen Membranen

4.2 Transport durch Membranen

4.2.1 Diffusion

$$\Phi = P_d (C^I - C^{II}) = P_d \Delta C$$

Φ Flußdichte = $J/A \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

J Fluß = $dn/dt \text{ mol s}^{-1}$

P_d Permeabilitätskoeffizient ~~$\text{mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$~~ cm s^{-1}

gut gültig für lipidlösliche Stoffe wie: Chloroform, Ethanol, Ether, ^{KWS} (H_2O) usw.

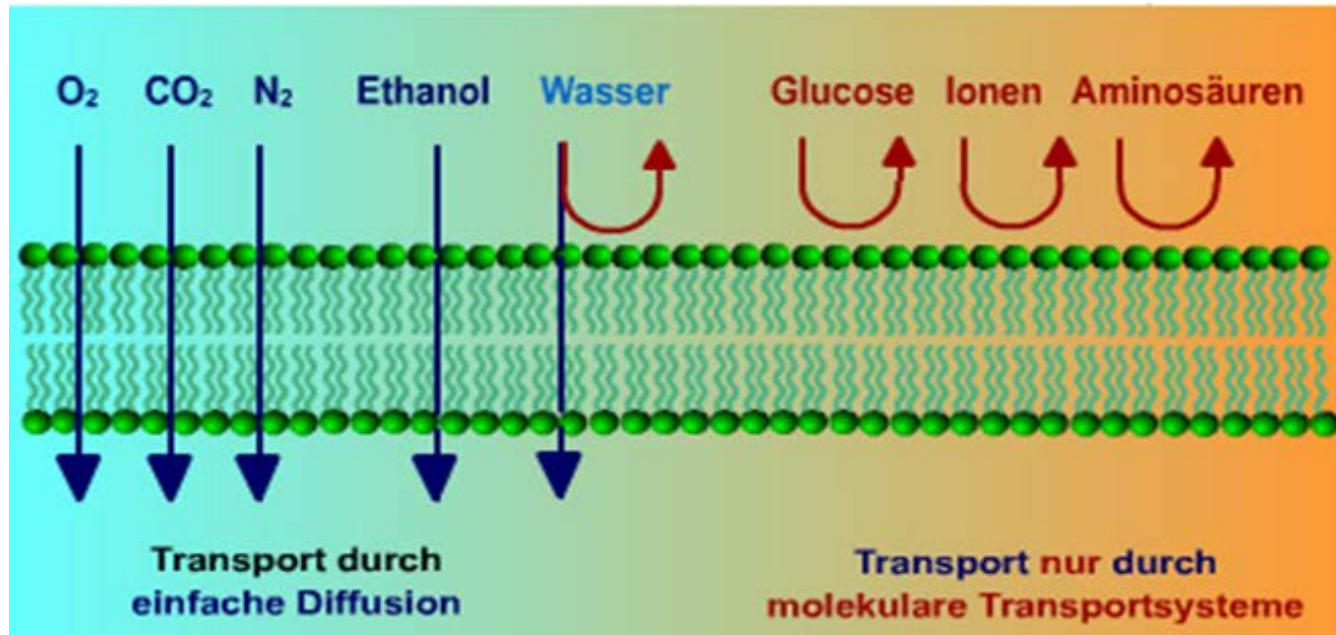
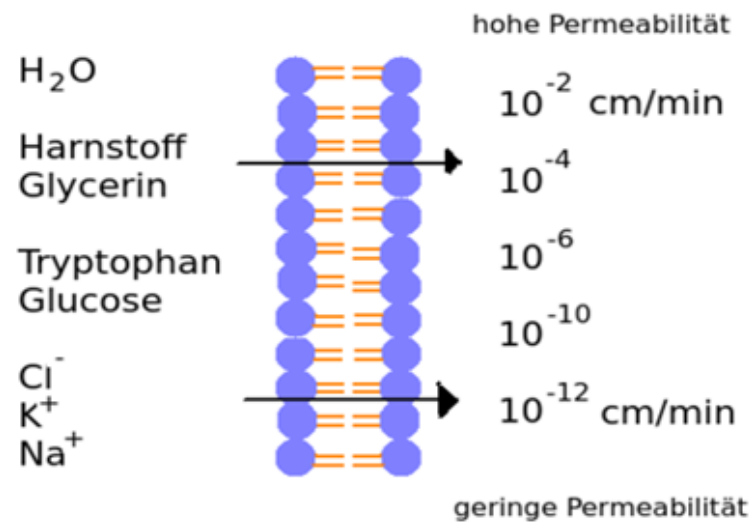
pH-abhängig gültig für: Carbonsäuren, Amine, Aminosäuren, Ammoniak usw. $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$

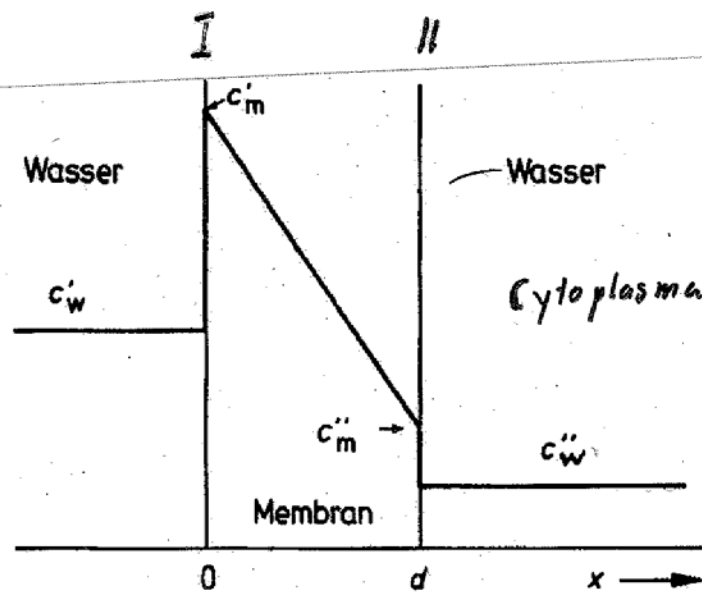
ungültig für geladene Teilchen wie: Ionen oder Stoffe mit vielen Wasserstoffbrückenbindungen zu Wasser wie: Zucker

quantitative Beschreibung:

- Membran als homogener Flüssigkeitsfilm verstanden
- schnelle Einstellung des Verteilungsgleichgewichtes an der Membran

Permeabilität





$$\gamma = \frac{C_m^I}{C_w^I} = \frac{C_m^{II}}{C_w^{II}}$$

Nernstscher
Verteilungssatz

$$\frac{dn}{dt} \cdot \frac{1}{A} = \Phi = -D \frac{dC}{dx} = -D \frac{C_m^{II} - C_m^I}{d}$$

1. Ficksches Gesetz

$$\frac{dn}{dt} \cdot \frac{1}{A} = \Phi = -\gamma \cdot D \cdot \frac{C_w^{II} - C_w^I}{d} = P_d \cdot (C_w^{II} - C_w^I)$$

$$P_d = \frac{\gamma D}{d}$$

4.2.2 Flußkopplungen (irreversible Thermodynamik)

unabhängige Flüsse, ideal

$$\Phi_A = P_A \Delta C_A$$

$$\Phi_B = P_B \Delta C_B$$

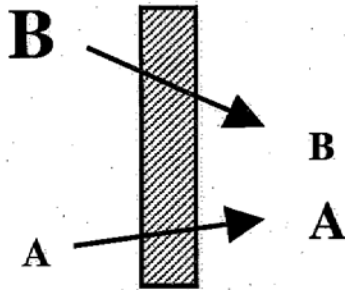
gekoppelte Flüsse, real

$$\Phi_A = P_{AA} \Delta C_A + P_{AB} \Delta C_B$$

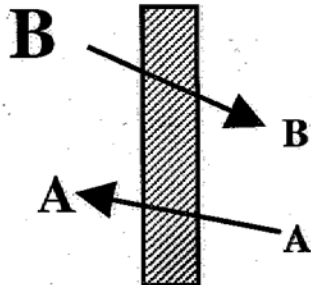
$$\Phi_B = P_{BB} \Delta C_B + P_{BA} \Delta C_A$$

$$\Delta C_B = -\frac{P_{BA}}{P_{BB}} \Delta C_A + \frac{\Phi_B}{P_{BB}}$$

$$\Phi_A = \left(P_{AA} - \frac{P_{AB} \cdot P_{BA}}{P_{BB}} \right) \Delta C_A + \frac{P_{AB}}{P_{BB}} \cdot \Phi_B$$



Positive Flußkopplung (z. B. Transport durch Poren)

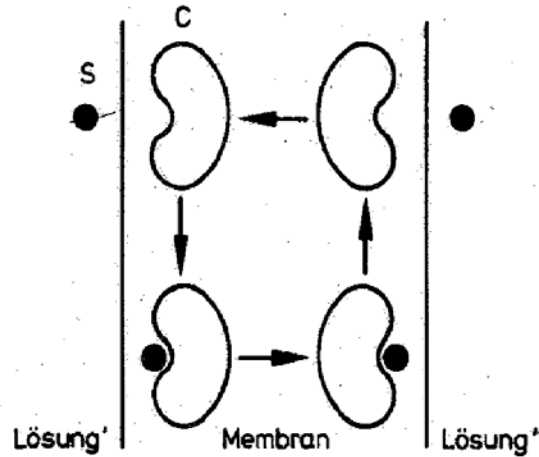


Negative Flußkopplung — Carrier transport

4.2.3 Carriersysteme

Besonderheiten:

a) hohe Spezifität



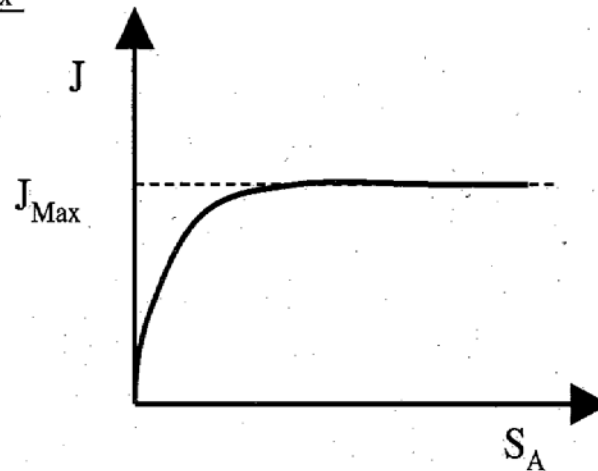
b) Sättigungskinetik analog zu Enzymen

Wechselzahl:

$$w = \frac{J_{MAX}}{N}$$

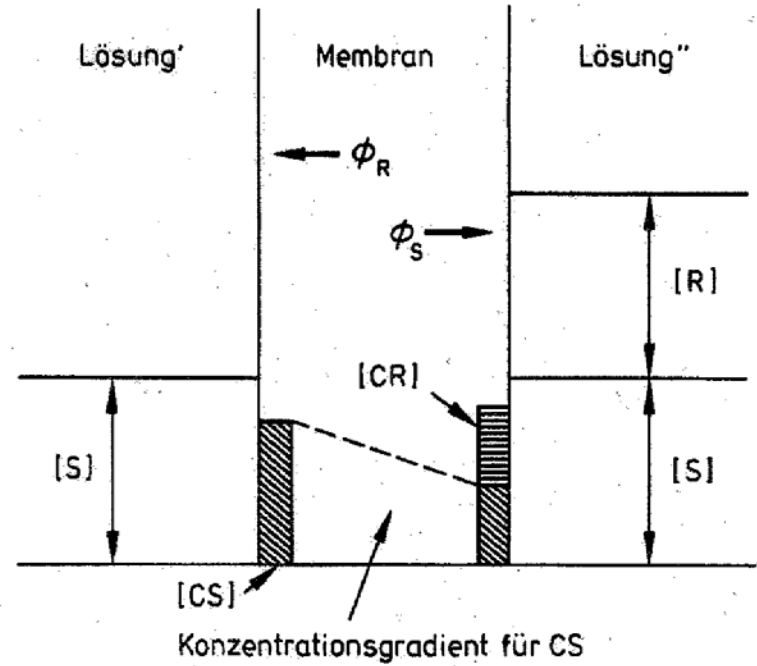
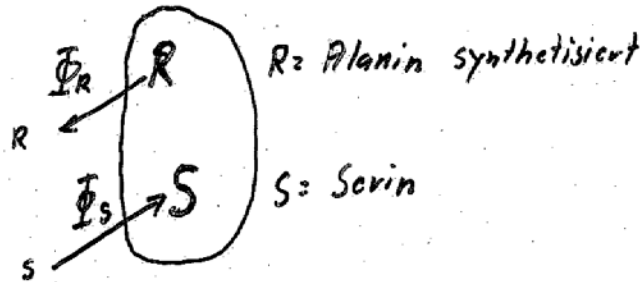
Vanilomycin/ K^+ Carrier: 10^4 s^{-1}

andere ca. 100 s^{-1}



c) negative Flußkopplung möglich

Beispiel: AS bei Streptokokken

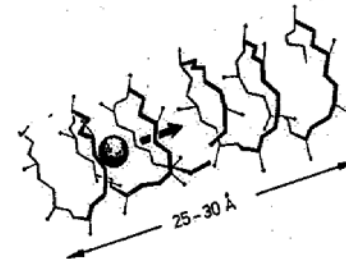
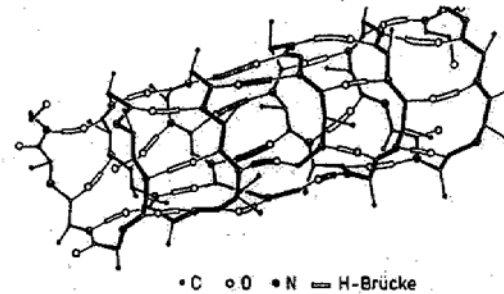


4.2.4 Transport durch Kanäle

Besonderheiten:

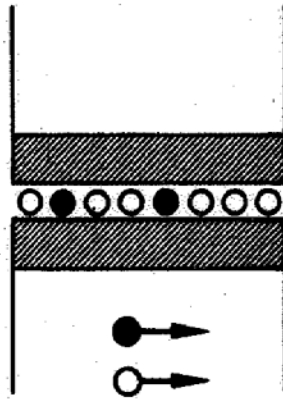
a) höhere Transportraten:

Na⁺-Kanal bei Nervenleitung $10^7 \text{ Na}^+ \text{ s}^{-1}$

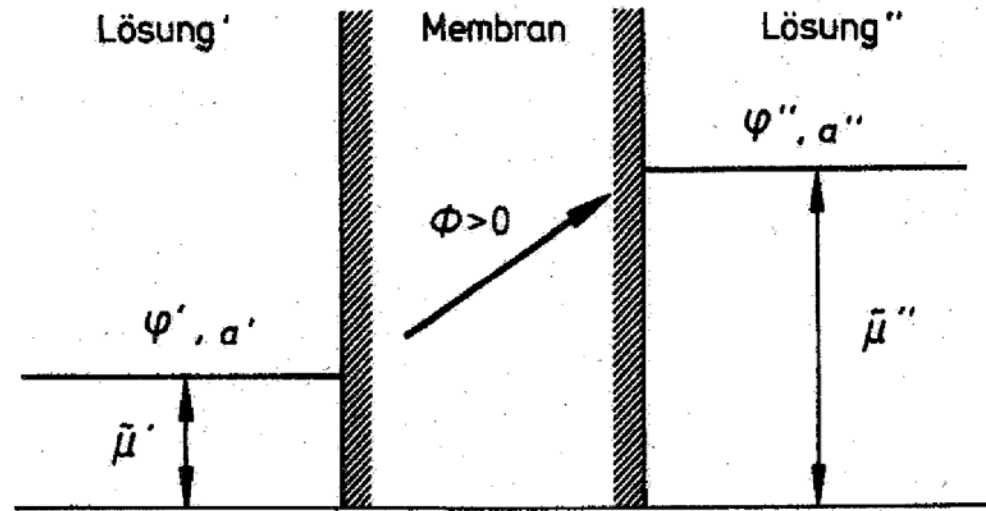


b) pos. Flußkopplungen:

z. B. Na^+ und H_2O



4.2.5 Aktiver Transport (Transport entgegen dem Gefälle des elektrochemischen Potentials)



„Kosten“ des Transportes:
$$\Delta G = \Delta \tilde{\mu} = \tilde{\mu}^I - \tilde{\mu}^{II} = RT \ln \left(\frac{a^I}{a^{II}} \right) + zF(\phi^I - \phi^{II})$$

„Bezahlung“ des Transportes:

- a) primär: ATP-Hydrolyse, Licht oder Redoxenergie (primärer aktiver Transport)
- b) sekundär:

„Bezahlung“ des Transportes:

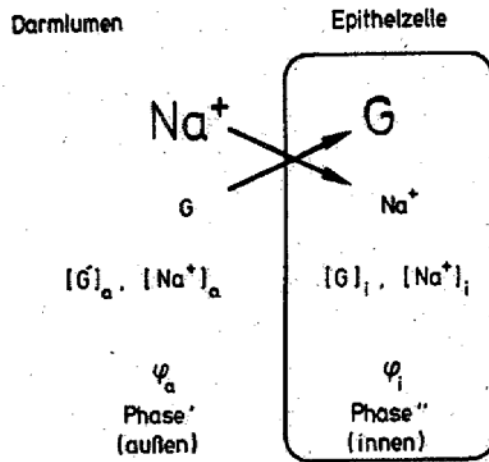
b) sekundär: energetisch bergauf (R) verbunden mit energetisch bergab (S)

pro Zeit- und Flächeninhalt der Membran ist aufzuwenden: $\Delta G_G = -(\Phi_G \Delta \tilde{\mu}_G) > 0$

der Gesamtprozess läuft nur wenn:

$$\Delta G = -(\Phi_G \Delta \tilde{\mu}_G + \Phi_{Na} \Delta \tilde{\mu}_{Na}) < 0$$

Beispiel:



pro Glucose mol. küß ein Na^+ Ion

$$\Phi_G = \Phi_{Na^+}$$

$$\Delta \tilde{\mu}_G + \Delta \tilde{\mu}_{Na^+} > 0$$

maximale Effizienz folgt aus $\Delta G < 0$:

$$\frac{G_i}{G_a} < \frac{Na_a^+}{Na_i^+} e^{-F(\varphi_i - \varphi_a)/RT}$$

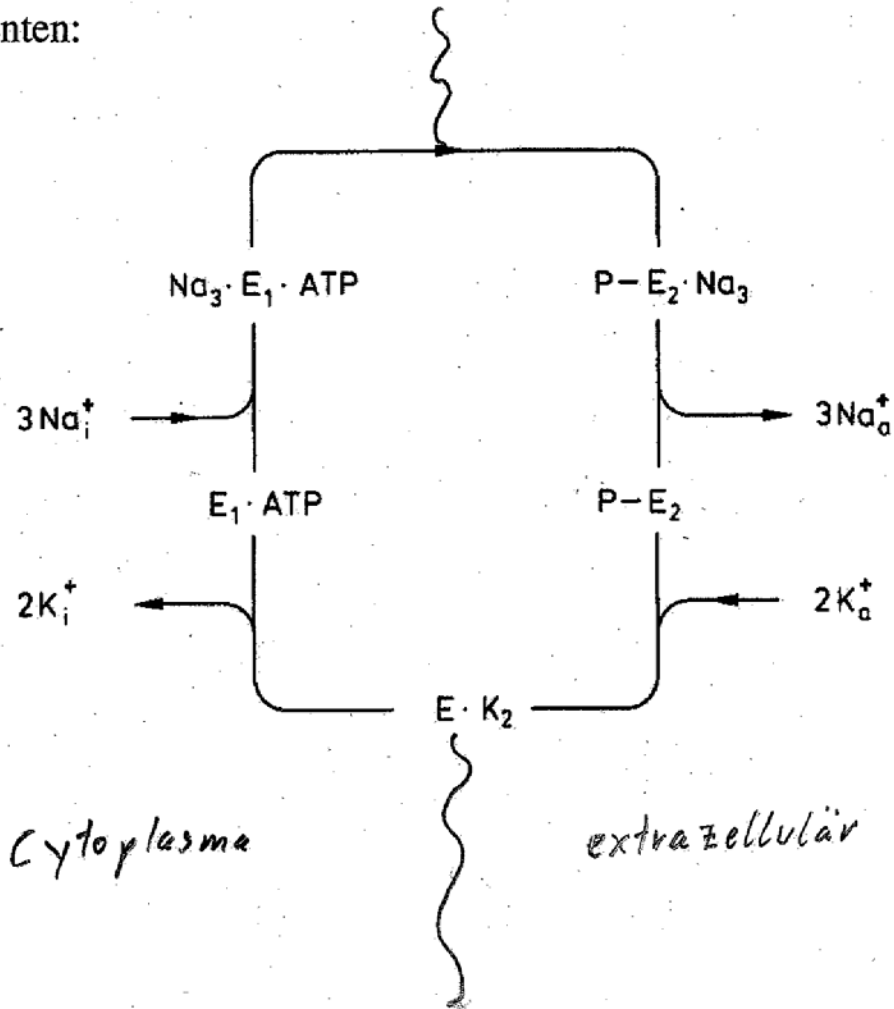
angenommen: $\frac{Na_a^+}{Na_i^+} = 10$ und $\varphi_i - \varphi_a = -60mV$ dann $\frac{G_i}{G_a} < 100$

Natrium-Kalium-Pumpe:

Problem: Prozeß kommt zum Stehen sobald Na^+ Spiegel auf ein best. Niveau gestiegen ist.

? Regeneration des Natrium-Gradienten:

Abb. 9.40. Reaktionsmodell der Na,K-Pumpe. In Konformation E_1 sind die Ionenbindungsstellen nach innen (zum Cytoplasma hin), in Konformation E_2 nach außen orientiert

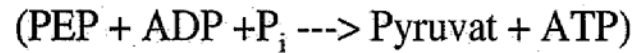
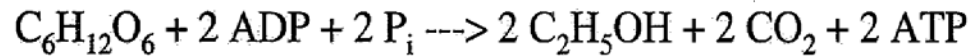


	$[\text{Na}^+]$	$[\text{K}^+]$
innen	19 mM	136 mM
außen	120 mM	5 mM

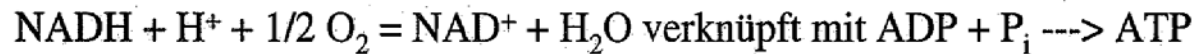
4.2.6 Chemiosmotische Theorie der oxidativen Phosphorylierung und Photo-phosphorylierung

2 Wege der Energiegewinnung:

Substratkettenphosphorylierung: überwiegende bei Gärungen z.B.



Elektronentransportphosphorylierung



chemiosmotische Kopplung (Mitchell)

* chemische Energie Redox-Reak. ---> gespeichert als elektrochemisches Potential von H^+

* dieses Potential treibt die ATP-Synthese

* Atmungskette, Redoxreaktion pumpen H^+ heraus (10 H^+ / 1 NADH)

* H^+ transportierende ATPase koppelt die Aufnahme von 3 H^+ mit der Synthese von 1 ATP

deshalb $\text{NAD(P)H} \text{ ---> P/O ATP}$ P/O maximal 3

bei Bakterien

P/O ca. 2

ATP - Synthase

F1

F₁F₀ ATP synthase
(*Escherichia coli*)

ATP

ADP+P

H⁺

H⁺

Proton channel

Matrix

Inner mitochondrial membrane

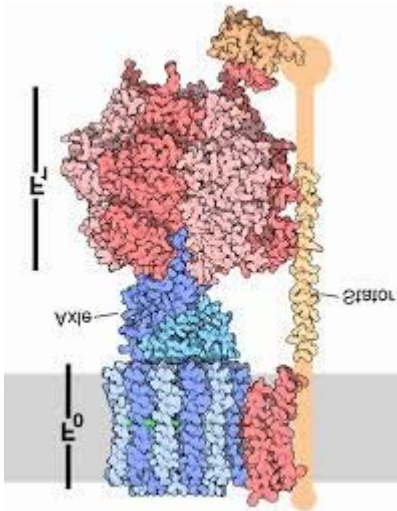
Intermembrane space



10 nm

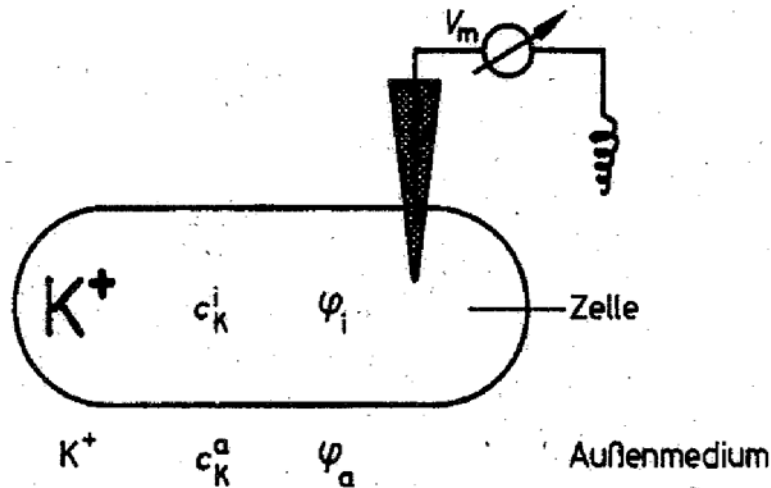
4,5 nm

F0



4.2.7 Membranpotentiale, Goldman-Gleichung

(Ableitung aus der Nernst-Gleichung)



$$V_m = \Delta\varphi = \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{\sum P_+ c_+^a + \sum P_- c_-^i}{\sum P_+ c_+^i + \sum P_- c_-^a} \right)$$

Goldman-Gleichung

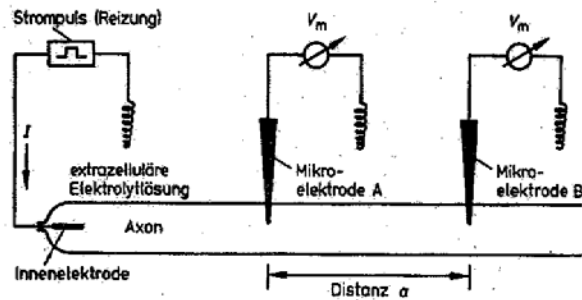
(Ableitung aus der Nernst-Gleichung)

4.3 Elektrisch erregbare Membranen

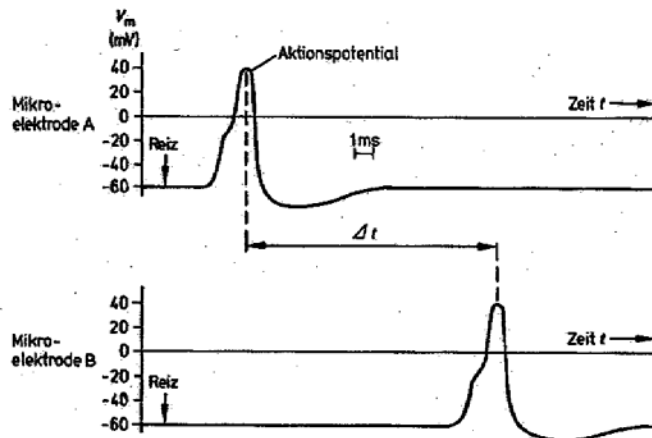
(Beispiel Axon von Tintenfischen)

Konzentration in mM	Na ⁺	K ⁺
Axonplasma	50	400
extrazellulär	460	10

Ruhepotential: $V_m = \phi_{\text{innen}} - \phi_{\text{außen}} = -60 \text{ mV}$ aus Goldman-Gleichung folgt $P_K/P_{Na} = 15$



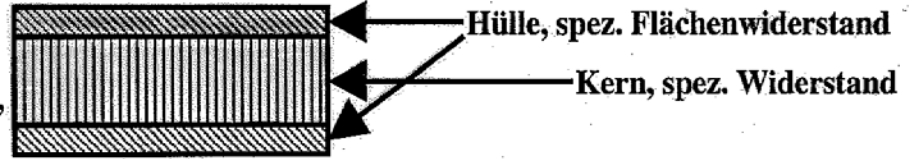
Reizleitung ca. 50 m/s



$$v = \frac{a}{\Delta t} \approx 50 \text{ m s}^{-1}$$

Paradoxon:

Wäre ein Axon ein elektrischer Leiter,



Hülle, spez. Flächenwiderstand

Kern, spez. Widerstand

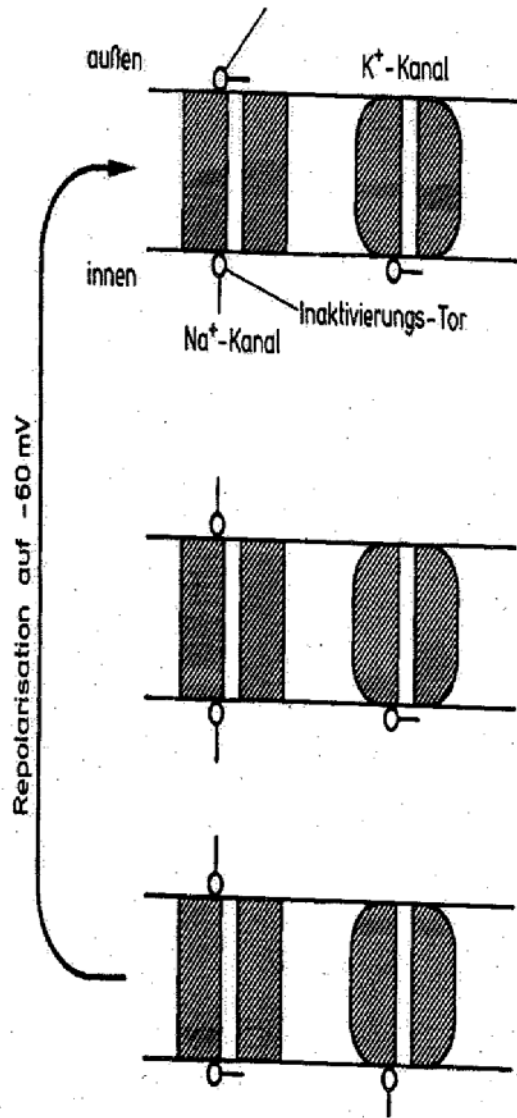
dann Spannungsverlust:

$$V = V_0 e^{-x/l}$$

mit Längskonstante l:

$$l = \sqrt{\frac{r R_{\text{Mantel}}}{2 R_{\text{Innen}}}}$$

mit $r=0.25 \text{ mm}$, $R_{\text{mantel}}=700 \text{ } \Omega \text{ cm}^2$ $R_{\text{innen}}=30 \text{ } \Omega \text{ cm}$ wäre V schon nach 5 mm auf den e-ten Teil abgefallen. Real bleibt das Potential aber über mehrere Zentimeter konstant?



A Ruhezustand

B maximaler Einstrom von Na⁺ Potential von + 55 mV

C Ausstrom von K⁺ d) Schließen des Na⁺ und K⁺ Kanals, Restauration des Na⁺/K⁺ Verhältnisses

a) Aktivierung durch Depolarisation -60 mV → -40 mV, öffnet einige Na⁺ Kanäle, Na⁺ strömt in das Axon und öffnet weitere Kanäle, lawinenartiger Anstieg bis kurz vor das GGW-Potential von + 55 mV

b) Inaktivierung, Schießung des Na⁺ Kanals nach 2 ms

c) parallel mit b) Öffnung der K⁺ Kanäle, K⁺ Ausstrom

d) Schließen des Na⁺ und K⁺ Kanals, Restauration des Na⁺/K⁺ Verhältnisses

schnelle Reizleitung:

Erregung springt von Schnürring zu Schnürring, dazwischen wie elektrisches Kabel

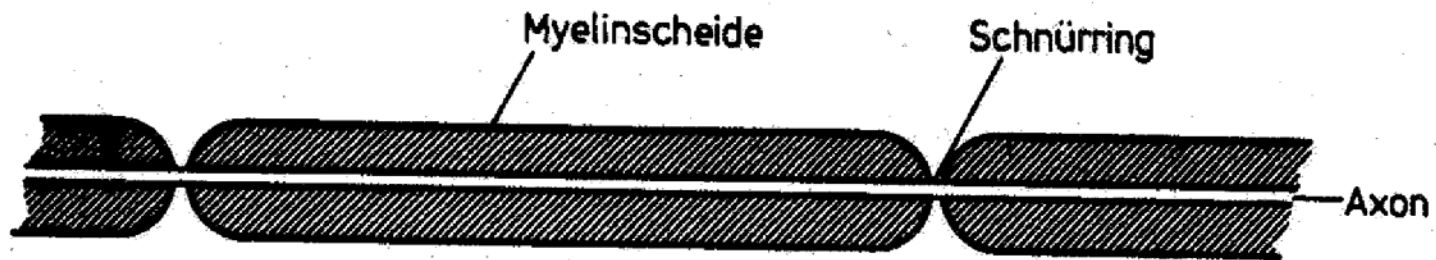
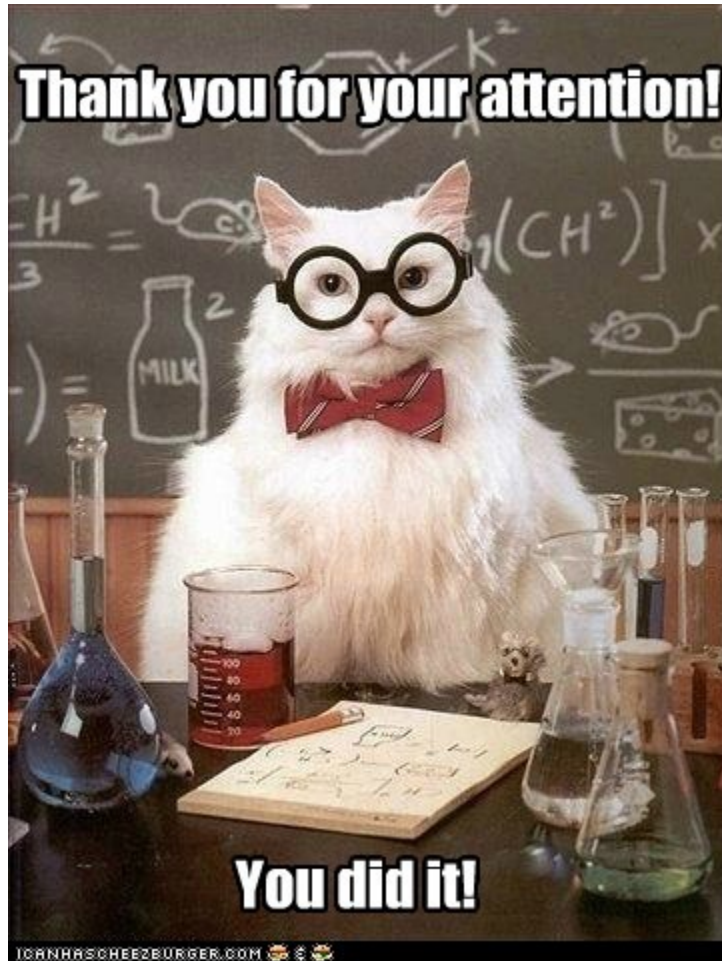


Abb. 9.58. Myelinisierte Nervenfasern

Vorteil:

- *schnellere Reizleitung*
- *dünnere Nervenfasern*

Thank you for your attention!



You did it!