

10.3.3 Kinesin-Motor

⋮

• Motor-Anforderungen:

1. zyklische Umsetzung eines Substrats (ATP) \rightarrow Nicht-GG
2. ATP-Bindung $\xrightarrow{\text{Allosterie}}$ Bindungsaffinität für „Polymerschiene“
3. „unsymmetrische“ Polymerschiene

10.3.4 Zyklische Ratsche

11. Maschinen in Membranen

• Ionen-Pumpen, ...

\hookrightarrow Bsp: Axon einer Nervenzelle [Fig. 11.1]

11.1 Elektroosmotischer Effekt

• Ionen-Konzentrationsgefälle \rightarrow Nernst-Potential

\hookrightarrow (i) Ladungsverteilung: \rightarrow Fig. 11.2
(ii) Potentialverlauf $V(r)$: $\left. \begin{array}{l} \text{div } \underline{E} = \frac{\rho(r)}{\epsilon_0 \epsilon} \\ \underline{E} = -\text{grad } V \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0 \epsilon} \\ \rho = e[c_+(r) - c_-(r)] \end{array} \right\} \Rightarrow V$

(iii) $\Delta V = V_2 - V_1$?

Boltzmann: $c(x) \sim e^{-zeV(x)/k_B T}$
Ionenkonz.

$$\rightarrow \Delta V = V_2 - V_1 = -\frac{k_B T}{ze} \ln \frac{c_2}{c_1} \dots \text{Nernst-Relation (M.1)}$$

$$\rightarrow \mu_1 = k_B T \ln \frac{c_1}{c_0} + zeV_1 + \mu^0 = \mu_2 \dots \text{elektrochem. Potential (M.2) (8.7)}$$

• **Donnan-GG** \rightarrow „natives“ Donnan-Membran-Potential

Zelle: permeable Ionen: z.B. Na^+ , K^+ , Cl^- + neg. gelad. Proteine / Nucleinsäuren

$$s_{\text{macro}} = -125 \text{ mM}$$

außen: $\overbrace{c_{1,\text{Na}^+} + c_{1,\text{K}^+} - c_{1,\text{Cl}^-}}^{\text{vorgegeben}} = 0 \quad (\text{M.3.1}) \dots \text{Ladungsneutralität}$
 z.B. $(140 + 10 - 150) \text{ mM} = 0$

innen: c_{2,Na^+} etc, ΔV } 4 Unbekannte

$$c_{2,\text{Na}^+} + c_{2,\text{K}^+} - c_{2,\text{Cl}^-} + \frac{s_{\text{macro}}}{e} = 0 \quad (\text{M.3.2})$$

Nernst: $\Delta V = -\frac{k_B T}{e} \ln \frac{c_{2,\text{Na}^+}}{c_{1,\text{Na}^+}} = \dots \text{K}^+ \dots = \dots \text{Cl}^- \dots \quad (\text{M.2.3/4})$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{c_{1,\text{Na}^+}}{c_{2,\text{Na}^+}} = \frac{c_{1,\text{K}^+}}{c_{2,\text{K}^+}} = \frac{c_{2,\text{Cl}^-}}{c_{1,\text{Cl}^-}}} \dots \text{Gibbs-Donnan-Relation im Donnan-GG}$$

(M.3.1-4) $\xrightarrow{\text{ü}}$

$$\boxed{c_{2,\text{Na}^+} = 210 \text{ mM}, c_{2,\text{K}^+} = 15 \text{ mM}, c_{2,\text{Cl}^-} = 100 \text{ mM}} \quad (\text{M.4})$$

$$\Delta V = -10 \text{ mV}$$

1.2 Ionen-Pumpen

• Probleme: (i) Osmotischer Druck:

$$c_{2,\text{tot}} - c_{1,\text{tot}} = 25 \text{ mM} \xrightarrow{*k_B T} \Delta p_{\text{osm}} = 6 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

\rightarrow Eukar. Zellen besitzen

dagegen: E. coli-Bakterien, Pflanzen, Algen, Pilze



\Rightarrow Sprung \rightarrow Festigkeit

(ii) Na^+ -Anomalie \rightarrow kein Donnan-GG

⇒ Ionen-Pumpen = aktiver Transport nötig für stationäres Nicht-GG

• Hypothese der Ohmschen Leitg.: → aktive Kraft!

(i) unterschiede: $V_i^N = -\frac{k_B T}{ze} \ln \frac{c_{2,i}}{c_{1,i}}$ (vgl. Gl (M.1)) ... Nernst-Potential

ΔV ... wirklicher Potentialabfall

→ Stromdichte: $j_{q,i} = z_i e j_i = g_i (\Delta V - V_i^N)$ (M.5)

... Ohmsche Hypothese

g_i ... Leitfähigkeit / Fläche Bsp: $g_i = 5 \frac{1}{\Omega \text{cm}^2}$ (Tinkfischel Axon)

(ii) gültig nur nahe Nernst-GG: $\Delta V \approx V_i^N$, $g_i(c_{1,i}, c_{2,i})$

(iii) sonst: $j_{q,i} \sim (\Delta V - V_i^N)^n$... nichtlineare Terme

$g_i(c_{1,i}, \Delta V)$

(iv) $g \leftrightarrow$ Permeabilität: P_s $j_i = P_s \Delta c$! (M.6)

(M.5) & $\Delta V = 0$ & (M.1) $g = \frac{P_s (ze)^2 c}{k_B T}$ (M.7) für $\Delta c \approx 0$
(M.6) ⇒ \ddot{u}

$g \sim c \rightarrow$ keine intrinsische Membrangröße

(v) Messung von g_i

Levi et al. (1948): radioaktive Na^+ -Ionen z.B. für $c_2 \rightarrow$ Strom beobachtbar
Hodgkin & Katz: Muskelzellen, fast Ohmsch

Tinkfischel-Axon: $g_{K^+} \approx 25 g_{\text{Na}^+} \approx 2 g_{\text{Cl}^-}$ im GG (M.8)

• Hinweis auf Ionen-Pumpen

Ussing & Zehron (1951): lebende Frostdhaut: $j_{\text{Na}^+} \neq 0$, für $\Delta c = \Delta V = 0$

$$\Rightarrow j_{Na^+} = \frac{g_{Na^+}}{e} (\Delta V - V_{Na^+}^N) + \underbrace{j_{Na^+}^P}_{>0} \quad (11.9)$$

Pumpstrom, von 2 → 1
gespeist durch Stoffwechsel

Hodgkin & Keynes: $j_{K^+}^P < 0$

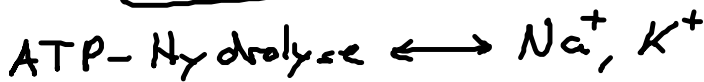
Exp. → Pumpen - Hypothese

(i) Energiequelle: ATP (ii) $j_{Na^+}^P > 0, j_{K^+}^P < 0$... gekoppelt (iii) genauer: $3Na^+ : 2 \rightarrow 1$ $2K^+ : 1 \rightarrow 2$	} Maschine mit enger Kopplung } Elektroionen- pumpe	(11.10)
--	--	---------

• Identifikation:

Skon (1957). Neuronen von Krebsbein

Pumpe \equiv Enzym: ATPase



• Energiebilanz/pro Zyklus

$$\Delta F = 3 \times \underbrace{\left[-e (\Delta V - V_{Na^+}^N) \right]}_{2 \rightarrow 1, \substack{-60mV \\ 54mV}} + 2 \times \underbrace{\left[e (\Delta V - V_{K^+}^N) \right]}_{1 \rightarrow 2, \substack{-60mV \\ -75mV}}$$

115 meV 15 meV

$$\Delta F = 375 \text{ meV} = 14 k_B T_r$$

ATP-Hydrolyse: $\frac{20 k_B T_r}{6 k_B T_r} \rightarrow \text{Wärme}$

• Osmotisches GG:

$$c_{2, Na^+} < c_{1, Na^+}$$

• Abschätzung für ΔV :