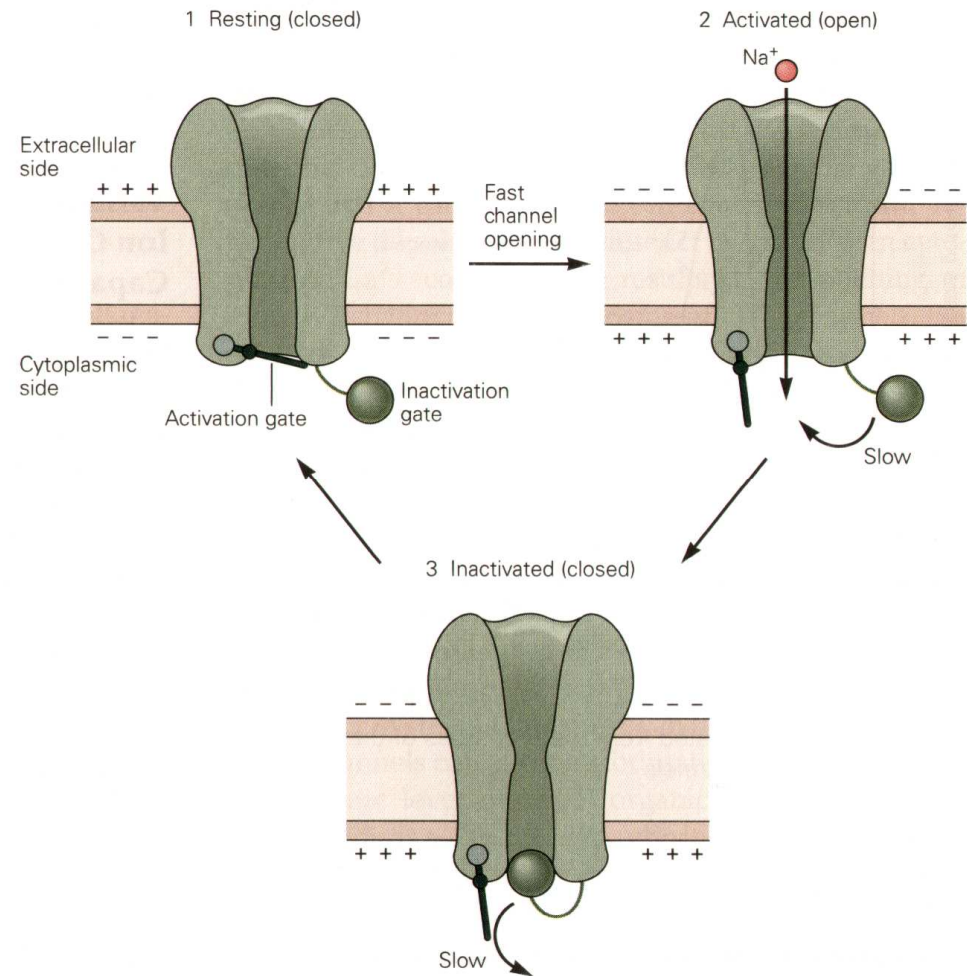
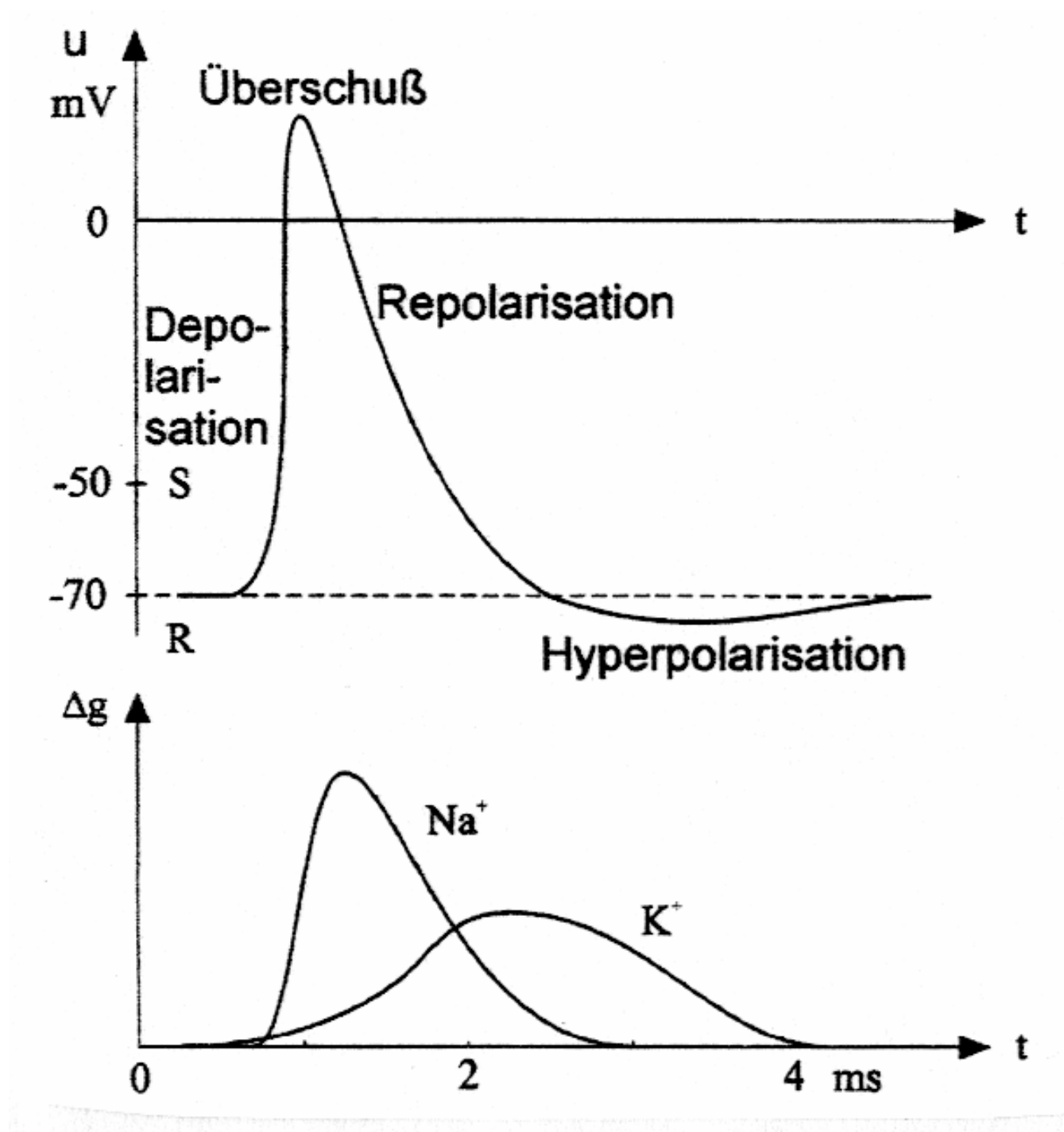
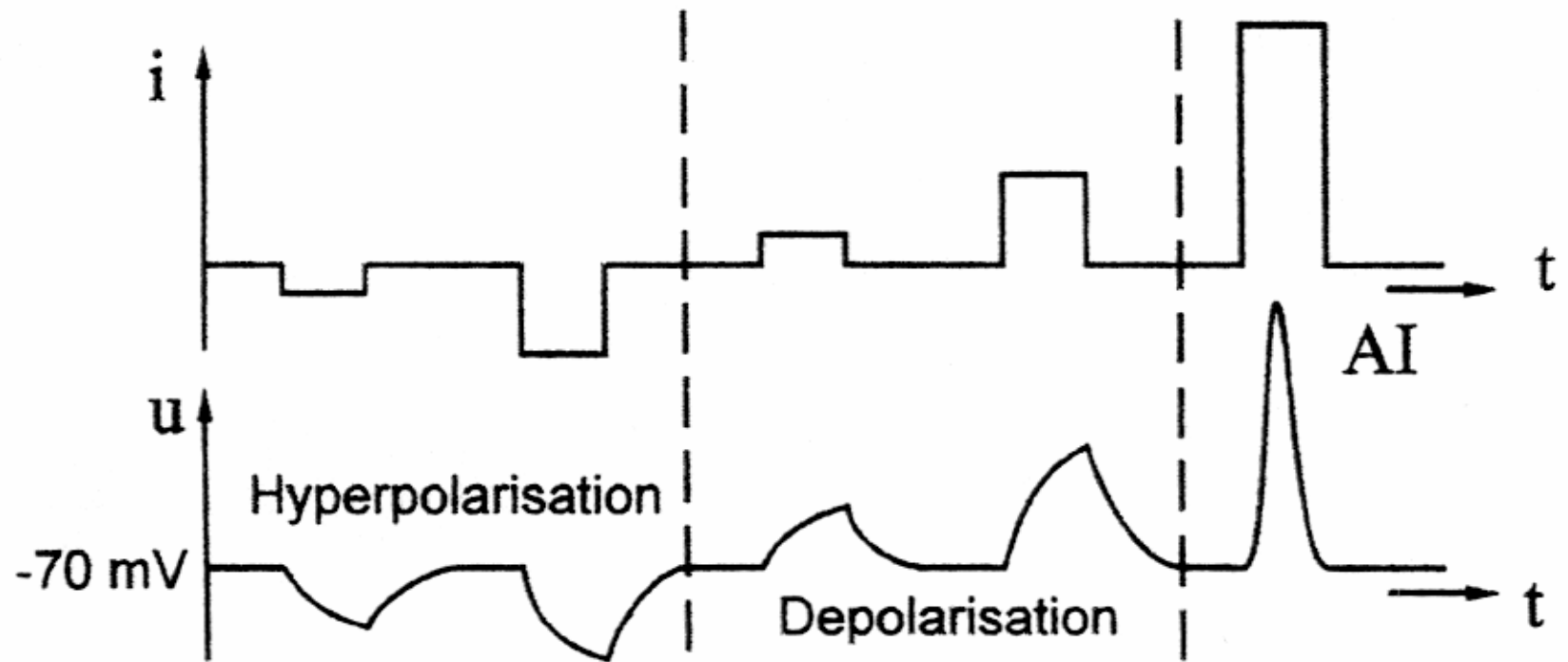
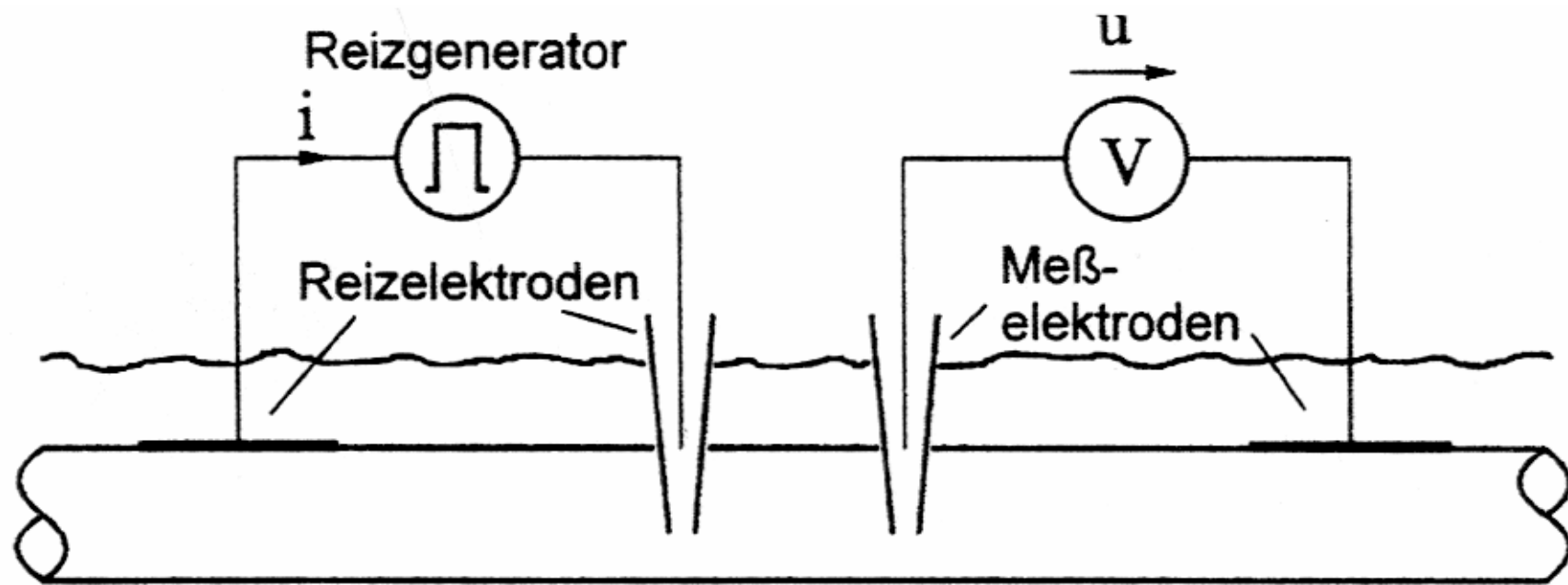
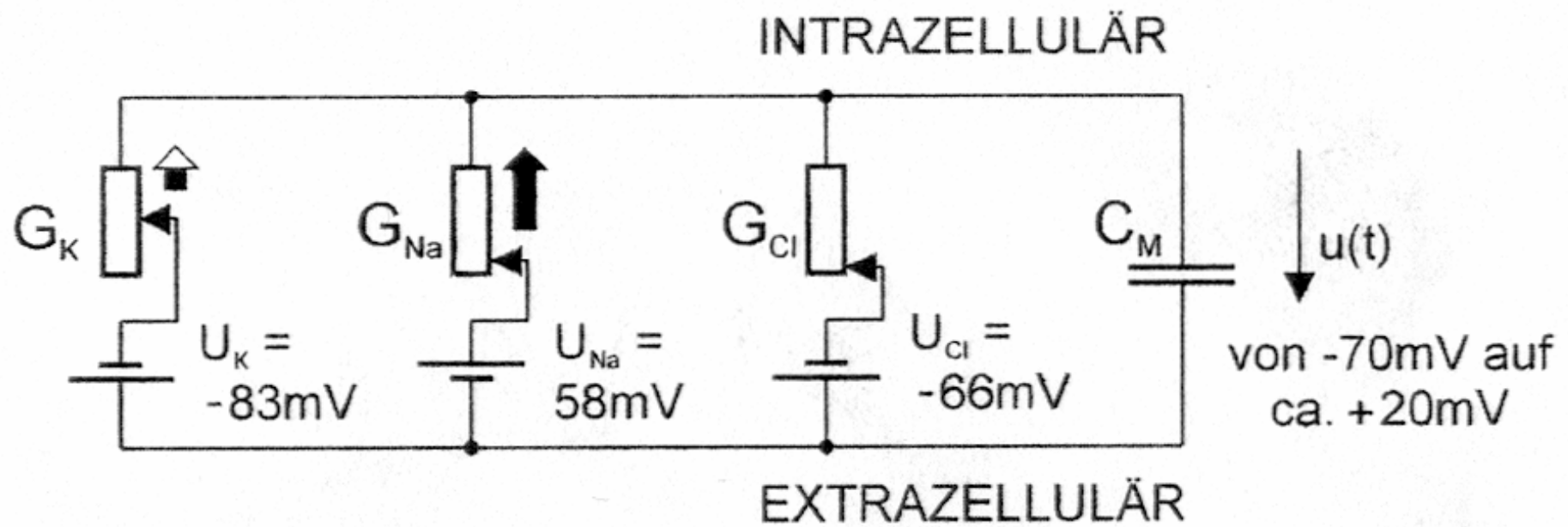


$$E = \frac{U}{d_m} = \frac{70\text{mV}}{7\text{nm}} = 100 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

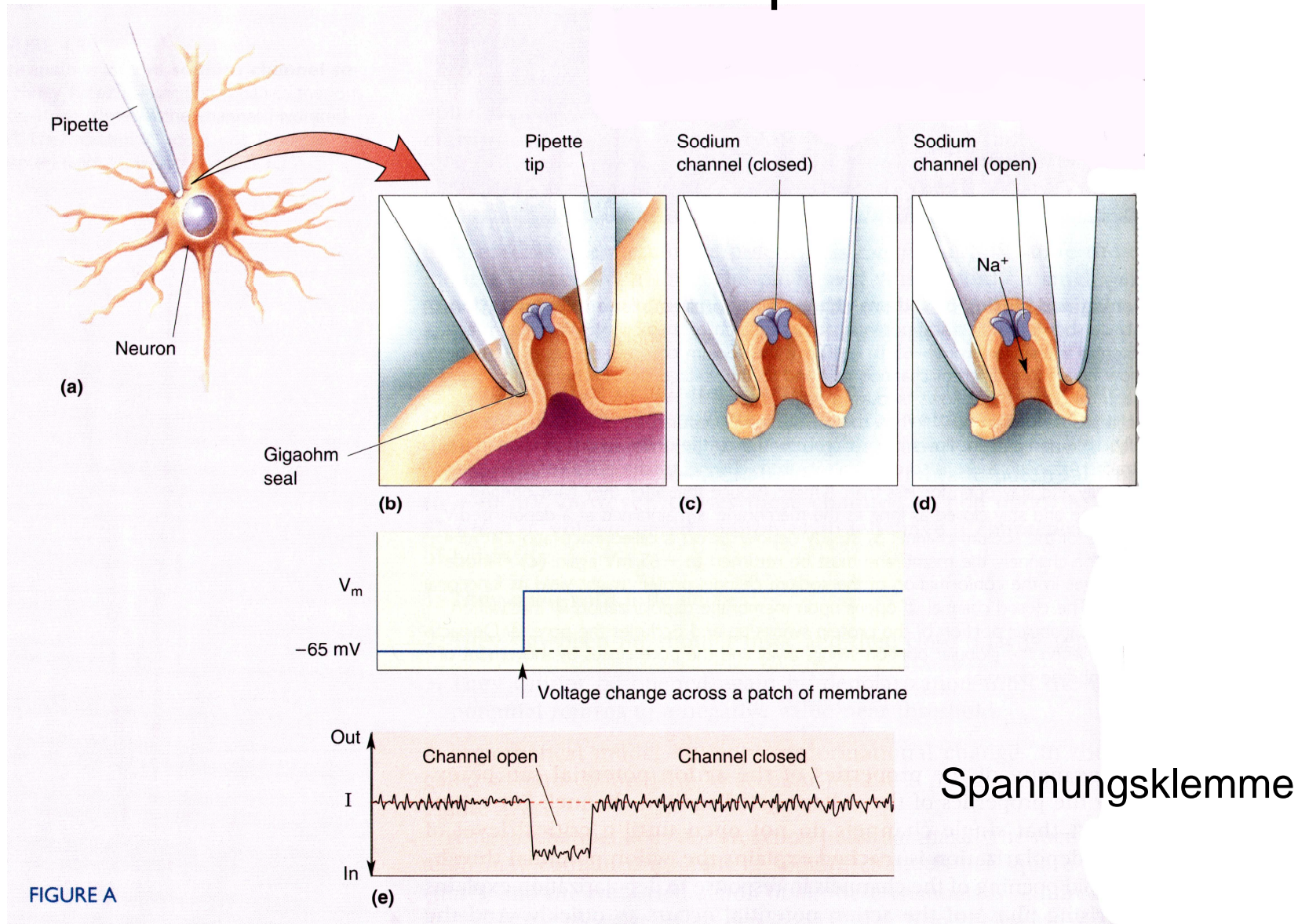






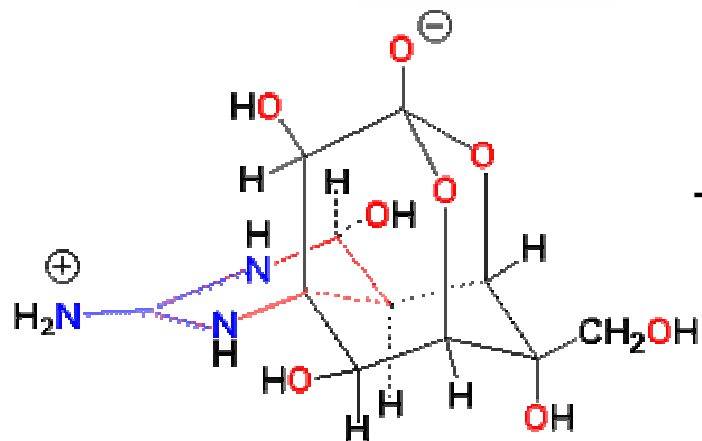


# Patch-Clamp

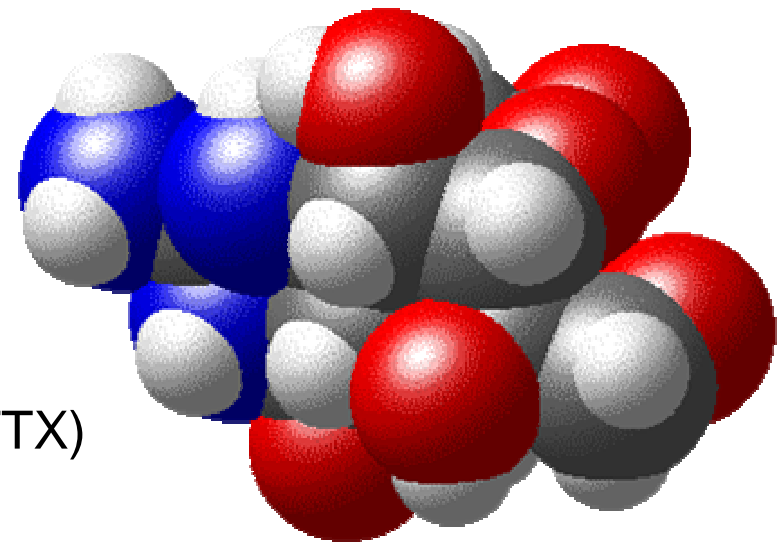


Näher und Sakmann: Nobelpreis 1991



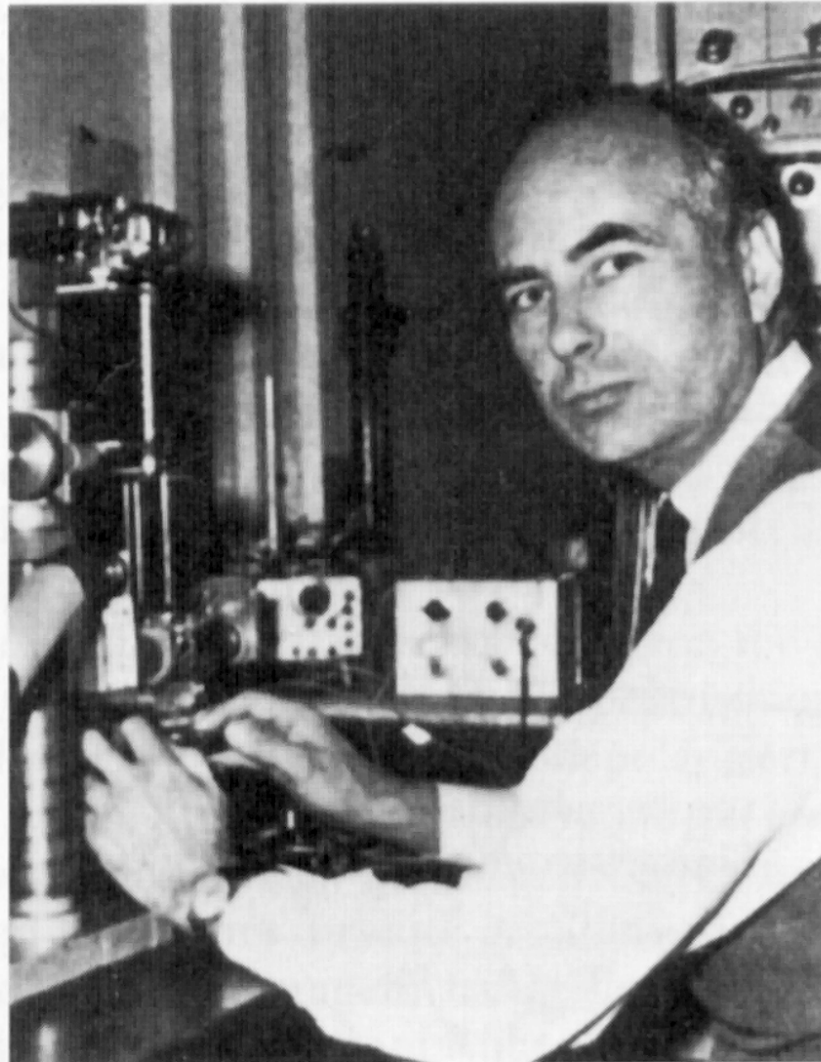


Tetrodotoxin (TTX)



# Phasen der Aktionspotentialgenerierung

1. Das Neuron wird über seinen Schwellenwert hinaus polarisiert. Der Schwellenwert ist das Membranpotential, bei dem sich bereits so viele spannungsgesteuerte Natriumkanäle geöffnet haben, daß der Natriumeinstrom den Kaliumausstrom überwiegt (**AP-Auslösung**).
2. Aufgrund des negativen Potentials im Zellinneren strömen nun immer mehr Natriumionen in die Zelle und depolarisieren die Zelle weiter (**Depolarisationsphase**).
3. Da die Permeabilität für Kalium-Ionen nun deutlich geringer ist als die für Natrium-Ionen setzt sich dieser Vorgang fort bis das Potential fast das Natriumgleichgewichtspotential erreicht (ca. 20 mV) (**Überschussphase**).
4. Die spannungsgesteuerten Natriumkanäle inaktivieren. Etwas verzögert beginnen spannungsgesteuerte Kaliumkanäle sich zu öffnen. Aufgrund des nun stark positiven Potentials können vermehrt Kalium-Ionen in die Zelle zu strömen (**Repolarisationsphase**).
5. Da die spannungsgesteuerten Natriumkanäle nun fast alle geschlossen sind, ist die Natriumpermeabilität der Membran sehr gering. Somit kommt es vorübergehend zu einem Abfallen des Membranpotentials bis fast auf das Kaliumgleichgewichtspotential (**Hyperpolarisationsphase**).
6. Die Natriumkanäle bleiben noch eine Zeitlang inaktiviert und verhindern damit das Auslösen eines neuen Aktionspotentials (**Refraktärphase**).



A. F. Huxley, 1974



A. L. Hodgkin, 1949



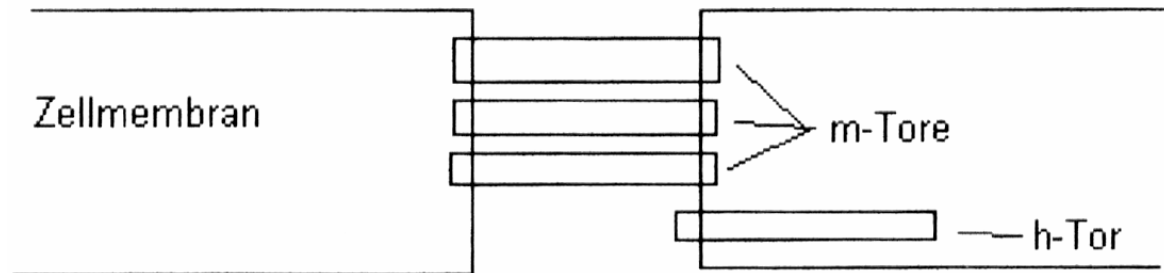
# Hodgkin-Huxley Modell

$$I_x = g_x(u - E_x), \quad x = \{Na^+, K^+\}$$

$$g_x = f(U, t)$$

$$g_{Na}(t) = m(t)^3 \cdot h(t) \cdot G_{Na}$$

$$g_K(t) = n(t)^4 \cdot G_K$$



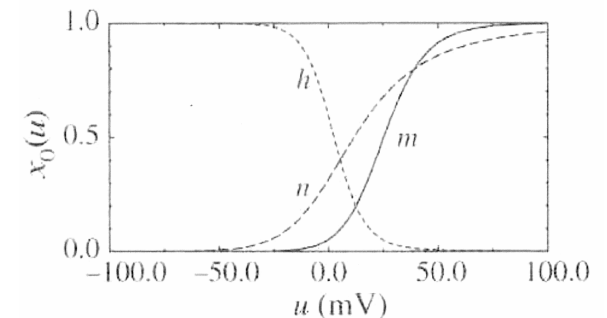
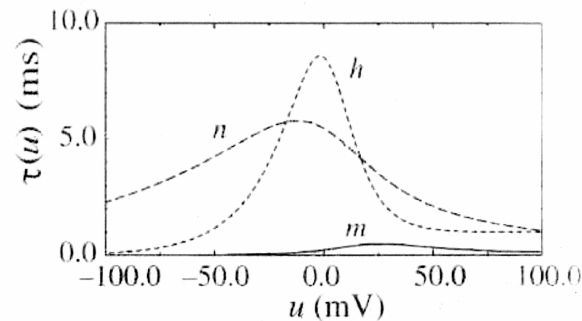
$$n(t) = n_0(u) - e^{-\frac{t}{\tau_n(u)}} n_0(u); n_0(u) = \frac{\alpha_n(u)}{\alpha_n(u) + \beta_n(u)}; \tau_n(u) = \frac{1}{\alpha_n(u) + \beta_n(u)}; \alpha_n = \frac{0.1 - 0.01u}{e^{1-0.1u} - 1}; \beta_n = 0.125e^{\frac{-u}{80}}$$

$$m(t) = m_0(u) - e^{-\frac{t}{\tau_m(u)}} m_0(u); m_0(u) = \frac{\alpha_m(u)}{\alpha_m(u) + \beta_m(u)}; \tau_m(u) = \frac{1}{\alpha_m(u) + \beta_m(u)}; \alpha_m = \frac{2.5 - 0.1u}{e^{2.5-0.1u} - 1}; \beta_m = 4e^{\frac{-u}{18}}$$

$$h(t) = h_0(u) - e^{-\frac{t}{\tau_h(u)}} h_0(u); h_0(u) = \frac{\alpha_h(u)}{\alpha_h(u) + \beta_h(u)}; \tau_h(u) = \frac{1}{\alpha_h(u) + \beta_h(u)}; \alpha_h = 0.07e^{\frac{-u}{20}}; \beta_h = \frac{1}{e^{3-0.1u} + 1}$$

$$I_{ges}(t) = G_{Na} \cdot m(t)^3 \cdot h(t) \cdot (u - E_{Na}) + G_K \cdot n(t)^4 \cdot (u - E_K) + g_L \cdot (u - E_L)$$

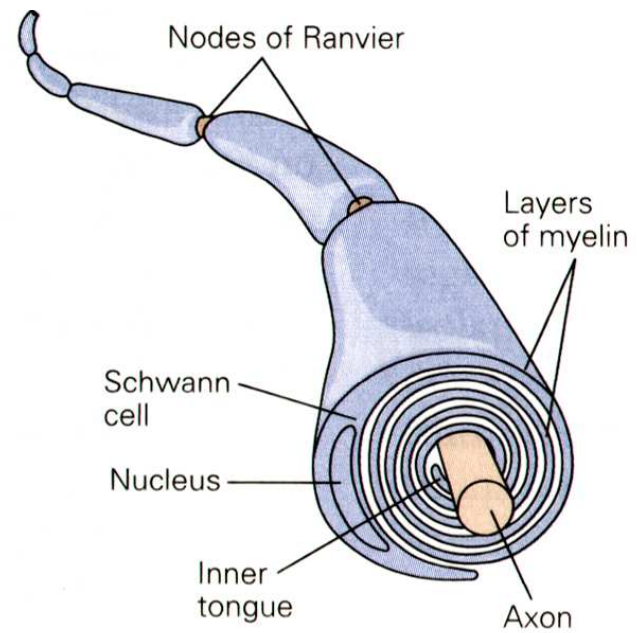
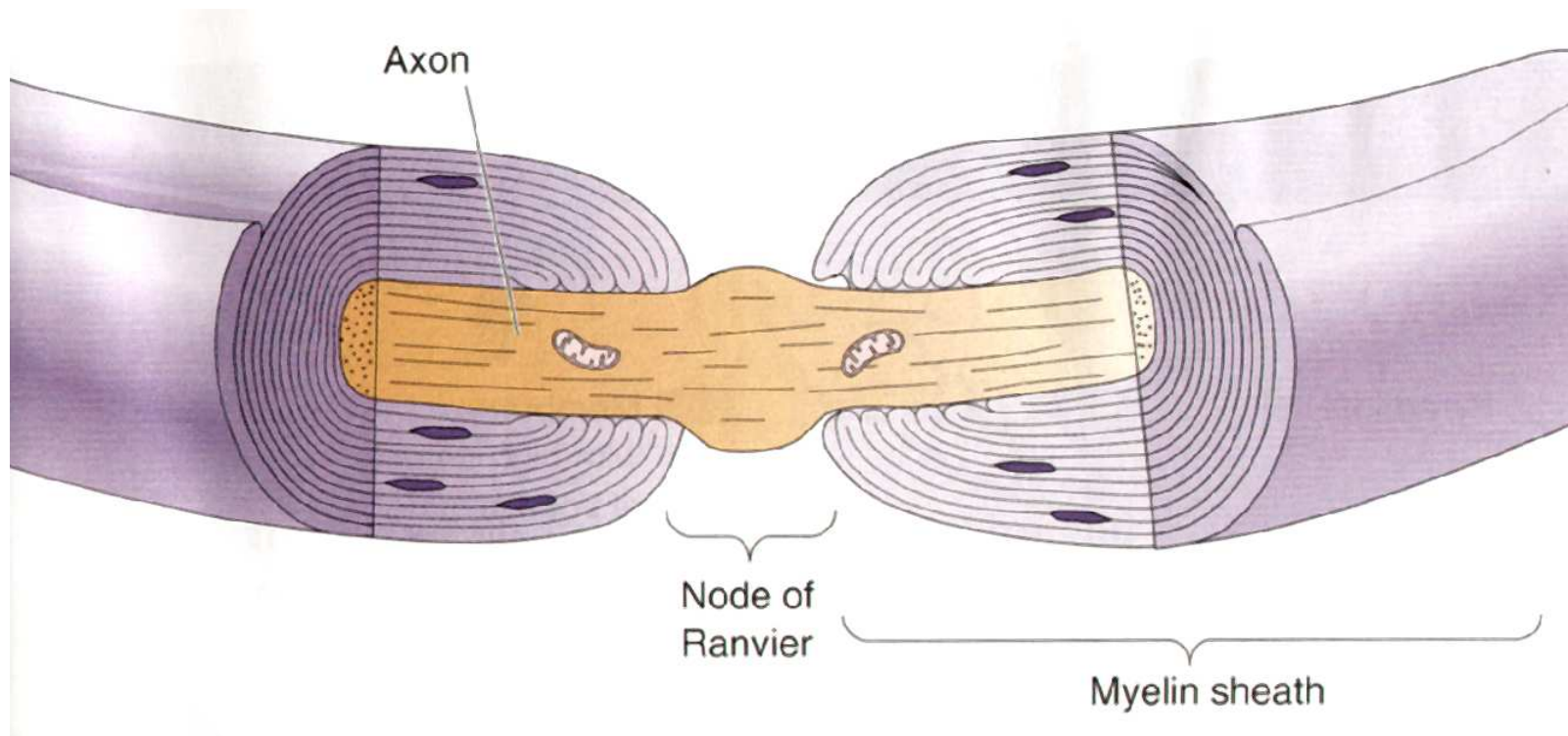
$$V_m(t) = -\frac{1}{C_m} \int_t \sum_x I_x$$

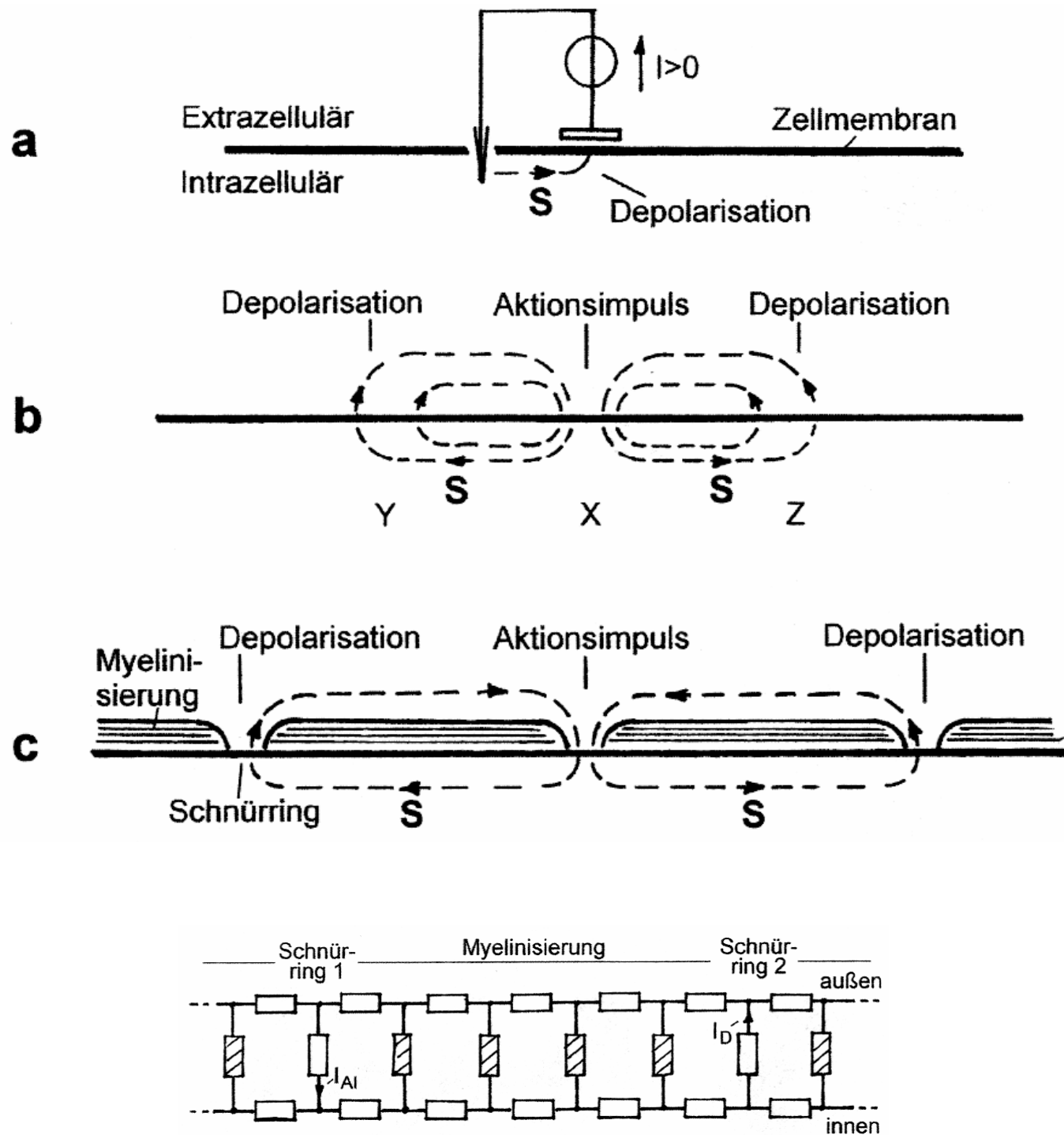


# Erregungsleitung

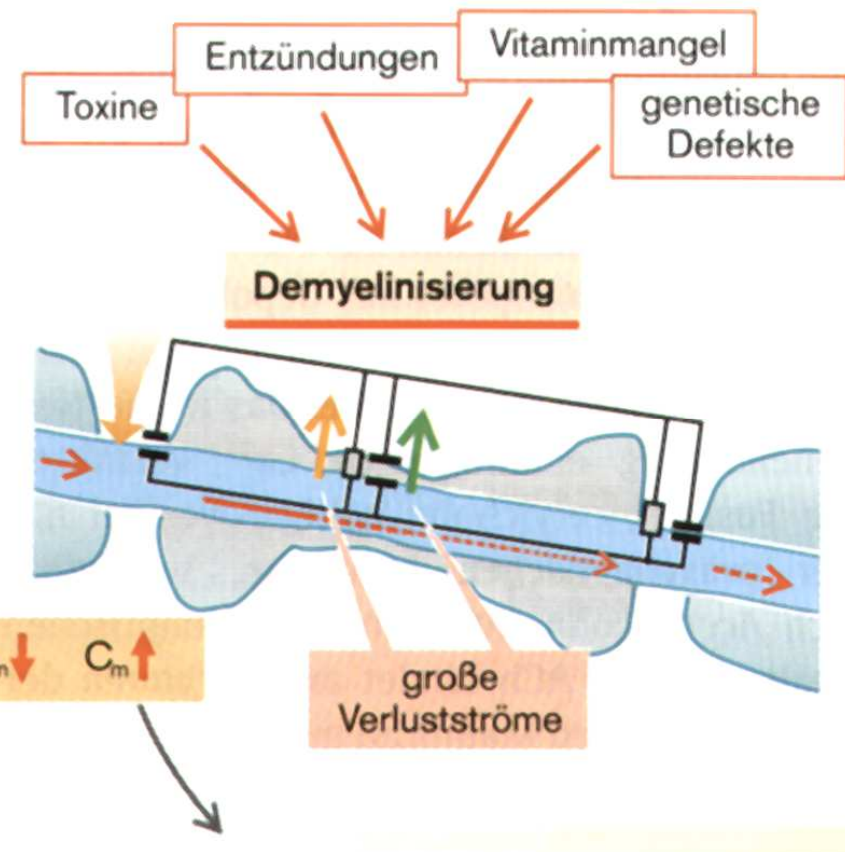
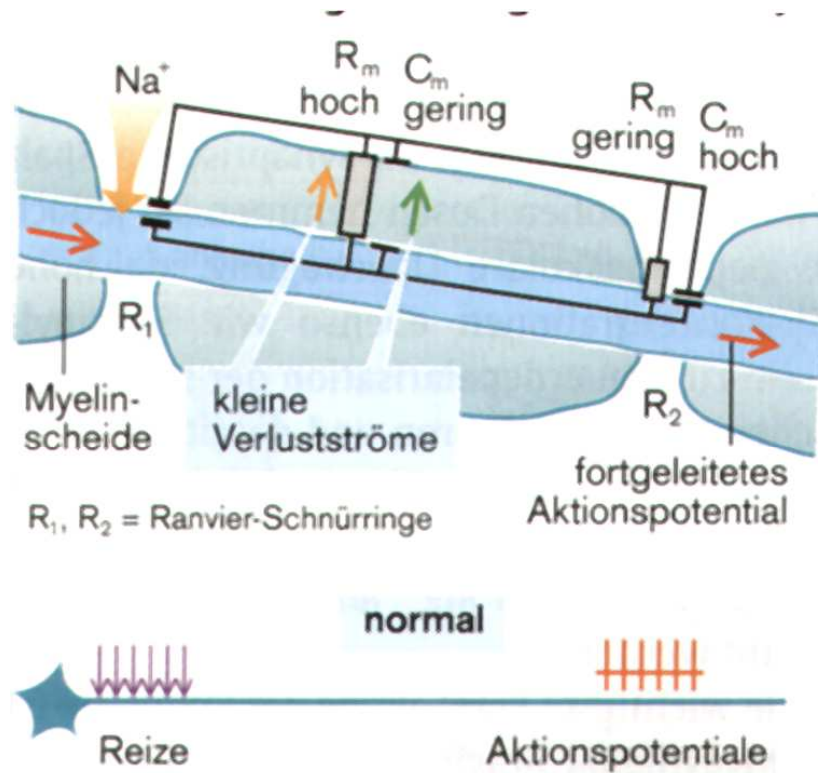


AP-Weiterleitung in einem Axon, Film aus „Neuroscience, Exploring the Brain“



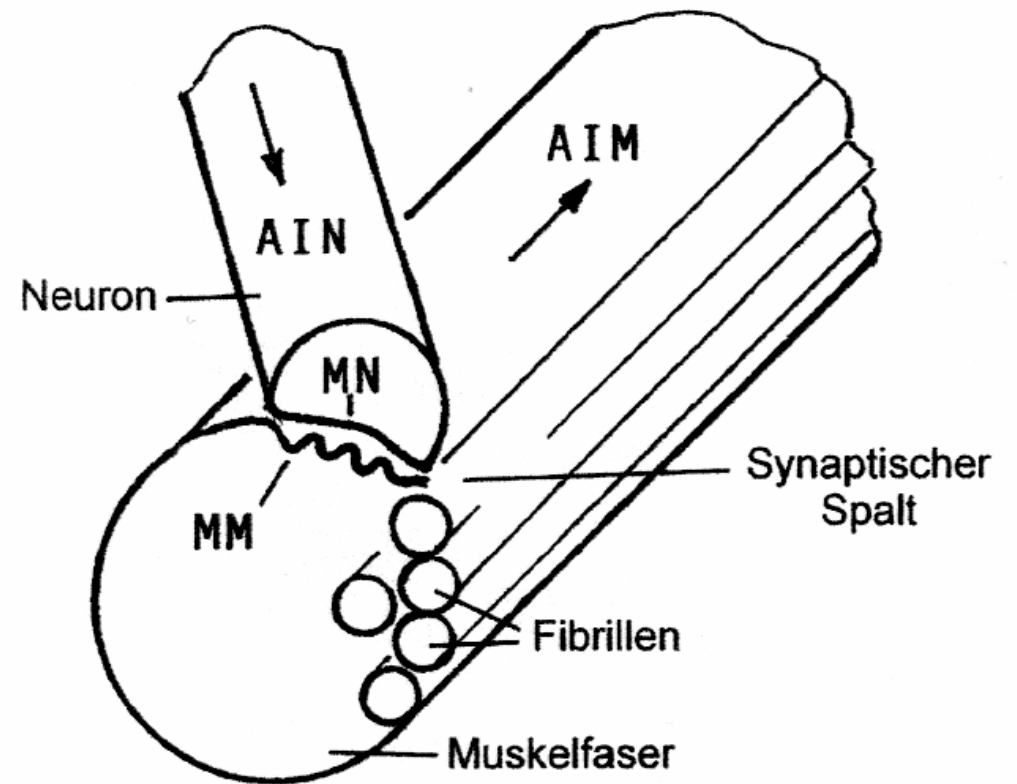
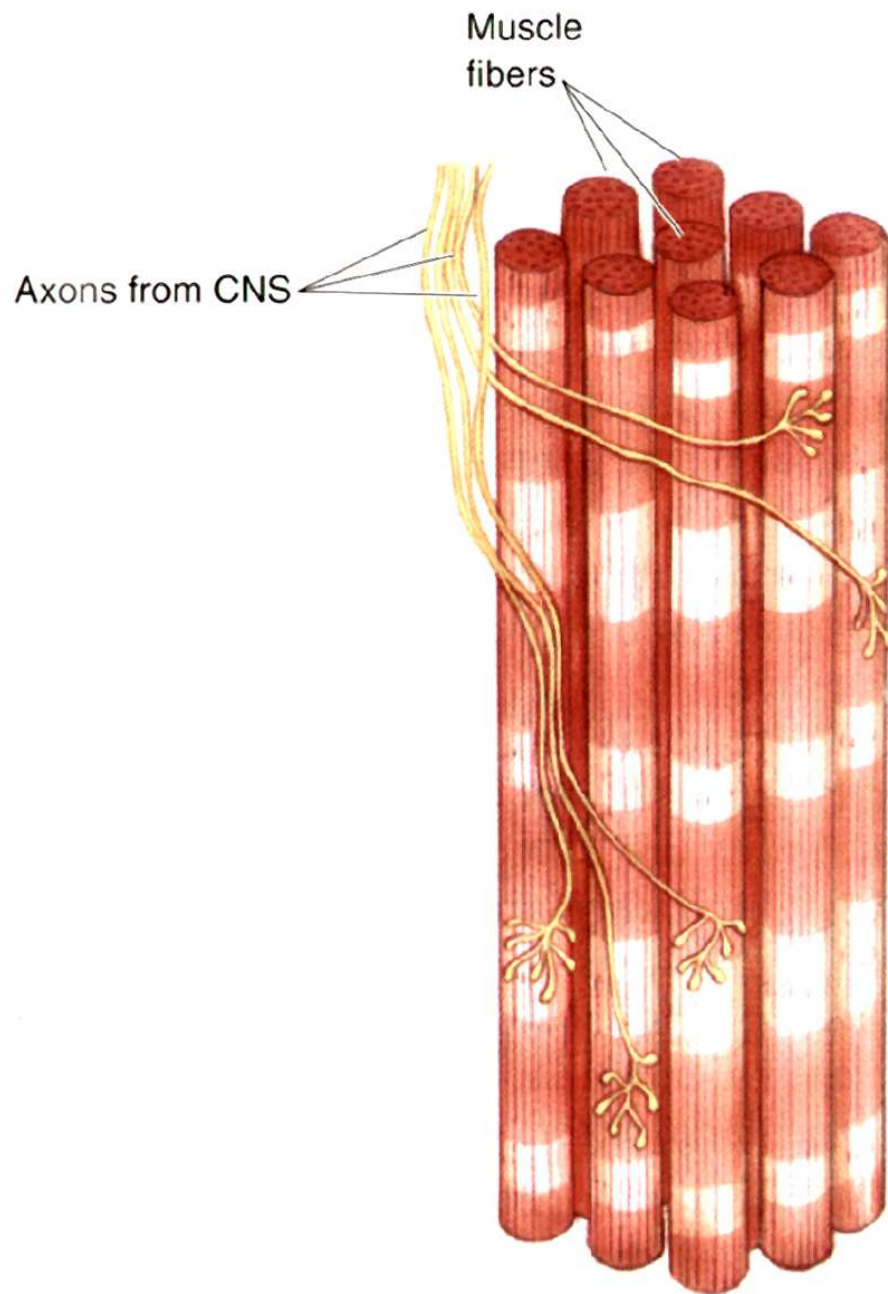




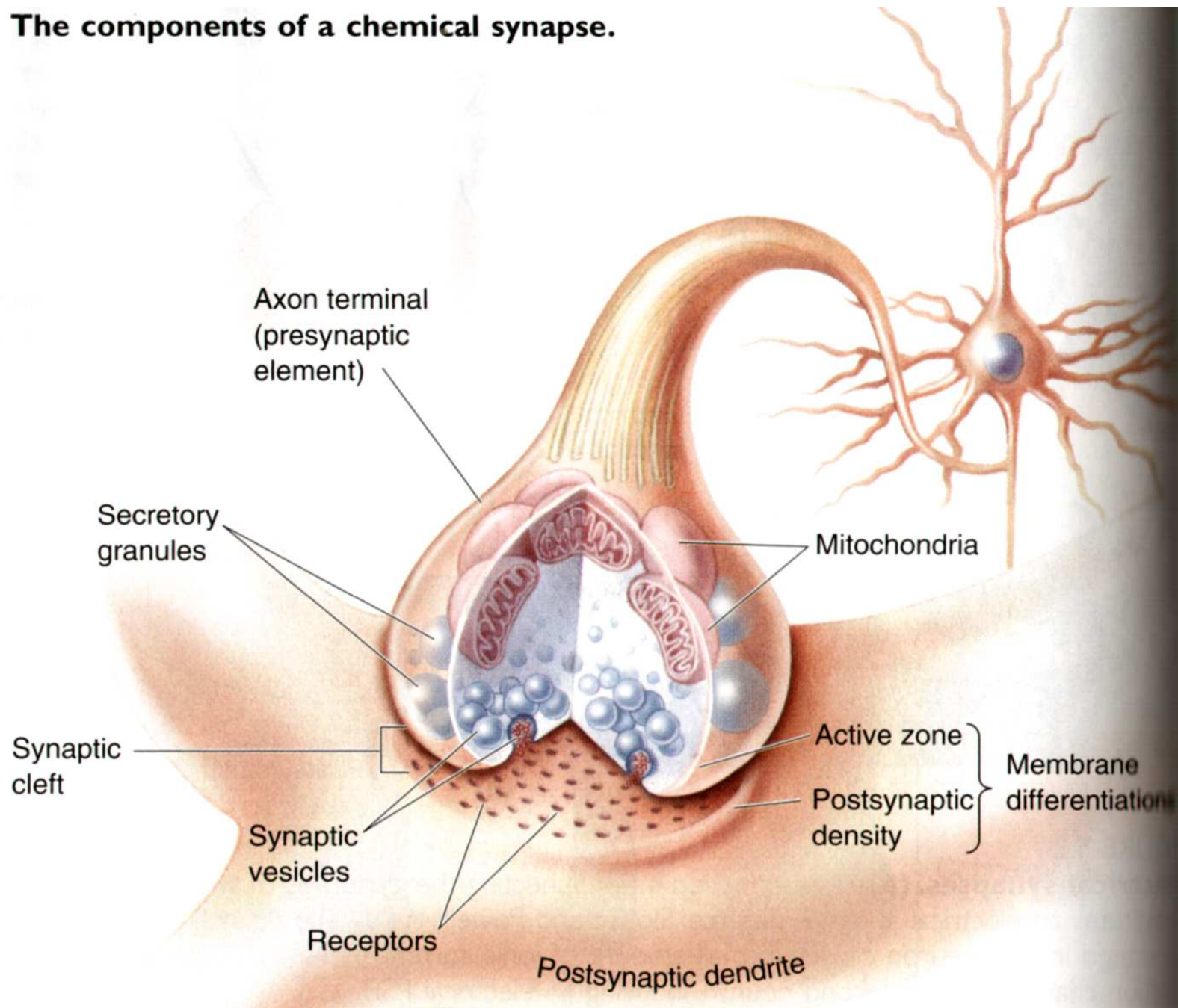


Fasertyp	Bauart	$D$ [mm]	$v$ [m/s]
afferente Faser von Eingeweiden	unmyelinisiert	1	2
Krabbenaxon		30	5
Tintenfischaxon		500	20
afferente Faser von Wärmedetektor	myelinisiert	4	15
efferente Faser zu Muskel		6	40
afferente Faser von Muskel		15	80

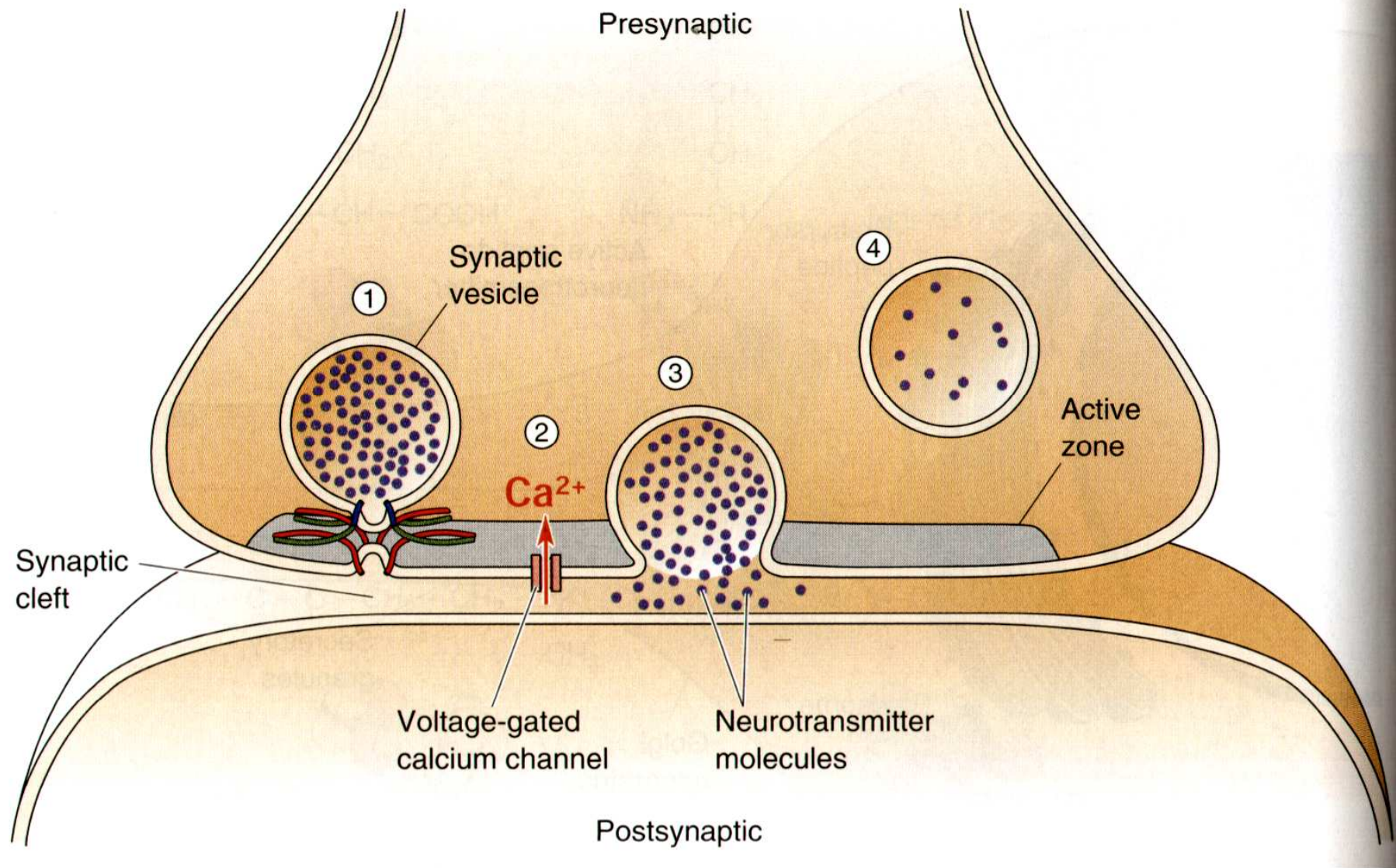
# Signalübertragung zwischen Nervenzellen am Beispiel des neuromuskulären Systems

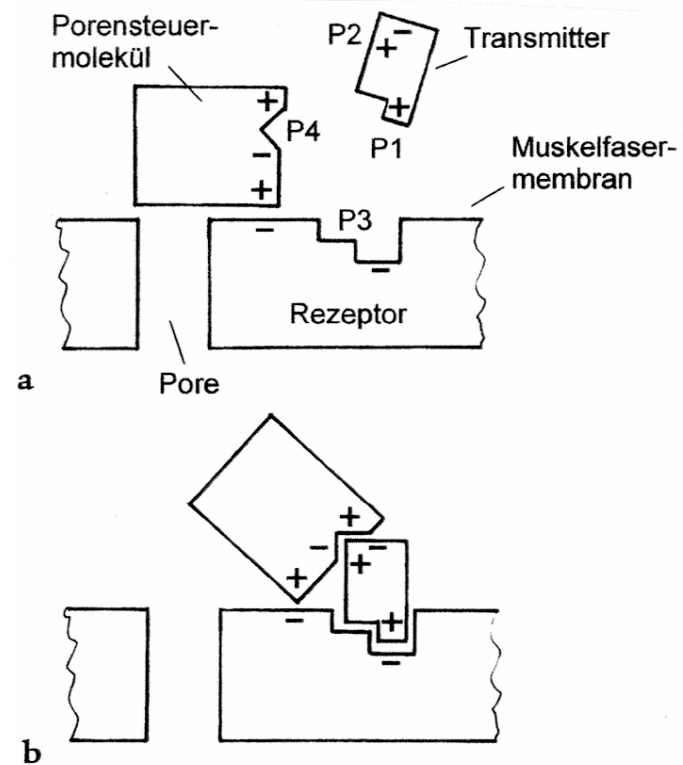
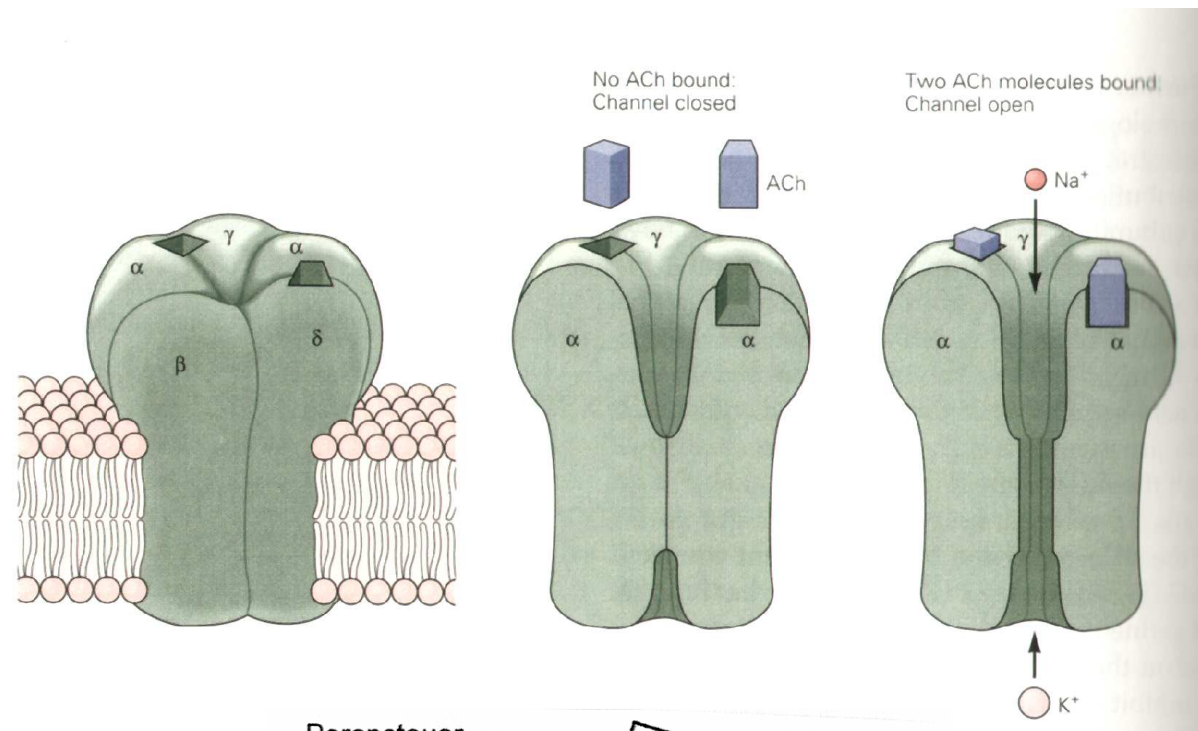


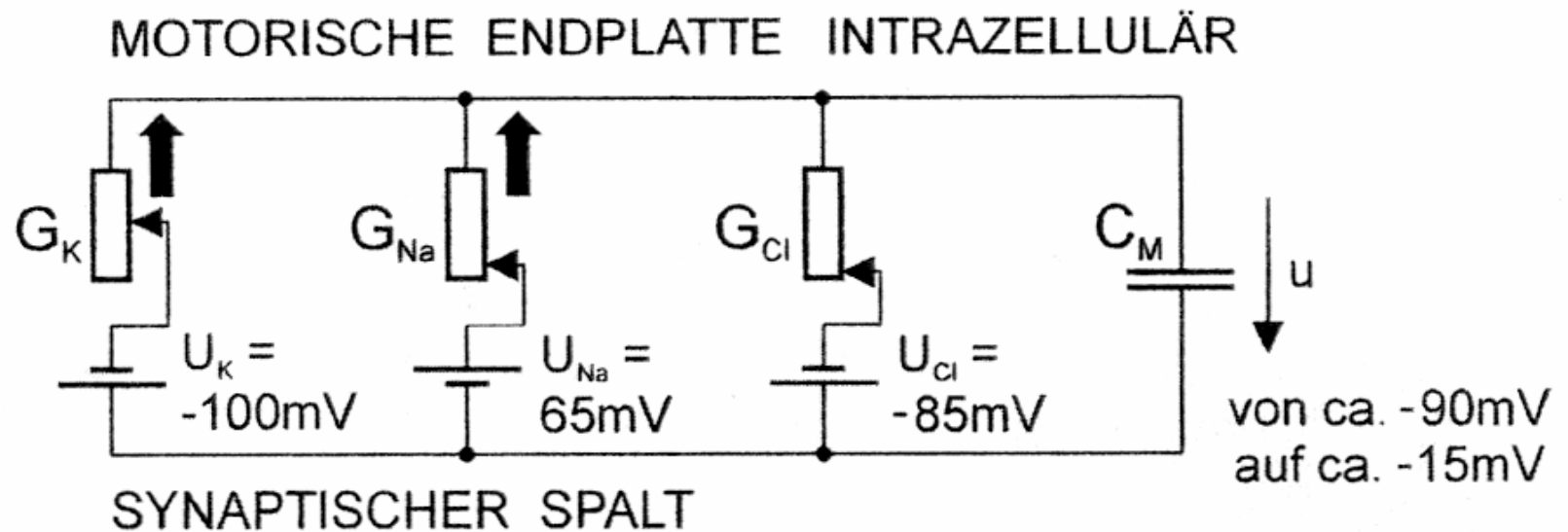
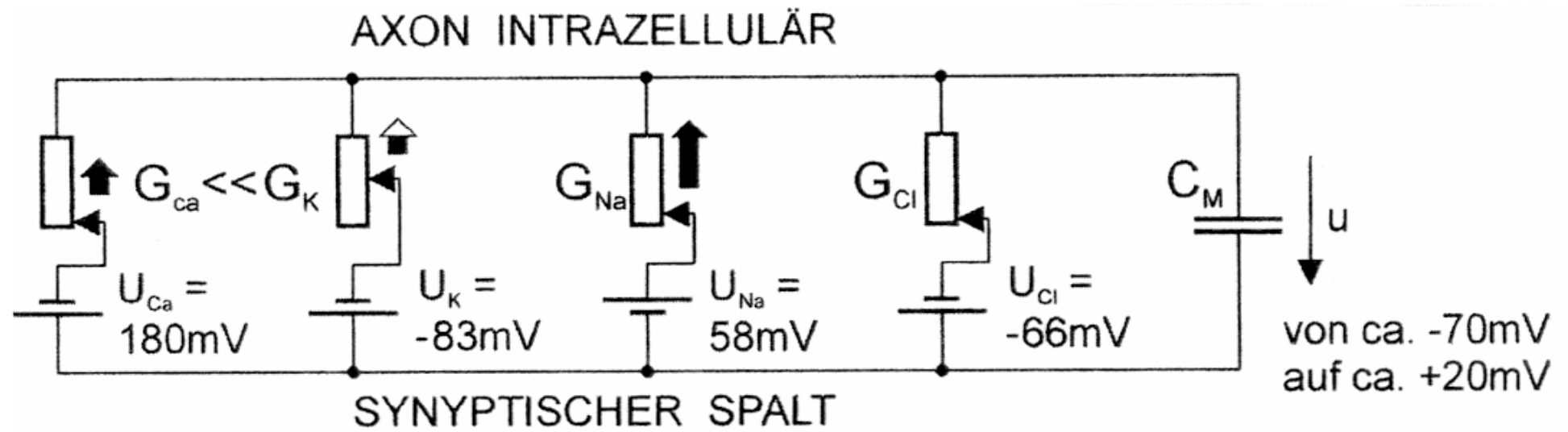
## The components of a chemical synapse.

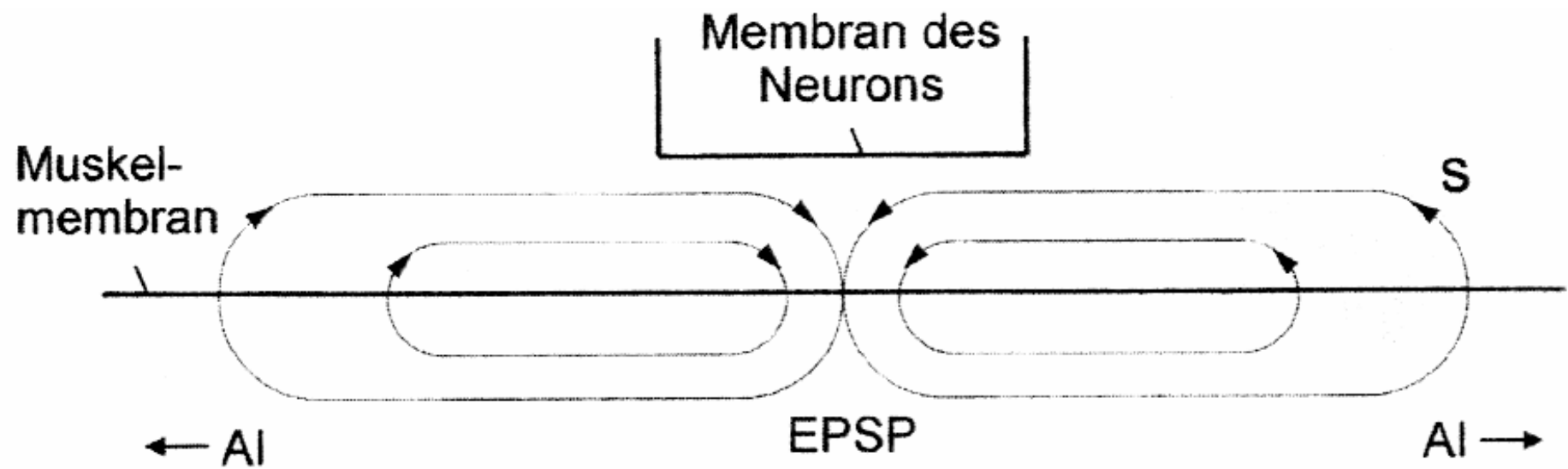




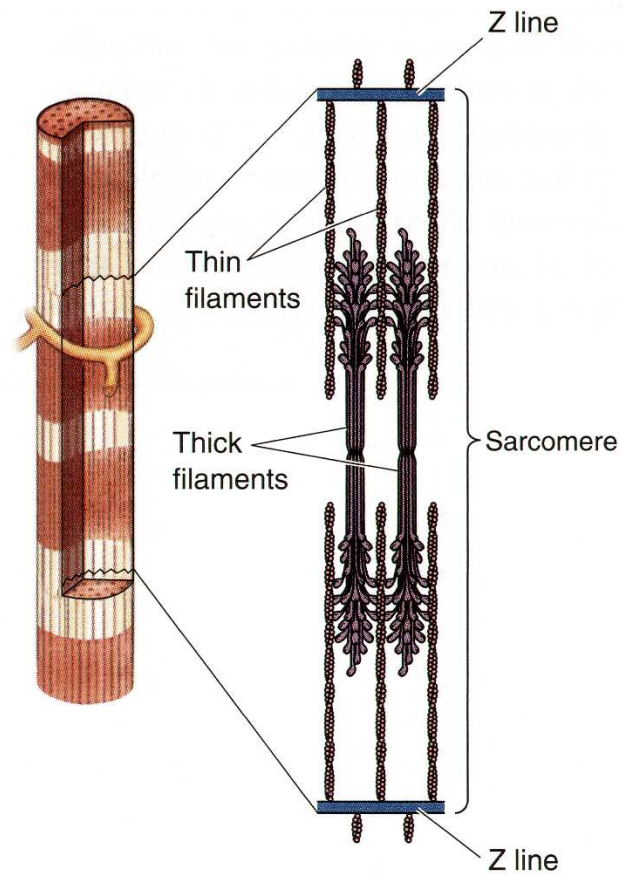
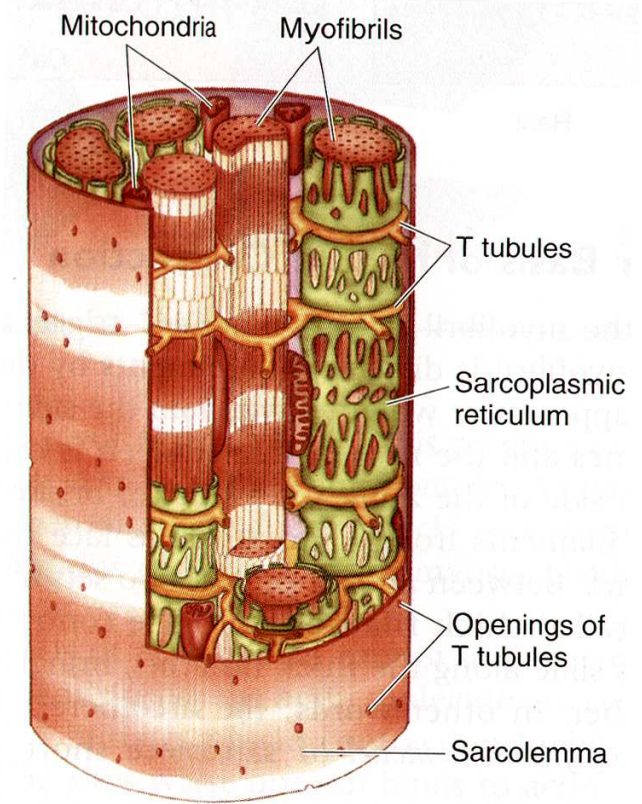
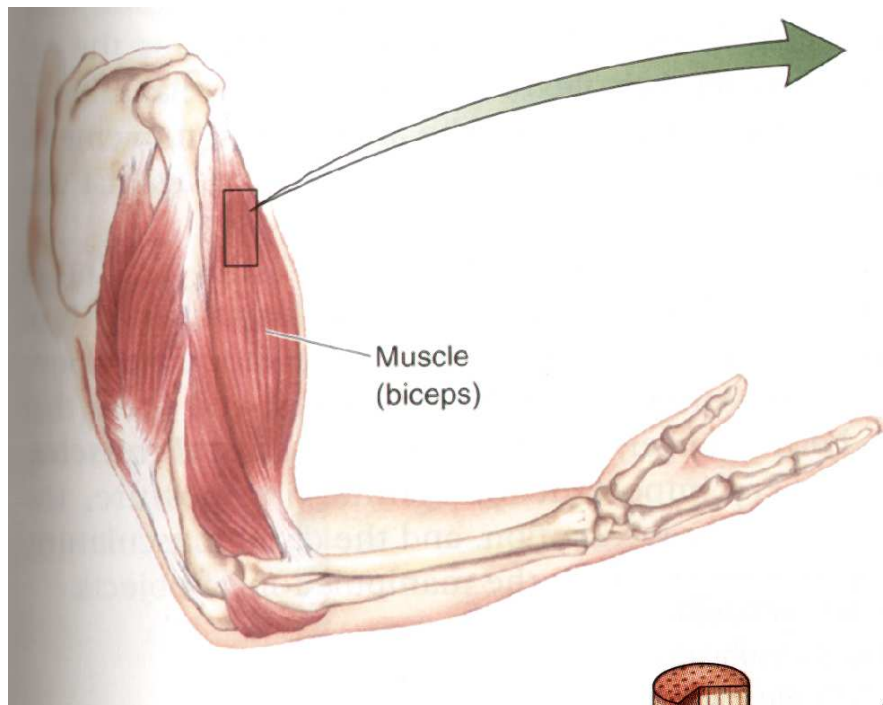




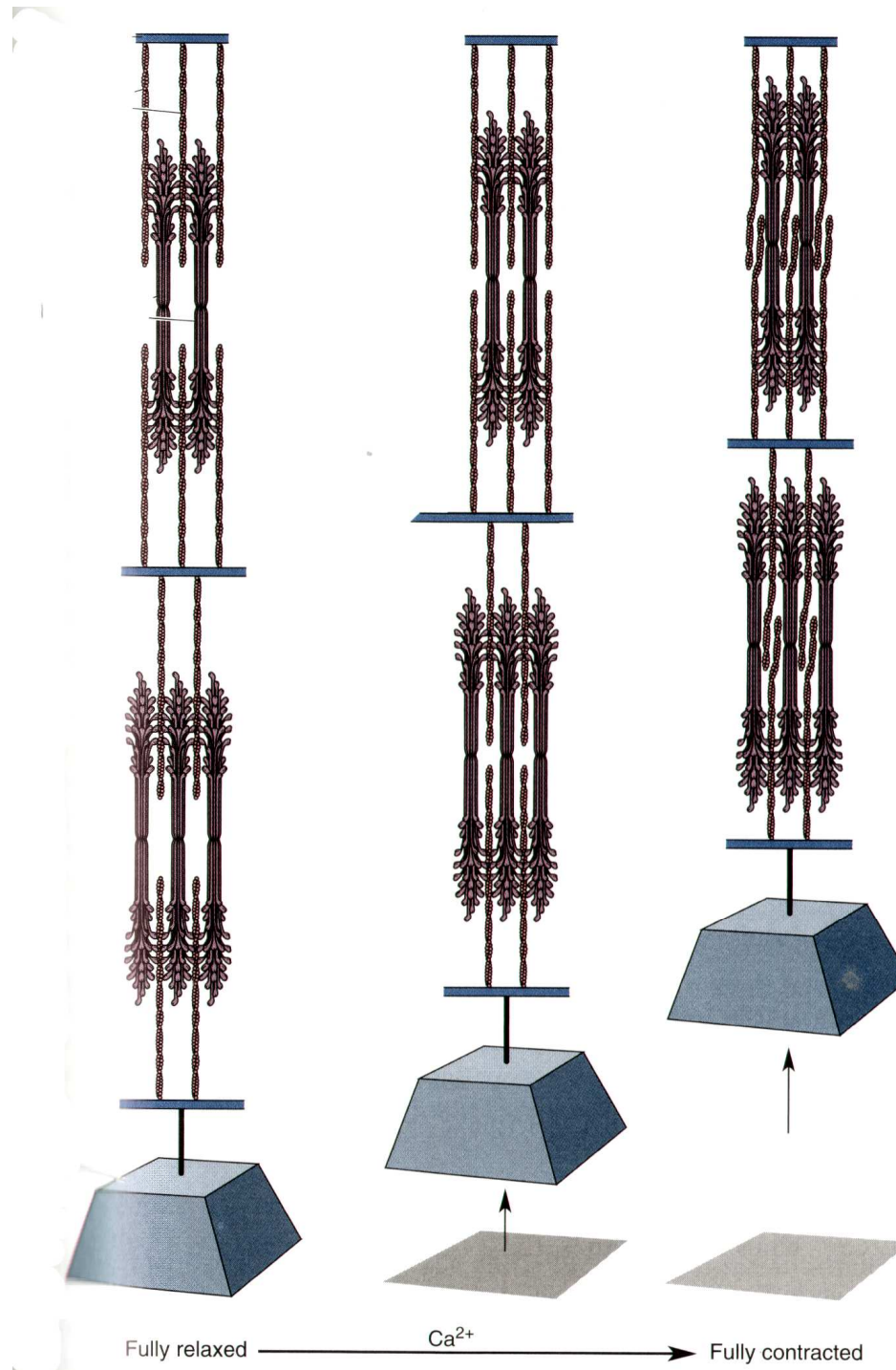




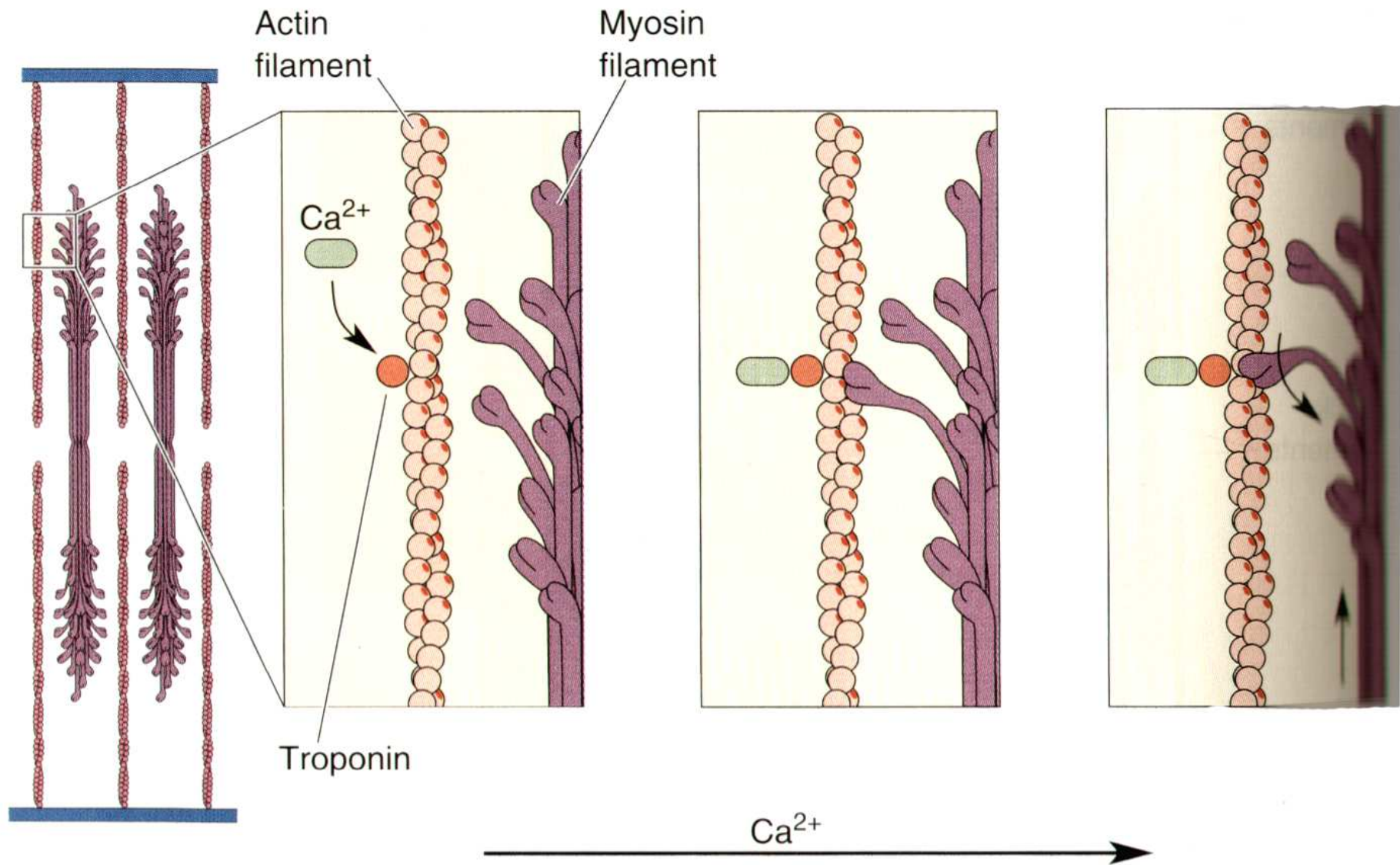


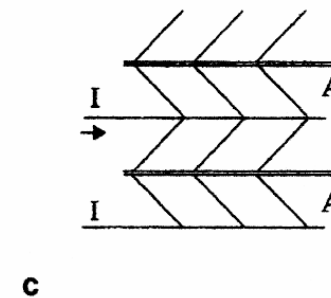
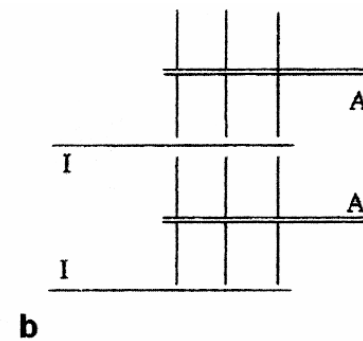
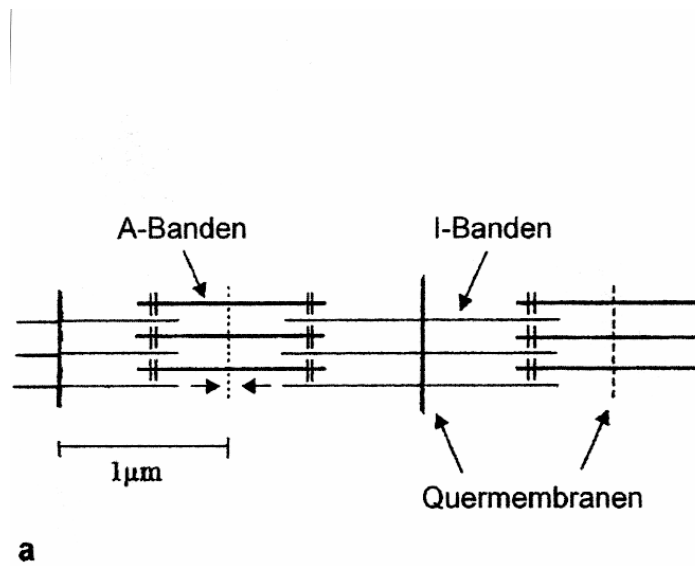
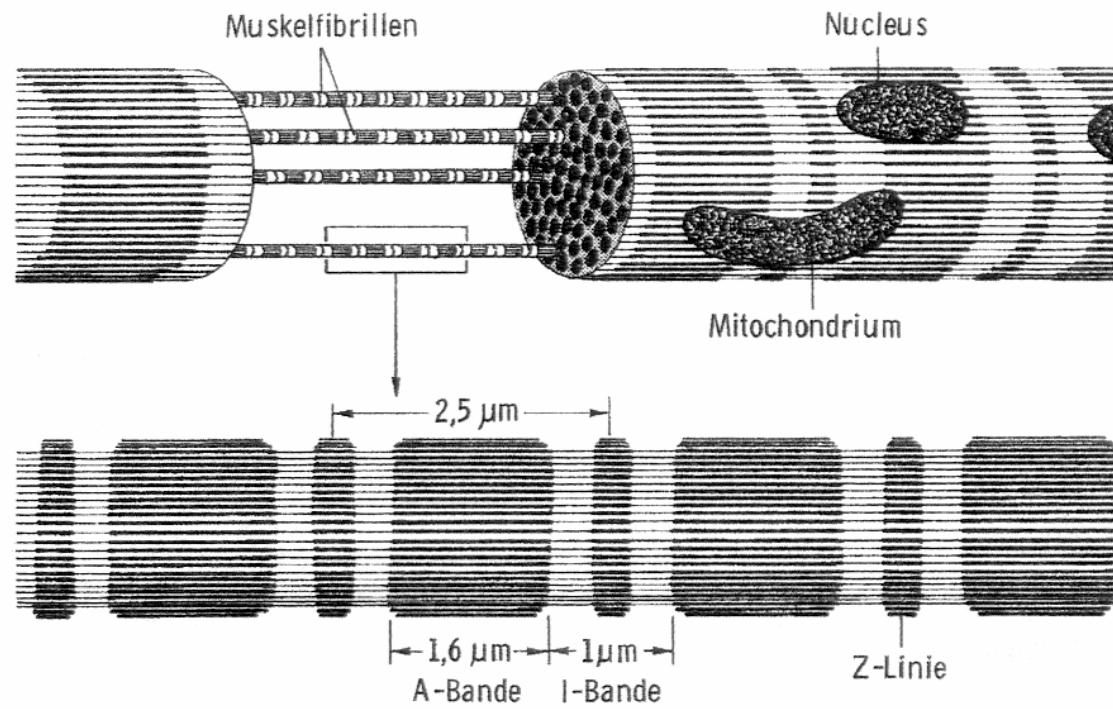


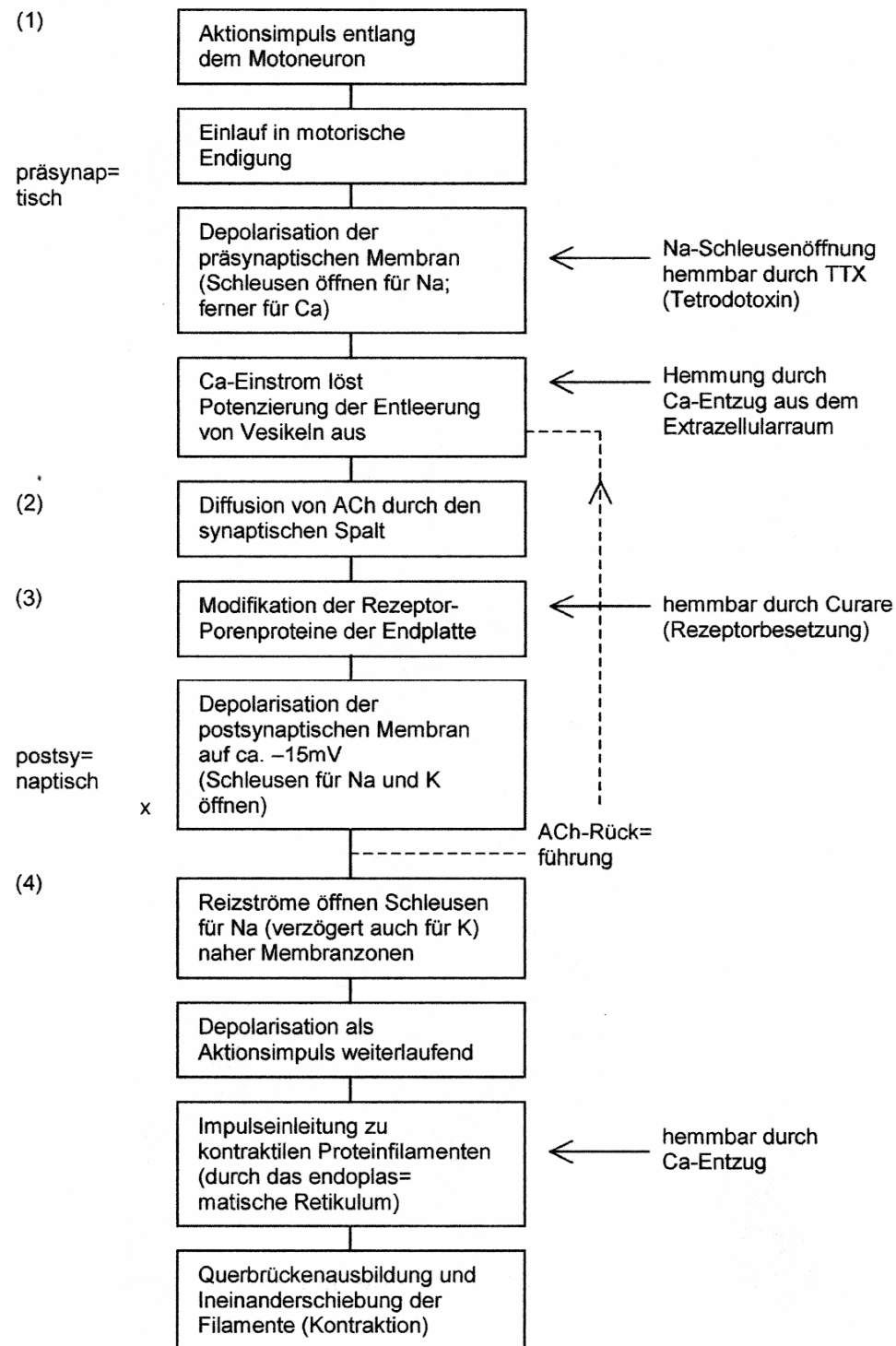




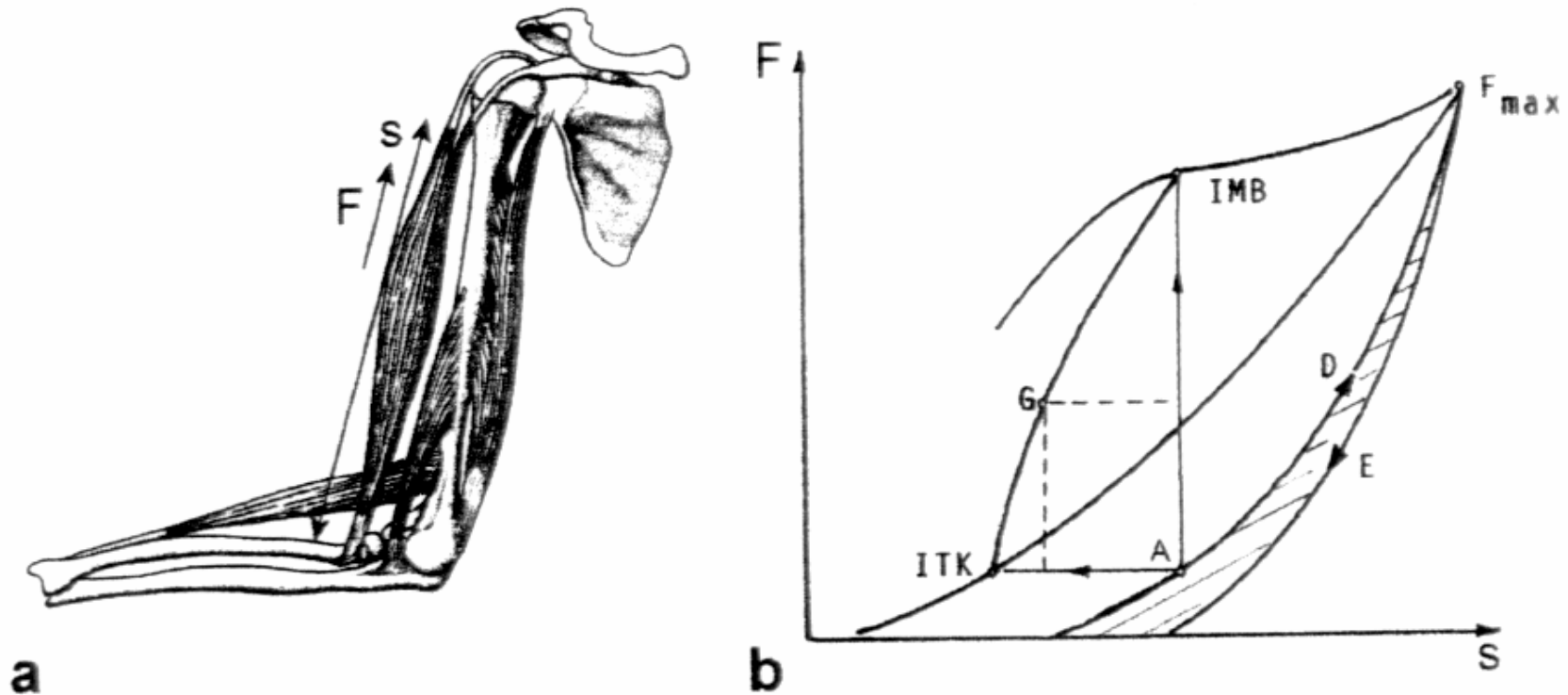
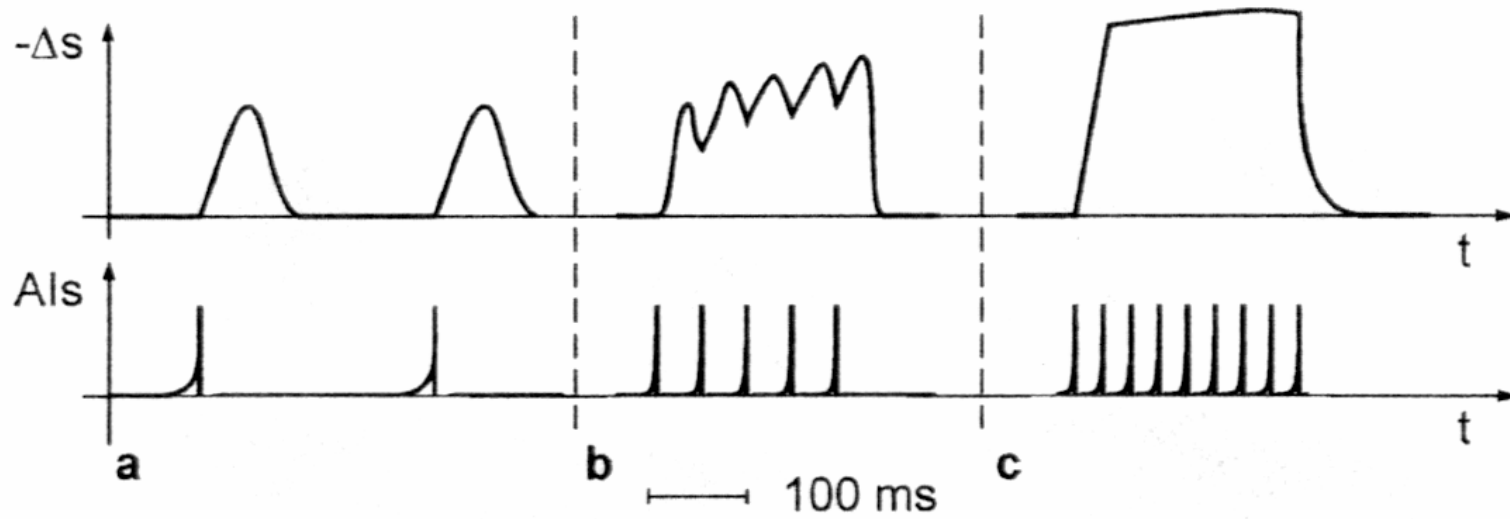
Funktionsweise eines Sarkomers, Abbildung aus „Neuroscience, Exploring the Brain“







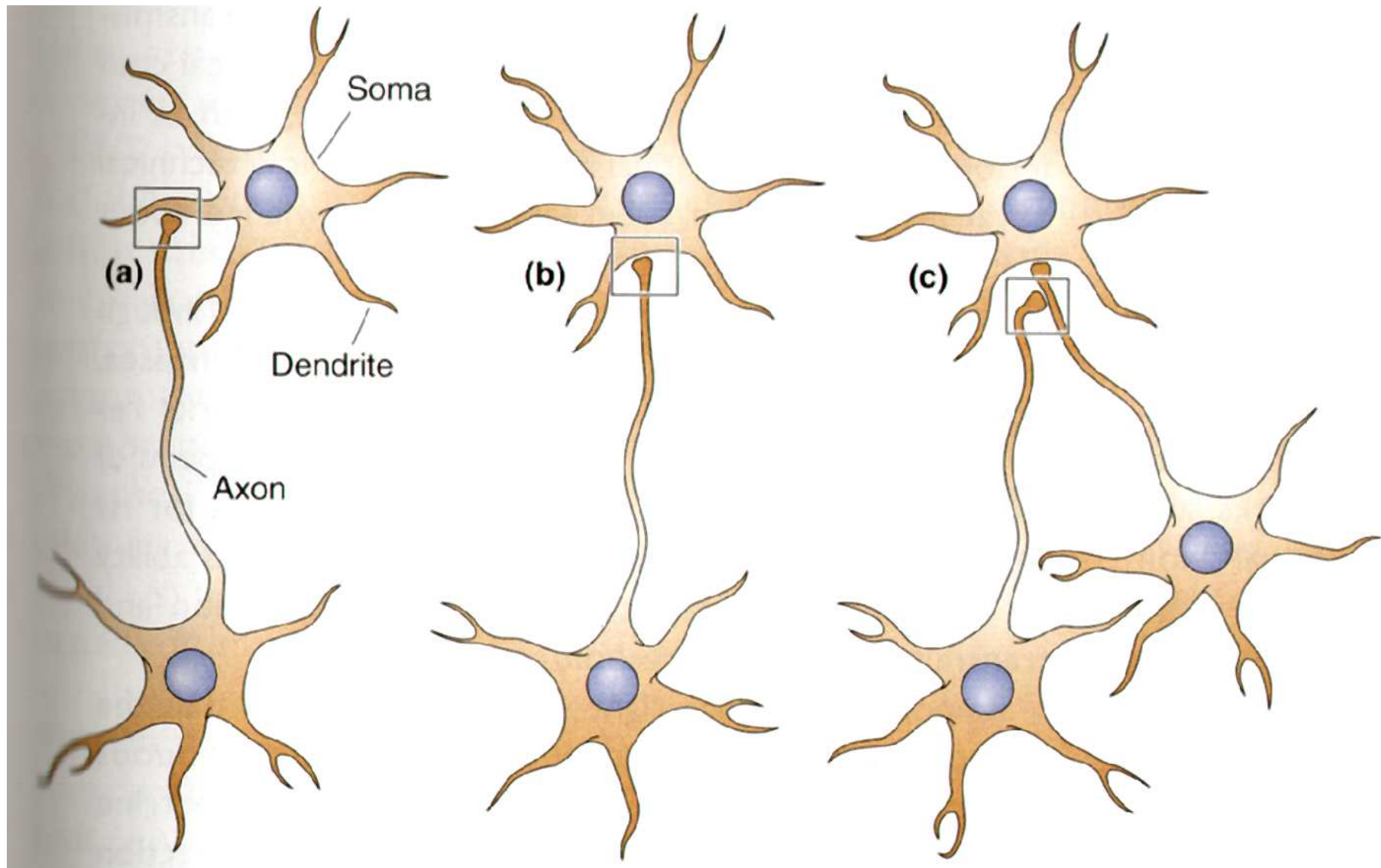
Blockdiagramm – neuromuskuläre Impulsübertragung

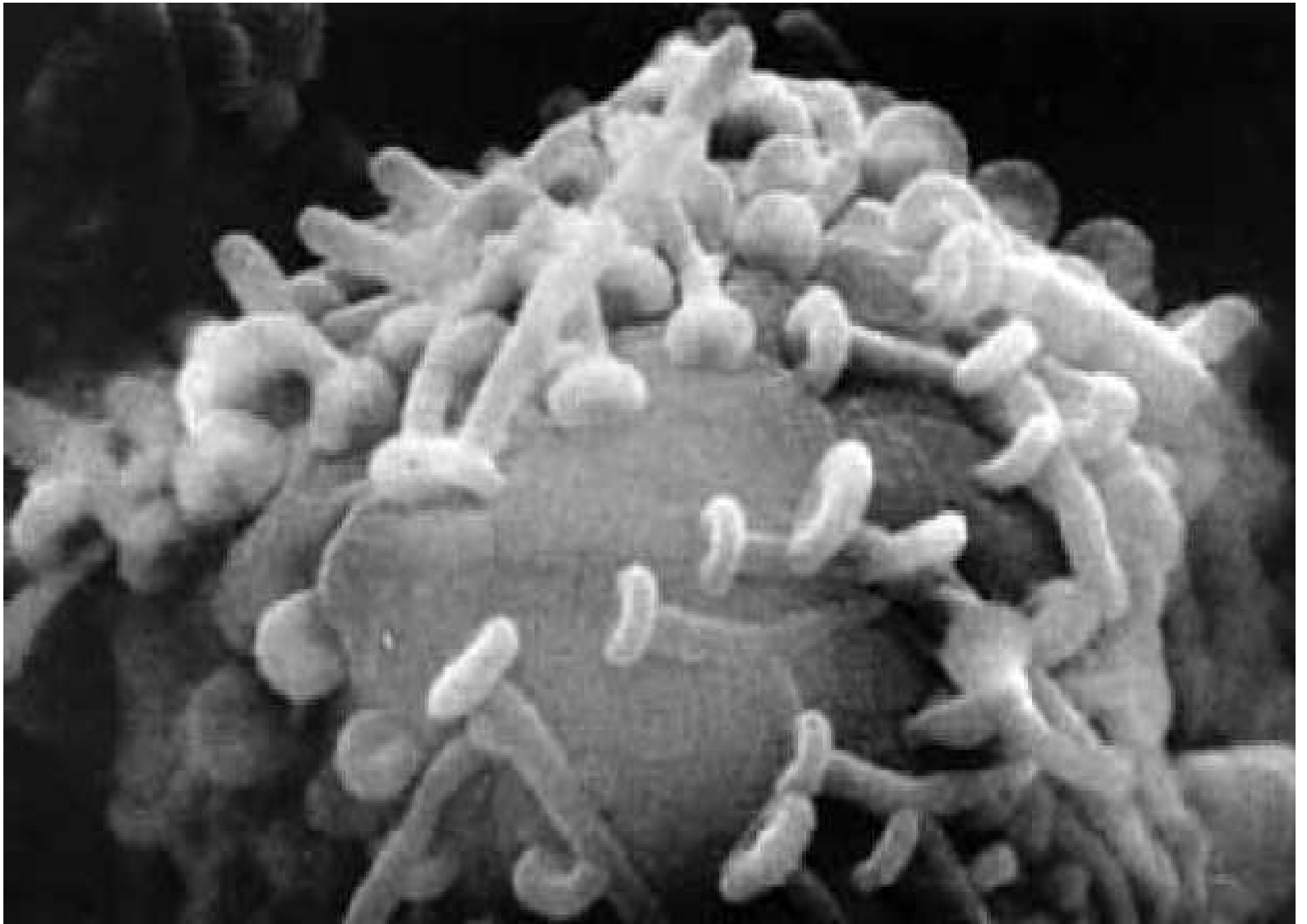


a) zeitliche Abfolge von  $A_{IS}$  an der Muskelfasermembran b) Zusammenhang zwischen Kraft und Länge eines Muskels

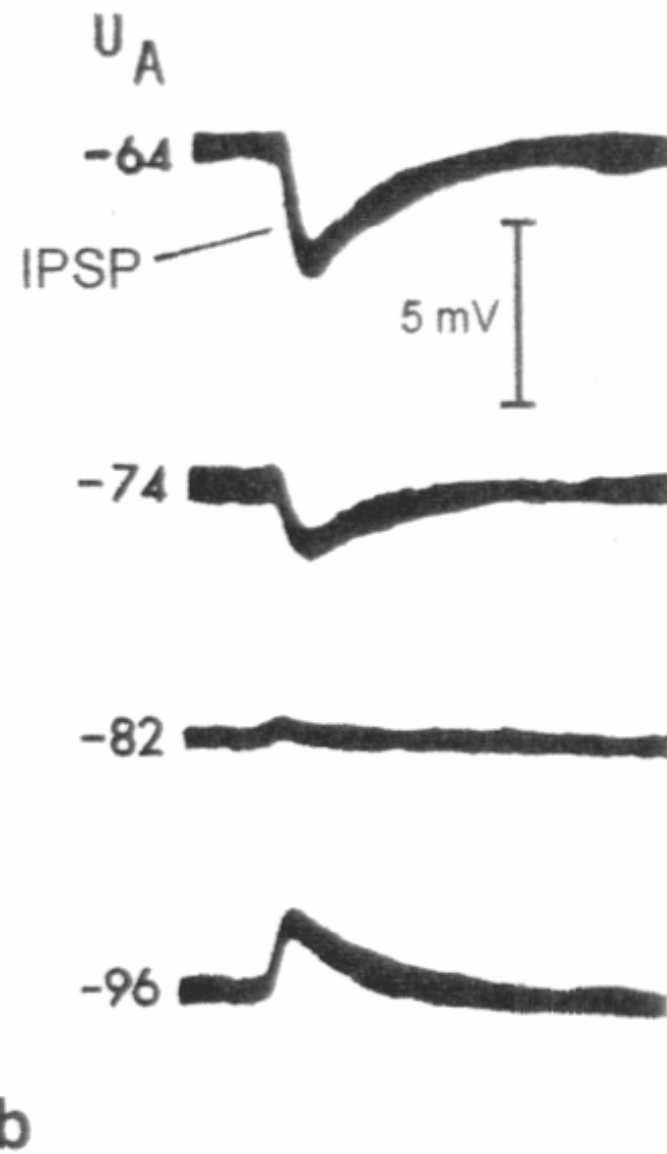
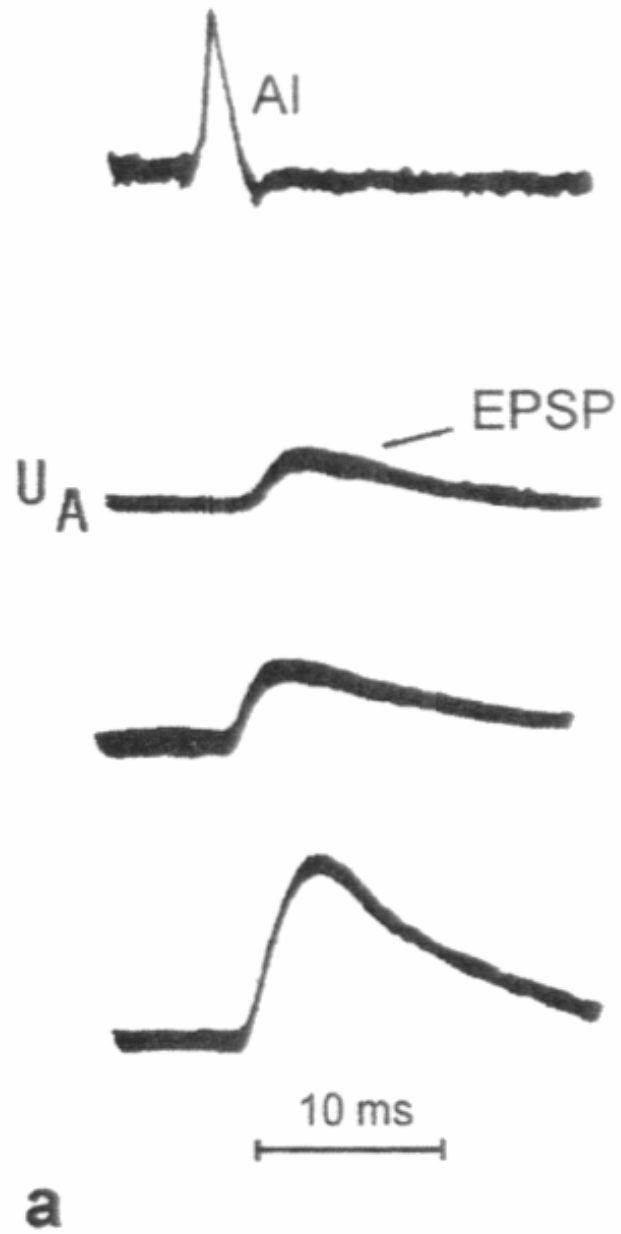


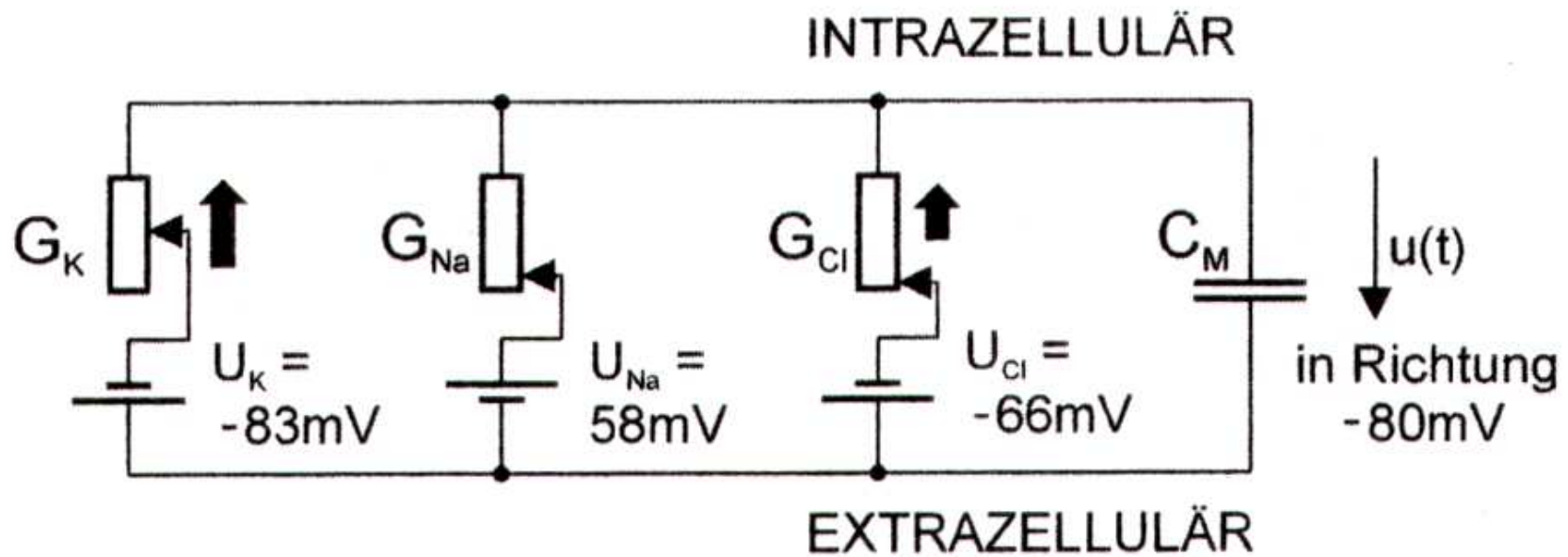
# Neuronale Integration



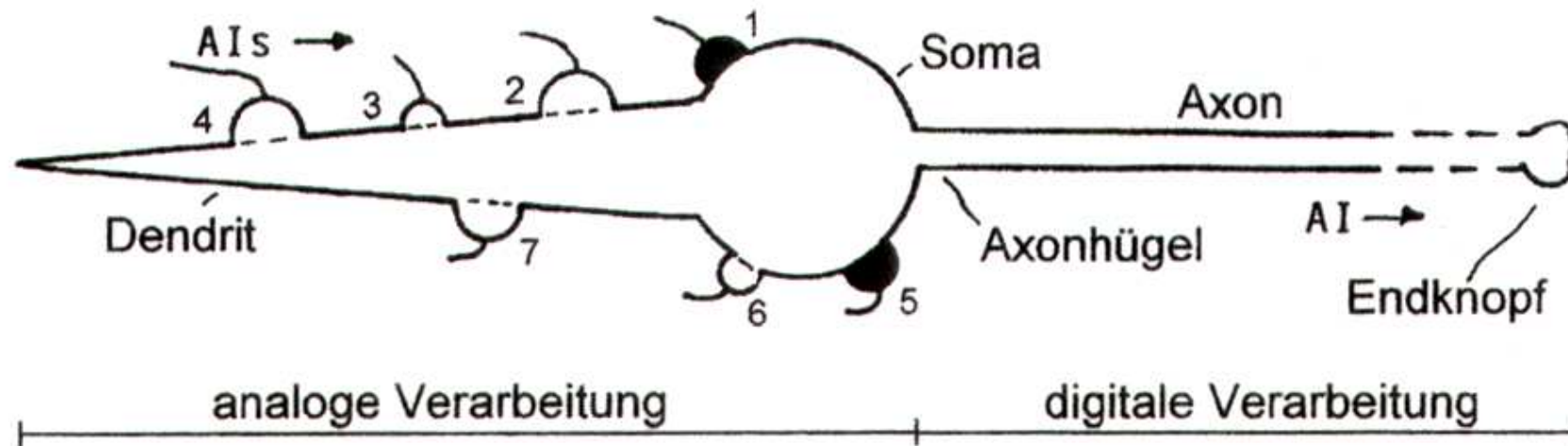


Synaptische Kontaktierung eines Neurons



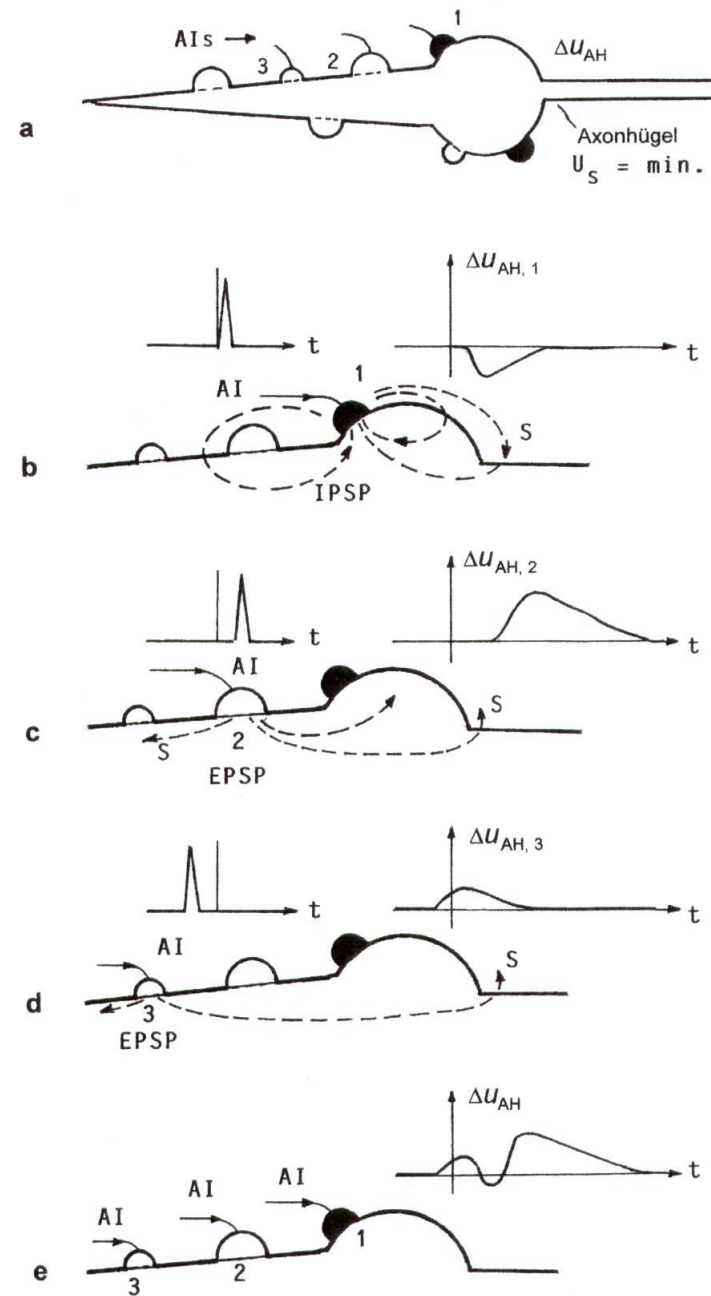


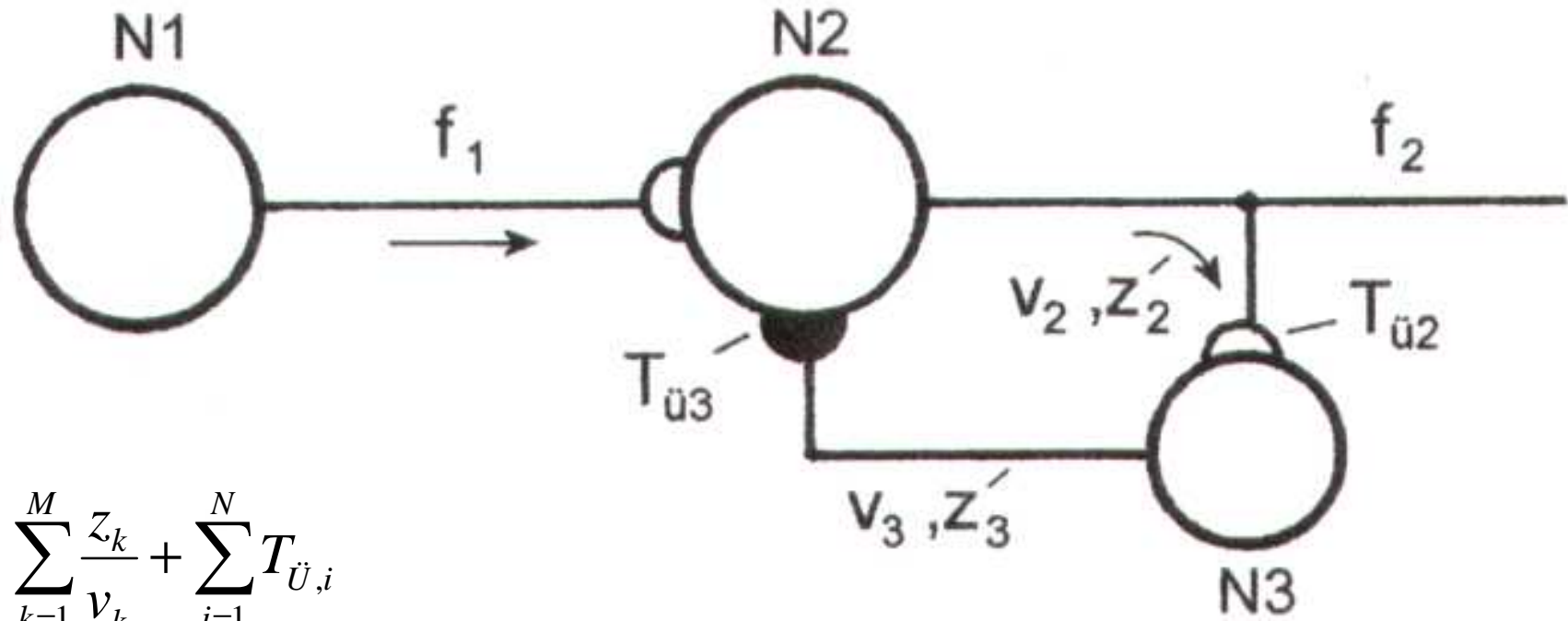




$$\Delta u_{AH,k} = \Delta u_k \cdot e^{\frac{-a_k}{\lambda_k}}$$

$$u_{AH} = U_{A,AH} + \Delta u_{AH} = U_{A,AH} + \sum_N \Delta u_K \cdot e^{\frac{-a_K}{\lambda_K}} > U_{S,AH}$$





$$T_s = \sum_{k=1}^M \frac{z_k}{v_k} + \sum_{i=1}^N T_{\ddot{u},i}$$

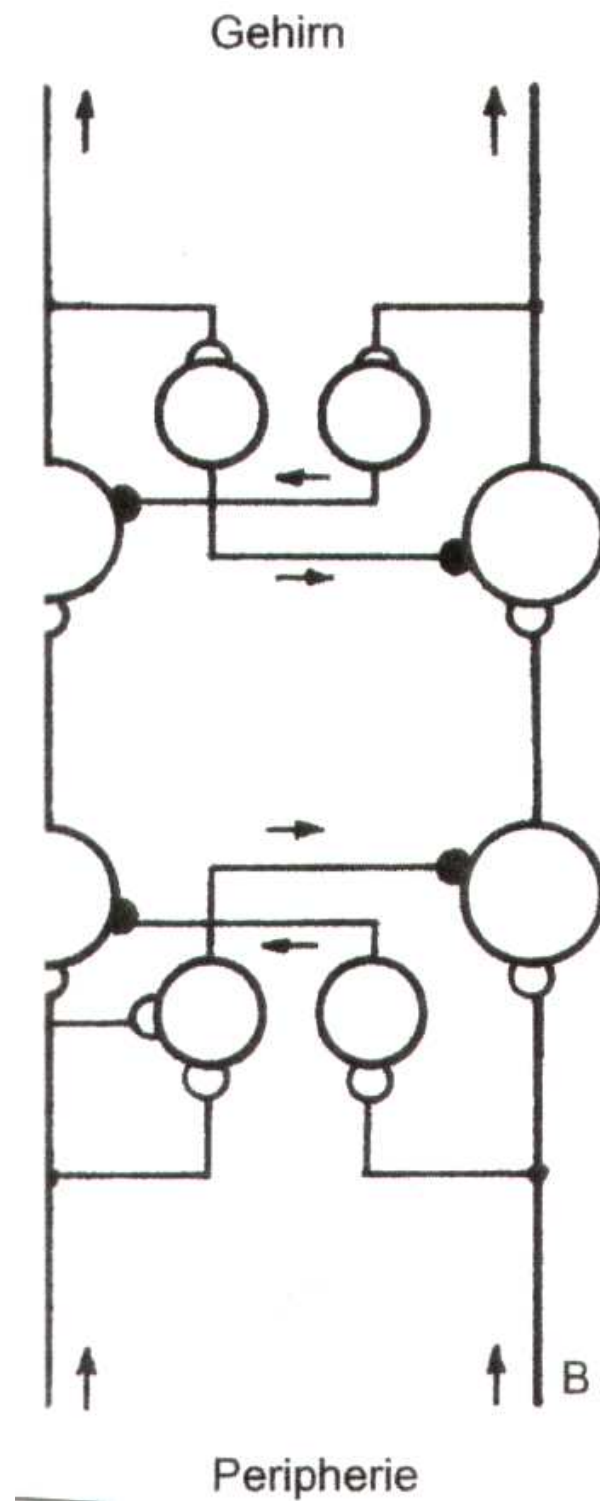
$$T_1 = T_2 + T_3 = \left( \frac{z_2}{v_2} + T_{\ddot{u}2} \right) + \left( \frac{z_3}{v_3} + T_{\ddot{u}3} \right)$$

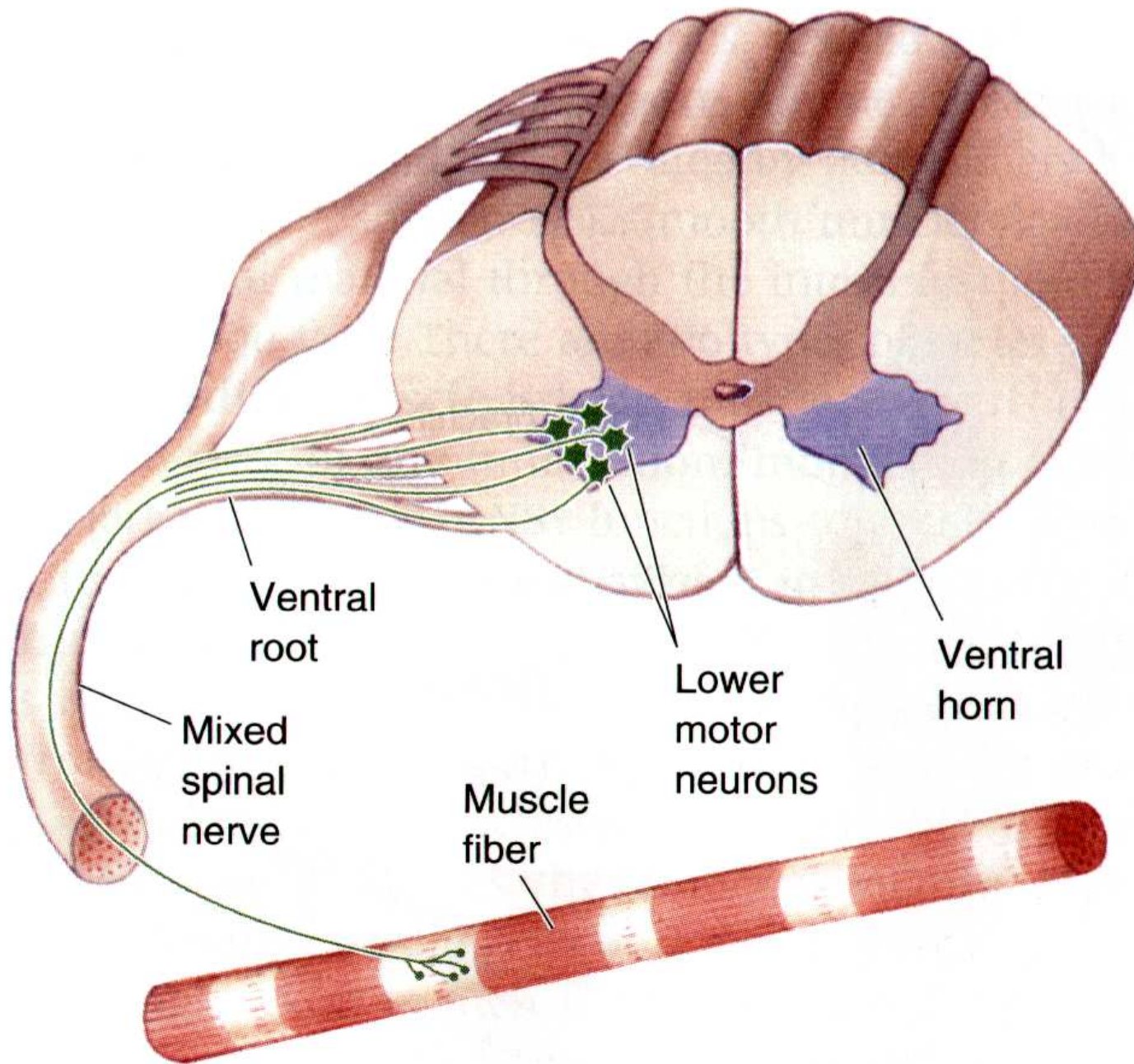
$$f_1 = 100\text{Hz d.h. } T_1 = 10\text{ms}, T_{\ddot{u}2} = T_{\ddot{u}3} = 1\text{ms}, v_2 = v_3 = 1\text{mm/ms}$$

$$10\text{ms} = 1\text{ms/mm} \cdot z_2 + 1\text{ms} + 1\text{ms/mm} \cdot z_3 + 1\text{ms}$$

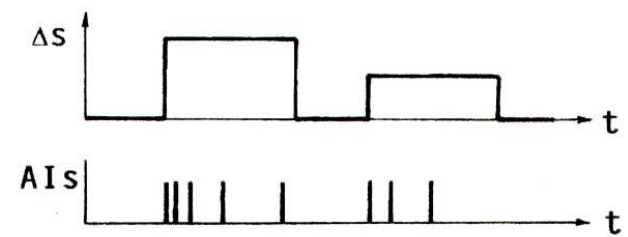
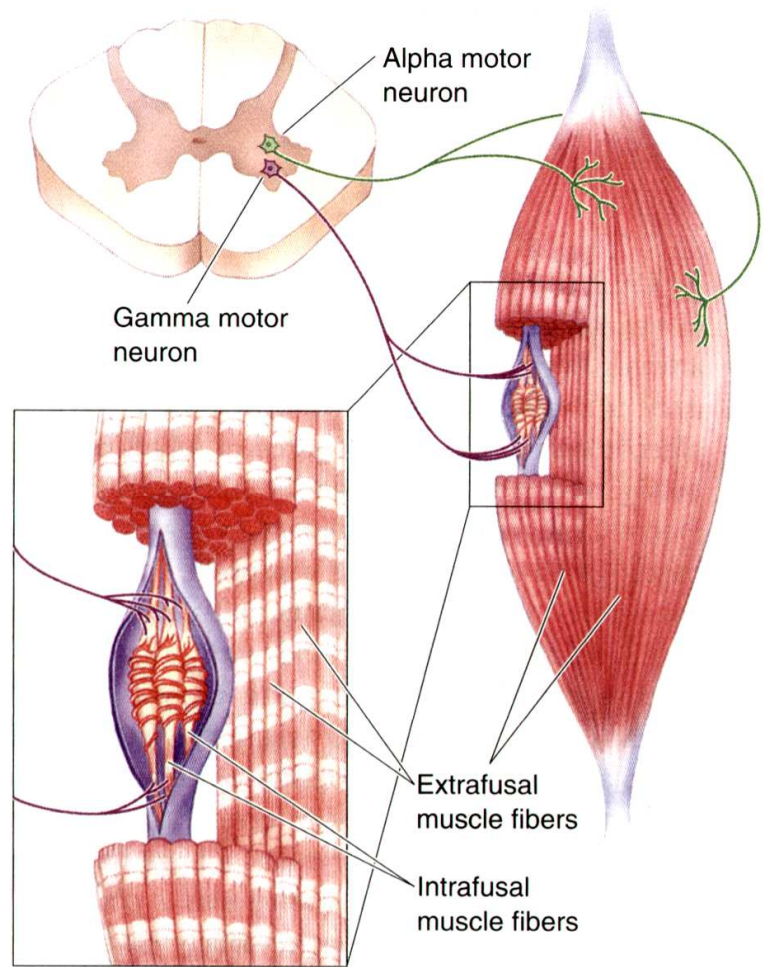
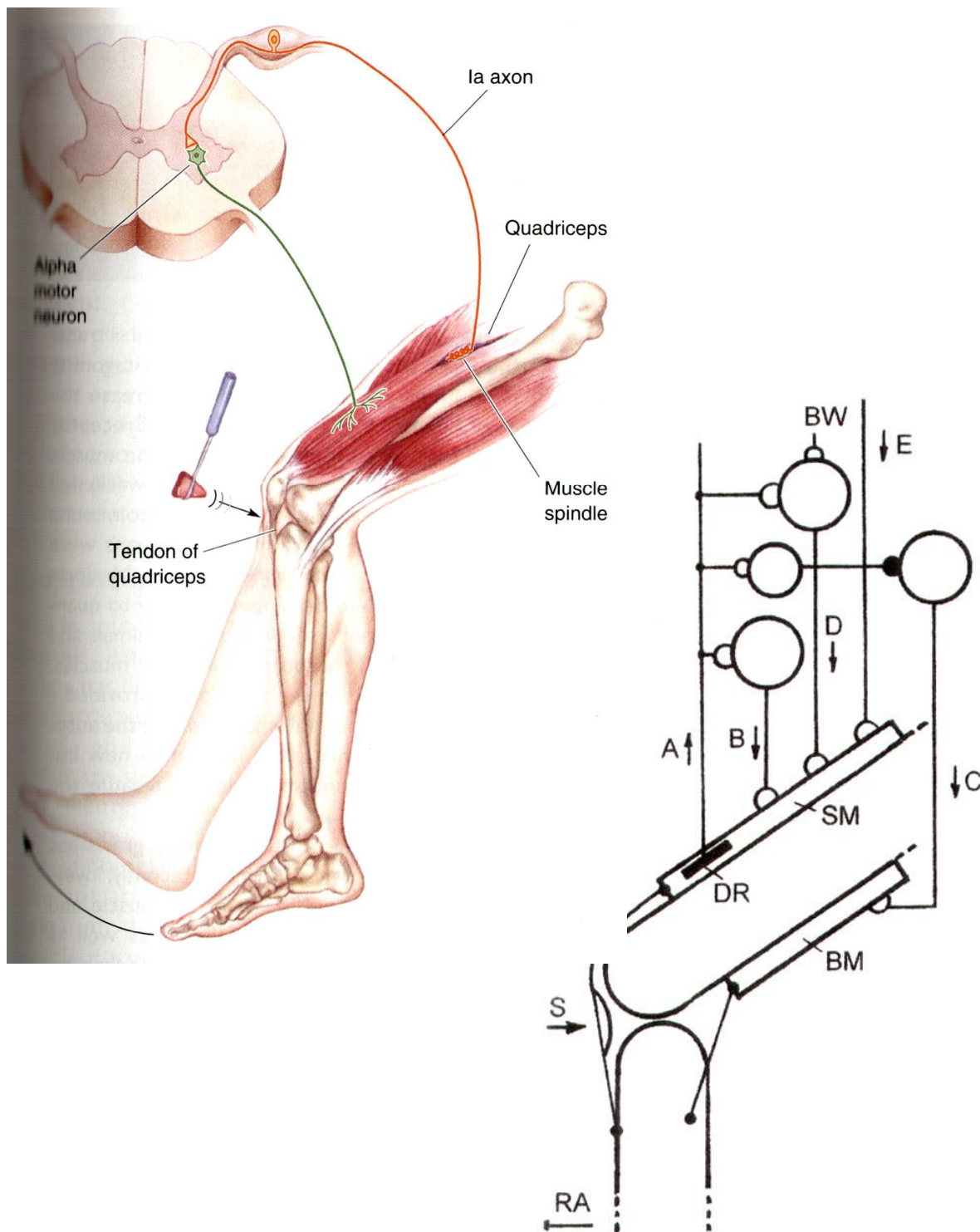
$$8\text{ms} = 1\text{mm/ms} \cdot (z_2 + z_3)$$

$$z_2 + z_3 = 8\text{mm}$$



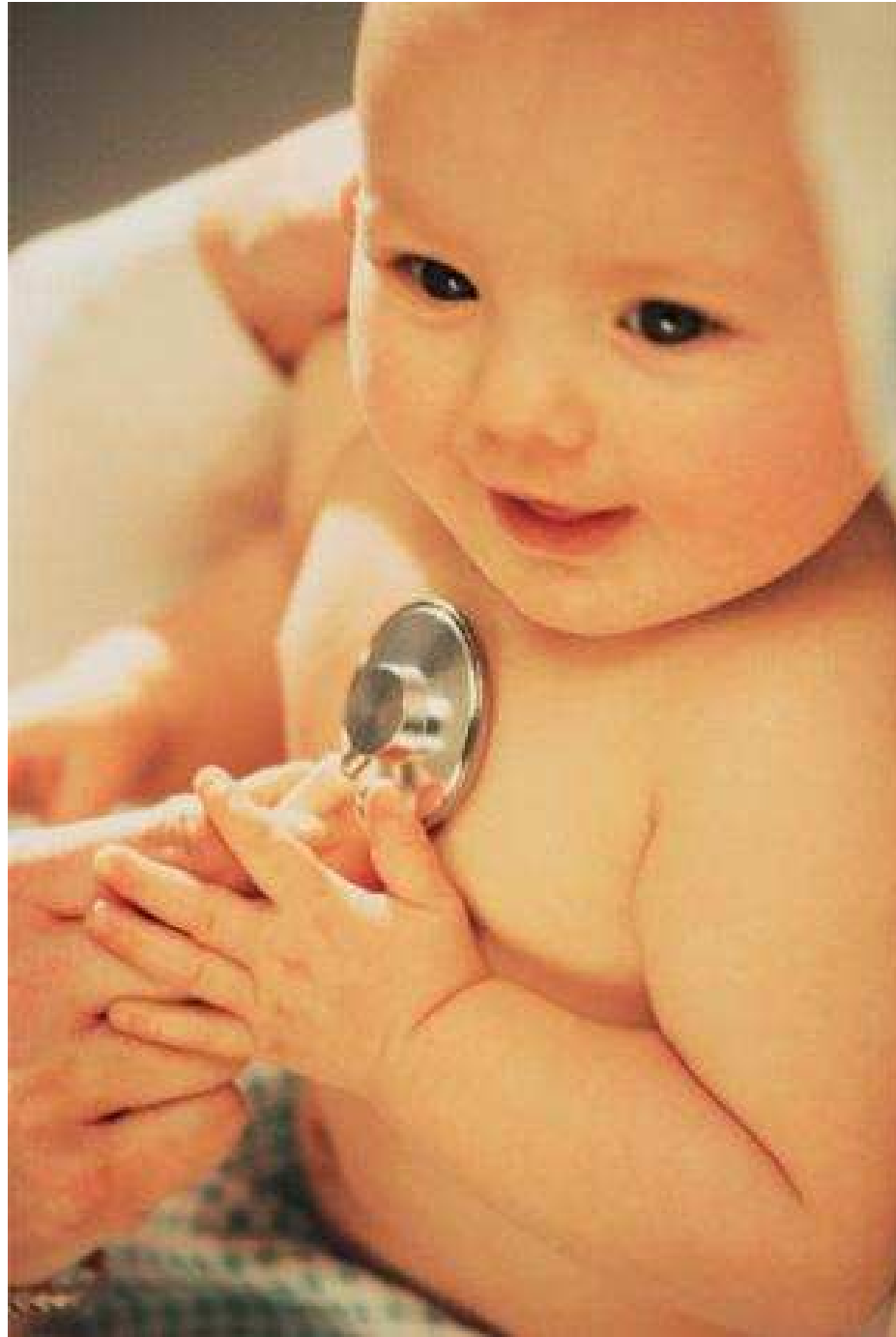




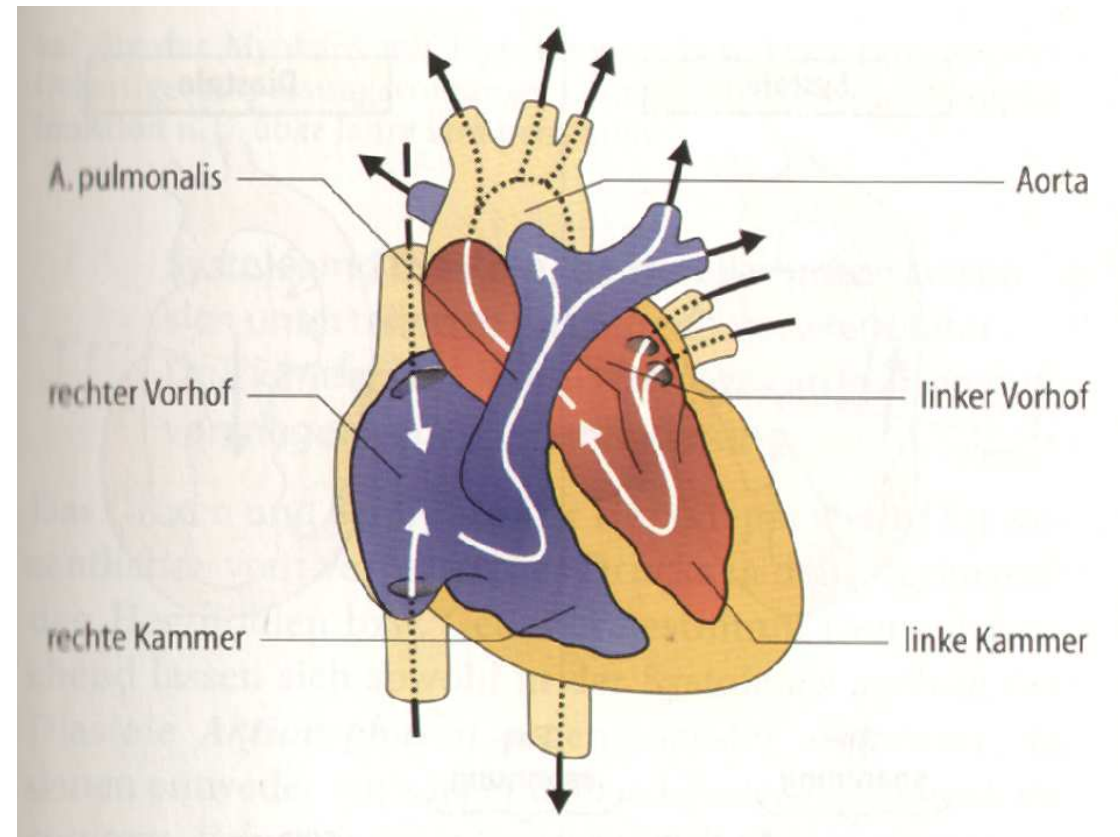
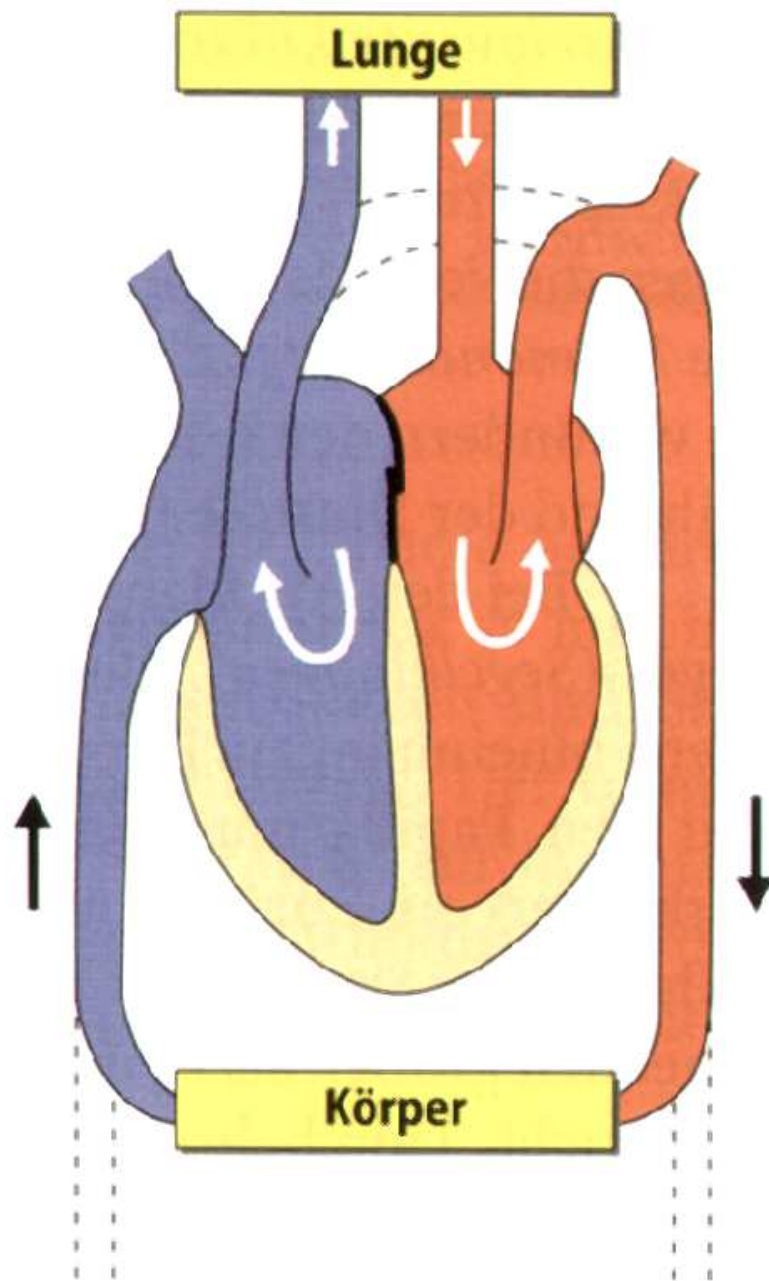


Der Kniesehnenreflex, Abbildungen aus „Neuroscience, Exploring the Brain“

# Biosignale (Herztöne und EKG)

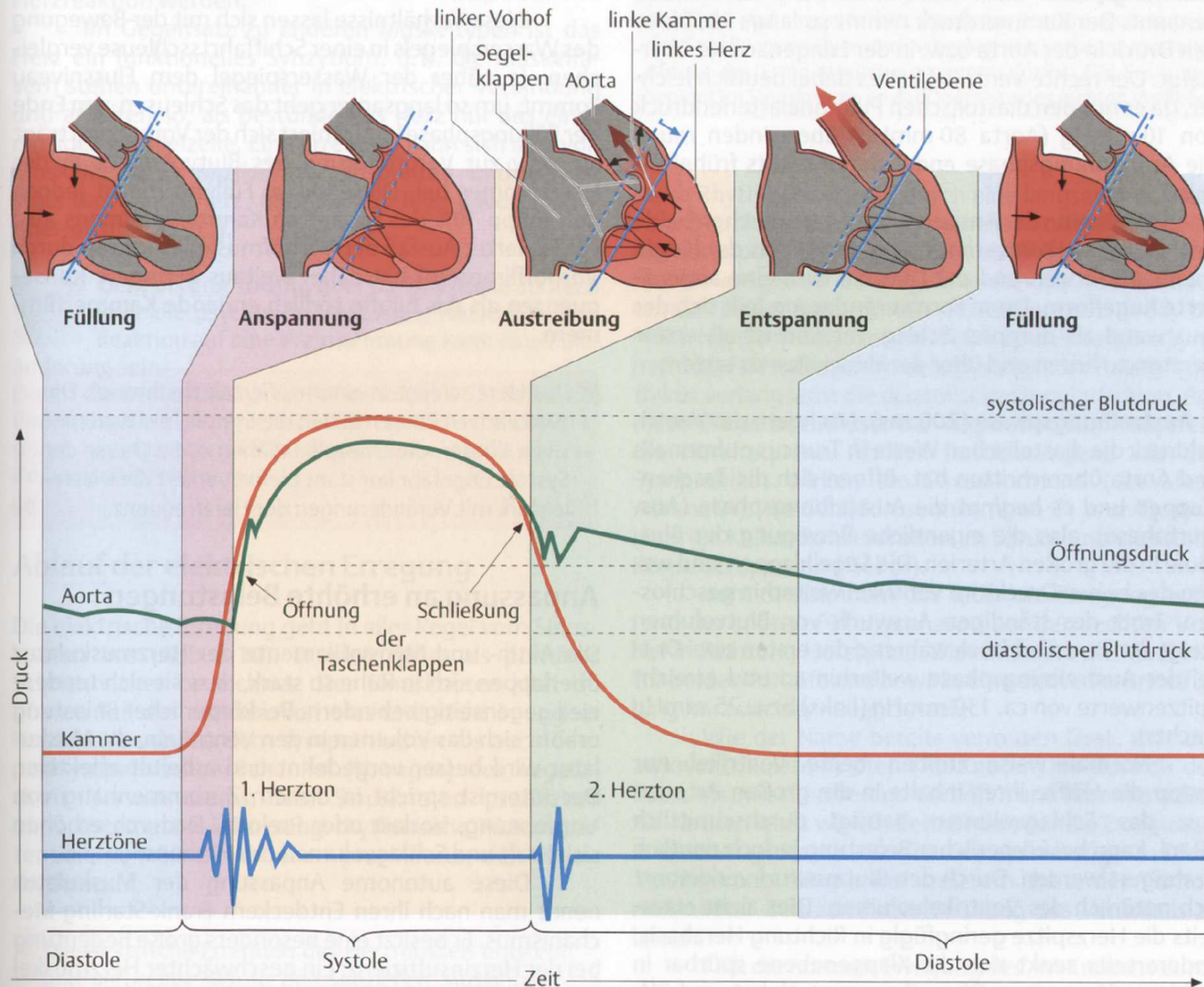


Akustische Biosignale, Abbildung aus dem Internet

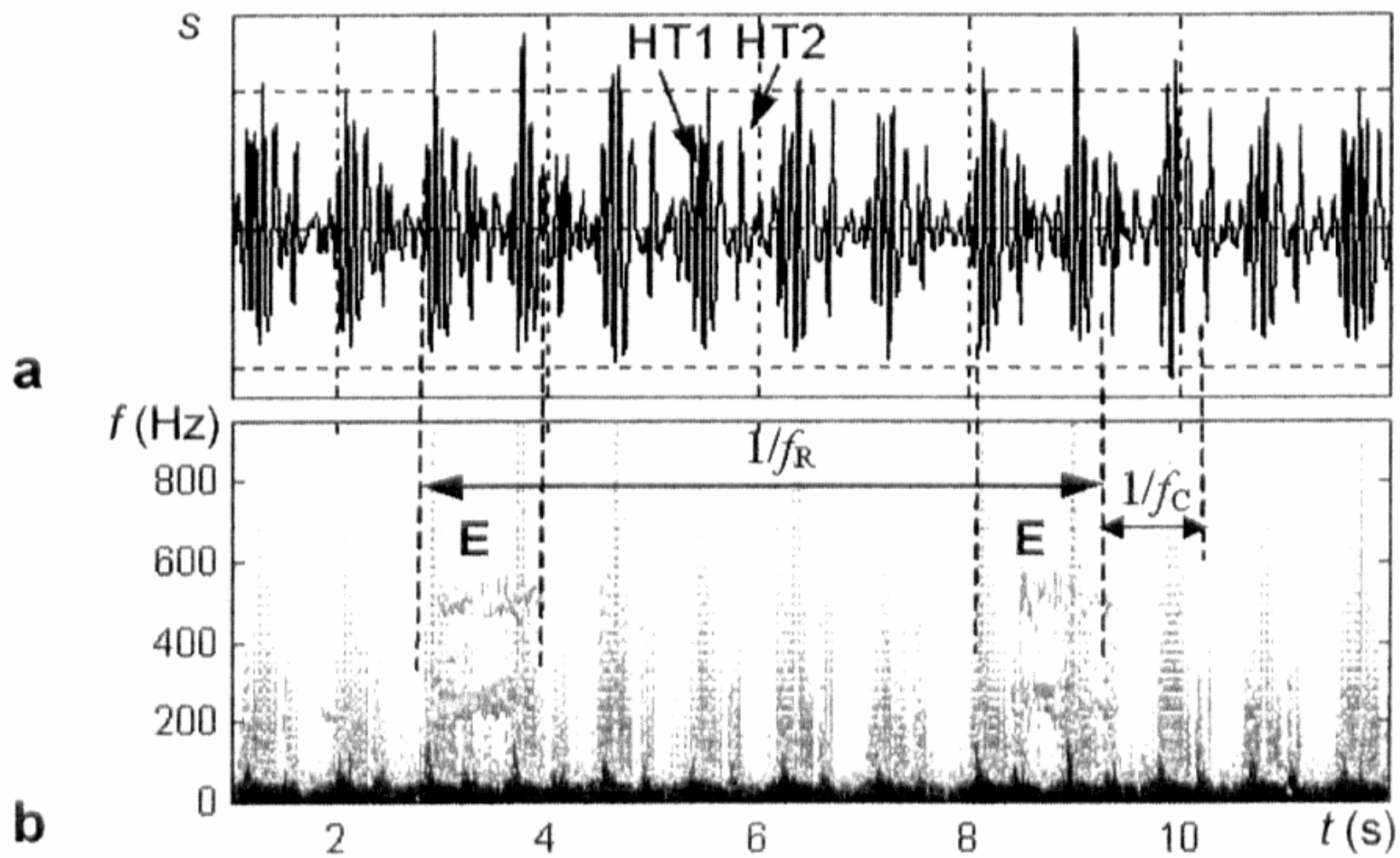




# Phasen der Herztätigkeit

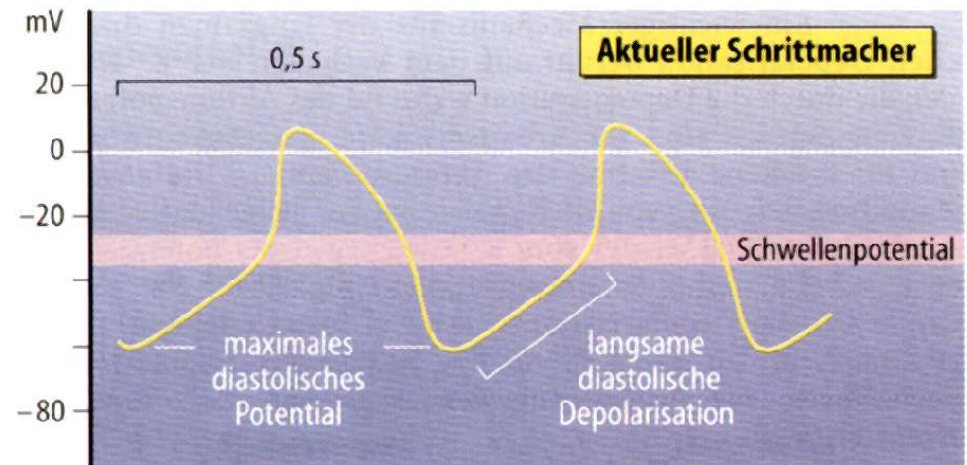
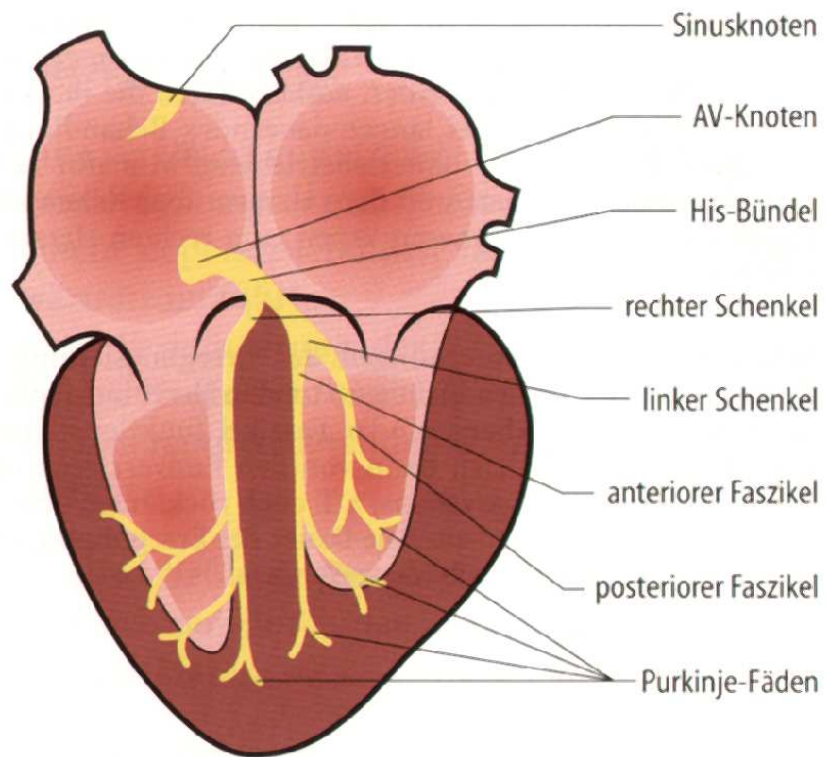


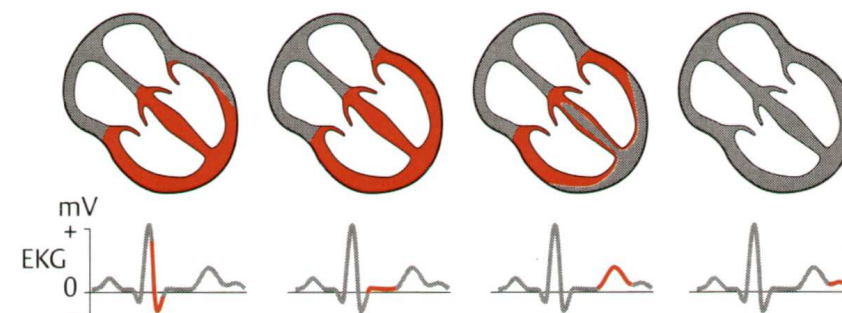
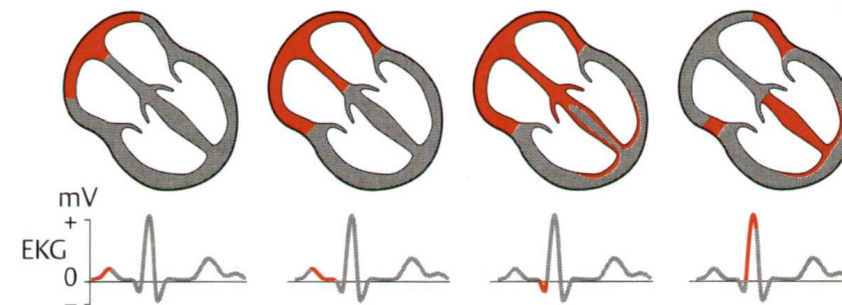
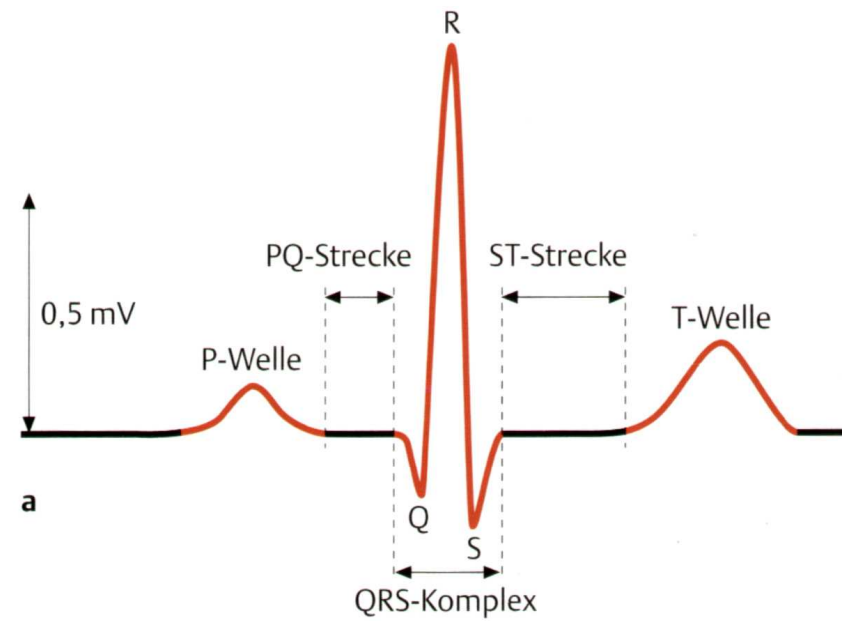
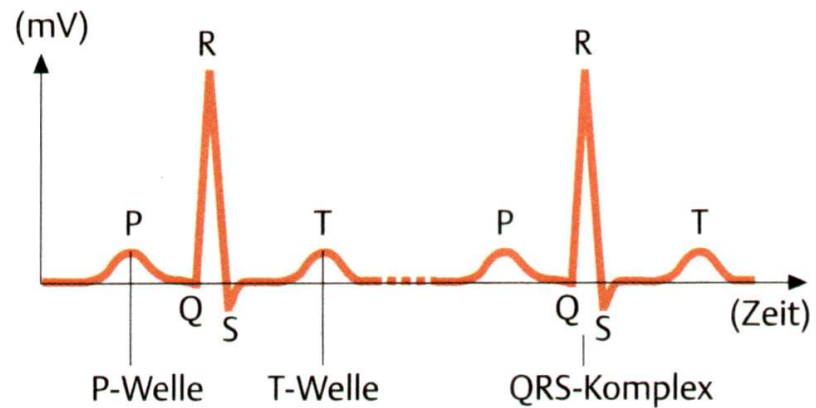
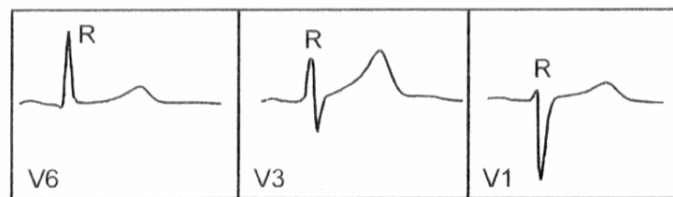
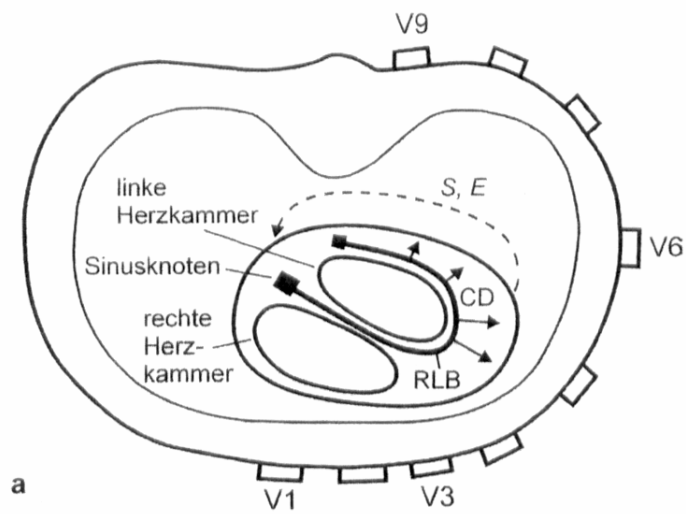






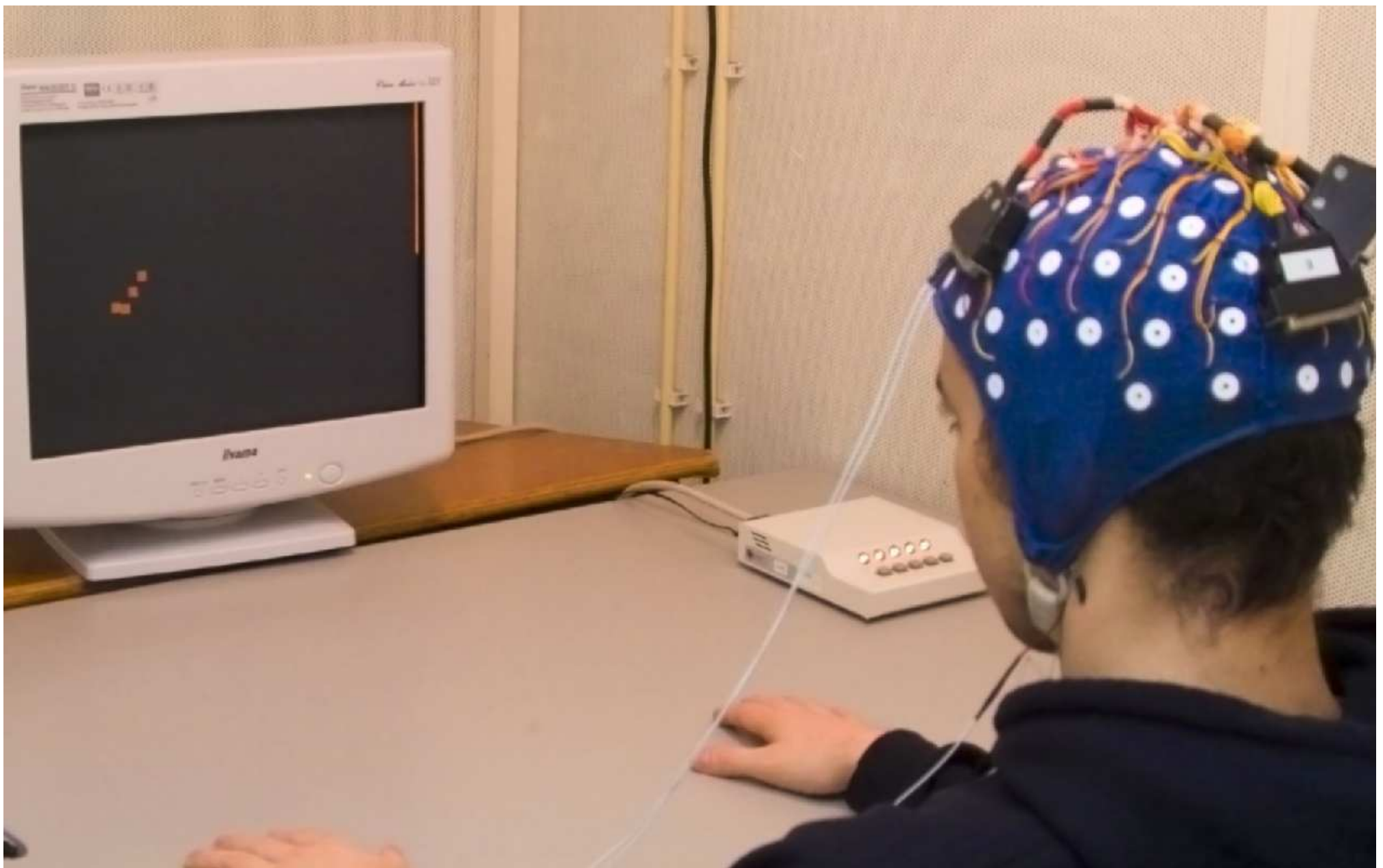
EKG, Abbildung aus dem Internet





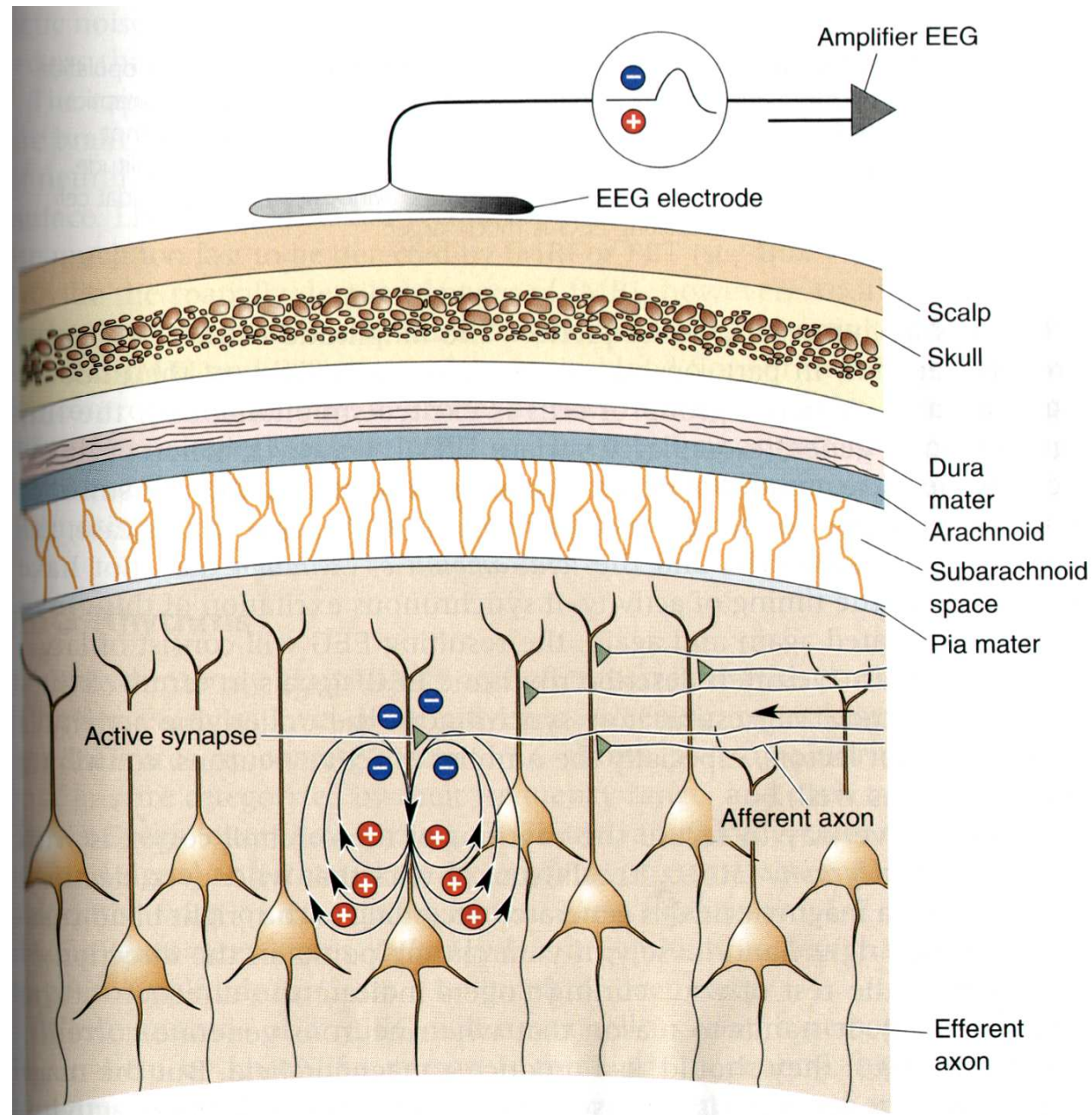
# Biosignale (EEG)





EEG-Ableitung, Abbildung aus dem Internet





Erzeugung schwacher elektrischer Felder durch synaptische Ströme, Abbildung aus „Neuroscience, Exploring the Brain“

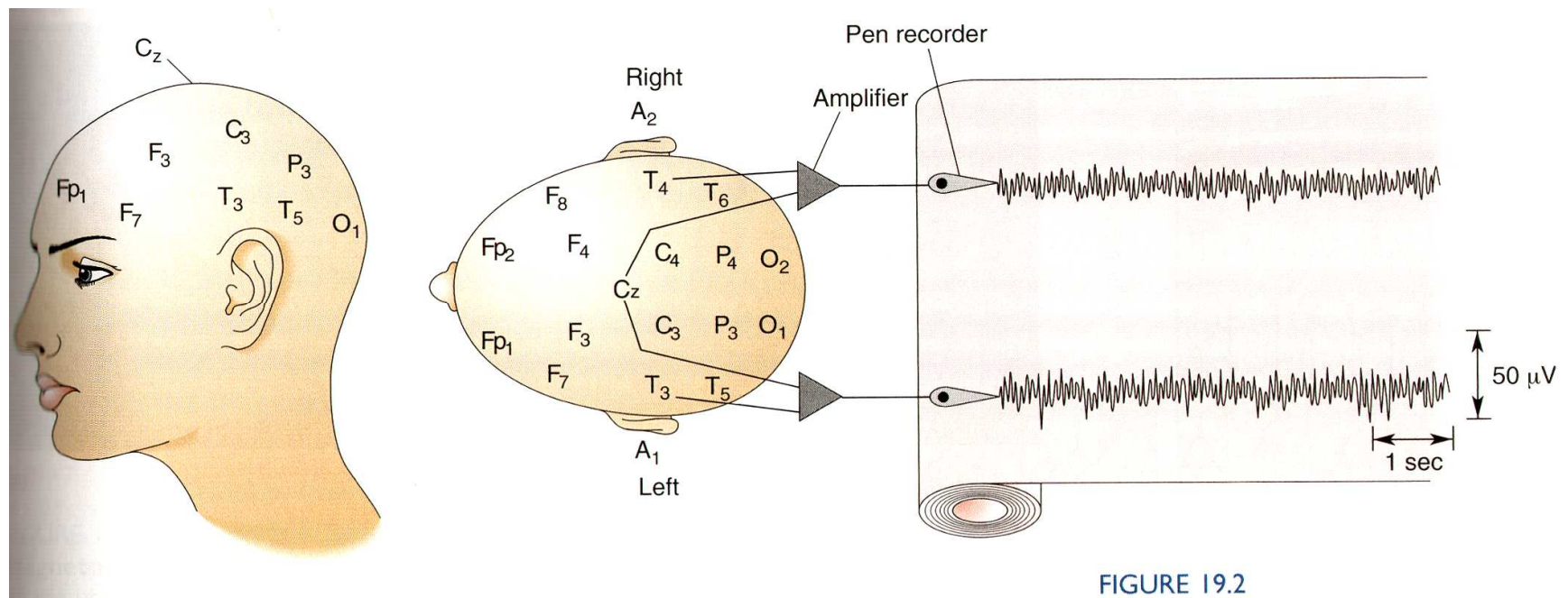
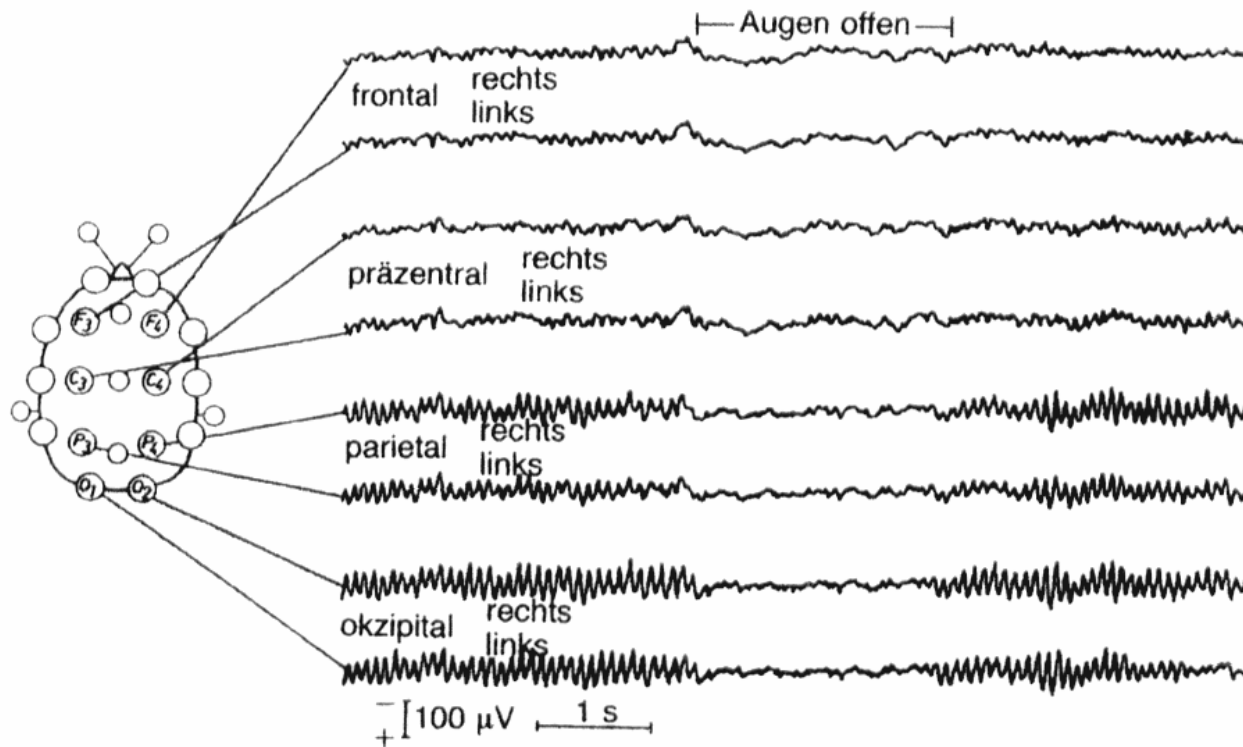
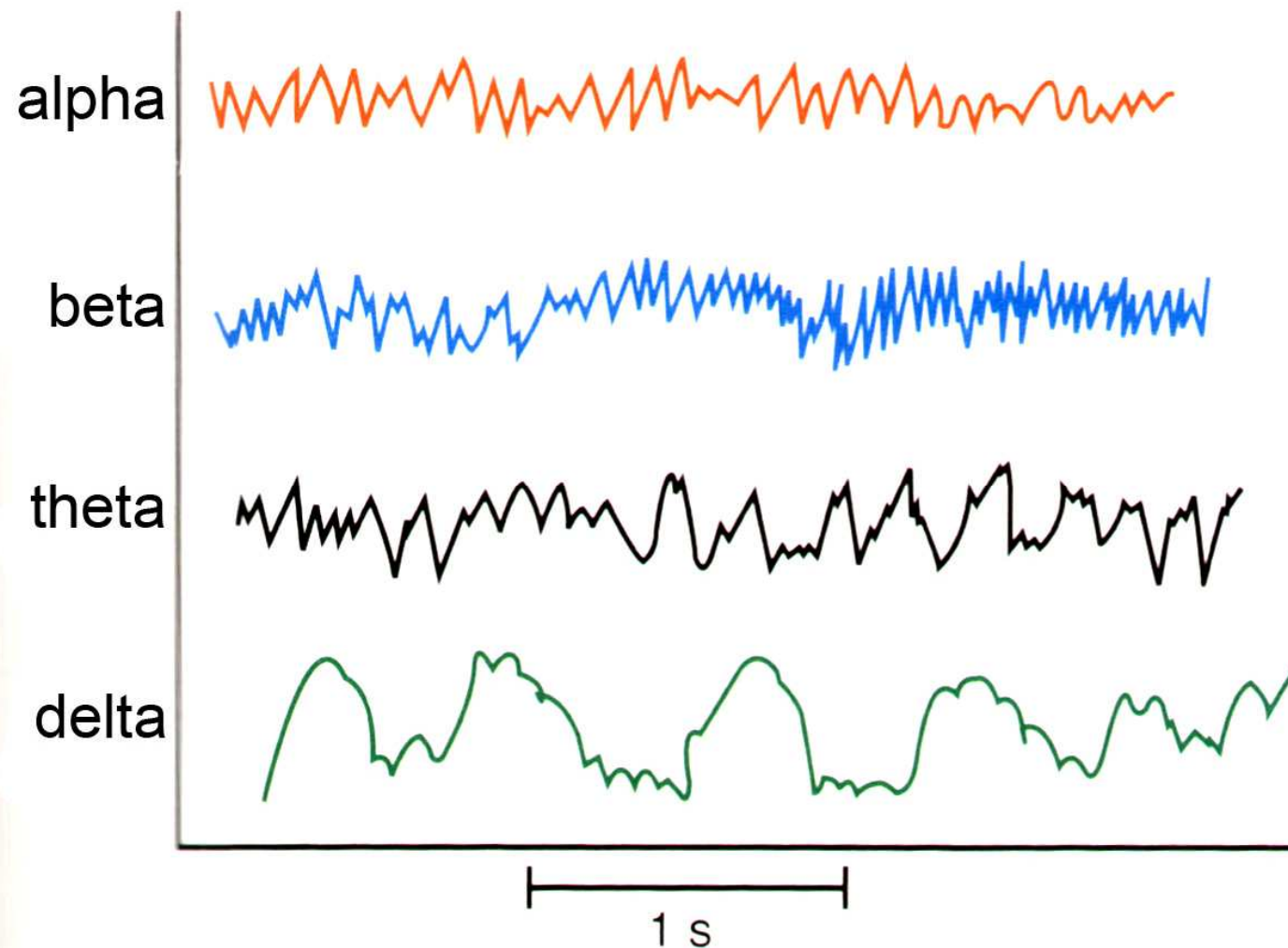


FIGURE 19.2





Alpha-Wellen: 8-13 Hz (in Ruhe bei geschlossenen Augen)

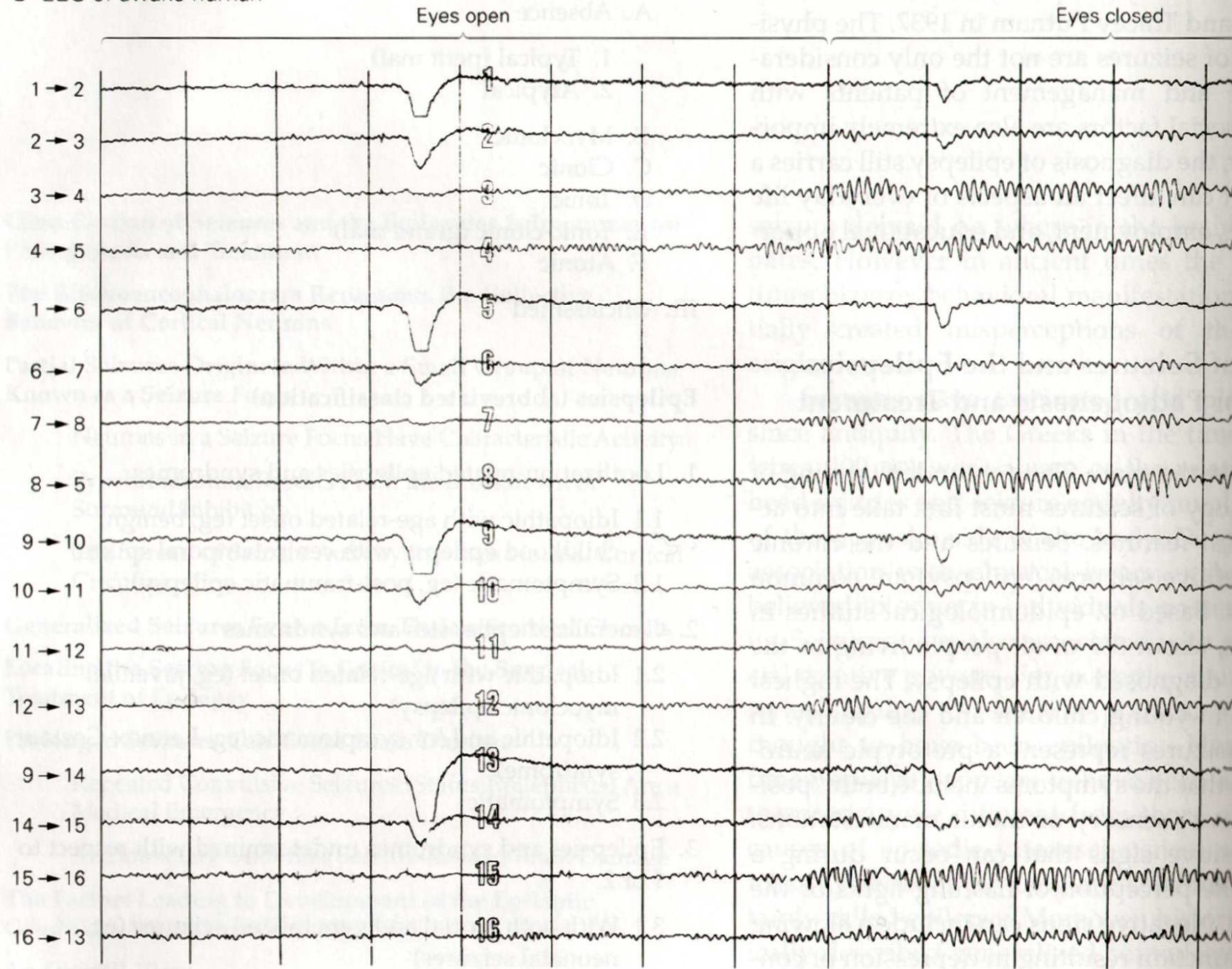
Beta-Wellen: 15-30 Hz (bei Sinnesreizen, geistiger Tätigkeit)

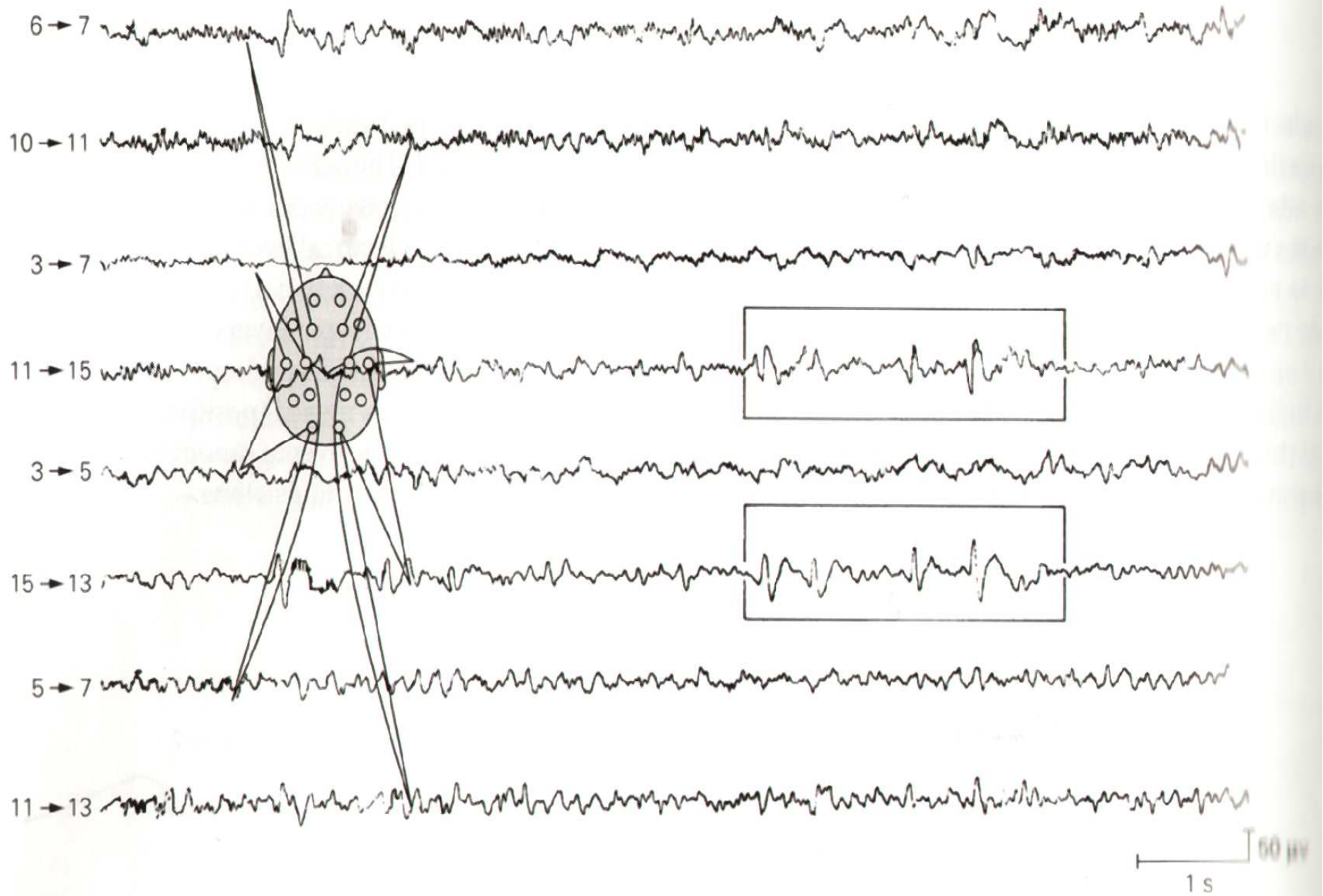
Gamma-Wellen: 30-40 Hz (Lern und Aufmerksamkeitsprozesse)

Delta und Theta Wellen: bis ca. 7 Hz (Schlaf)



**B** EEG of awake human





Epileptisches EEG, Abbildung aus „Principles of Neuroscience“