



RWTH
FORSCHUNG UND LEHRSTUHL FÜR
ZOOLOGIE/TIERPHYSIOLOGIE

INSTITUT FÜR BIOLOGIE II
LEHRSTUHL FÜR
ZOOLOGIE/TIERPHYSIOLOGIE

Vorlesung für Informatiker

WS 2000/01 Vorlesungsstunde 8-10 (Freitag 4.5.01)

Themen: Grundlegende Neuroanatomie und -physiologie

8. Stunde

Einführung in die Anatomie des Neurons

Nomenklatur (Dendr., Axon, Kollaterale, Soma, Spines)

Glia: Typen der Gliazellen, Morphologie und Funktion

Einfache Nervensysteme

Grundlegender Aufbau des Vertebratennervensystems

Peripheres Nervensystem, Zentrales ~, Autonomes ~

9. Stunde

Donnan-Gleichgewicht

Relevante Elemente der Zellmembran

Nernstformel und Nernstpotentiale

Goldmann-Gleichung

Membranstrukturen und Entsprechungen in der

Elektronik: Widerstand/ Leitfähigkeit, Kapazität

Ruhepotential und Aktionspotential

Fortleitung des Aktionspotentials

10. Stunde

Synaptische Übertragung an chemischen Synapsen

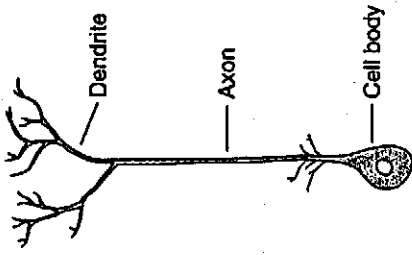
Transmitterfreisetzung, Calcium, Transmitterwirkung

Postsynaptische Vorgänge: EPSP und IPSP

Überblick über die verschiedenen Rezeptoren

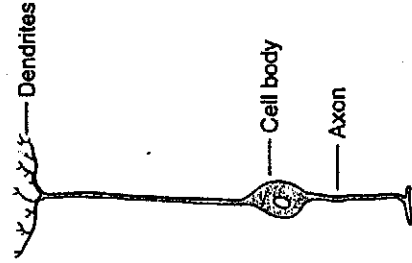
Überblick über die verschiedenen Second-messenger

A Unipolar cell



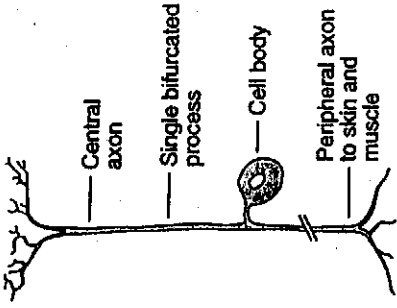
Invertebrate neuron

B Bipolar cell



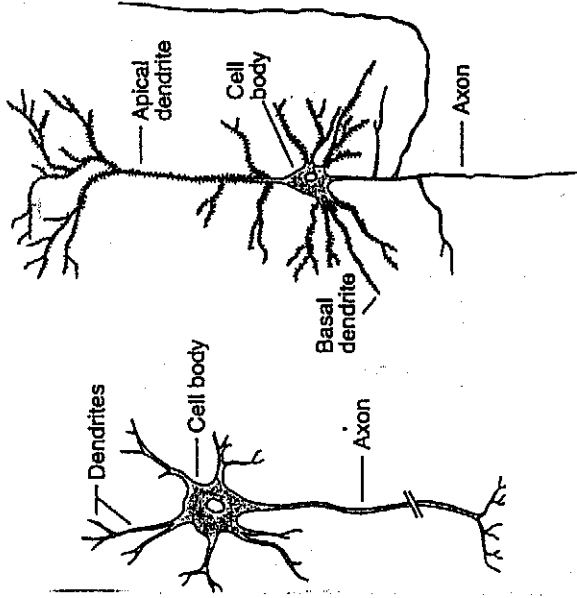
Bipolar cell of retina

C Pseudo-unipolar cell



Ganglion cell of dorsal root

D Three types of multipolar cells

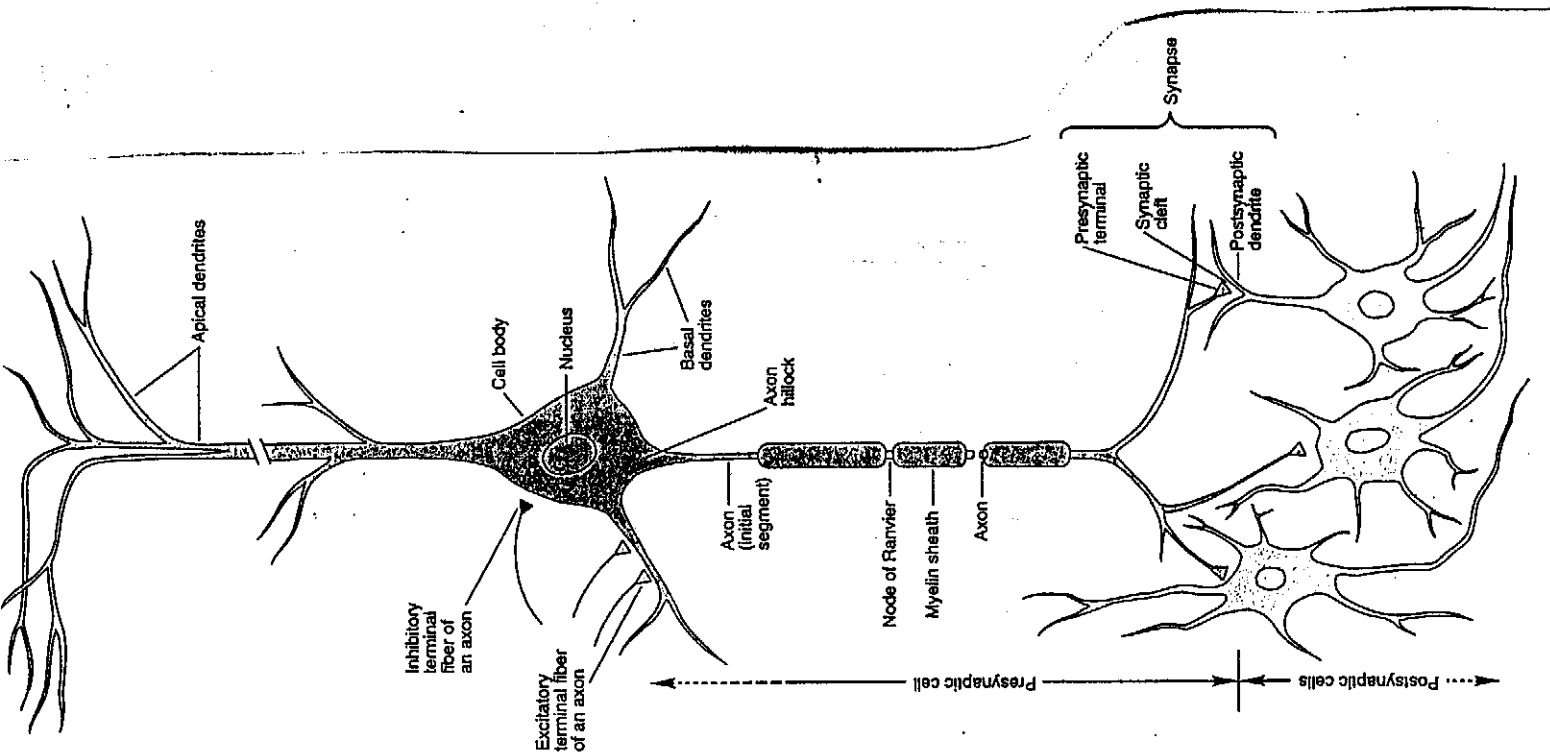


Motor neuron of spinal cord

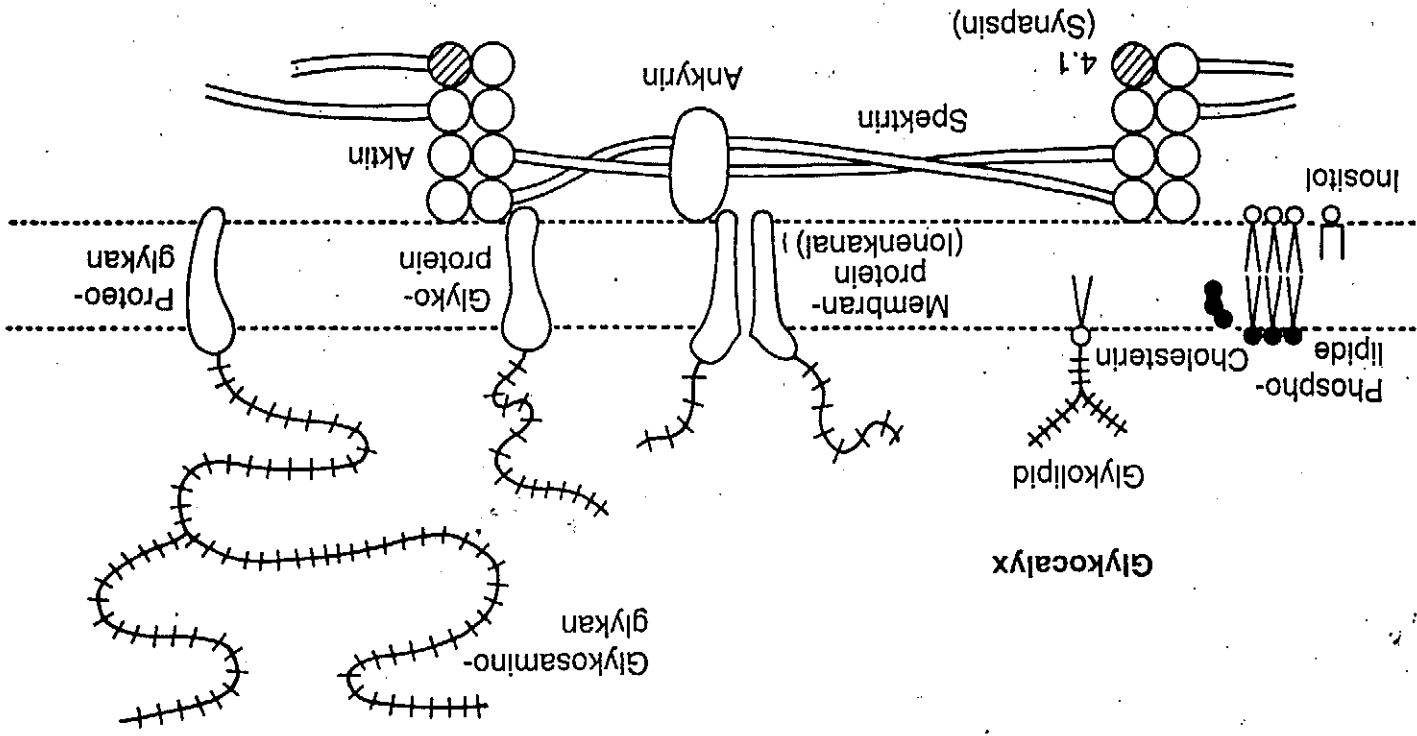
Pyramidal cell of hippocampus

Purkinje cell of cerebellum

Aus: Kandel/Schwartz/Jessel, Essentials of Neural Science and Behavior, Appleton and Lange, 1995.



Aus: Kandel/Schwartz/Jessel, Principles of Neural Science, 3. Auflage, Appleton and Lange, 1991



Aus: Shepherd, Neurobiologie, 2. Auflage, Springer 1993

Übersicht über Gliazelltypen

Typ	Herkunft	Wichtigste Funktion(en)
Im ZNS:		
Astrocyten	Ektoderm	Blut-Hirn-Schranke
Oligodendrocyten	Ektoderm	Myelinisierung von Axonen
Mikrogliazellen	Mesoderm	Phagocytose im ZNS
Radiale Glia	Ektoderm	Leitfunktion in der Entwicklung
Ependymzellen	Ektoderm	Ventrikelauskleidung
Im PNS:		
Schwann-Zellen	Ektoderm (Neuralleiste)	Myelinisierung von Axonen

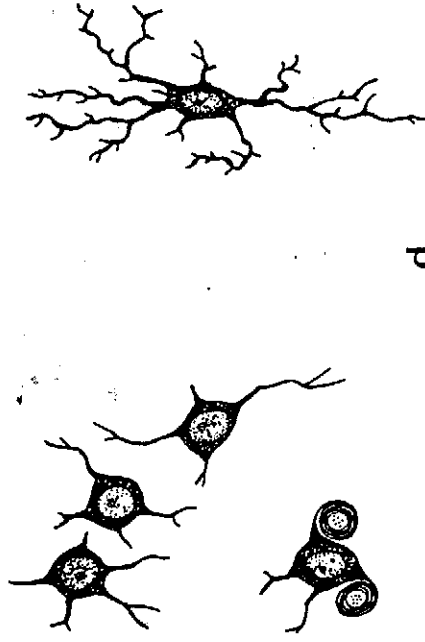
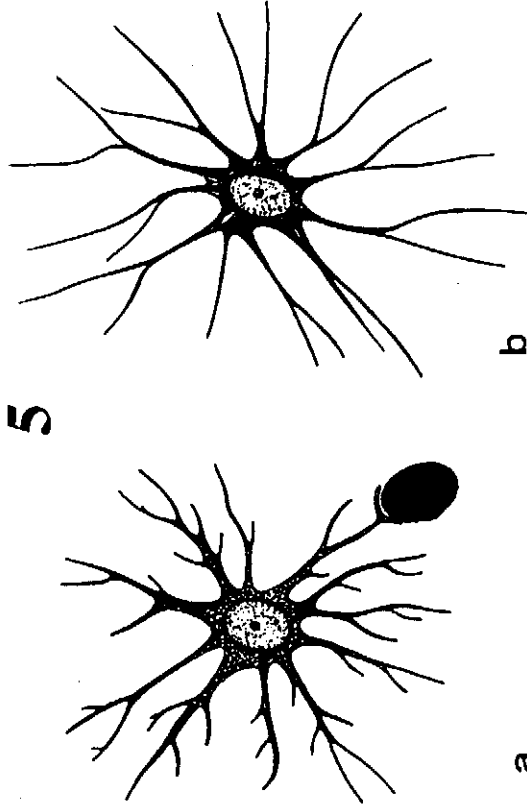
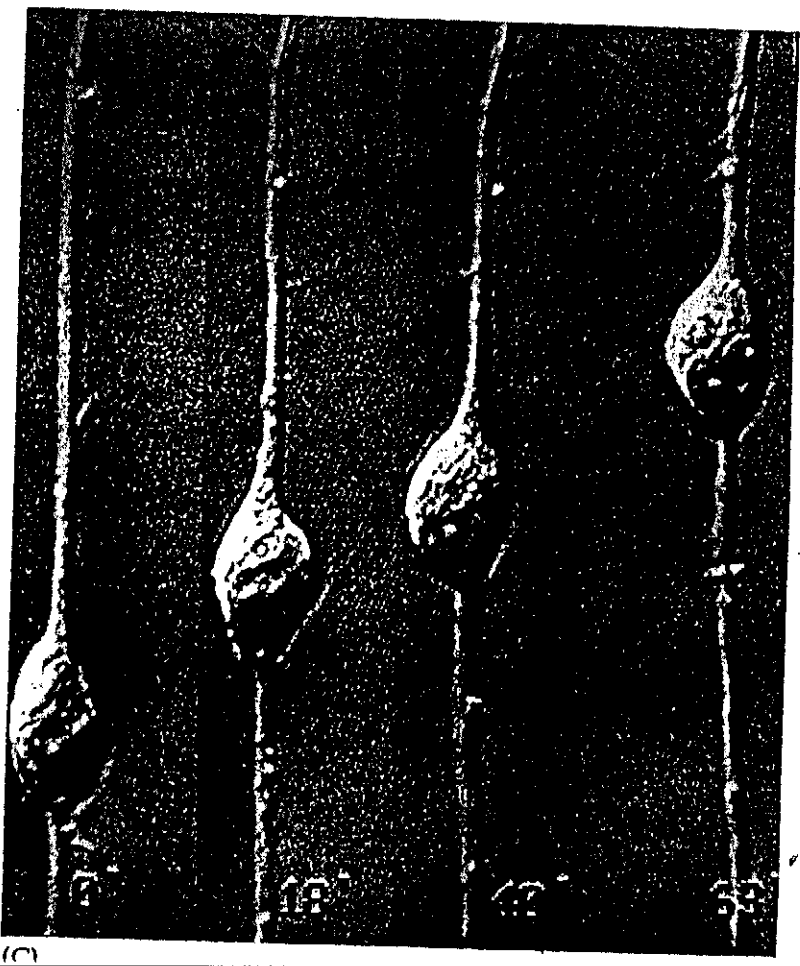
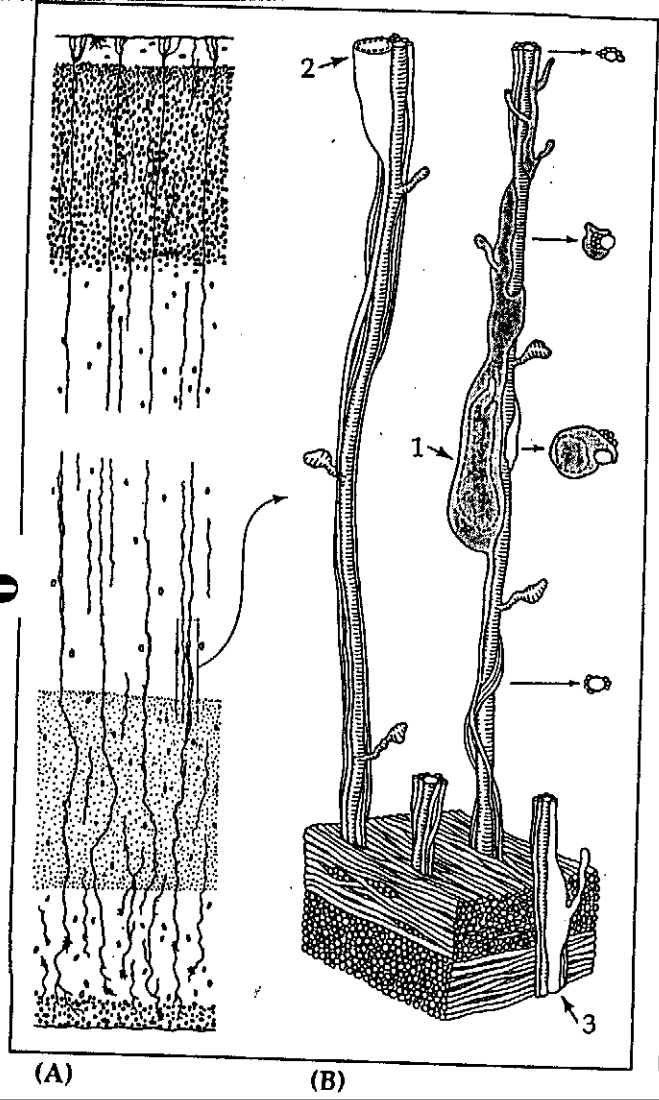


Abb. 3.8 a-d. Gliazelltypen. a Protoplasmatischer Astrozyt (man beachte die Beziehung zu einem Gefäß (rot)). b Fibrillärer Astrozyt. d Oligodendroglia (man beachte die Markscheidenumhüllung mehrerer Axone (gelb) durch einen Oligodendrocyt). d Mikroglia

6



us: Nicholls/Martin/Wallace, From Neuron to Brain, 3. Auflage, Sinauer, 1992

7

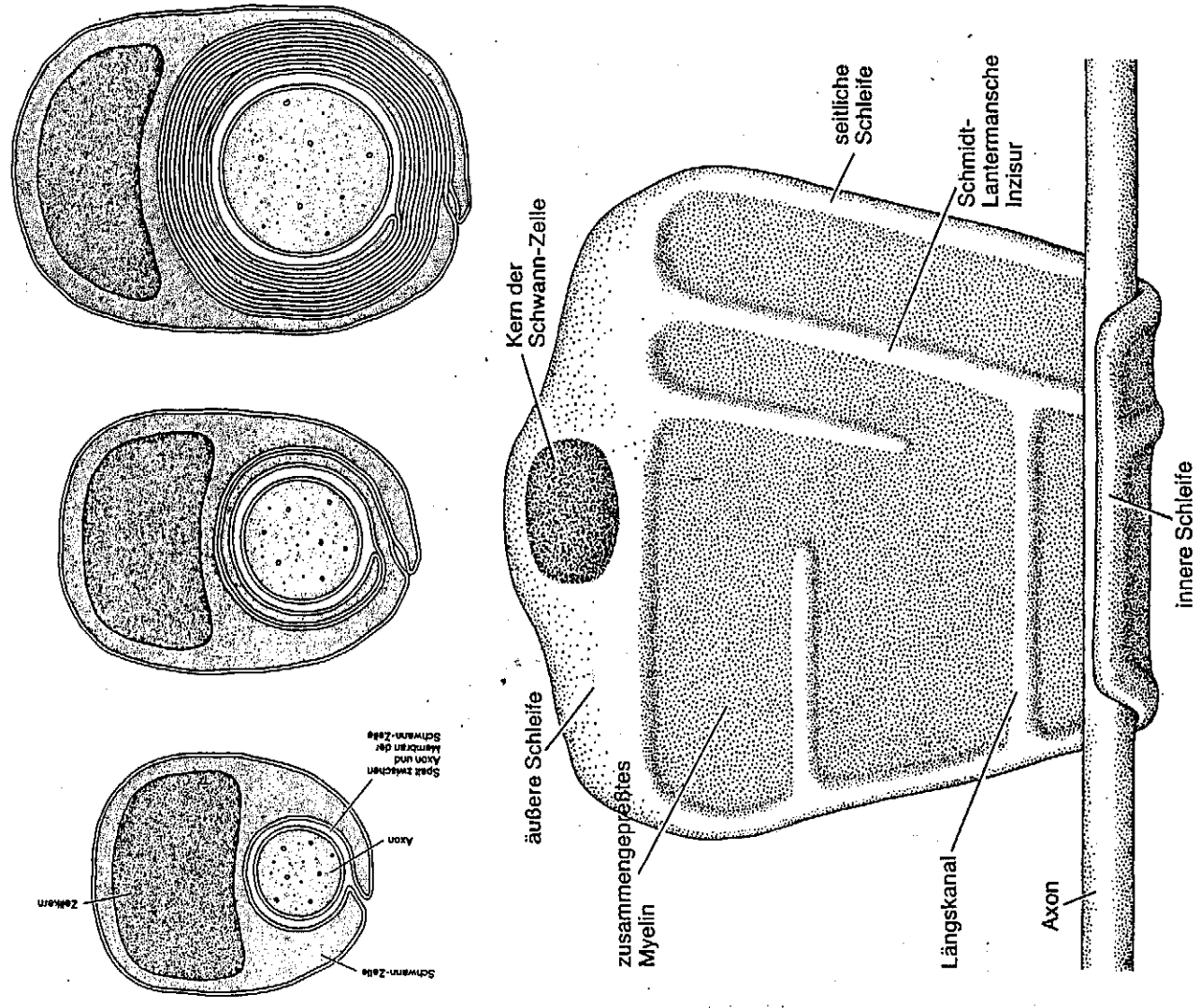
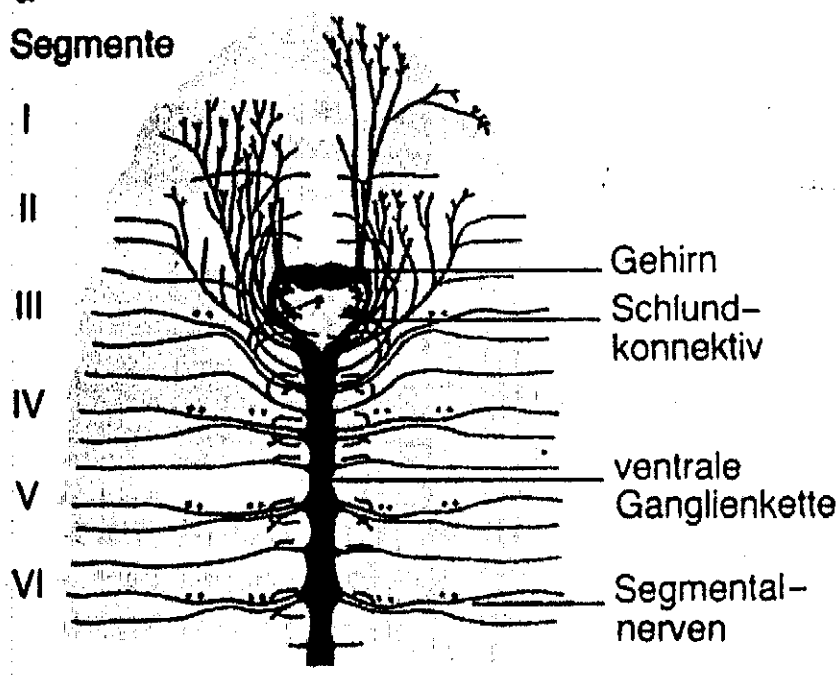


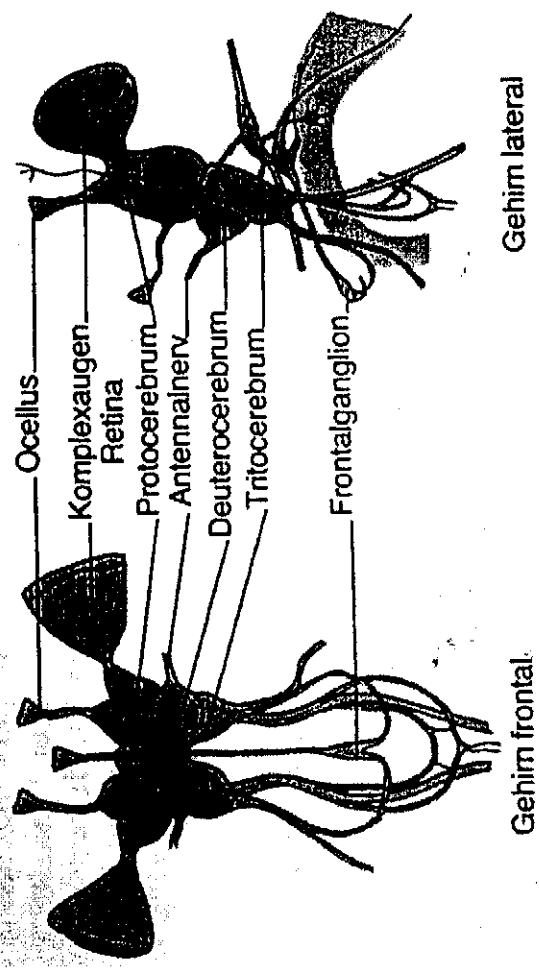
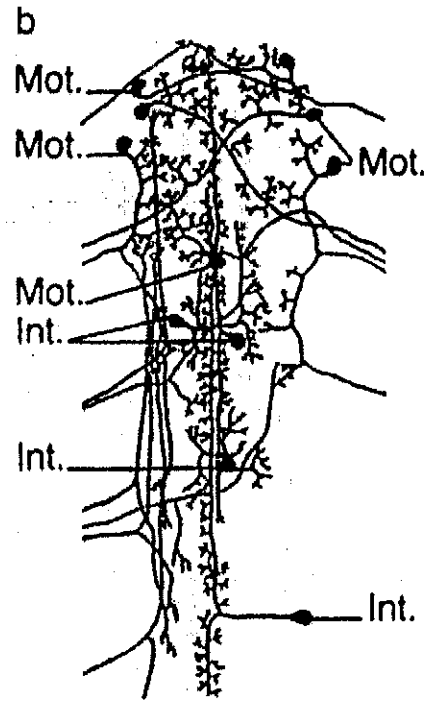
Bild 5: Hier ist ein Segment der Myelinhülle von dem Axon abgewickelt worden. Man erkennt, daß die Membranen, aus denen die Myelinschicht besteht, nicht überall fest zusammengepreßt sind, sondern daß sich zwischen ihnen noch Kanäle befinden, die Zellplasma enthalten. Kanäle, die von der innersten Wicklung bis zum Zellkörper der myelinbildenden Zelle laufen, heißen Schmidt-Lantermansche Inzisuren. Sie finden sich nur im Myelin der peripheren Nervenfasern, daß heißt der Nervenfasern außerhalb von Hirn und Rückenmark.

Morell, P., Norton, T.: Myelin. In: Gehirn und Nervensystem, Spektrum 1987.

a
Segmente

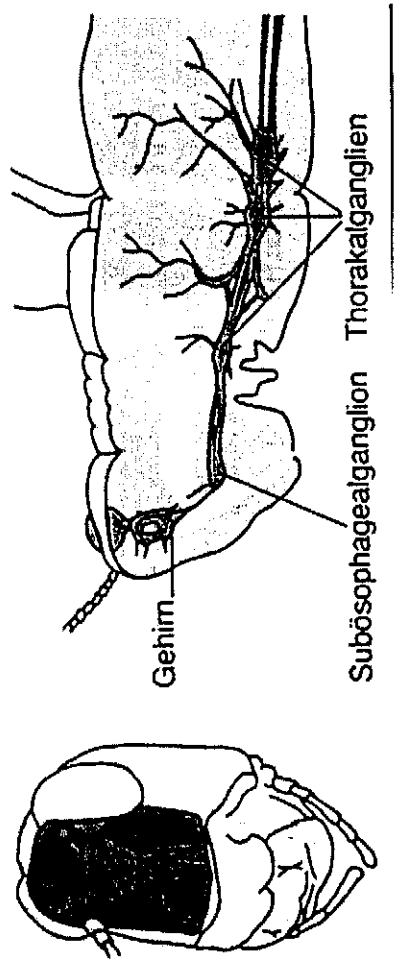


Das Nervensystem von Anneliden
 a) Gehirn, Ganglien-kette und Nervenbündel im anterioren Ende von *Lumbricus*.
 b) Motoneurone (Mot.) Und Interneurone (Int.) in der ventralen Ganglien-kette von *Lumbricus*.



Gehirn lateral

Gehirn frontal



Das Nervensystem von Insekten
 ZNS von *Locusta frontalis* und Seitenansicht der unterschiedlichen Gehirnregionen (oben). Gehirn und Ventralganglien in Relation zu Kopf und Körper (unten)

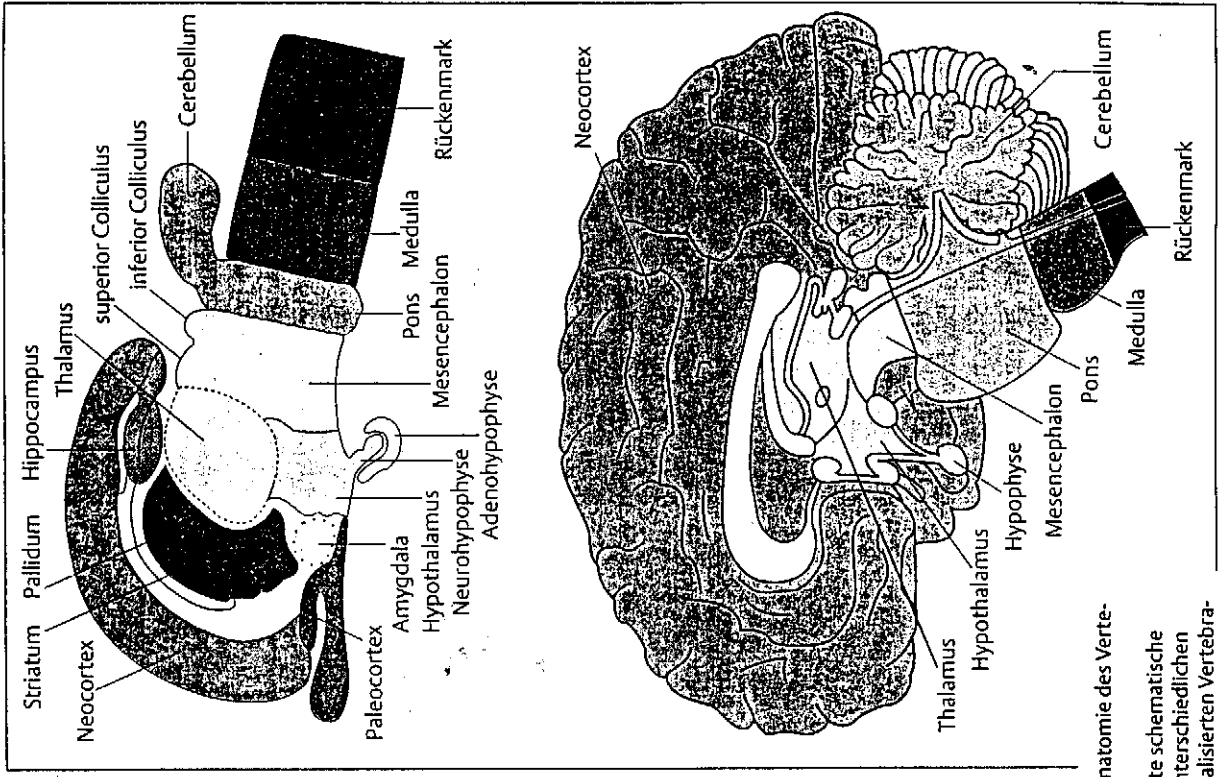
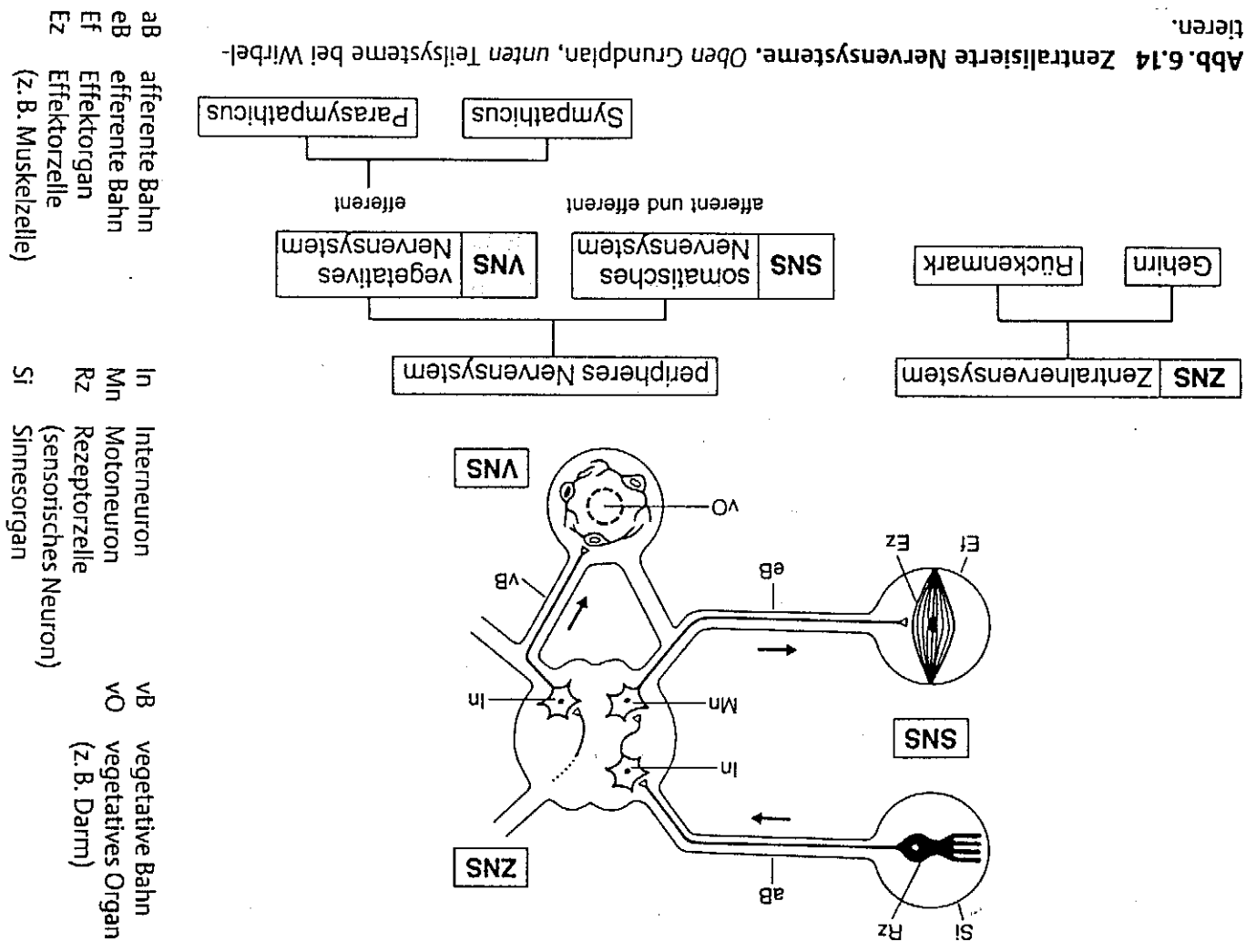


Abb. 1.8 Neuroanatomie des Vertebratengehirnes.
 a Stark vereinfachte schematische Darstellung der unterschiedlichen Bereiche eines idealisierten Vertebratengehirnes.
 b Schematische Darstellung der unterschiedlichen Bereiche des menschlichen Gehirnes (nach Nauta und Feirtag).

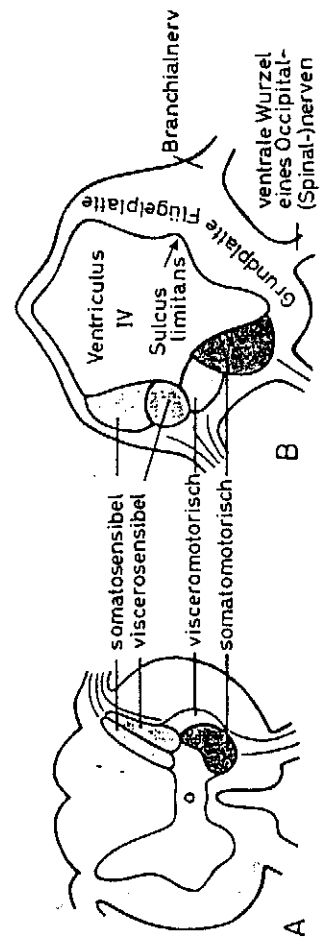
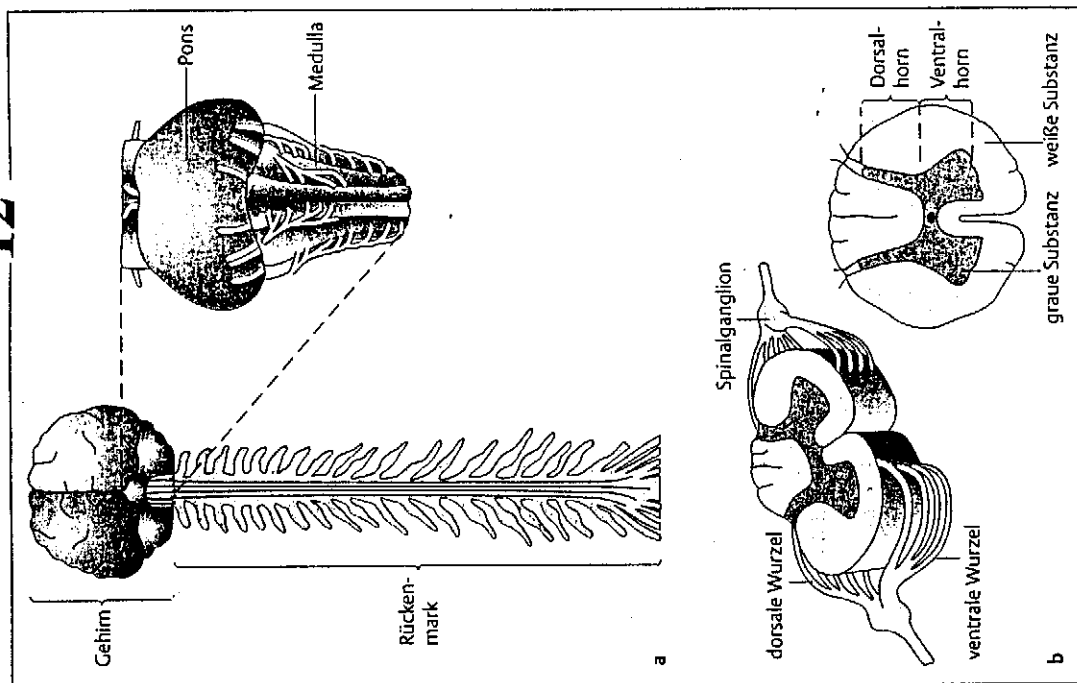
Aus: Reichert, Neurobiologie, 2. Auflage 2000, Thieme, Stuttgart.

Abb. 6.14 Zentralisierte Nervensysteme. Oben Grundplan, unten Teilsysteme bei Wirbeltieren.



Aus: Wehner und Gehring, Zoologie, 23. Auflage, Thieme.

Abb. 1.9 Gehirn und Rückenmark. Ventralansicht von Gehirn und Rückenmark des Menschen; kaudale Gehirnbereiche (Pons und Medulla) sind vergrößert dargestellt (oben). Der Querschnitt durch das menschliche Rückenmark zeigt sensorische Spinalganglien mit dorsalen und ventralen Wurzeln (links unten) sowie Dorsalhorn (sensorische Bereiche) und Ventralhorn (motorische Bereiche) der grauen Substanz (rechts unten).



Aus: Romer, Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere, 5. Aufl., Parey.

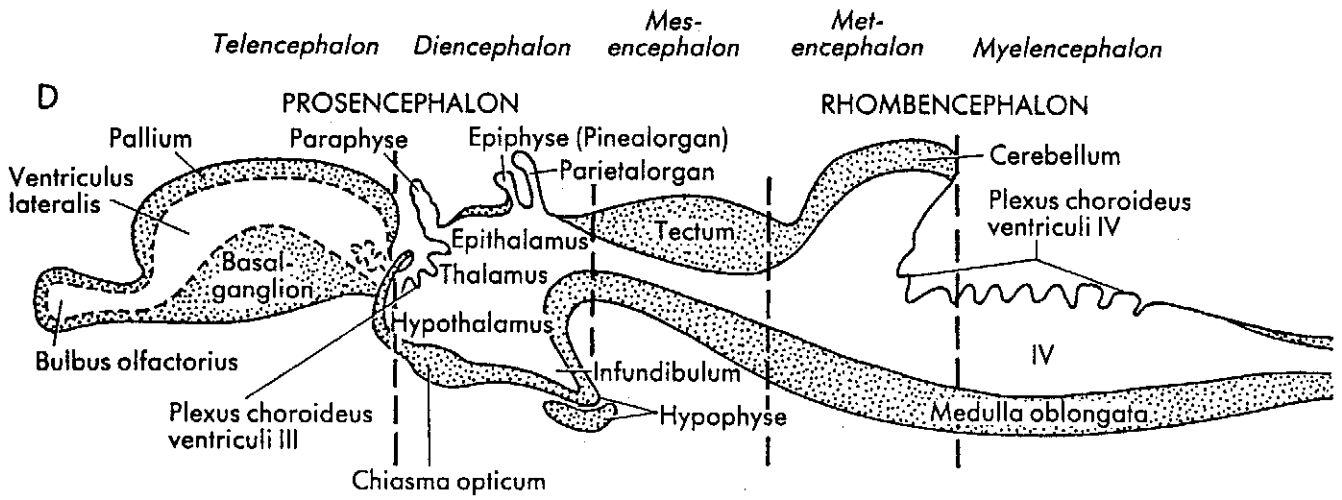
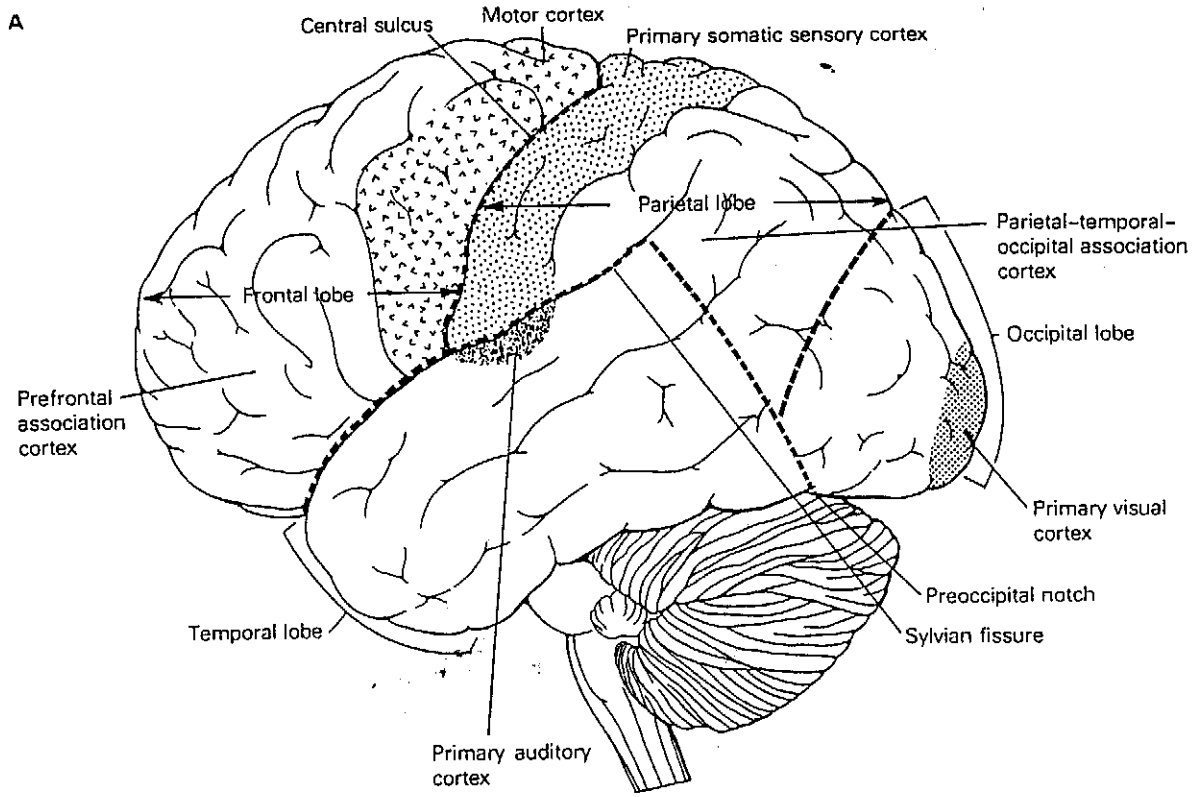


Abb. 401. Entwicklung der Hauptabschnitte des Gehirns. A Das Prosencephalon ist durch den Sulcus ventralis deutlich vom Rhombencephalon abgegrenzt; B im vorderen Abschnitt des Rautenhirns, vor dem Isthmus rhombencephali, differenziert sich dorsal als primär optisches Zentrum das Tectum; C als zweites übergeordnetes Zentrum des Rautenhirns hat sich das Cerebellum entwickelt. Das Prosencephalon ist in Telencephalon und Diencephalon gegliedert (A-C Ansicht von lateral); D gleiches Entwicklungsstadium wie in C, Mediansagittalschnitt. (Zum Teil nach BÜTSCHLI)

Aus: Reichert, Neurobiologie, 2. Auflage 2000, Thieme, Stuttgart.



19-3 The major divisions of the human cerebral cortex. A. Lateral view of the hemisphere. In this view, it is easier to appreciate both the primary cortical areas and the association areas. The primary auditory cortex lies near the junction of the temporal and parietal lobes. Two large

association areas are visible: the prefrontal association cortex and the parietal-temporal-occipital association cortex. The Sylvian fissure is the most prominent cleft visible in a lateral view of the brain. B. Dorsal view, with anterior toward the left. The sagittal fissure separates the two hemispheres. The frontal

Aus: Kandel/Schwartz/Jessel, Principles of Neural Science, 3. Auflage, Appleton and Lange, 1991

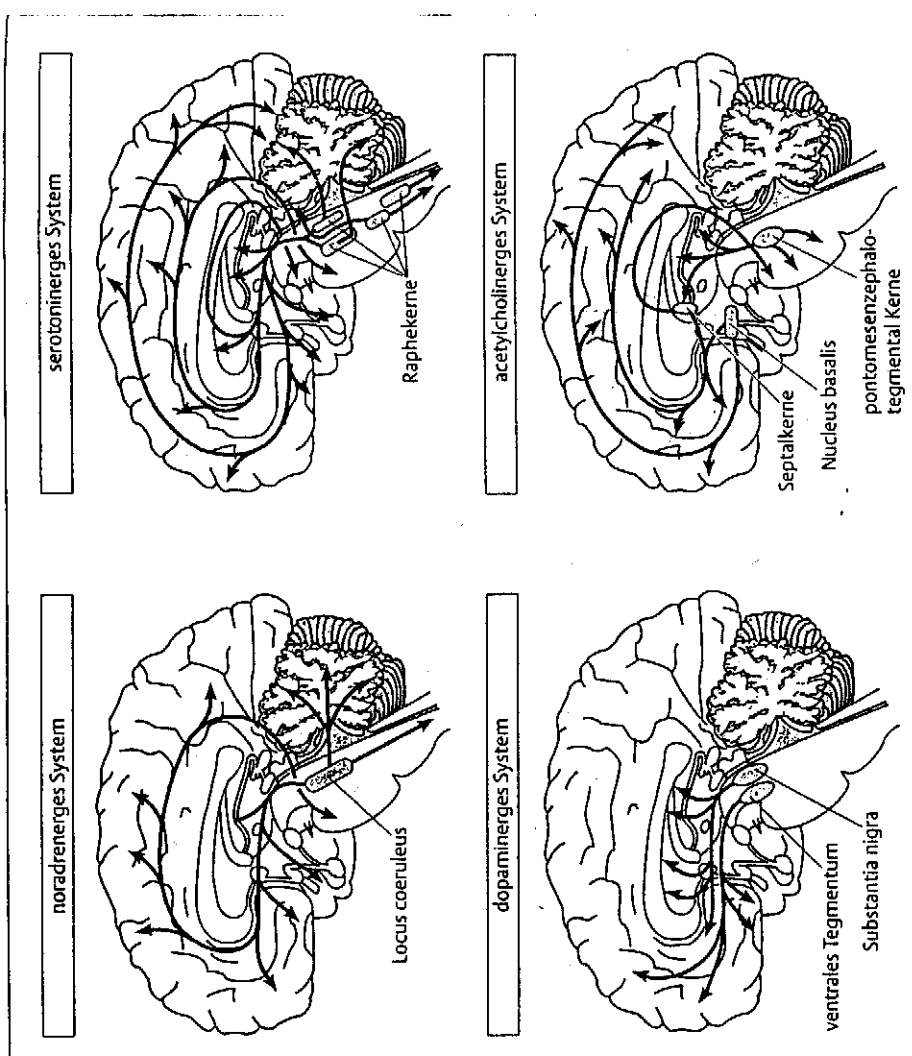
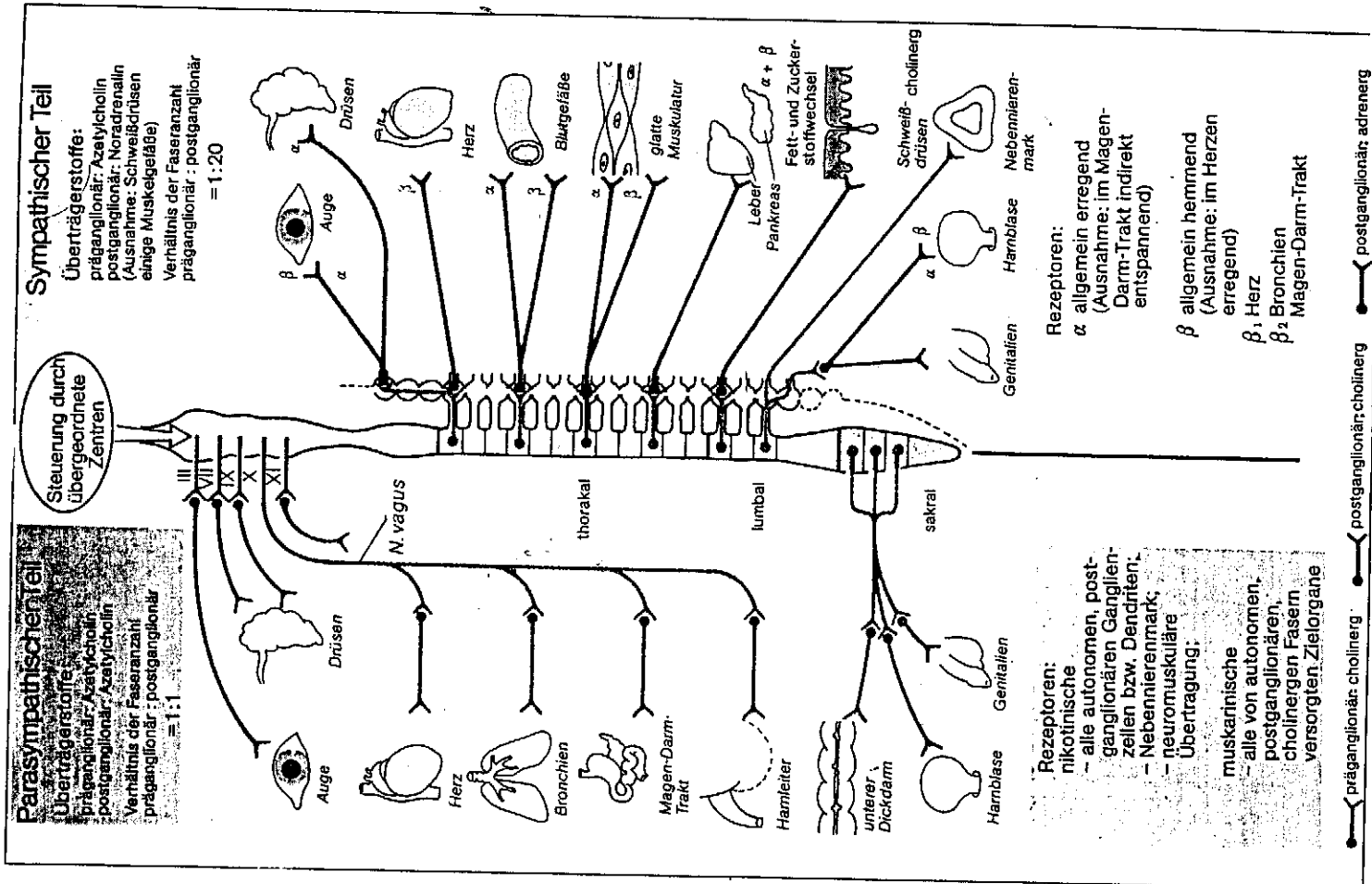


Abb. 6.9 Verteilte neuromodulatorische Systeme. Das noradrenerge System des Locus coeruleus (oben links). Das serotoninerge System der mesencephalen/metencephalen und myelencephalen Raphekerne (oben rechts). Das dopaminerge System der Substantia nigra und des ventralen Tegmentums (unten links). Das acetylcholinerge System des basalen Tegmentums (Nucleus basalis, Septalkerne) und des Mesencephalon/Pons (pontomesencephalotegmental Kerne) (nach Nicholls, Martin, Wallace).

Aus: Reichert, Neurobiologie, 2. Auflage 2000, Thieme, Stuttgart



Aus: Silbernagl und Despotovius, Taschenatlas der Physiologie, 2. Aufl., Thieme.

Hirnnerven

- I. *N. olfactorius*: Sinnesnerv, vom Riechepithel.
- II. *N. opticus*: peripherer Hirnteil, von der Netzhaut des Auges.
- III. *N. oculomotorius*: Augenmuskelnerv zu vier der sechs Augenmuskeln.
- IV. *N. trochlearis*: Augenmuskelnerv zum M. obliquus bulbi superior.
- V. *N. trigeminus*: kräftiger Nerv mit drei Hauptstämmen. Hauptsächlich somatosensible Fasern für die Kopfregeion, visceromotorische Fasern zur Kiefermuskulatur.
- VI. *N. abducens*: Augenmuskelnerv zum M. rectus bulbi posterior (= lateralis), der das Auge abduziert.
- VII. *N. facialis*: teilweise sensibel, bei Säugetieren vor allem jedoch wichtig für die Innervation der Gesichtsmuskulatur.
- VIII. *N. stato-acusticus (N. vestibulocochlearis)*: Sinnesnerv, vom Innenohr.
- IX. *N. glossopharyngeus*: schwächerer Nerv, hauptsächlich sensibel, innerviert (wie der Name sagt) u. a. die Schleimhaut von Zungenrund und Pharynx.
- X. *N. vagus*: kräftiger Nerv, sowohl sensibel als auch motorisch; beschränkt sich (wie der Name andeutet) nicht auf die Kopfregeion, sondern verläuft caudalwärts und innerviert den größten Teil der Eingeweide – Herz, Lunge, Magen, Darm usw.
- XI. *N. accessorius*: vom N. vagus abgegliederter motorischer Nerv zu Derivaten der Branchialmuskulatur.
- XII. *N. hypoglossus*: occipitaler Spinalnerv, motorisch, zur Muskulatur der Zunge.

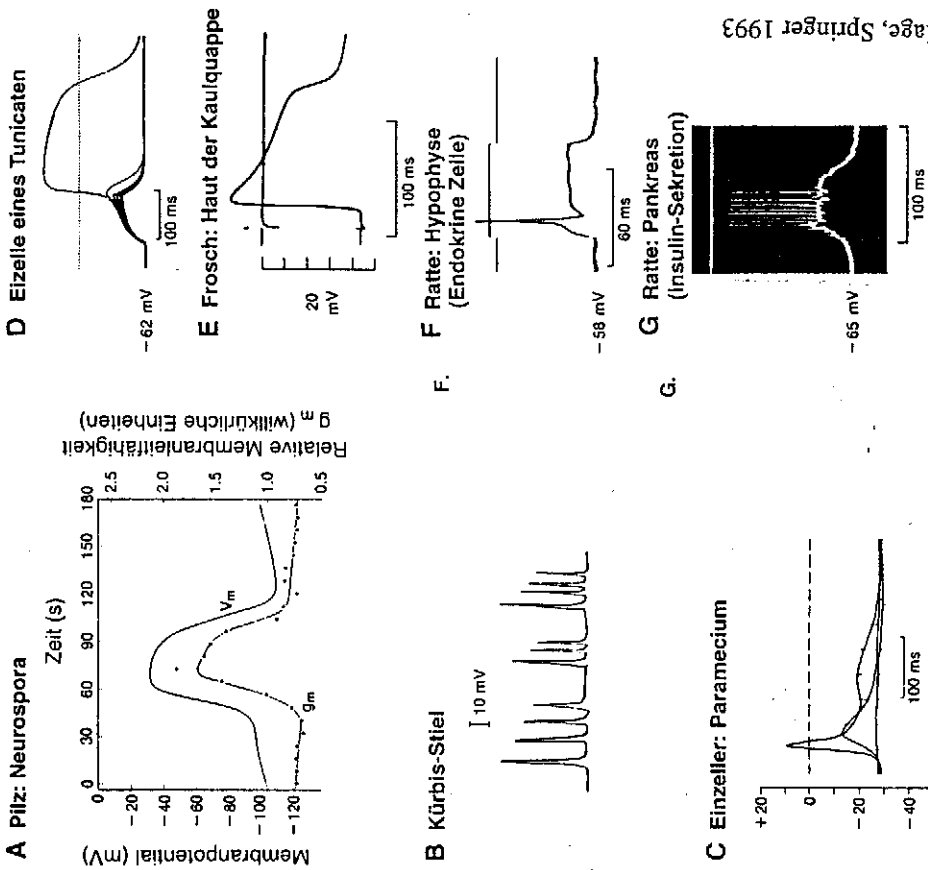


Abb. 6.13 A-G. Aktionspotentiale verschiedener Nicht-Nervenzellen. A Ein sehr langsamer Impuls der Pilz *Neurospora* (Slayman et al.). B Impulssalven der Gefäßzellen des Kürbisstiels (Sinyuhkin u. Gorchakov). C Ca^{2+} -Aktionspotential des Pantoffeltierchens *Paramecium* (Protozoa) (Eckert et al.). D Beispiel eines langsamen Aktionspotentials, wie es für viele Eizellen charakteristisch ist (Hagiwara u. Miyazaki). E Der typische Impuls vieler Epithelzellen (Roberts u. Stirling). F Aktionspotential einer Hypophysenzelle, welche Melanocyten-stimulierendes Hormon (MSH) sezerniert (Douglas u. Taraskevich). G Eine charakteristische, mit Insulinsekretion assoziierte Impulssalve von β -Zellen des Pankreas (Dean et al.). (Gesamtabb. aus Shepherd 1981, s. dort alle Zitate für A-F; s. auch die Übersicht in Hille 1984)

Aus: Shepherd, Neurobiologie, 2. Auflage, Springer 1993

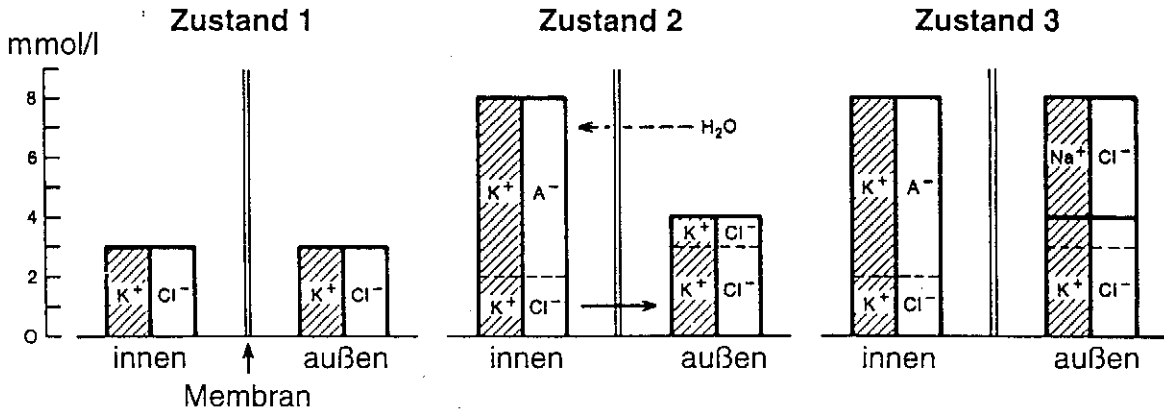
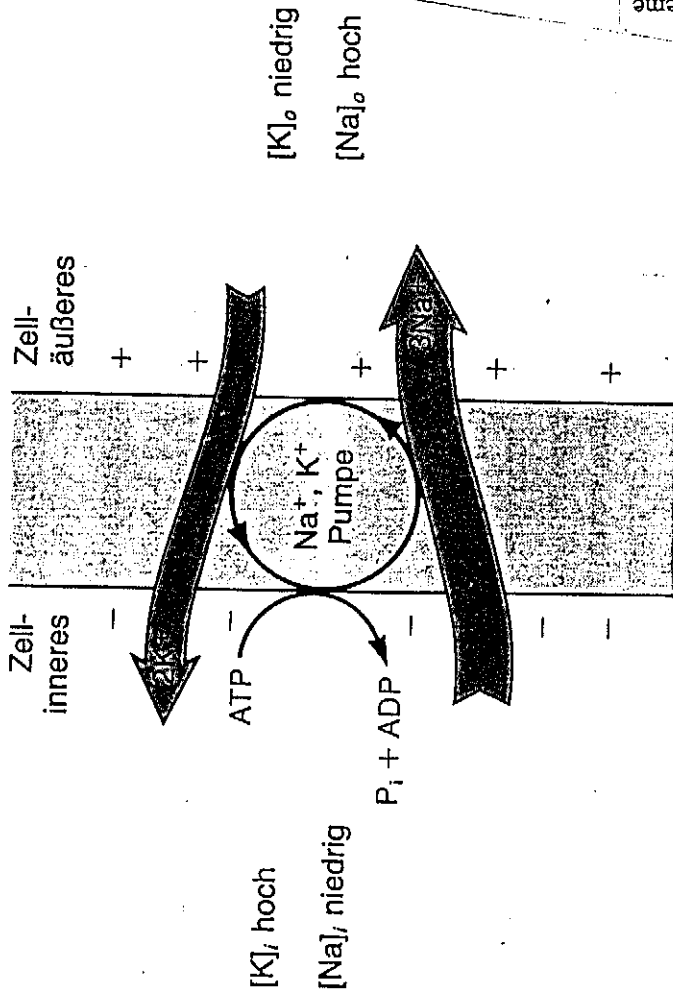


Abb. 5.3. Einstellung eines Donnan-Gleichgewichts in einem hypothetischen Experiment (s. Text)

Aus: Shepherd, Neurobiologie, 2. Auflage, Springer 1993



Aus: Eckert, Tierphysiologie, 2. Auflage 1993, Thieme

Abb. 5.14 Direkter und indirekter Beitrag der Natriumpumpe zum Ruhepotential. Aufgrund der 3 Na⁺:2 K⁺-Austauschrate kann die Pumpe durch die Entfernung positiver Ladungen aus dem Zellinneren *direkt* zum Ruhepotential beitragen. Durch die Aufrechterhaltung einer hohen inneren Kaliumkonzentration trägt die Pumpe *indirekt* zum Ruhepotential bei

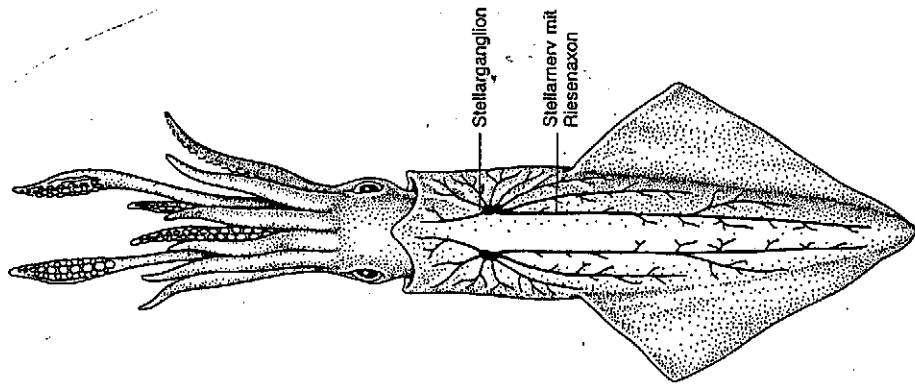


Abb. 5.19 Der Tintenfisch, *Loligo*. Der Stellarmerv enthält das Riesanaxon. Das Axon leitet, bedingt durch seine Größe, sehr schnell und gewährleistet so eine relativ synchrone Aktivierung der Mantelmuskulatur. Diese Muskeln erzeugen den Wasserstoß, der den Tintenfisch bei Überraschungen rückwärts treibt (nach Keynes 1958)

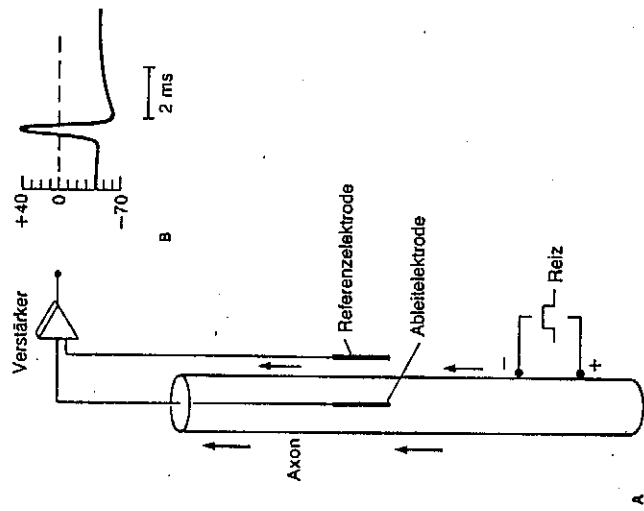


Abb. 5.20 A Versuchsanordnung, mit der Hodgkin u. Huxley (1939) unter Verwendung von Riesanaxonen des Tintenfisches nachwiesen, daß das Membranpotential B während eines Aktionspotentials sein Vorzeichen ändert. Die Pfeile zeigen die Ausbreitung des Impulses über die Ableitelektroden

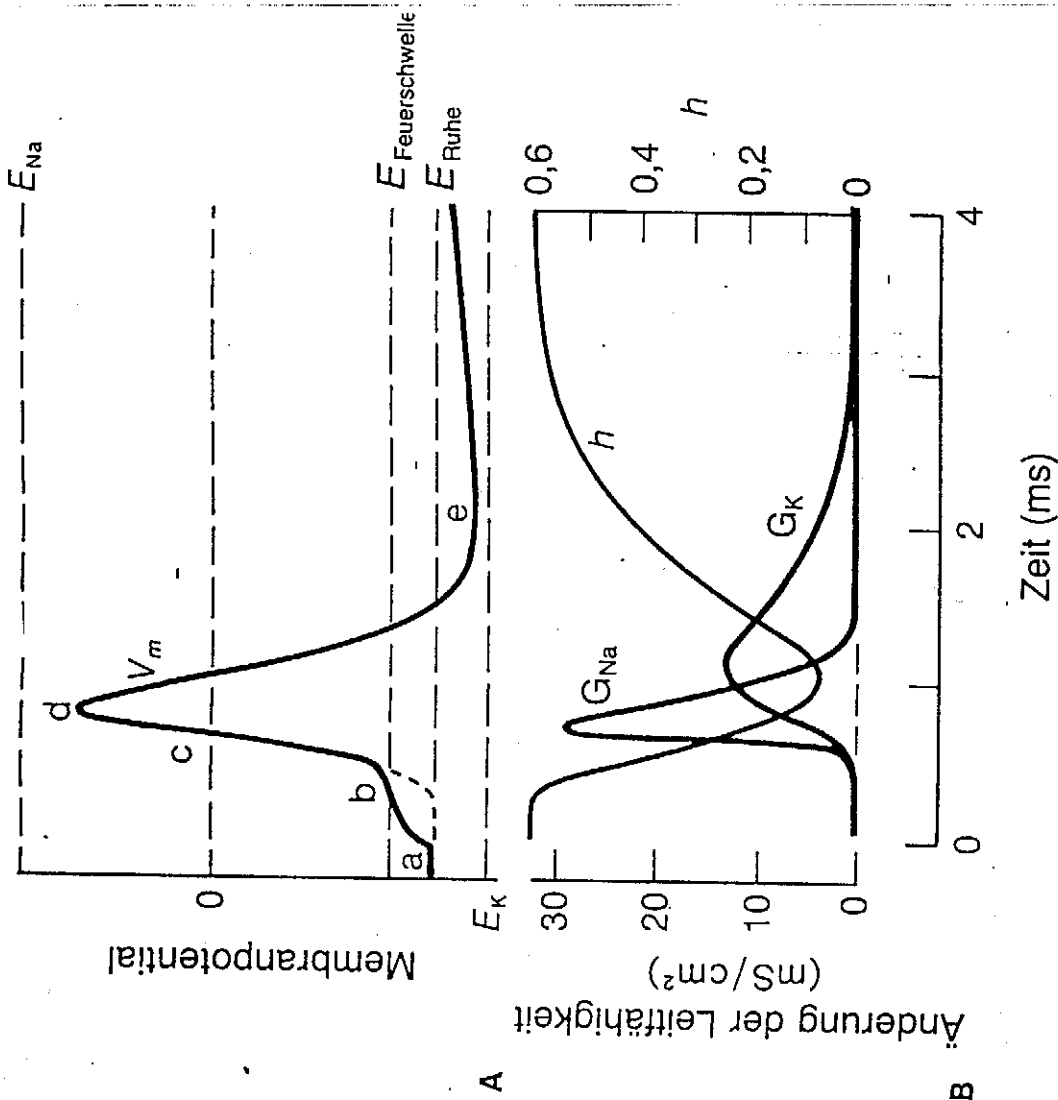


Abb. 5.33 **A** Aktionspotential mit den zugrundeliegenden Änderungen der Na^+ - und K^+ -Leitfähigkeiten. **B** Der Wert h (rechte Skala) stellt die Fähigkeit der Na^+ -Kanäle dar, durch eine Depolarisation aktiviert zu werden (d.h. zu öffnen). Beachte, daß die Abnahme von h die Zunahme von G_{Na} lange überdauert (nach Hodgkin u. Huxley 1952c)

Aus: Eckert, Tierphysiologie, 2. Auflage 1993, Thieme

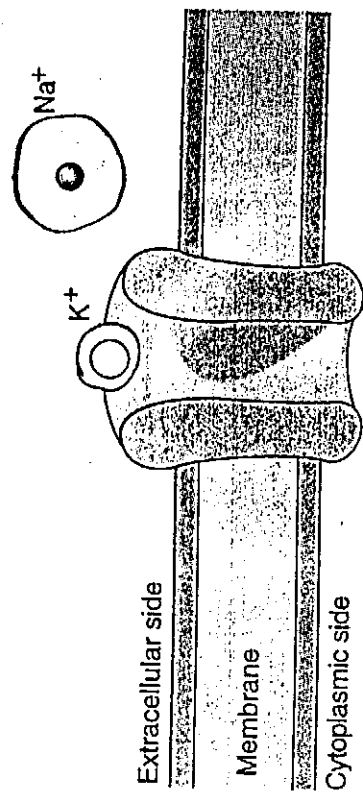
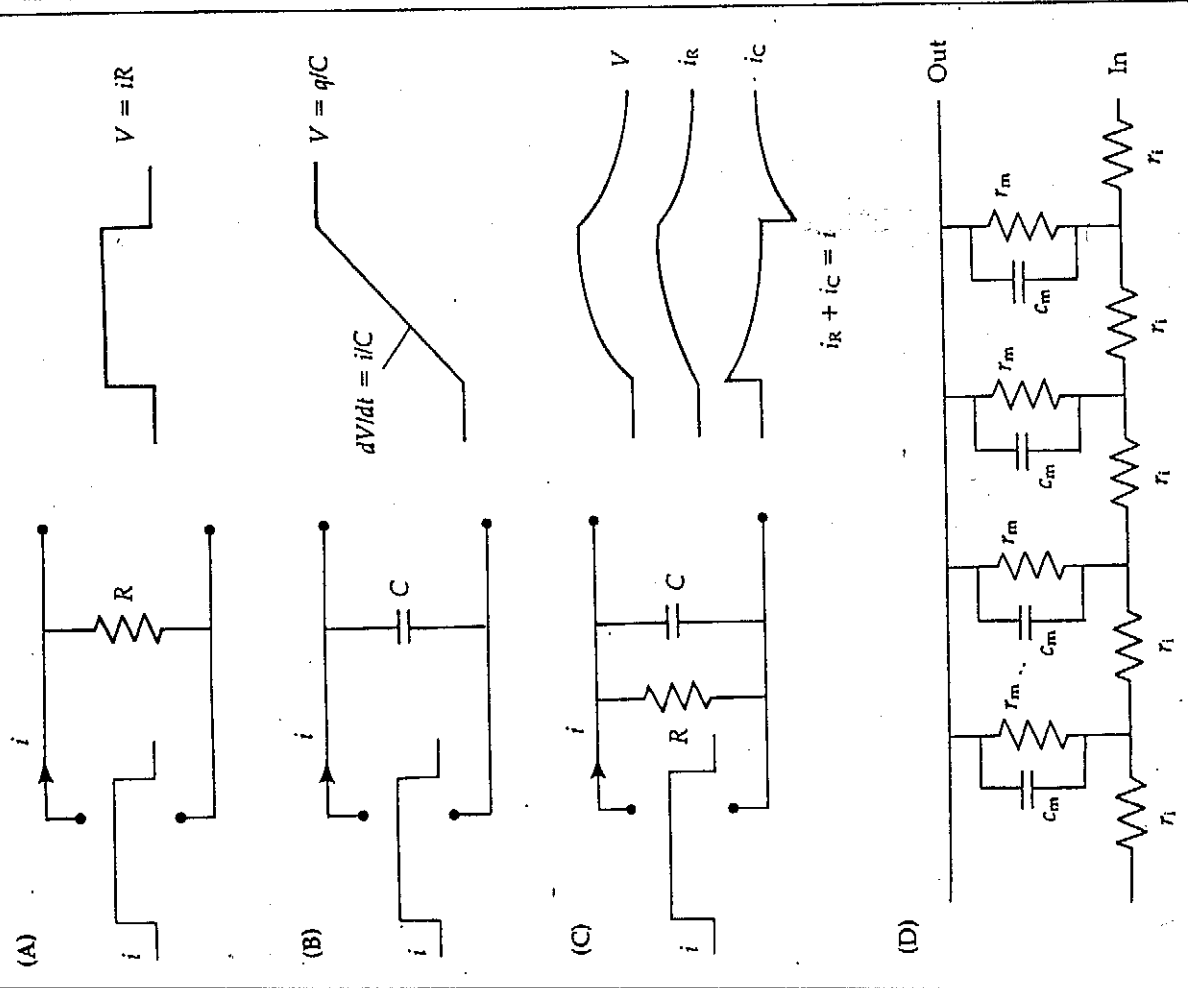


Figure 7-2 Most voltage-gated channels allow only one or another type of ion to pass through. The channel shown here is selective for K^+ ions. The model assumes that channels are water-filled pores that conduct ions by diffusion. Although the K^+ ion is larger than the Na^+ ion, its effective diameter in solution is smaller because its local field strength is less intense, causing it to attract a smaller cloud of water molecules. Thus, the K^+ channel could select by excluding hydrated ions whose diameter is larger than the pore.

Aus: Kandel, Jessel, Schwartz: Essentials of neural sciences and behavior. Appleton und Lange, 1995

13A



2 EFFECT OF CAPACITANCE ON TIME COURSE OF POTENTIALS. (A) Time course of potential V resulting from current i in a purely resistive network. Voltage is proportional to, and has the same time course as, the applied current. (B) In a purely capacitive network the rate of change of voltage is proportional to the applied current. (C) In a combined RC network, the initial surge of current is through the capacitor (i_C); finally all the current flows through the resistor (i_R). Voltage rises to final value iR exponentially with time constant $\tau = RC$. After termination of the current pulse, the capacitance discharges through the resistance with the same time constant and i_C and i_R are equal and opposite. (D) Electrical model of a cable as in Figure 1 but with membrane capacitance per unit length (c_m) added.

Aus: Nicholls, Martin, Wallace: From neuron to brain, 3. Aufl., Sinauer, 1992

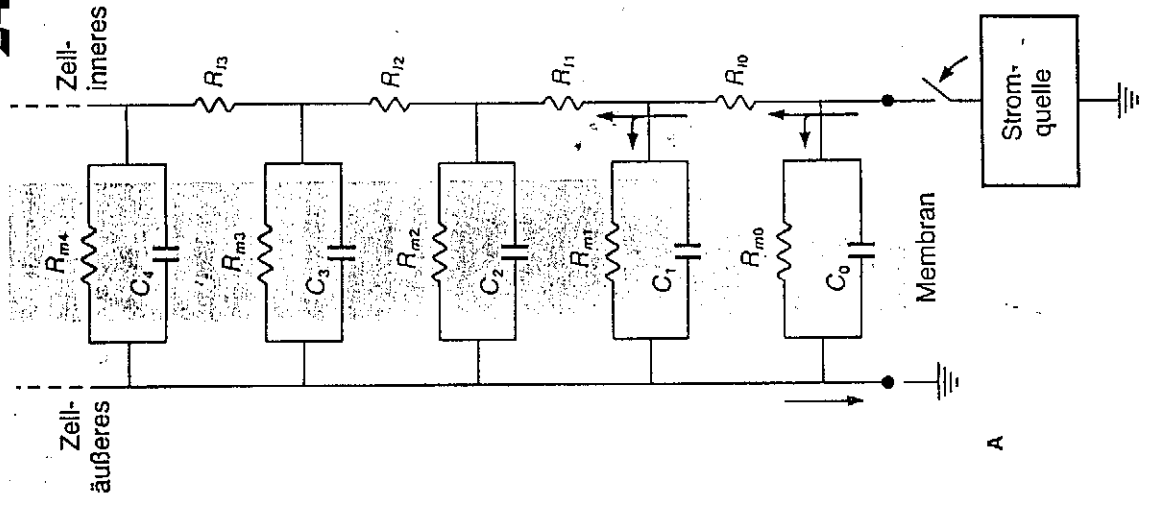
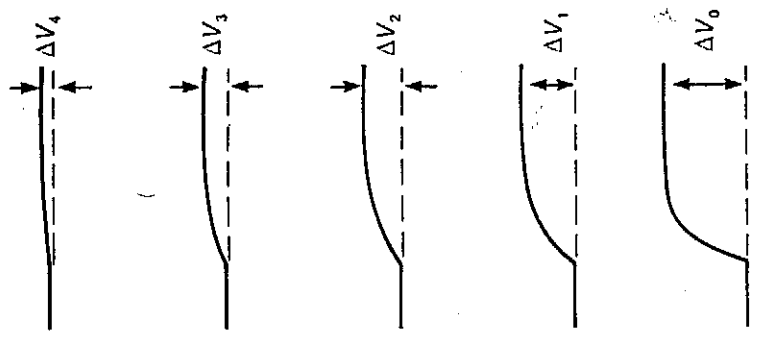


Abb. 6.4 A Kabeleigenschaften einer zylindrischen Zelle, z. B. eines Axons. Der aus RC-Elementen bestehende Ersatzschaltkreis ist über inneren und äußeren Längswiderstände verbunden. Der Membranwiderstand R_m der Längswiderstände R_i und die Membrankapazität C_m sind künstlich zu diskreten Elementen (0, 1, 2, 3, 4) zusammengefasst. Die farbigen Pfeile bezeichnen den Stromfluß. B Die über diese RC-Elemente abgeleiteten elektrischen Antworten auf einen schrittweise zugeführten elektrischen Strompuls, der durch Exponentialänderungen ΔV_{1-4} zeigen exponentielle Amplitudenabnahme und steigen mit wachsender Distanz langsamer an.

Aus: Eckert, Tierphysiologie, 2. Auflage 1993, Thieme



26

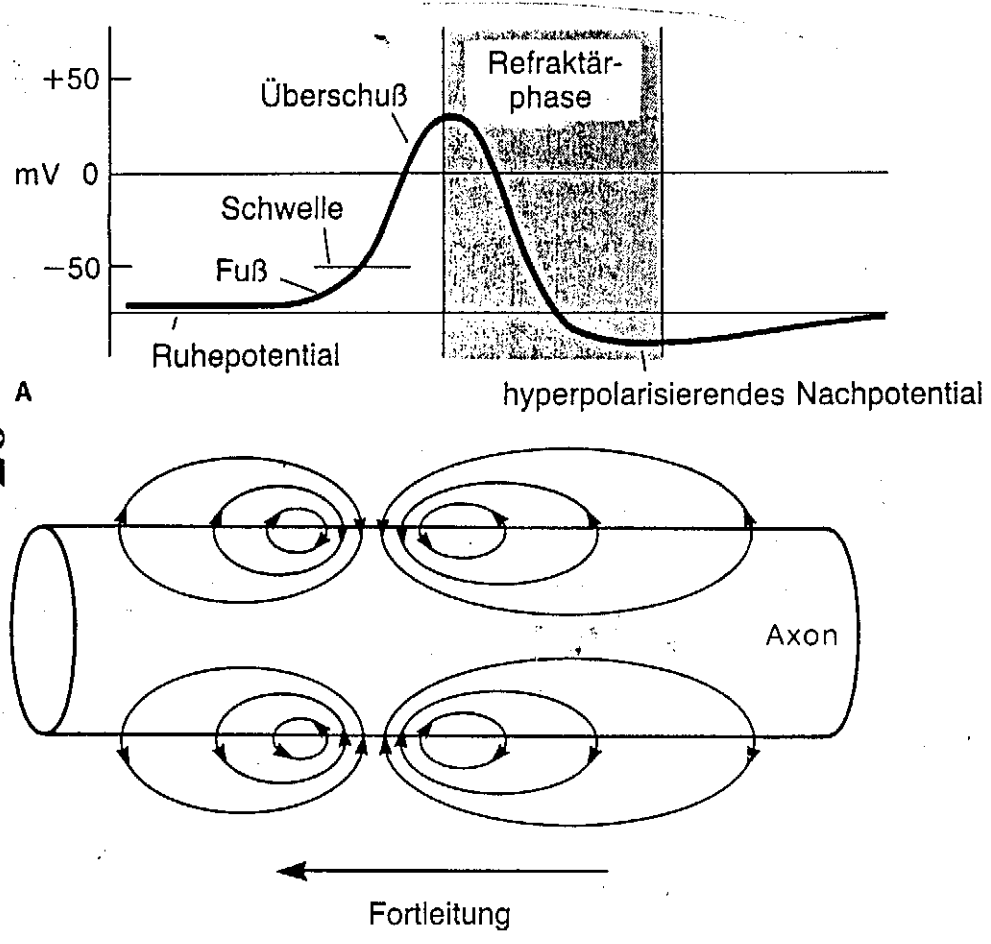


Abb. 6.6 Strömchentheorie. Das Aktionspotential eines Neurons (A) wird von einem lokalen quer über die Membran fließenden Stromkreis begleitet, wie in B dargestellt. Der „Fuß“ geht auf den nach außen gerichteten Strom zurück, der die Membran vor der aktiven (Natriumeinstrom-)Region depolarisiert. Der in den inaktiven Regionen nach außen gerichtete Strom fließt primär als K^+ -Strom über die Membran.

Aus: Eckert, Tierphysiologie, 2. Auflage 1993, Thieme

25

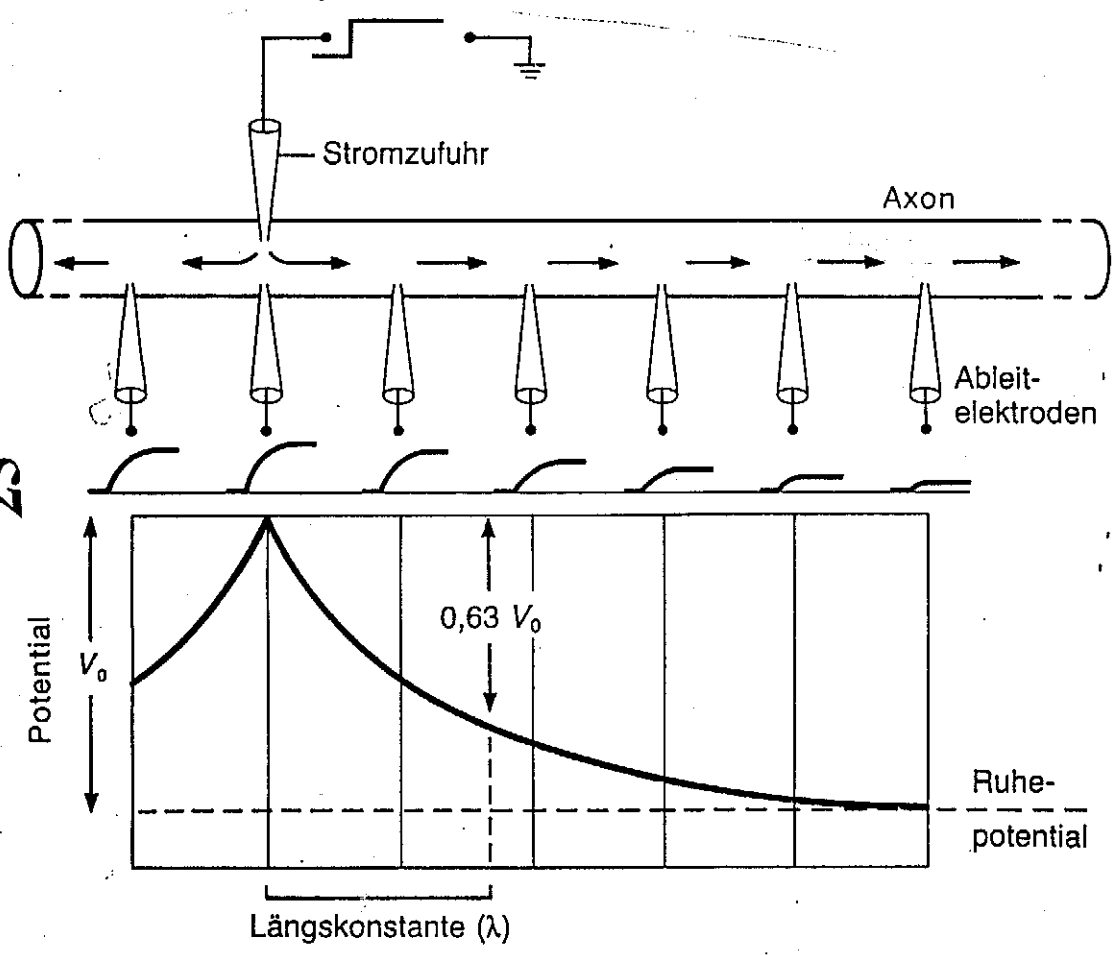


Abb. 6.5 Potentialabfall mit wachsender Entfernung von der Reizstelle entlang einer Nerven- oder Muskelfaser. Die Membranlängskonstante λ wird definiert als die Entfernung vom Reizort, an der das Potential um $1-1/e$ (63%) seines ursprünglichen Wertes V_0 abgefallen ist.

Aus: Eckert, Tierphysiologie, 2. Auflage 1993, Thieme

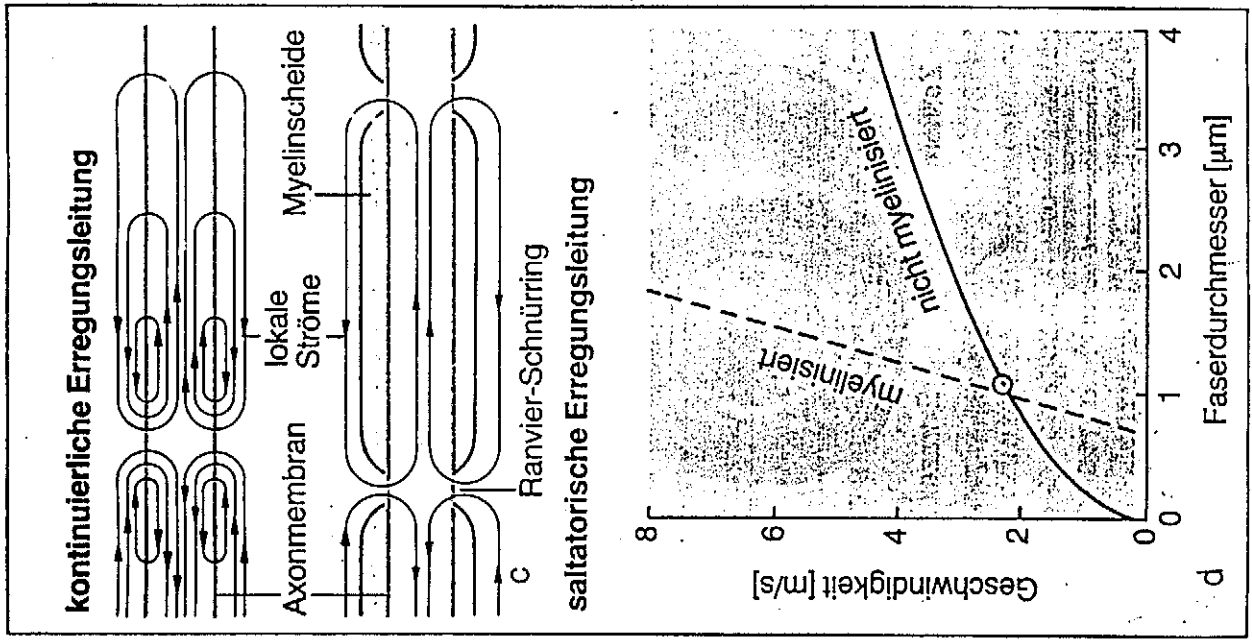


Abb. 2.38c Bei der kontinuierlichen Erregungsleitung wird der gesamte Axonbereich durch lokale Ströme depolarisiert und zur Erzeugung eines Aktionspotentials induziert. Bei der saltatorischen Erregungsleitung fließen lokale Transmembranströme im wesentlichen nur durch den nichtmyelinisierten Membranbereich der Ranvier-Schnürringe. An den Schnürringen sind zudem fast alle Na^+ -Kanäle des Axons angereichert. Die Aktionspotentialausbildung springt also von einem Schnürring zum anderen.

Abb. 2.38d Theoretischer Zusammenhang zwischen Faserdurchmesser und Leitungsgeschwindigkeit für myelinisierte und nichtmyelinisierte Fasern (nach Lembke, Morell u. Morton und Rushton)

Aus: Kandel/Schwartz/Jessell, Essentials of Neural Science and Behavior, Appleton and Lange, 1995.

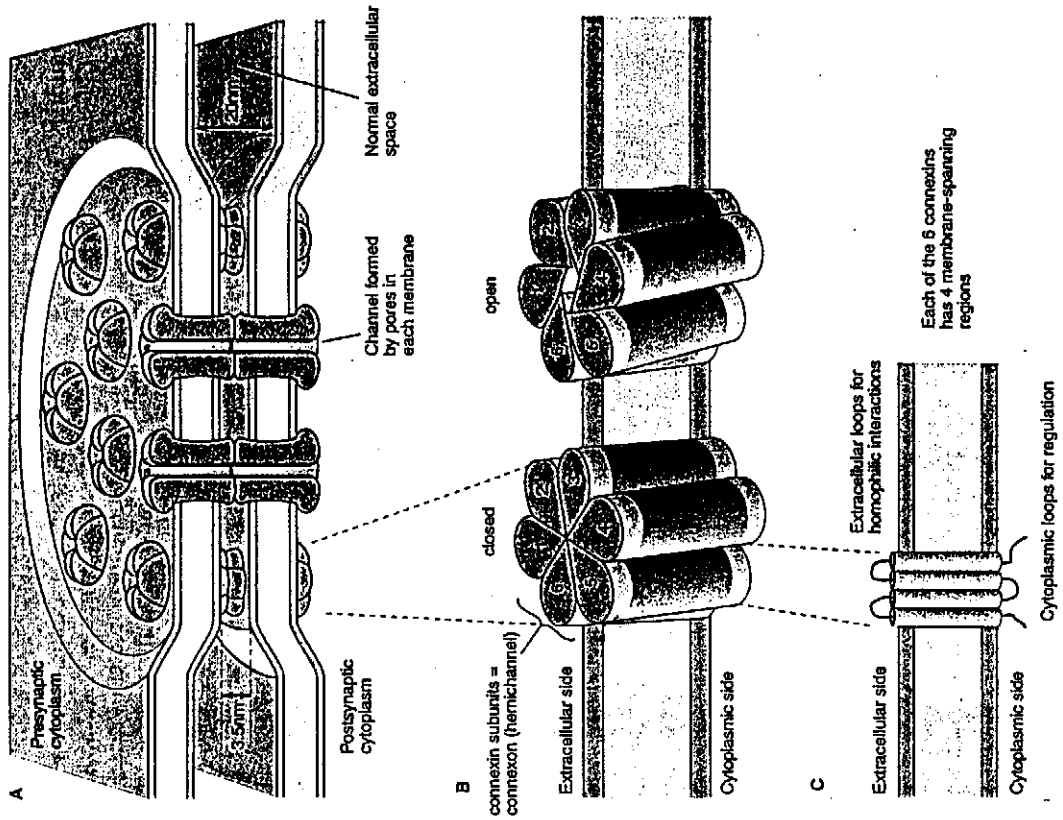


Figure 11-6 A three-dimensional model of the gap-junction channel, based on X-ray diffraction studies.

A. A gap-junction channel is actually a pair of hemichannels, one in each apposite cell, that match up in the gap of the extracellular space by means homophilic interactions. The channel thus connects the cytoplasm of the two cells and provides a direct means of ion flow between the cells. This bridging of the cells is facilitated by a narrowing of the extracellular space at the gap junction, from the normal 20 nm separation to only 3.5 nm.

B. Each hemi-channel, or connexon, is made up of six protein subunits called connexins. Each connexin is about 7.5 nm long and spans the cell membrane. The connexins are arranged in such a way that a pore is formed in the center of the structure. The resulting connexon, with an overall diameter of about 1.5 to 2 nm,

has a characteristic hexagonal outline (see Figure 11-5). The pore is opened when the subunits rotate about 0.9 nm at the cytoplasmic base in a clockwise direction. The dark shading indicates the portion of the connexon embedded in the membrane.

C. A single connexin is thought to have four membrane spanning regions. The genetic sequences of gap junction from many different kinds of tissue all show regions with similar amino acid sequences. In particular, four hydrophobic domains with a high degree of similarity among different tissues are presumed to be the regions the protein structure that traverse the cell membrane. The cytoplasmic loops, however, differ among different channels and are thought to be involved in regulation. In addition, two extracellular regions that are also highly conserved in different tissues are thought to be involved in the homophilic matching of apposite hemi-channel:

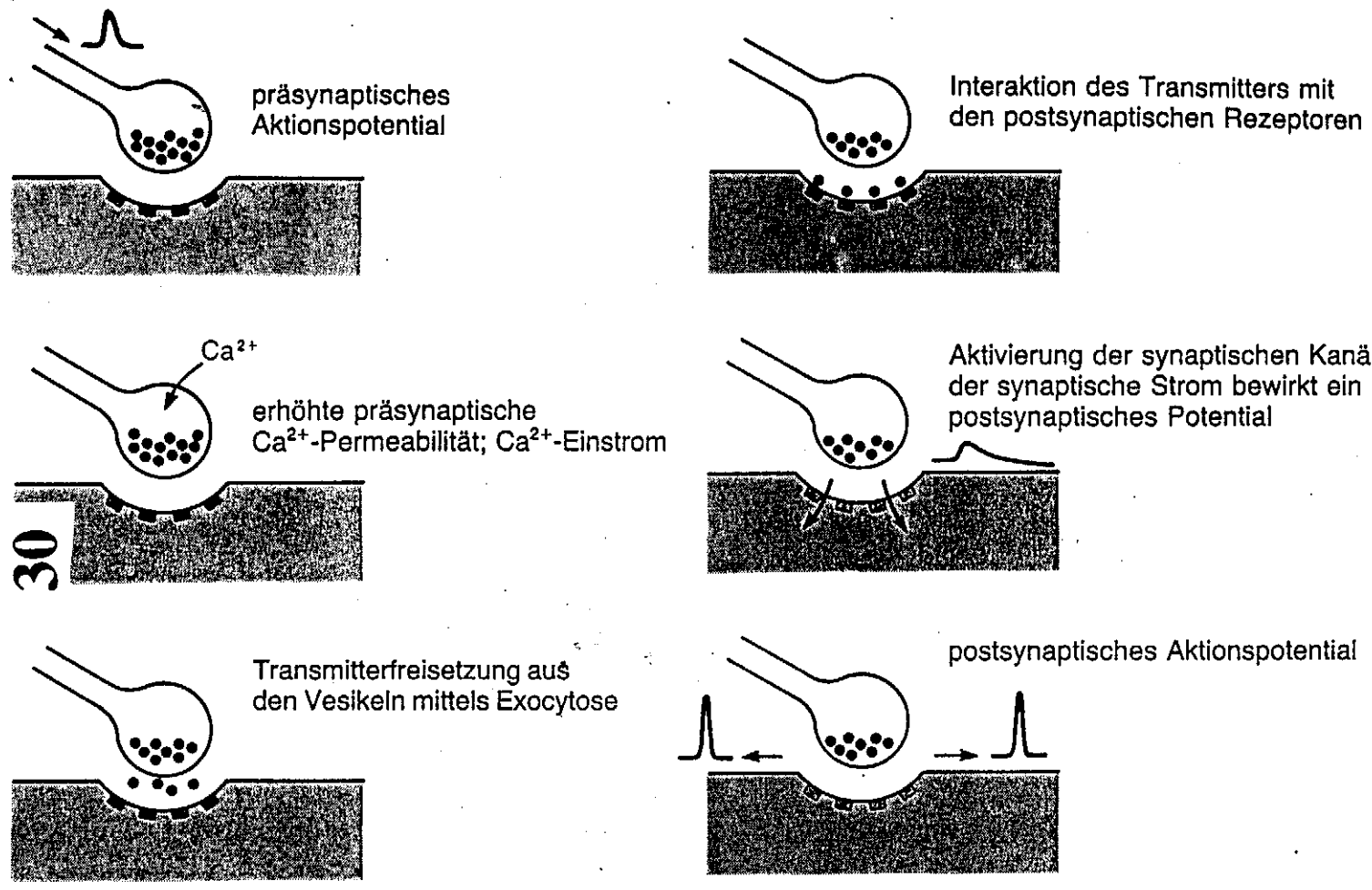


Abb. 6.15 Ereignisabfolge von prä- zu postsynaptischen Aktionspotentialen

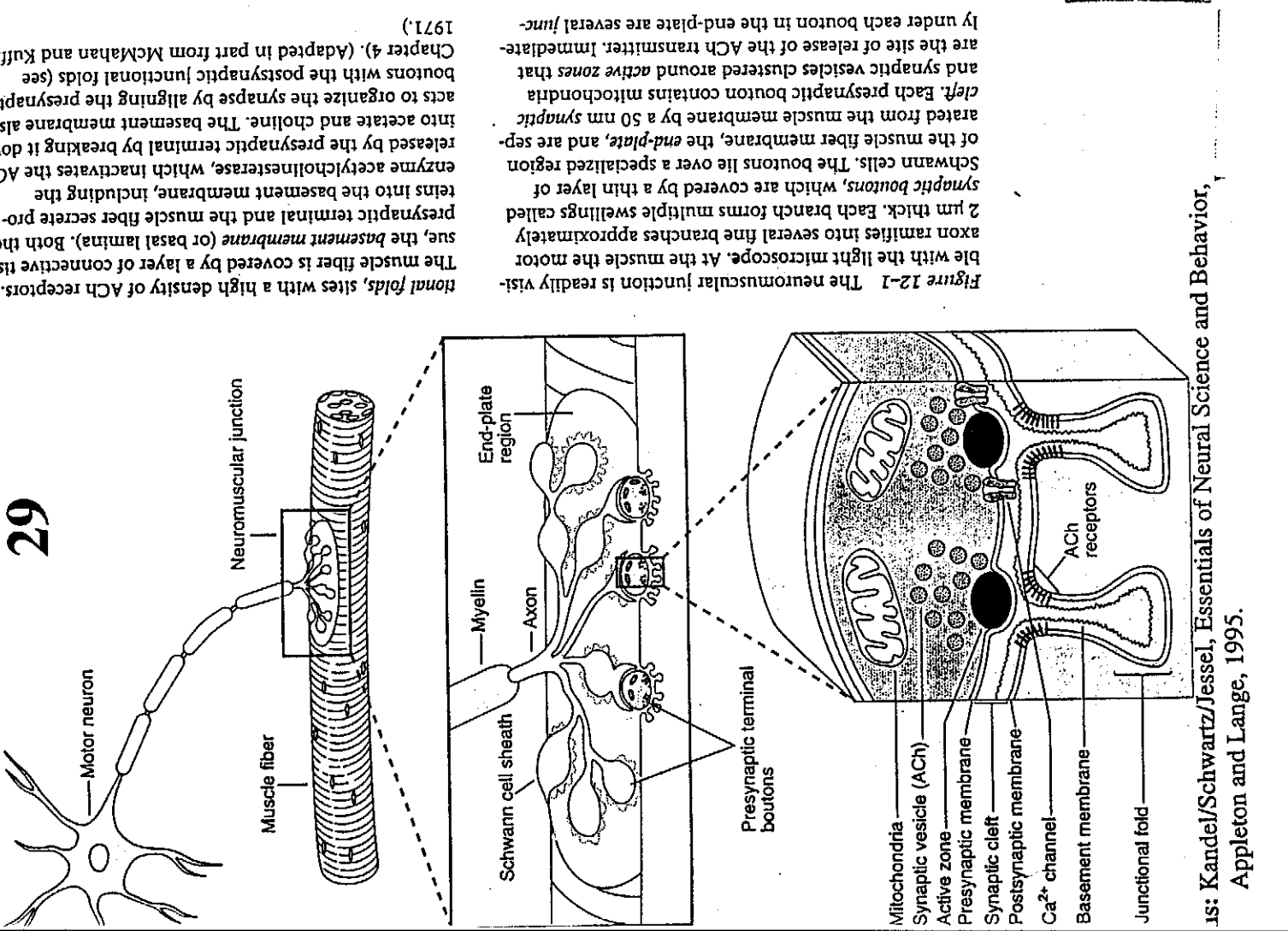
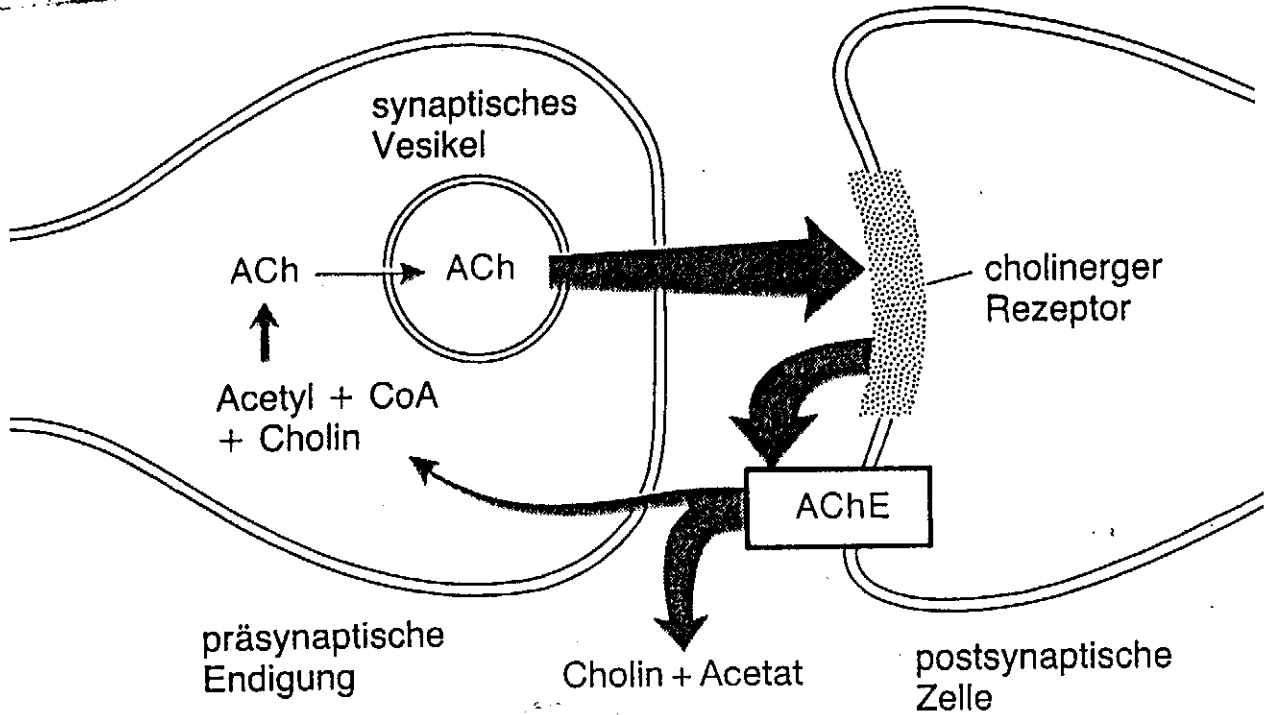
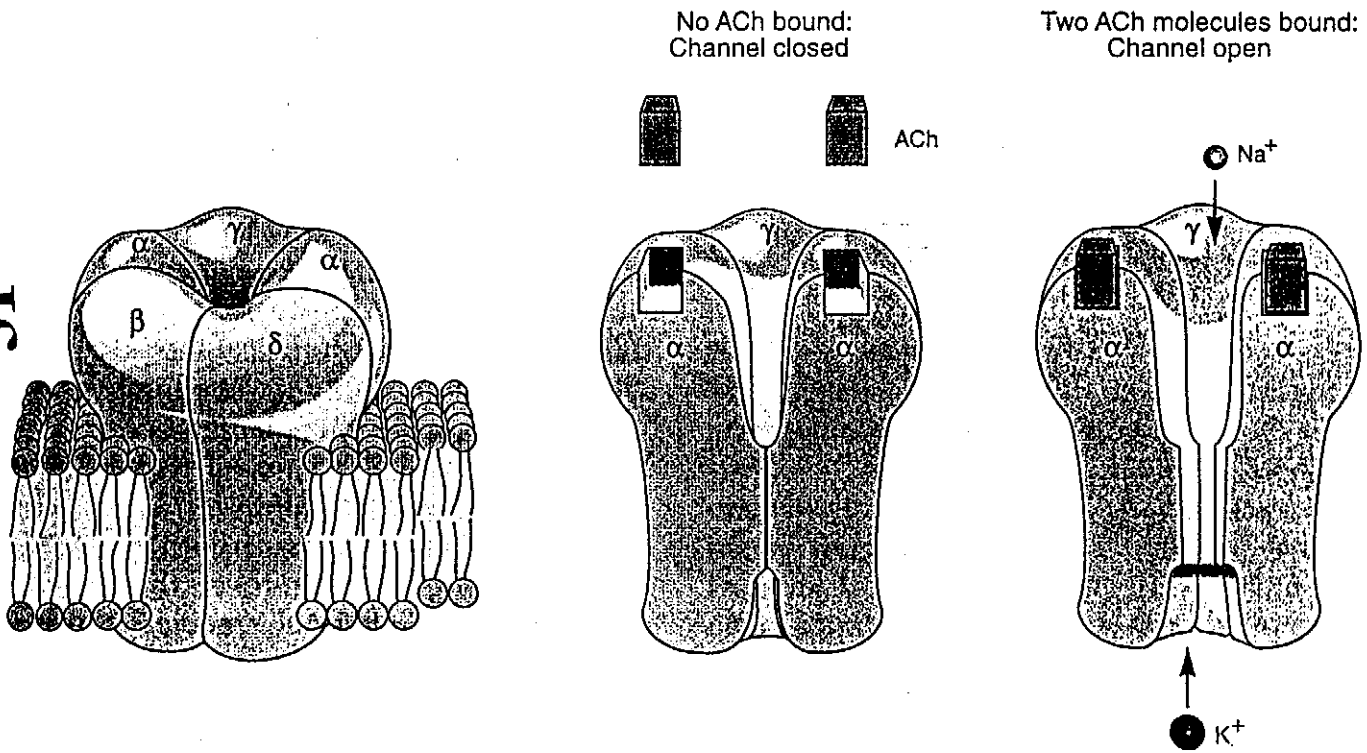


Figure 12-1 The neuromuscular junction is readily visible with the light microscope. At the muscle the motor axon ramifies into several fine branches approximately 2 μm thick. Each branch forms multiple swellings called *synaptic boutons*, which are covered by a thin layer of Schwann cells. The boutons lie over a specialized region of the muscle fiber membrane, the *end-plate*, and are separated from the muscle membrane by a 50 nm *synaptic cleft*. Each presynaptic bouton contains mitochondria and synaptic vesicles clustered around *active zones* that are the site of release of the ACh transmitter. Immediate-ly under each bouton in the end-plate are several *junctional folds*. (Adapted in part from McManan and Kuffler Chapter 4). (Adapted in part from McManan and Kuffler 1971.)



Aus: Eckert, Tierphysiologie, 2. Auflage, Thieme 1993

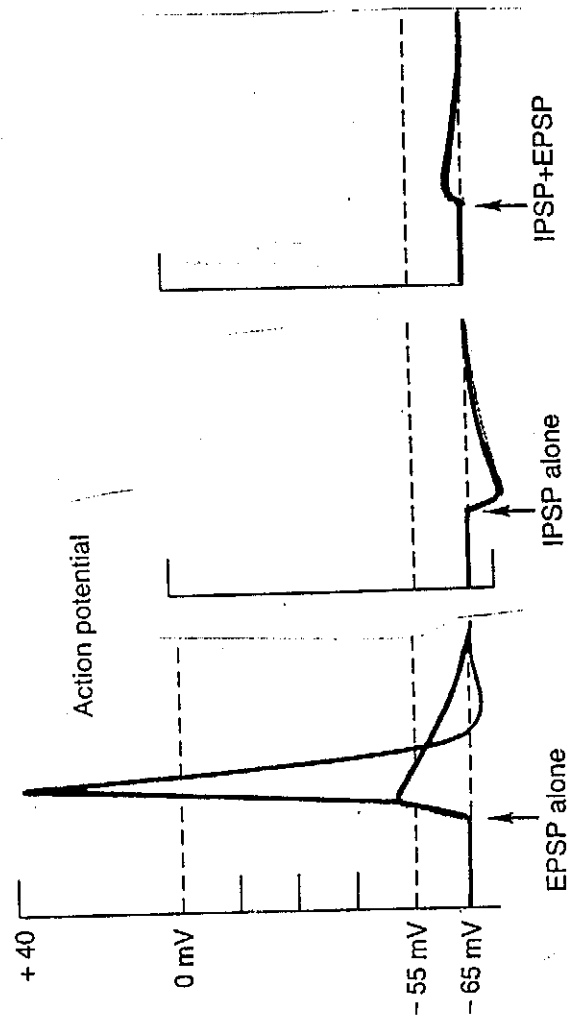
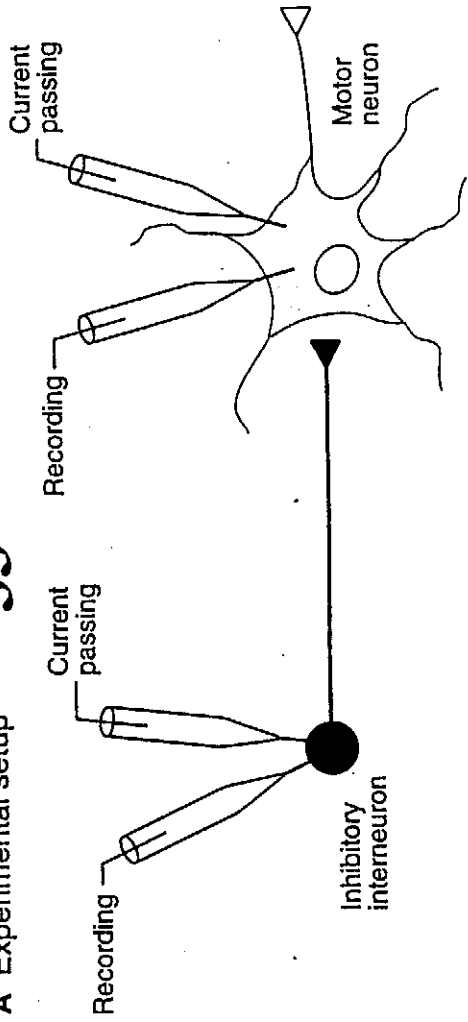
Abb. 6.47 Transmitterchemie an einer cholinergen Synapse. Das präsynaptisch freigesetzte Acetylcholin wird an der Oberfläche der postsynaptischen Membran von der Acetylcholinesterase (AChE) hydrolysiert. Das Cholin wird vom präsynaptischen Ende wieder aufgenommen und zu ACh reacyliert (nach Mountcastle u. Baldessarini 1968)



Aus: Kandel/Schwartz/Jessel, Essentials of Neural Science and Behavior, Appleton and Lange, 1995.

Figure 12-13 This three-dimensional model of the nicotinic ACh-activated ion channel is based on the model of Arthur Karlin and co-workers. The receptor-channel complex consists of several subunits arranged to form a pore. When two molecules of ACh bind to the portions of the α subunits exposed to the

membrane surface, the receptor-channel changes conformation, opening the pore in the portion of the receptor embedded in the lipid bilayer (see Figure 12-15A). Both K^+ and Na^+ flow through the open channel down their electrochemical gradients.



Welche Charakteristika muß ein Neurotransmitter haben?

1. Die Substanz muß in Nervenzellen synthetisiert werden.
2. Die Substanz muss in der Präsynapse vorhanden sein und in genügend großen Mengen freigesetzt werden, um eine definierte Wirkung an der postsynaptischen Zelle oder dem Zielorgan zu haben.
3. Wenn die Substanz künstlich (exogen) in einer „vernünftigen“ Konzentration an die Zielstruktur gebracht wird, muss die Wirkung exakt vergleichbar mit der endogenen Freisetzung sein.
4. Es muß ein spezifischer Mechanismus vorhanden sein, der die Substanz von seinem Wirkort (dem synaptischen Spalt) wieder entfernt.

Transmitter	Chemical Structure
Acetylcholine	$\text{CH}_3\text{---C(=O)---O---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}\overset{+}{\text{N}}\text{---}(\text{CH}_3)_3$
Biogenic amines	
Dopamine	
Norepinephrine <i>= Noradrenalin</i>	
Epinephrine <i>= Adrenalin</i>	
Serotonin	
Histamine	
ATP/Adenosine	
Amino acids	
γ-Aminobutyric acid	
Glycine	
Glutamate	

CATECHOLAMINES

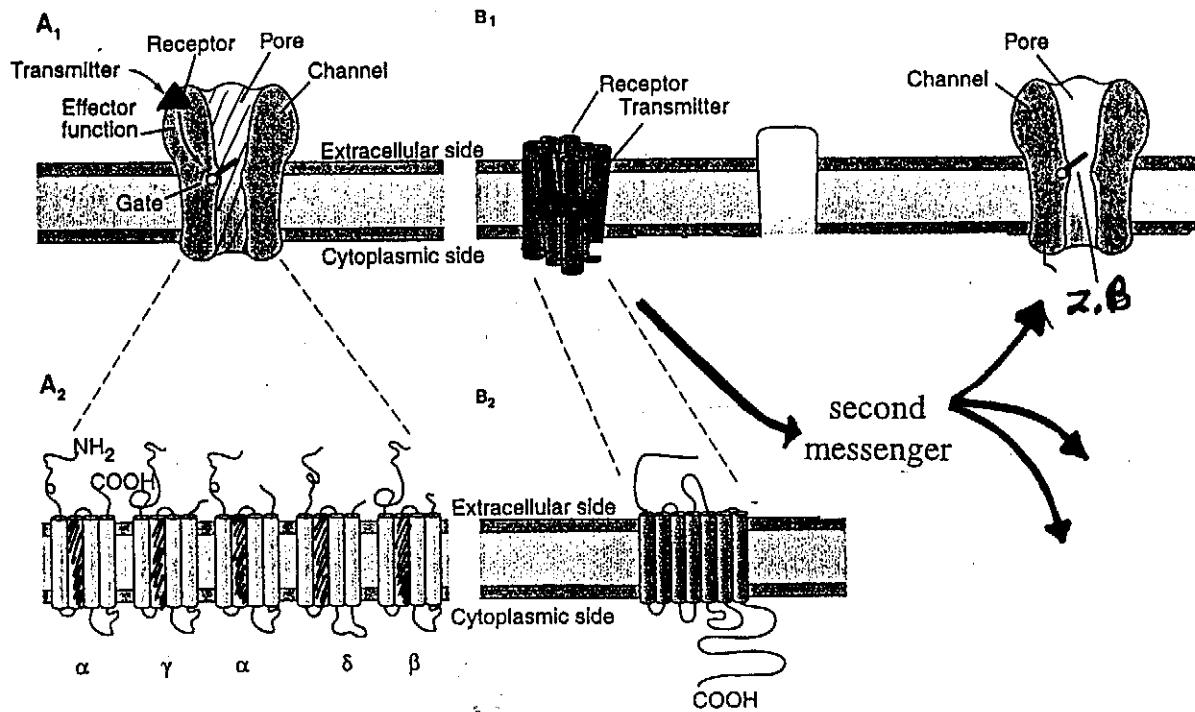


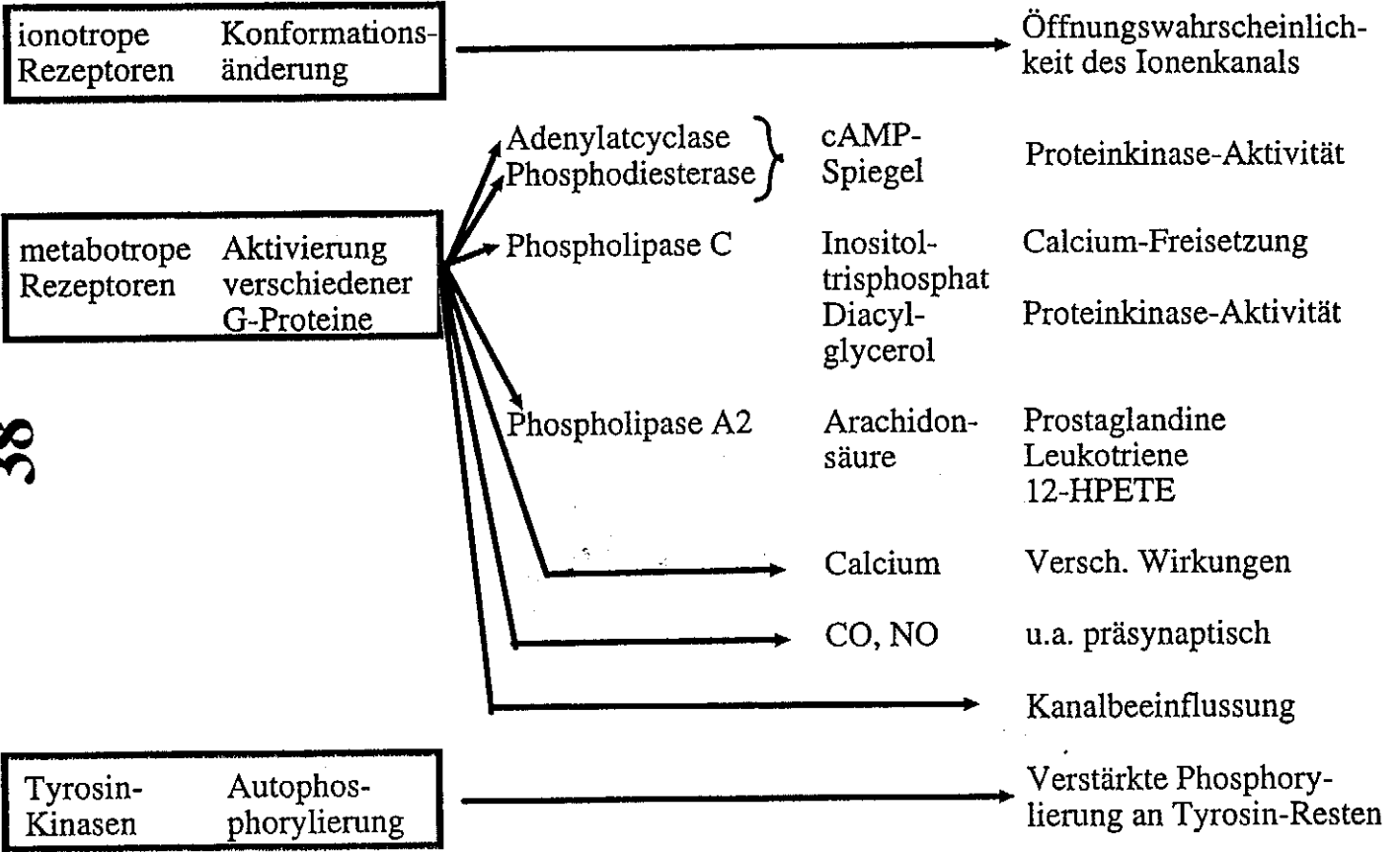
Figure 11-9 Neurotransmitters act either directly or indirectly on ion channels.

A. 1. A transmitter receptor acts directly on an ion channel when the transmitter receptor is structurally part of the channel. 2. These receptor-channels are usually composed of five subunits, each of which is thought to contain four membrane-spanning α -helical regions.

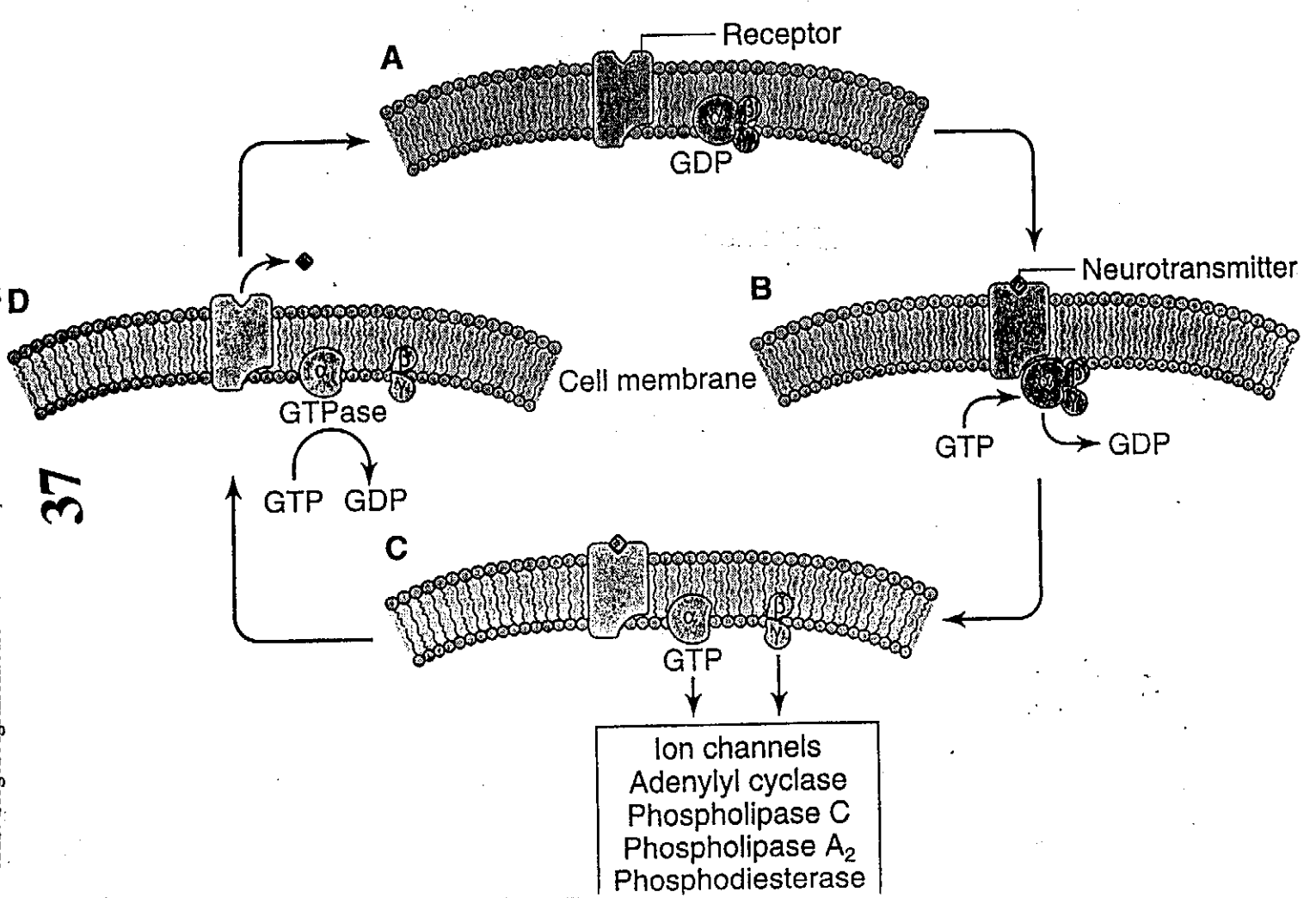
B. When the 1 receptor is structurally distinct from the ion channels, the neurotransmitter acts indirectly on the channel.

The typical receptor of this family of proteins is composed of a single protein with seven membrane-spanning α -helical regions that bind transmitter within the plane of the membrane.

Überblick über die Rezeptoren und second-messenger-Systeme



38



37

Aus: Siegel/Agranoff/Aloers/Moulinoff, Basic Neurochemistry, 3. Auflage, Raven Press 1994

Überblick über die verschiedenen Wirkungen der second-messenger

Wirkung an den

Ionenkanälen:

- direkte Beeinflussung
- Veränderung der Inaktivations-oder Desensitierungscharakteristik
- Beeinflussung der Proteinbiosynthese der Kanalproteine

Weitere Wirkungen:

- Modulation der Funktion von Ionenpumpen
- Modulation von Enzymaktivitäten
- Modulation von Zytoskelettelementen
- Wirkungen auf Gen-transkription und Expression von Proteinen.

Überblick über einige Transmitter und ihre Rezeptoren

Transmitter	Rezeptortyp	Rezeptor	Hauptwirkung
Acetylcholin	ionotrop	nicotinisch	EPSP
	metabotrop	muscarinisch	beeinflusst K ⁺ -Kanäle über second messenger
Adenosin	metabotrop	P1	wirkt auf Adenylatcyclase
		P2	second messenger
Dopamin	metabotrop	D1	stimuliert Adenylatcyclase
		D2	hemmt Adenylatcyclase
GABA	ionotrop	GABA-A	kurzes IPSP
	metabotrop	GABA-B, C	langanhaltendes IPSP
Glutamat	ionotrop	AMPA	kurzes EPSP
		Kainat	kurzes EPSP
		NMDA	langdauerndes EPSP
	metabotrop	mGluR1 u. 5	stimuliert Phospholipase C
	-	mGluR2,3,4,6	hemmt Adenylatcyclase
Histamin	metabotrop	H1	stimuliert Phospholipase C
		H2	stimuliert Adenylatcyclase
(Nor)Adrenalin	metabotrop	$\alpha 1$ (A-D)	beeinflusst Phospholipase C
		$\alpha 2$ (A-D)	generell: postsyn. Excitation hemmt Adenylatcyclase
		β (1-3)	gen.: postsyn. Inhib., präsynapt. Hemm. stimuliert Adenylatcyclase
Serotonin	metabotrop	5-HT1 (A-F)	hemmt Adenylatcyclase
(5-Hydroxy-Tryptophan)		5-HT2 (A-C)	beeinflusst Phospholipase C
		5-HT 3-7	meist: Stimulation Adenylatcyclase