

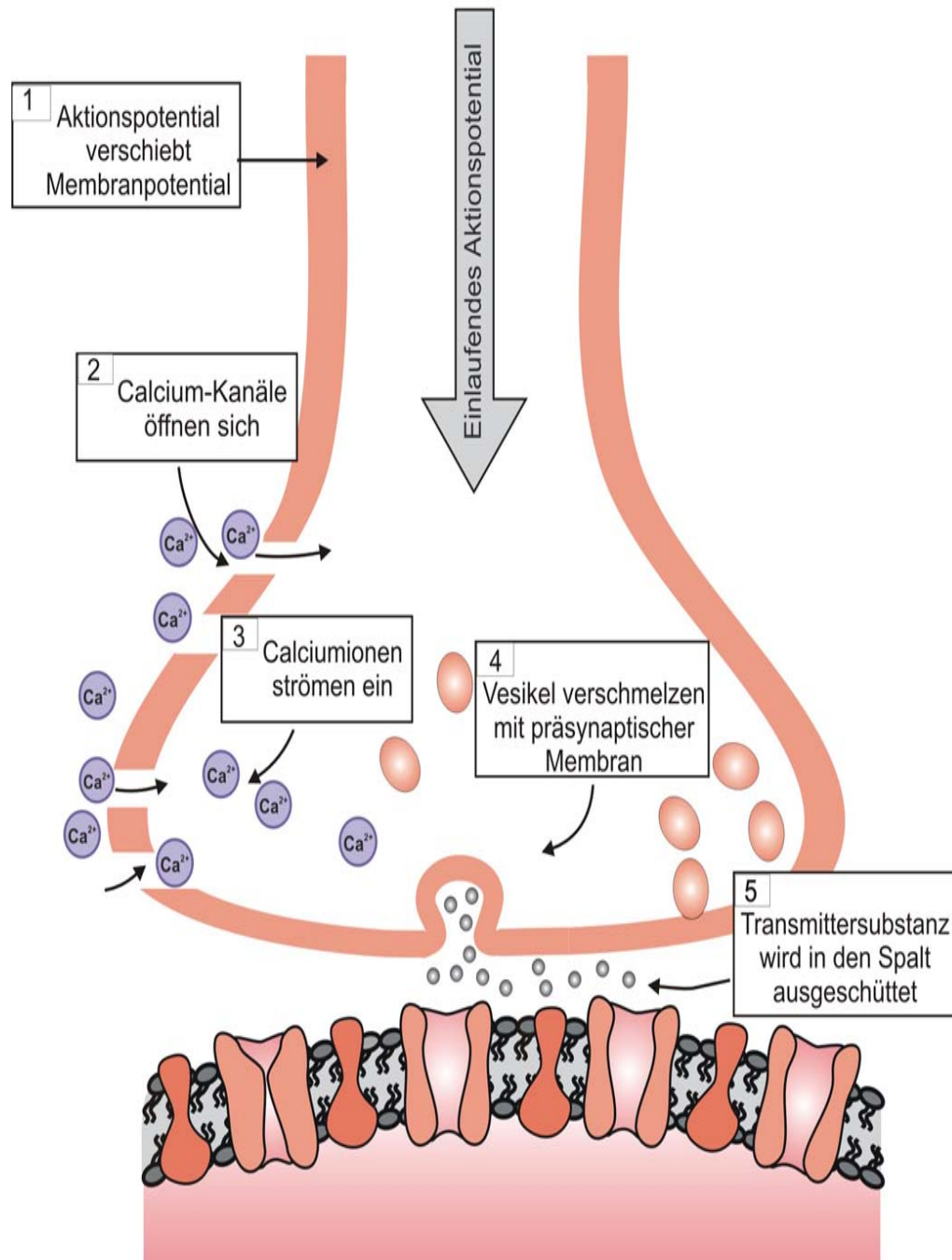
# BP-2

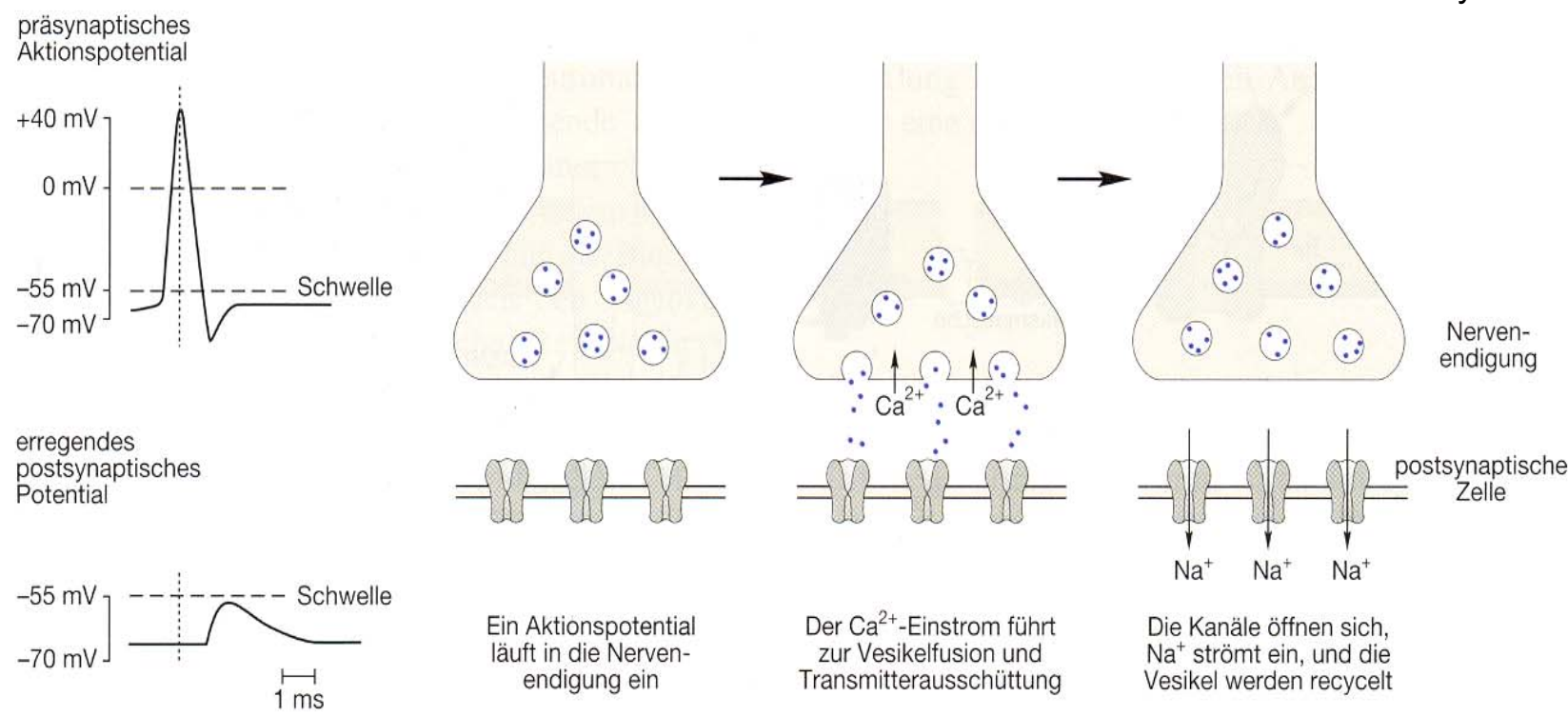
Erregungsübertragung von  
Nervenzelle zu Nervenzelle

BP-2-Sy

Synapse

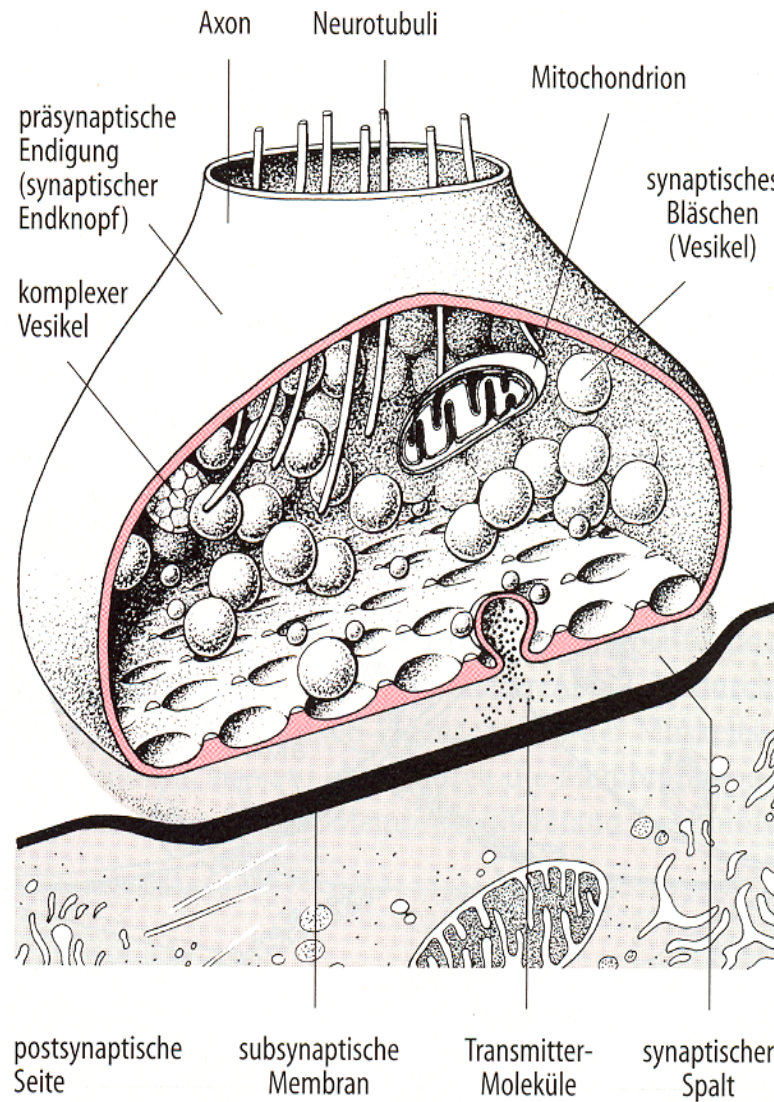
Synaptische Übertragung



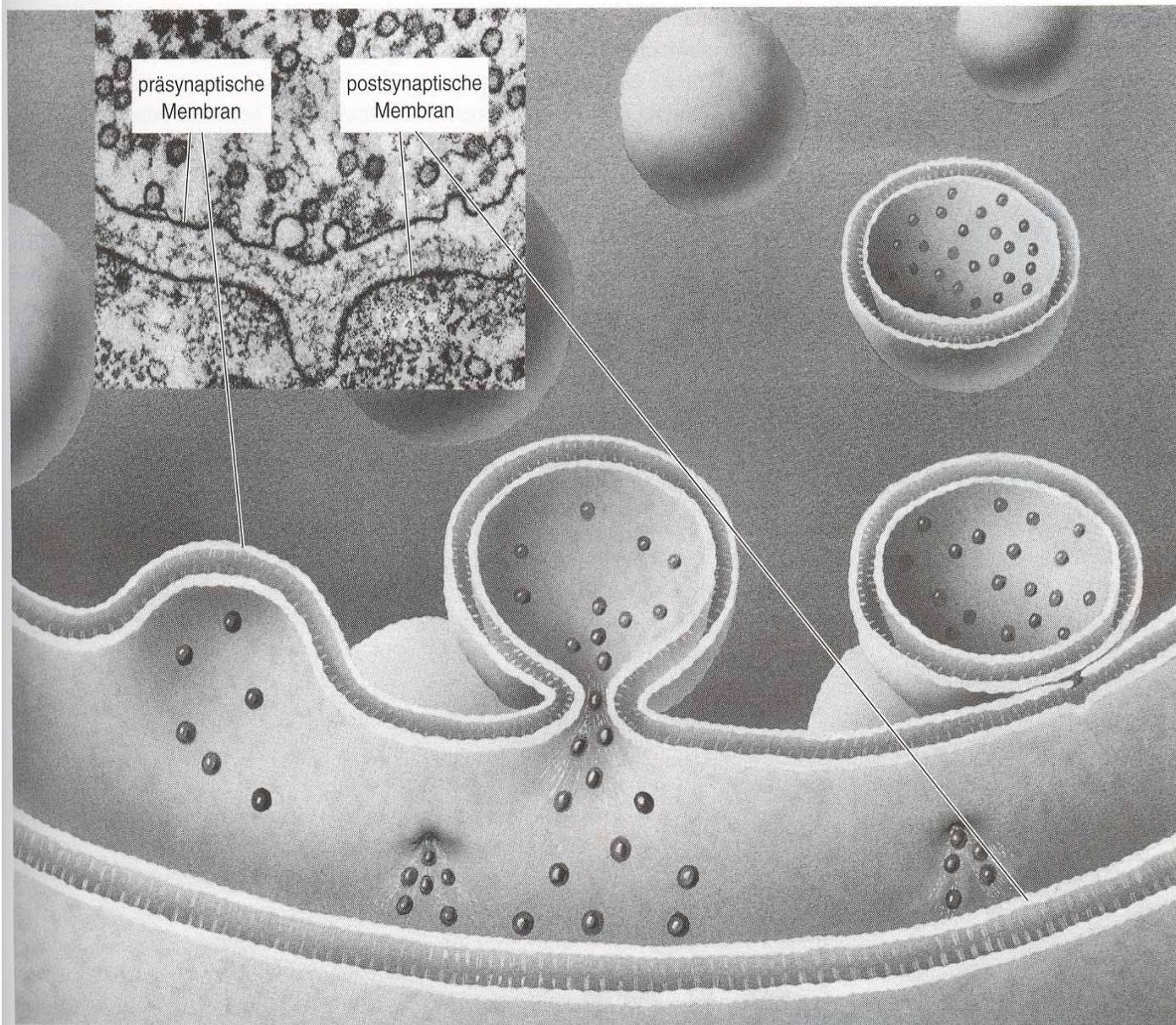


**11.8** Die synaptische Übertragung an chemischen Synapsen umfaßt mehrere Schritte. Ein Aktionspotential, das an der Endigung eines präsynaptischen Axons ankommt, führt dazu, daß sich spannungsgesteuerte Ca<sup>2+</sup>-Kanäle in der aktiven Zone öffnen. Der Einstrom von Calciumionen erzeugt im Bereich der aktiven Zonen eine hohe Ca<sup>2+</sup>-Konzentration, die ihrerseits dazu führt, daß Vesikel, die Neurotransmitter enthalten, mit der cytoplasmatischen Membran verschmelzen und ihren Inhalt in den synaptischen Spalt ausschütten. Die freigesetzten Neurotransmittermoleküle diffundieren

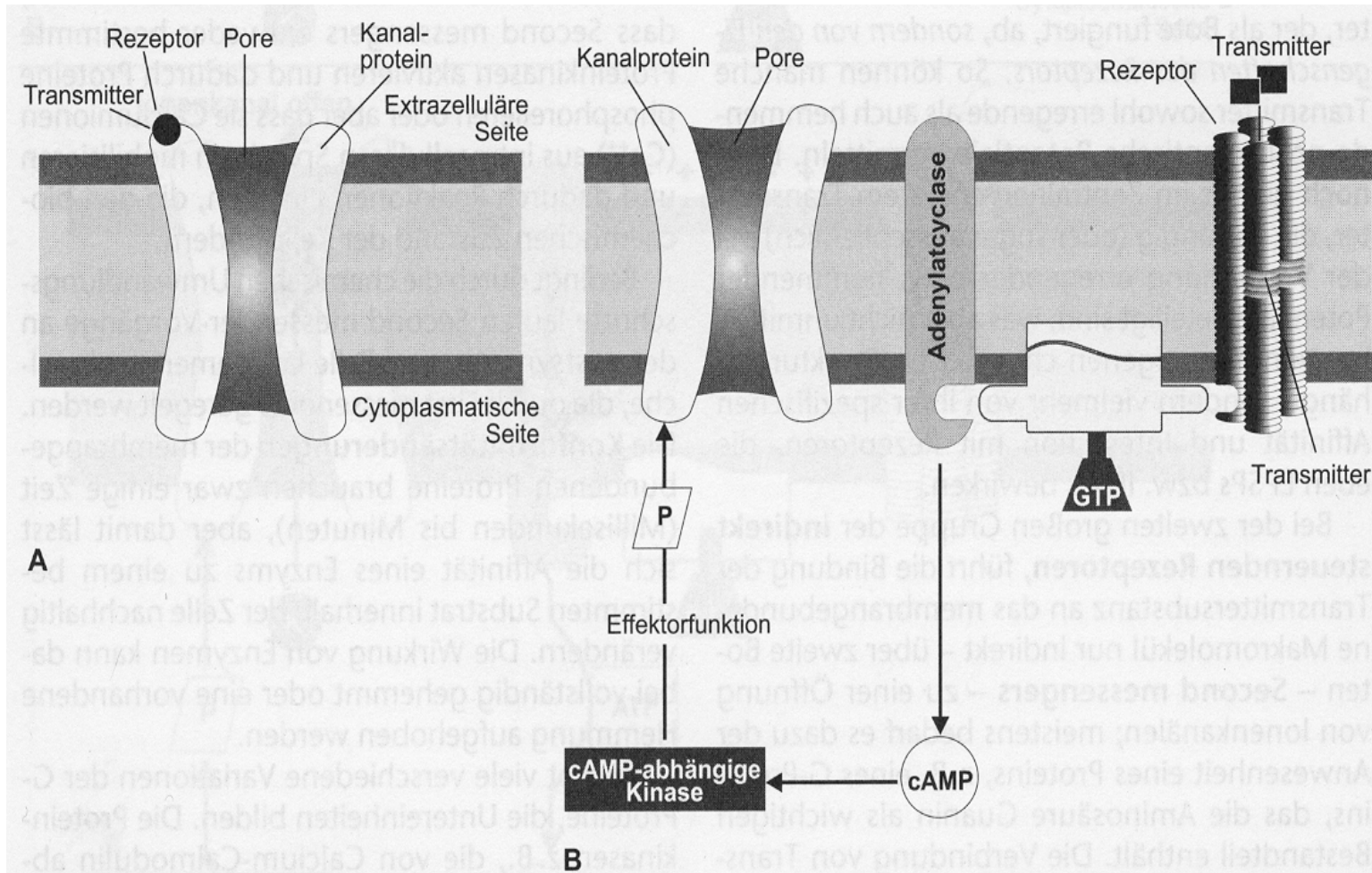
durch den synaptischen Spalt und binden an spezifische Rezeptoren in der postsynaptischen Membran. Diese Rezeptoren veranlassen Ionenkanäle dazu, sich zu öffnen (oder zu schließen), wodurch sich die Membranleitfähigkeit verändert und die Zelle depolarisiert wird. Der komplexe Vorgang der chemischen synaptischen Übertragung ist für die Verzögerung zwischen den Aktionspotentialen in der prä- und der postsynaptischen Zelle im Vergleich zur praktisch verzögerungsfreien Signalübertragung an elektrischen Synapsen (siehe Abbildung 11.2B) verantwortlich.



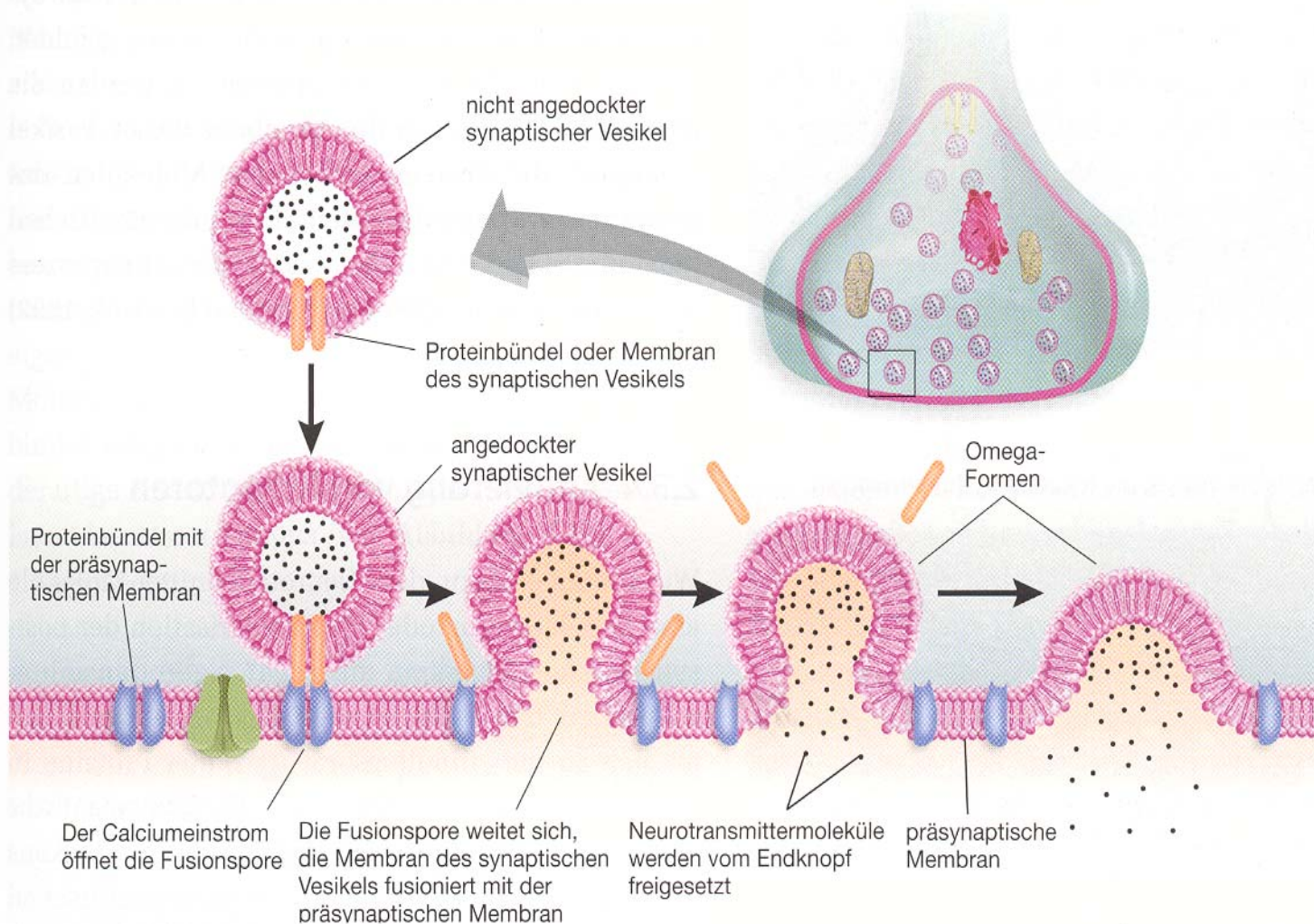
**Abb. 8-1.** Aufbau einer chemischen Synapse im Überblick. Alle bei der synaptischen Übertragung wichtigen Bauelemente sind eingezeichnet. Der Durchmesser der synaptischen Bläschen und die Breite des synaptischen Spaltes sind relativ zu den übrigen Anteilen der Synapse mehrfach überhöht gezeichnet (Maßangaben im Text). Schematisch nach den elektronenmikroskopischen Befunden zahlreicher Autoren, insbesondere von K. Akert, Zürich, und Mitarbeitern



4.12 Schematische und photographische Darstellung einer Exocytose. (Nach Heuser et al., *Journal of Cell Biology*, 1979, 81, 275–300. Wiedergabe mit Genehmigung von The Rockefeller University Press.)

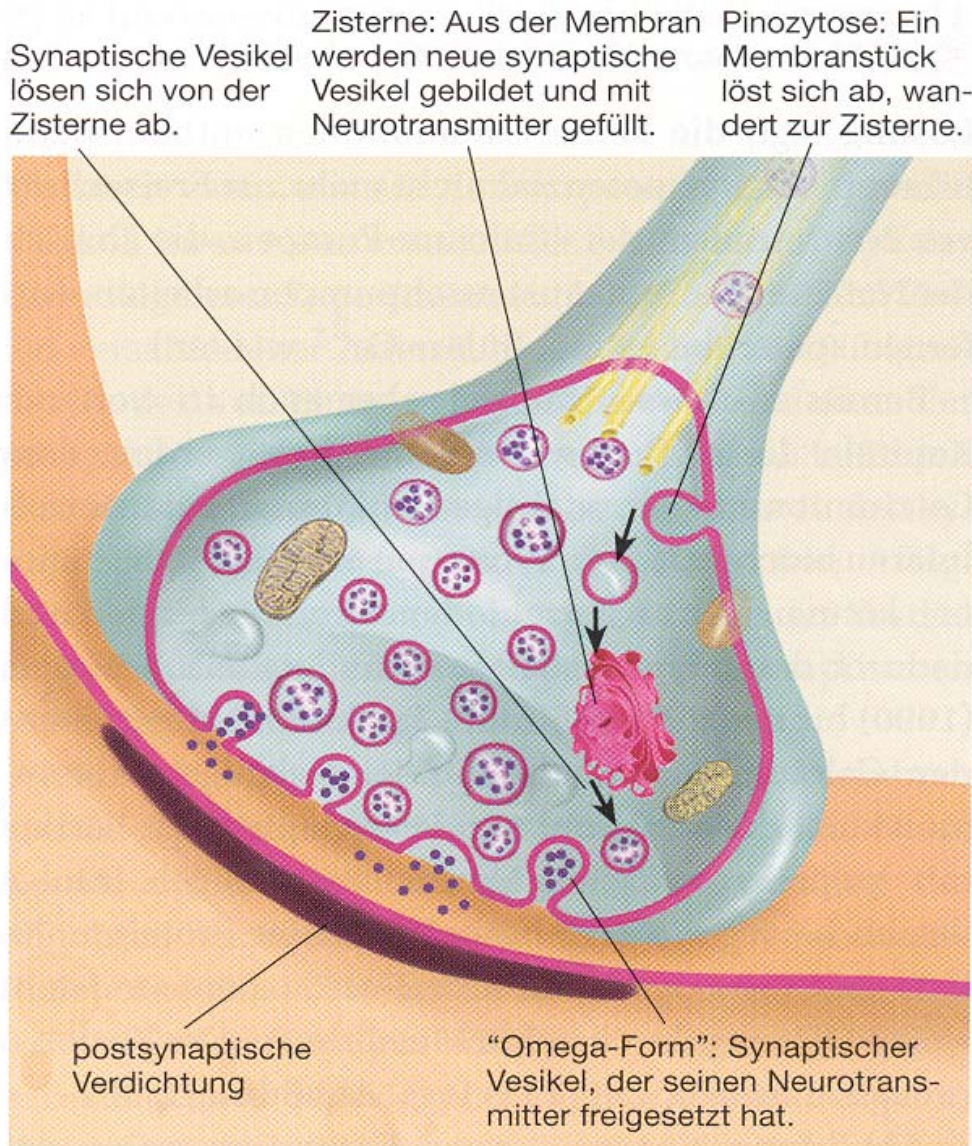


**Abb. 3.18 Direkt und indirekt steuernde Rezeptoren.** (A) zeigt ein Beispiel eines ionotropen Rezeptors, bei dem Rezeptor und Effektor in einem Makromolekül liegen. In (B) ist ein Beispiel eines G-Protein gekoppelten indirekt steuernden Rezeptors dargestellt, bei dem durch die Aktivierung des Rezeptors erst Second messengers aktiviert werden müssen, die dann die Konformität eines Ionenkanals ändern und somit ein EPSP oder IPSP hervorrufen. Ein solcher Rezeptor besteht aus insgesamt sieben membrandurchspannenden Domänen; wengleich in (B) und auch den folgenden Abbildungen zur Second messenger-Transduktion nur jeweils vier Domänen sichtbar sind.



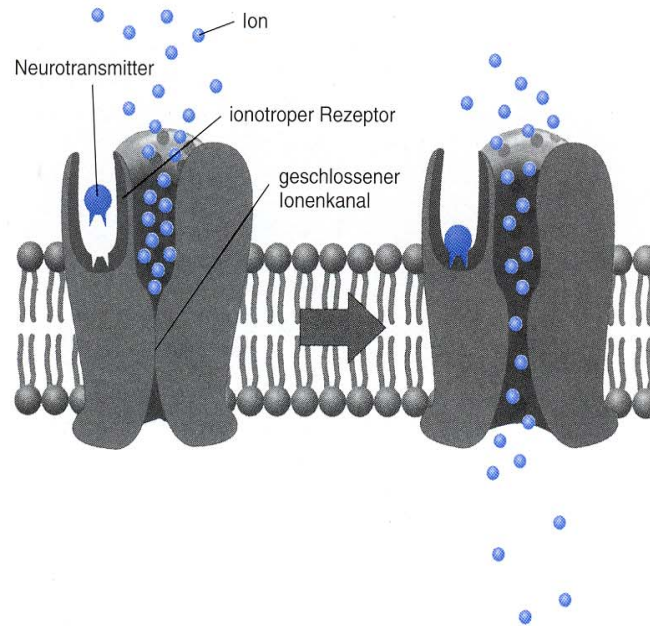
**Abbildung 2.30:** Freisetzung des Neurotransmitters. Ein Aktionspotenzial öffnet Calciumkanäle. Calciumionen strömen in die Zelle und binden sich an Membranproteine synaptischer Vesikel, die an der Aktivzone angedockt haben. Fusionsporen öffnen sich und der Neurotransmitter wird in den synaptischen Spalt entlassen. Die Membran der Vesikel fusioniert mit der Membran des Endknopfes.





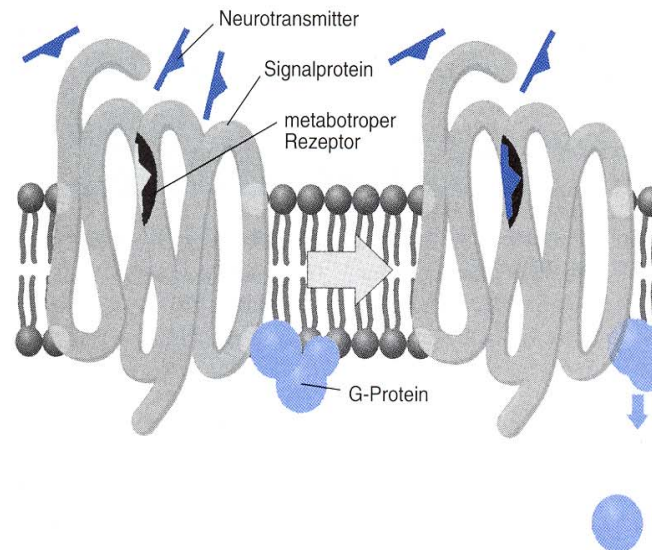
**Abbildung 2.32:** Recycling der Membran von synaptischen Vesikeln, die ihren Neurotransmitter in den synaptischen Spalt freigesetzt haben.

**Ionotroper Rezeptor**

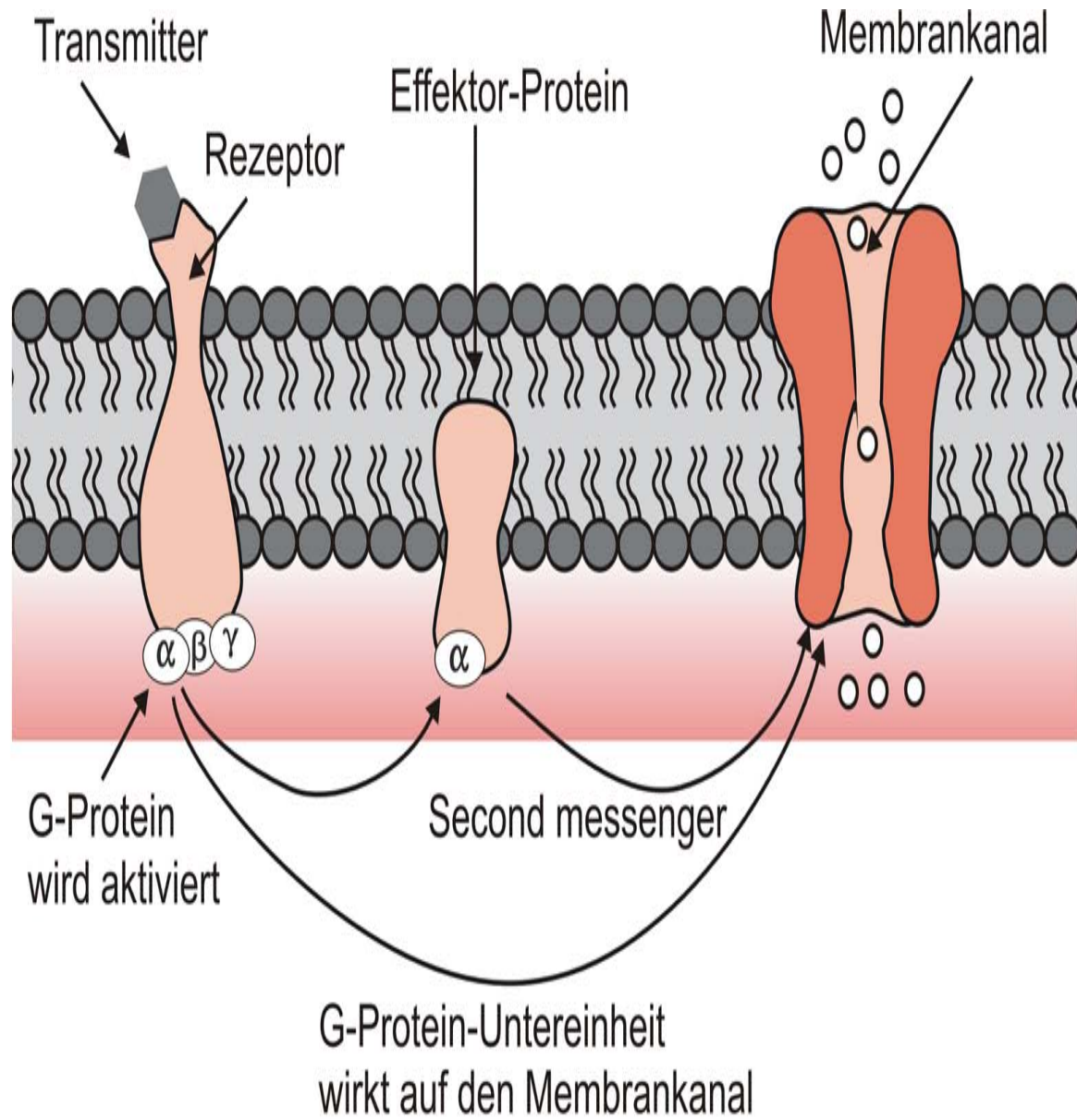


Einige Neurotransmittermoleküle binden sich an Rezeptoren, die an Ionenkanäle gekoppelt sind. Wenn sich ein Neurotransmittermolekül an einen solchen ionotropen Rezeptor bindet, öffnet sich der Kanal (wie im abgebildeten Fall) oder schließt sich und ermöglicht dadurch die Kontrolle des Ionenflusses in das Neuron bzw. aus dem Neuron.

**Metabotroper Rezeptor**



Einige Neurotransmittermoleküle binden sich an Rezeptoren an Signalproteinen, die mit G-Proteinen gekoppelt sind. Wenn sich ein Neurotransmittermolekül an einen solchen metabotropen Rezeptor bindet, löst sich eine Untereinheit des G-Proteins im Zellinneren ab und bindet sich entweder an einen Ionenkanal oder stimuliert die Synthese eines Second Messenger (sekundärer Botenstoff, im Gegensatz zum Neurotransmitter als dem primären Botenstoff).



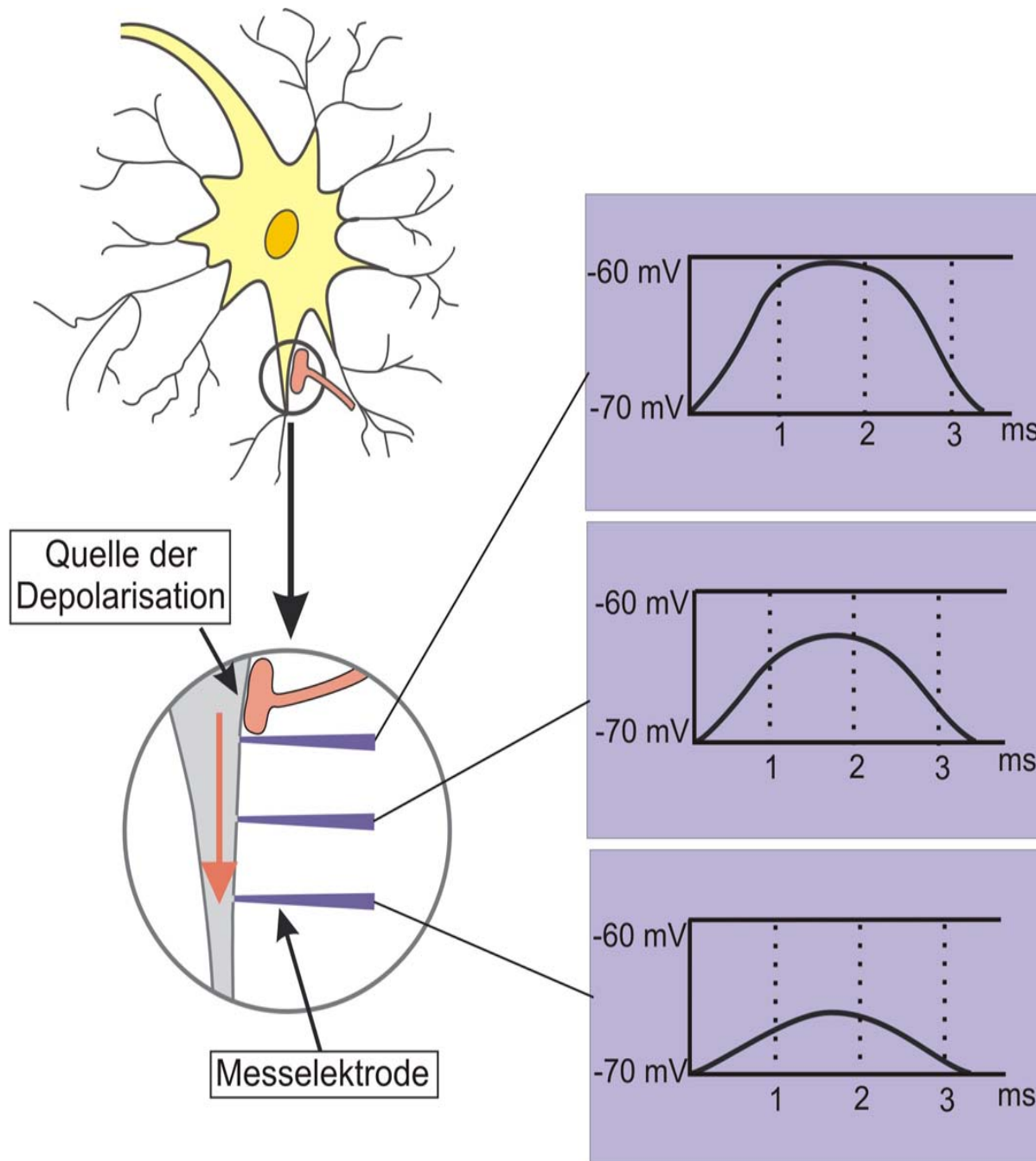
## Chemische Synapse I

### Aufbau

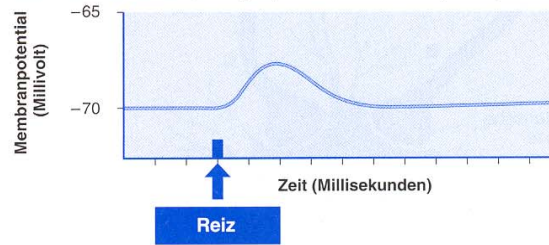
- Das Axon endet in der *präsynaptischen Endigung (präsynaptischer Endkopf)*.
- Der Endkopf enthält zahlreiche *synaptische Bläschen (synaptische Vesikel)*.
- In diesen Vesikeln befinden sich die Botenstoffe (Überträgersubstanzen, *Neurotransmitter*).
- Die Botenstoffe überqueren den synaptischen Spalt (10 bis 50 nm) und erreichen die *subsynaptische Membran*.
- Auf der subsynaptischen Membran befinden sich die *Rezeptoren*, an denen die Neurotransmitter anbinden.

### Zahl

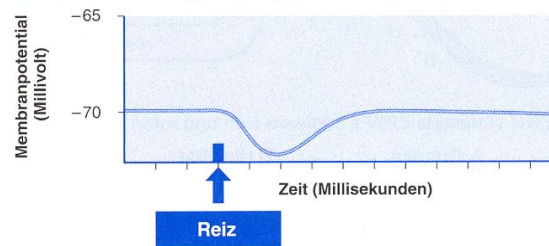
Im menschlichen Gehirn befinden sich 100000000000000 (10<sup>14</sup>) Synapsen.



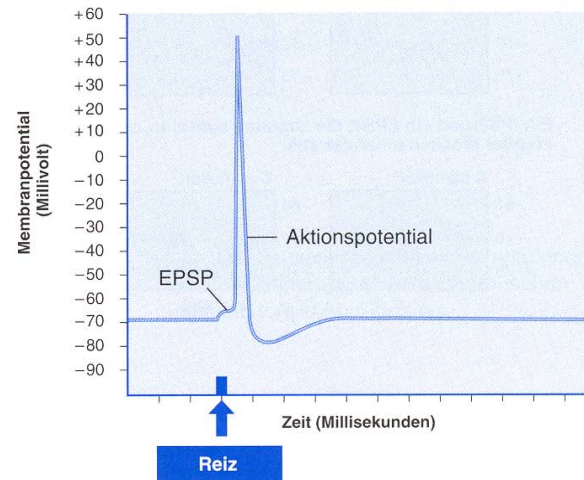
Ein exzitatorisches postsynaptisches Potential (EPSP)



Ein inhibitorisches postsynaptisches Potential (IPSP)



Ein EPSP und ein Aktionspotential

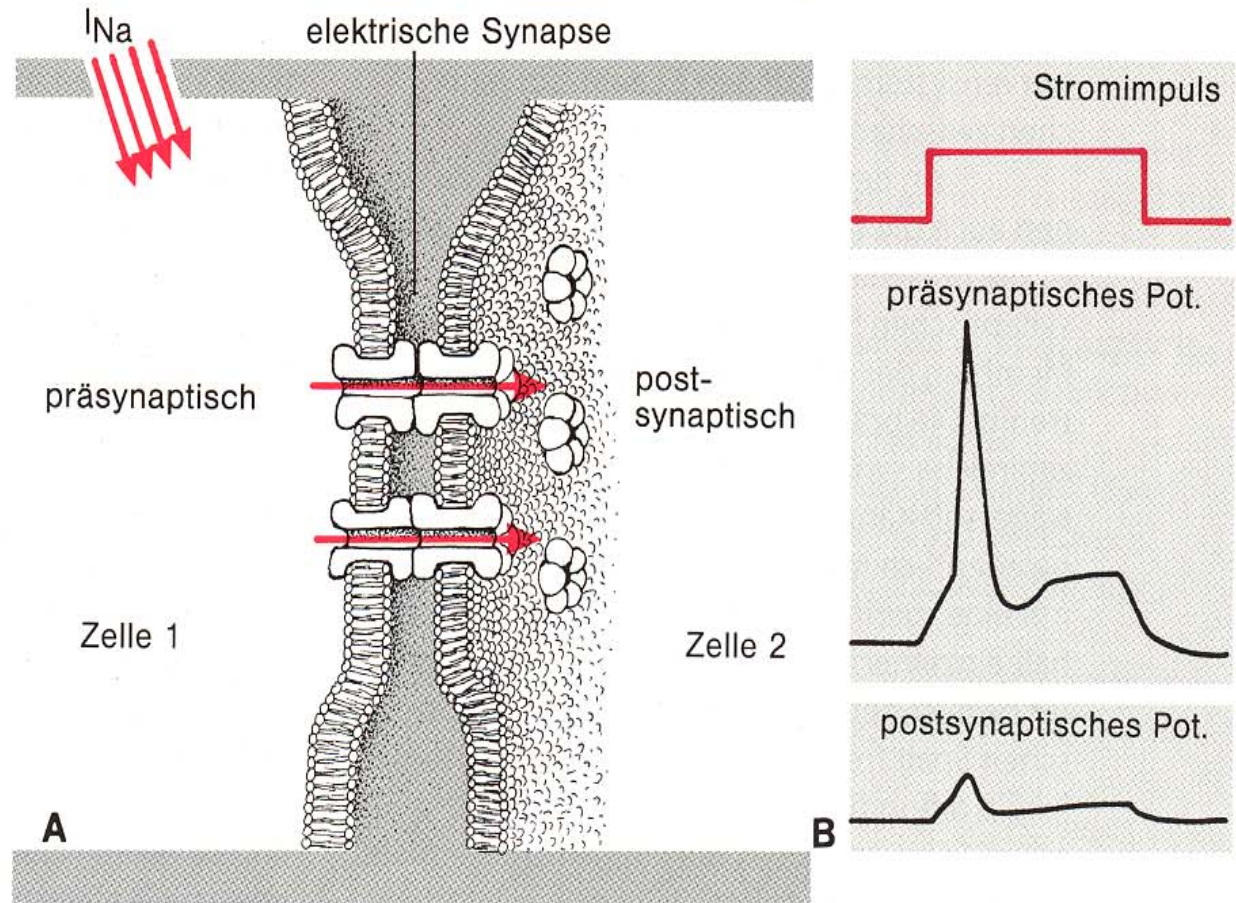


4.5 Messkurven für das Membranpotential eines Neurons: ein erregendes beziehungsweise hemmendes postsynaptisches Potential (EPSP beziehungsweise IPSP) und ein EPSP, gefolgt von einem Aktionspotential.

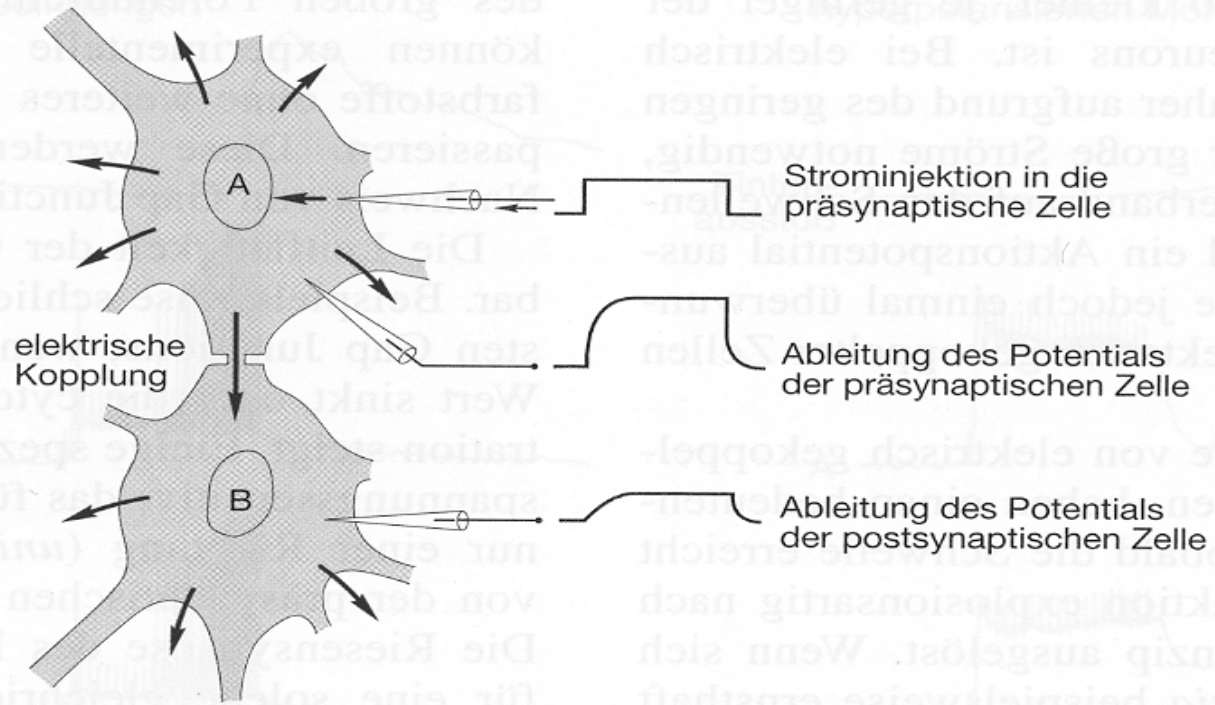
### **Funktion**

Ein präsynaptisches Aktionspotential erhöht die Wahrscheinlichkeit der Entleerung der Vesikel. Die Entleerung, auch *Exozytose* genannt, produziert Quanten freigesetzter Neurotransmitter. Für die Neurotransmitterfreisetzung ist der Einstrom von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen Voraussetzung. Die freigesetzten Neurotransmitter binden an ihre postsynaptischen Rezeptoren. Es gibt *Ionen-Kanal-gekoppelte (ionotrope)* Rezeptoren und *G-Protein-gekoppelte (metabotrope)* Rezeptoren, die auf unterschiedlichem Wege Ionenkanäle ansteuern. Durch die Rezeptorbindung kann es elektrisch entweder zu einer Depolarisation oder zu einer Hyperpolarisation kommen. Die entsprechenden Potentiale nennt man *exzitatorische postsynaptische Potentiale (EPSP)* bzw. *inhibitorische postsynaptische Potentiale (IPSP)*. Die EPSPs erhöhen die Wahrscheinlichkeit, daß postsynaptisch ein Aktionspotential ausgelöst wird, die IPSPs erniedrigen die Wahrscheinlichkeit. Die EPSPs und die IPSPs breiten sich im Gegensatz zum Aktionspotential passiv aus. Für die postsynaptische Auslösung eines Aktionspotentials (Erreichen der Schwelle) am Axonhügel ist die Bilanz der EPSPs und IPSPs entscheidend.

Abb.8-16. Erregungsübertragung an elektrischen Synapsen. **A** Zwischen Zelle 1 und Zelle 2 liegt ein Nexus (gap junction). Wird *Zelle 1* erregt, so fließt dort ein Strom  $I_{Na}$  in die Zelle ein. Dieser fließt z.T. über den Nexus in die Zelle 2 und depolarisiert diese. **B** Ein Stromimpuls (rot) in die (präsynaptische) Zelle erzeugt in dieser ein elektrotisches Potential, das ein Aktionspotential auslöst. In der (postsynaptischen) Zelle 2 erscheint als postsynaptisches Potential, über den Nexus fortgeleitet, ein verkleinertes Abbild des präsynaptischen Potentials. In Anlehnung an J. Duodel in [11]







**11.3** Eine elektrische Übertragung findet selbst bei unter-schwelliger Reizung statt. Das läßt sich durch Depolarisation der präsynaptischen Zelle durch Injektion eines positiven Stroms demonstrieren. Der Strom wird durch die eine Elektrode injiziert und das Membranpotential mit einer zweiten Elektrode registriert. Depolarisationen werden als Änderung des Membranpotentials nach oben dargestellt. Ein unter-schwelliger, depolarisierender Reiz verursacht eine passive Depolarisation in der präsynaptischen und in der postsynaptischen Zelle.

**Tabelle 11.1:** Unterschiedliche Eigenschaften elektrischer und chemischer Synapsen

<i>Synapsentyp</i>	<i>Entfernung zwischen prä- und postsynaptischer Zellmembran</i>	<i>cytoplasmatische Kontinuität zwischen prä- und postsynaptischer Zelle</i>	<i>ultra- strukturelle Komponente</i>	<i>Übertragung durch</i>	<i>synaptische Verzögerung</i>	<i>Übertragungs- richtung</i>
elektrisch	3,5 nm	ja	Gap Junctions	Ionenstrom	praktisch verzögerungs- frei	gewöhnlich in beide Richtungen
chemisch	20–40 nm	nein	präsynaptische Vesikel und aktive Zone; postsynaptische Rezeptoren	chemische Transmitter	signifikant; mindestens 0,3 ms, gewöhnlich 1–5 ms oder mehr	nur in eine Richtung