Erregungsverarbeitung in Neuronen

Lernziele: Ursprung des Membranruhepotentials erklären, Ablauf Aktionspotential erklären, Prinzipien der Erregungsfortleitung verstehen

Grundlagen Neurone

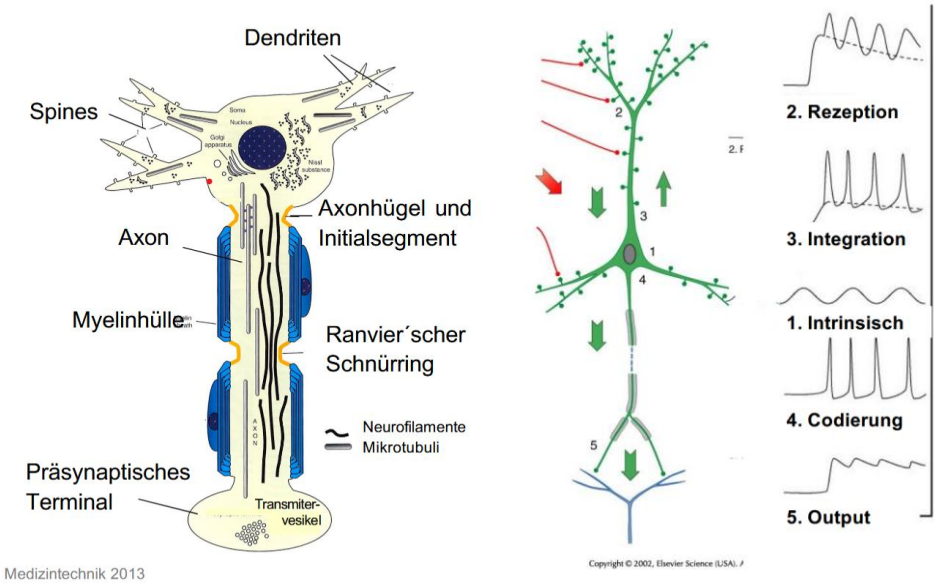


Abbildung 1: Funktionelle Kompartimentierung der Neurone nach Aufgabe (rechts)

Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines Neurons (links)

Aufbau

- Verschiedene strukturelle Ausprägungen möglich, „form follows function“ (Aufgabe bestimmt Morphologie)

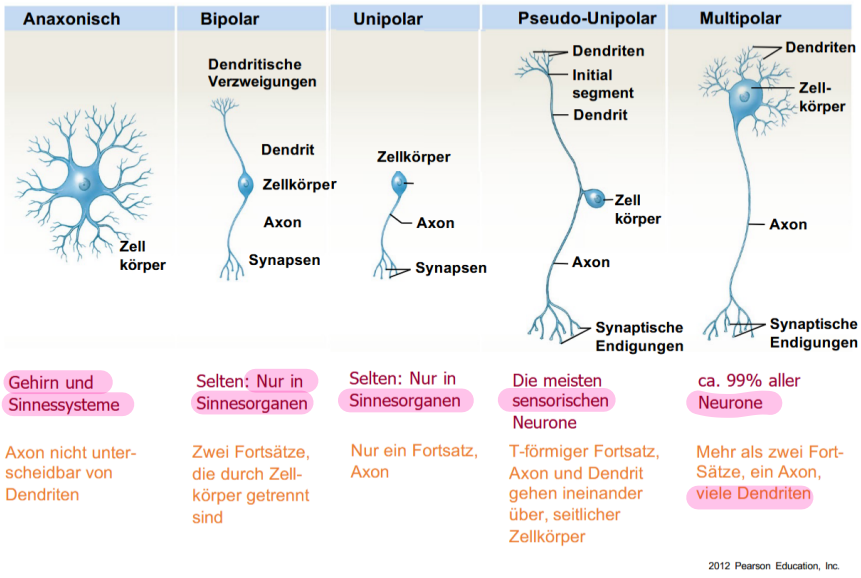
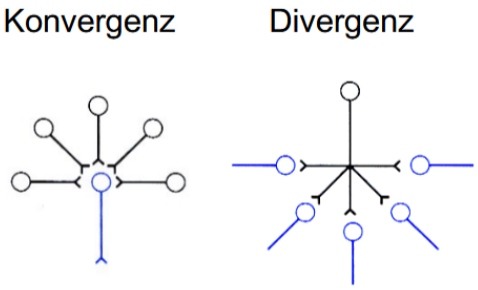


Abbildung 3: Übersicht über die verschiedenen Typen von Neuronen mit Lokalisation und morphologischen Merkmalen

Prinzipien der Verschaltung

- Konvergenz
  - Mehrere Axone leiten Signal an ein Axon weiter, Signalvestärkung
- Divergenz
  - Eine Synapse leitet Signal an mehrere Dendriten weiter, Verteilung des Signals

↳ Schmerz



Ursprung Membranruhepotential

- Trennung des inneren und äußeren Teils des Axons durch Phospholipid-Doppelmembran
- Durchlässig für lipophile, ungeladene Teilchen bis zu einem bestimmten Durchmesser
- Hydrophile, geladene Teilchen können Membran nicht unkontrolliert passieren → Kanäle in Membran ermöglichen Transport, sind je nach Zustand geöffnet oder geschlossen, müssten aktiviert werden
- Durch Differenz in Teilchenverteilung Potential über Membran hinweg (außen Na+, Cl-, innen K+, organische Anionen (A-))

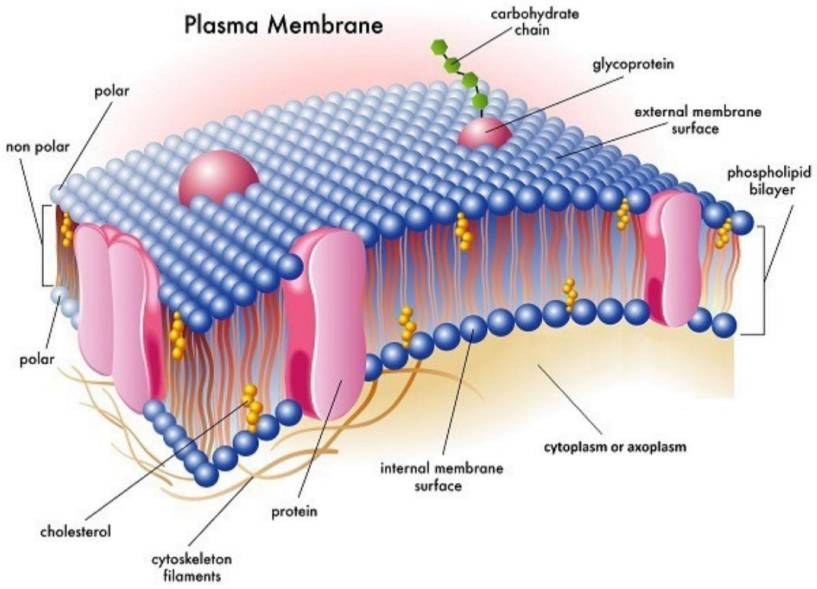
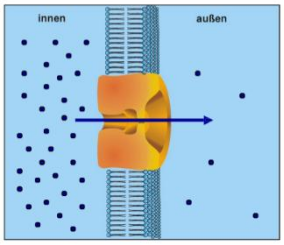


Abbildung 4: Aufbau der Phospholipid-Doppelschicht

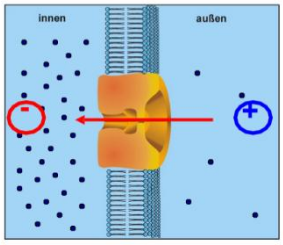
Aktionspotential (AP)



Potentialaufbau durch:

Konzentrationsausgleich:

Chemisches Potential treibt K+-Ionen von Innen nach außen entlang des Konzentrationsgradienten



Ladungsausgleich

Elektrisches Potential hemmt den Fluss von K+-Ionen/treibt von außen nach innen, um Ladungsausgleich zu erreichen

In Summe: chem. Potential = el. Potential, Netto-Stromfluss = 0

Bestimmung des Gleichgewichtspotentials der Membran mittels Nernst-Gleichung (müssen wir nicht können), gibt an wann el. Kraft den Ionenstrom, bedingt durch den Konzentrationsgradienten, aufhält

Unterschied Ruhe- und Gleichgewichtspotential:
Gleichgewichtspotential wird mittels Nernst-Gleichung bestimmt, gilt für ein Ion, bedingt durch dessen Eigenschaften/Ladung
Ruhepotential: elektrisches Potential über Zellmembran im ruhenden Zustand, bestimmt durch das Zusammenspiel der einzelnen Neuronen (haupts. Kalium) → -70 mV

Aufrechterhaltung mittels **Natrium-Kalium-Pumpe:**

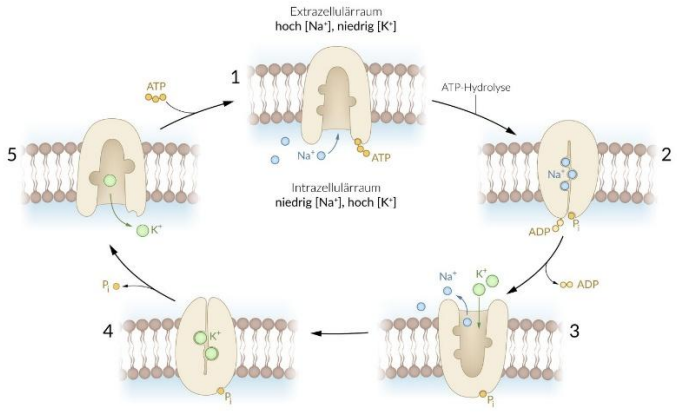


Abbildung 5: Ablauf des Ionentransports an der Natrium-Kalium-Pumpe

Problem: im Ruhezustand weiter Ionendiffusion von Natrium und Kalium, Membranpotential würde verloren gehen

Merke: **Na**zis raus, **K**umpels rein (Na+ wird raus, K+ wird rein transportiert)

Lösung: Natrium-Kaliu-ATPase

1. 3 Na+-Ionen binden innen an membranständiges Protein
2. Unter Abspaltung eines Phosphats kommt es zur Konfigurationsänderung, die Na+-Ionen werden im Protein gebunden
3. Konformitätsänderung führt zu Öffnung nach außen, Na+-Ionen werden in den Extrazellulärraum abgegeben, 2 K+-Ionen binden an Bindungsstellen
4. Noch gebundenes Phosphat-Teilchen löst sich, Protein schließt sich

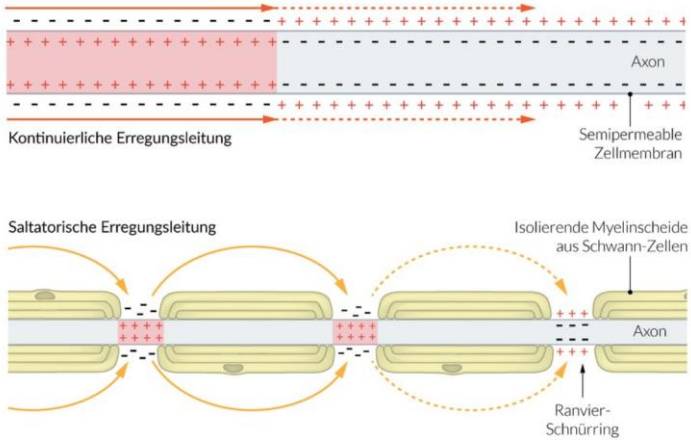
5. Rückkehr in Anfangszustand mit Öffnung nach innen, zwei K+-Ionen werden in den Intrazellulärraum abgegeben

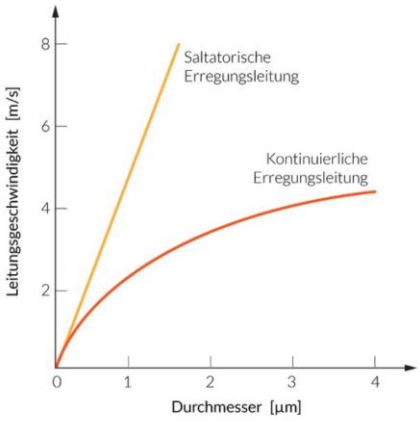
➔ Vorgang unter hohem Energieverbrauch, da entgegen dem Gradienten transportiert werden muss

Komplexe Berechnung da mehrere Ionen mit Goldmann-Hodkin-Katz-Gleichung, basiert auf Permeabilität und Ionenkonzentration

Prinzipien der Erregungsfortbildung

Saltatorisch vs. kontinuierlich:



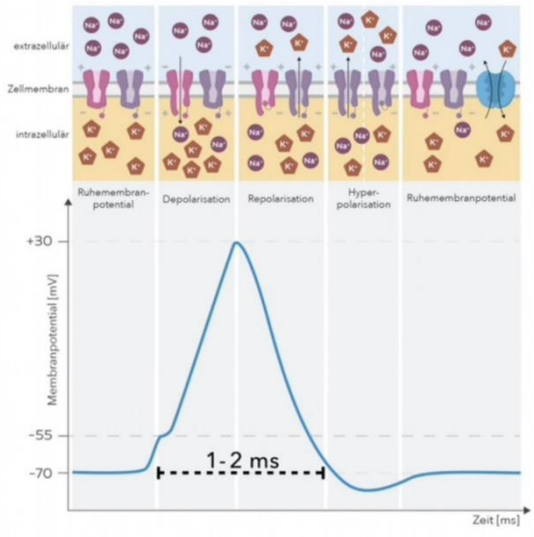


Bei **Wirbeltieren**: **saltatorische Weiterleitung**, Myelinschicht isoliert Teile des Axons und ermöglicht so eine schnellere Weiterleitung mit geringerem Energieverbrauch → Axone sind dünner, in Ranvier'schen Schnürringen sind mehr Na+-Kanäle zu finden.
→ geringerer Energieverbrauch bei schnellerer Signaltransduktion
Fact: Schmerz und Temperaturinformationen werden auch im Menschen über unmyelinisierte Axone weitergeleitet.
Im ZNS: Oligodendrozyten, im PNS: Schwannzellen

Bei **Wirbellosen**: **kontinuierliche Weiterleitung**, Kompensation der geringeren Geschwindigkeit durch dickeres Axon, hoher Energieaufwand

Aktionspotential

1. **Ruhepotential**, Natrium-Kalium-Pumpe hält Potential aufrecht
2. Spannungsgesteuerte Na+-Kanäle öffnen sich, **Depolarisation** bis ober den Schwellenwert, Na+-Einfluss, Membran wird polarisiert (Konzentrationsgefälle Na+)
3. Na+-Kanäle schließen sich über Konformitätsänderung, K+-Kanäle öffnen sich, **Repolarisation** durch Ausfluss von K+-Ionen (Konzentrationsgefälle K+),
4. Durch starken Ausfluss von K+ **Hyperpolarisation**
5. Natrium-Kalium-Pumpe stellt Polarität wieder her → Ruhepotential, zu Beginn **Refraktärzeit**



Refraktärzeit

Unterscheidung in **absolute** und **relative Refraktärzeit**

Absolute Refraktärzeit:
Alle Na+-Kanäle sind inaktiviert, kein neues AP kann generiert werden, egal wie stark der Reiz ist

Relative Refraktärzeit
Nur ein Teil der Na+-Kanäle ist aktivierbar, diese haben aber eine höhere Reizschwelle zur Aktivierung. Die Amplitude ist niedriger als bei einem normalen AP.

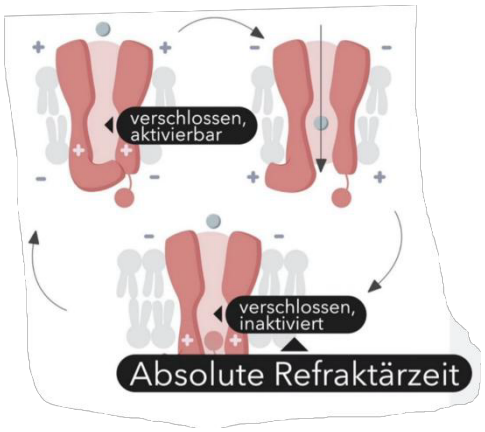


Abbildung 6: Natrium-Kanal-Konfiguration während der Refraktärzeit

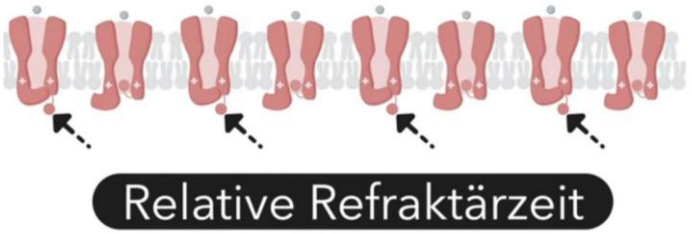


Abbildung 7: Während der relativen Refraktärzeit sind einige Kanäle erregbar, einige nicht

Aufgabe: da die Kanäle spannungsgesteuert sind würde das AP ohne Refraktärzeit in beide Richtungen des Neurons weiter wandern. Durch die Refraktärzeit wird eine Überlastung verhindert und einen geordnete Weiterleitung ermöglicht.

Erregungsfortleitung

Frage: Wie werden Informationen über Aktionspotentiale übertragen? Wie können unterschiedliche Signalstärken generiert werden? Warum versiegt das Signal nicht?

Vermittlung von Informationen über Frequenz des AP bei gleichbleibender Amplitude. Bei starken Signalen werden mehrere Neurone an einer Synapsen aktiviert.
Aktive Signalausbreitung: in Dendriten, Soma und Axon wird das Signal durch spannungsgesteuerte Natriumkanäle weitergetragen und so aktiv erneut ausgelöst.

Mögliche Klausurfragen:

Welche Ionen befinden sich vorwiegend außen, welche befinden sich vorwiegend innen?

- Natrium
- Kalium
- Chlorid
- Calcium

Lösung: Na+, Ca2+ außen, Cl-, K+ innen

Was ist die Ladung des Ruhepotentials?

A. -70 mV
B. -55 mV
C. -80 mV
D. +66 mV

Lösung: -70 mV (-80 mV ist Gleichgewichtspotential K+, -55 mV ist Schwellenwert für Aktionspotential, +66 mV ist Gleichgewichtspotential Na+)