

---

# Grundlagen

## Nervengewebe

---

David P. Wolfer

Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich

Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

377-0107-00 Nervensystem / Anatomie, Di 14.11.2023 08:15-10:00

# Lernziele dieser Anatomievorlesung: Studierende können ...

---

- **Merken und Erinnern**

1. Nervengewebe definieren, Vorkommen und Gliederung des zentralen und peripheren Nervengewebes wiedergeben
2. Typen zentraler und peripherer Gliazellen aufzählen
3. den Grundbauplan und Strukturelemente der Nervenzelle, sowie Varianten des Bauplans in unterschiedlichen Typen von Nervenzellen wiedergeben
4. den Unterschied zwischen Projektions- und Interneuronen definieren
5. Aufbau und Strukturelemente peripherer und zentraler Nervenfasern, sowie die Struktur von Myelinscheiden wiedergeben
6. den ultrastrukturellen Aufbau peripherer und zentraler Synapsen wiedergeben
7. den Unterschied zwischen elektrischen und chemischen Synapsen definieren
8. erregende und hemmende Transmitter aufzählen

- **Verstehen und Anwenden**

1. die Unterschiede zwischen zentralen und peripheren Gliazellen und ihre Konsequenzen für die Reparatur zentraler und peripherer Läsionen erläutern
2. die Strukturelle Grundlagen des Transports, der Verarbeitung und der Speicherung von Informationen durch Nervenzellen erklären
3. Anpassungen des Bauplans von Nervenzellen an unterschiedliche Funktionen erläutern
4. den Zusammenhang zwischen Struktur und Leitgeschwindigkeit von Nervenfasern darlegen und den Grund für das Vorkommen von Nervenfasern unterschiedlicher Leitgeschwindigkeit erläutern
5. die Rolle der Strukturelemente elektrischer und chemischer Synapsen bei der Übertragung, Verarbeitung und Speicherung von Informationen erläutern

# Fakultative Lernmaterialien für diese Vorlesung

---

- Lehrbuch: Trepel, «Neuroanatomie»
  - 1 Grundlagen, Begriffe und Definitionen, 1.3 Zytologie und Histologie des Nervensystems
  - 1 Grundlagen, Begriffe und Definitionen, 1.5 Transmittersysteme
  - 1 Grundlagen, Begriffe und Definitionen, 1.6 Verteilung von Nervenzellen und Nervenfasern im peripheren und zentralen Nervensystem
- LernAtlas: Prometheus «Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem»
  - A Allgemeine Anatomie
    - 8.4 Zellen des Nervensystems
    - 8.11 Unterschiede zwischen zentralem und peripherem Nervensystem
- LernAtlas: Prometheus «Kopf, Hals und Neuroanatomie»
  - B Neuroanatomie
    - 1.2 Zellen, Signalübertragung und morphologischer Aufbau des Nervensystems
    - 2.1 Das Neuron und seine Verschaltung
    - 2.2 Neuroglia und Myelin

# Gewebefamilien / Grundgewebe

---

- Grosse Gewebevielfalt durch Zelldifferenzierung und Spezialisierung
  - Zusammenfassung zu 4 Grundgeweben mit gemeinsamen Eigenschaften
  - unterscheidbar durch Funktion, Zellform, Anteil Extrazellulärraum
  - alle Grundgewebe weiter in Subtypen unterteilbar
  - Organe enthalten mindestens 2, meistens alle 4 Grundgewebe

---

	Anteil EZR	Funktionen
Binde- und Stützgewebe	+ bis +++	Struktur, Versorgung, Speicherung, Abwehr, Stroma - Parenchym von Fett, Knochen, Knorpel
Epithelgewebe	(+)	Oberflächen, Drüsen, Rezeptoren, Parenchym innerer Organe
Muskelgewebe	(+) bis +	Kontraktion, Parenchym des Muskels
Nervengewebe	(+)	Übermittlung, Verarbeitung und Speicherung von Informationen, Parenchym des Nervensystems

---

# Nervengewebe

- Vorkommen

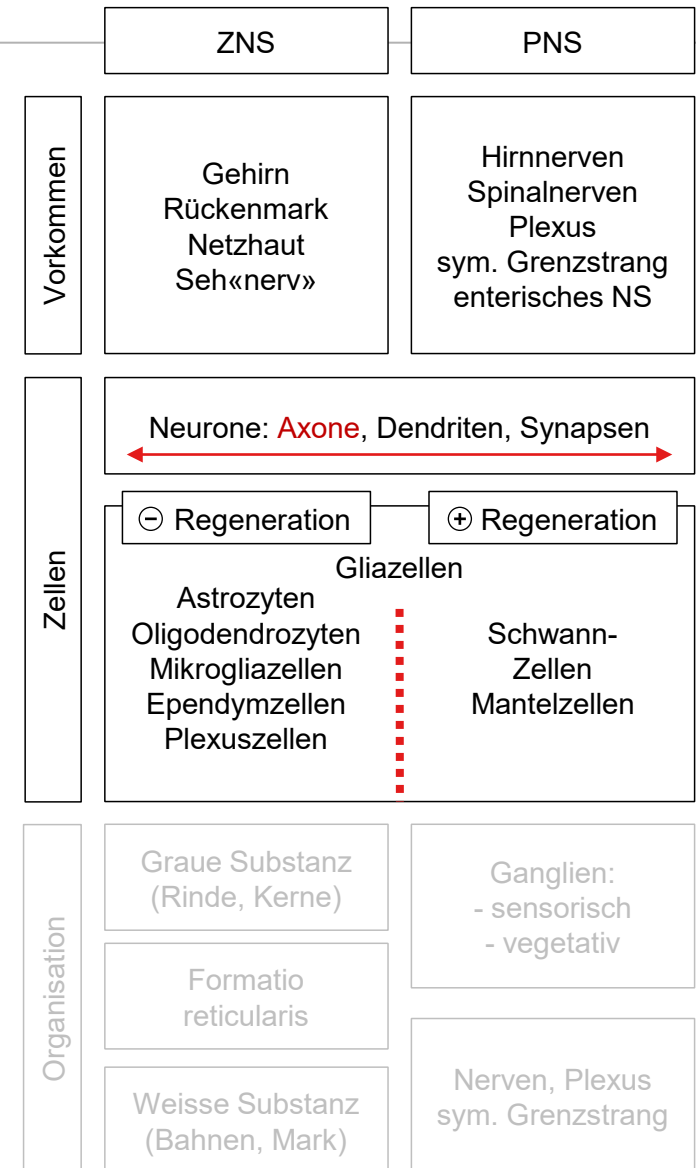
- bildet Parenchym im zentralen (ZNS) und peripheren Nervensystem (PNS)
- Plexus = Nervengeflecht: vegetatives Nervensystem (zB Blutgefäße umgebend), somatisches Nervensystem (Ausgangspunkt der Nerven zur Versorgung der Extremitäten und der Halsregion)
- enterisches Nervensystem (Plexus): Nervengewebe im Magendarmtrakt

- Neurone

- Information: codiert durch Änderungen des Membranpotentials (in Ruhe Innenseite -70mV, Depolarisation = Erregung, Hyperpolarisation = Hemmung)
- Informationsübermittlung: über lange Strecken durch Axone, können ZNS-PNS-Grenze überschreiten
- Informationsverarbeitung & Speicherung: Zellkörper, Dendriten & Synapsen

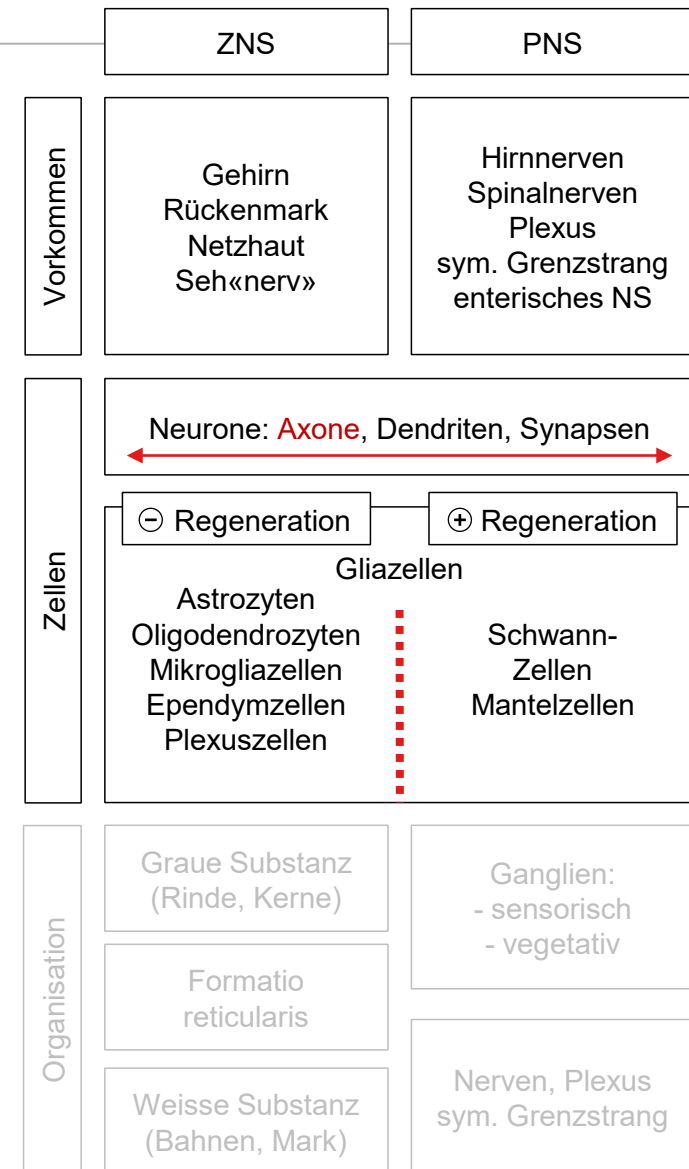
- Gliazellen

- Glia = Leim
- nicht-neuronale Zellen des Nervengewebes, essentiell!
- viele Zelltypen, unterschiedliche Gliazellen in ZNS & PNS
- PNS: gutes Milieu für Nervenfaserverregeneration, unterstützen auch Wundheilung? ZNS: keine oder nur minimale Regeneration langer Nervenfasern
- schwere Krankheiten durch Fehlfunktion der Gliazellen, zB Multiple Sklerose



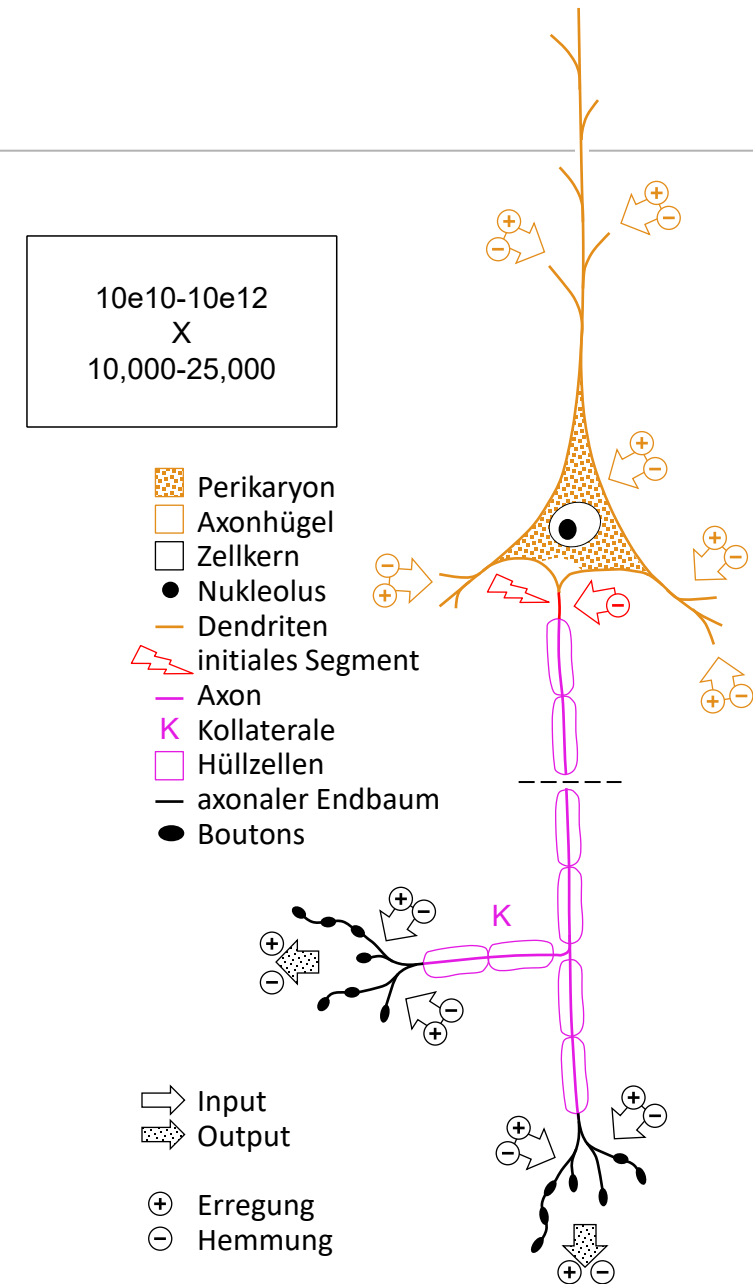
# Gliazellen

- **Astrozyten**
  - überall im ZNS, viele kurze Fortsätze («sternförmige Zelle»)
  - adult: Abfallentsorgung, Brennstoff-Bereitstellung, Aktivitätsregulation, Abschluss des ZNS gegen aussen und Blutgefäße, Abwehr, Narbenbildung
  - Entwicklung: Stammzellen für Neurone, Leitschienen für Zellwanderung
- **Oligodendrozyten**
  - überall im ZNS, wenige kurze Fortsätze («Zelle mit wenigen Fortsätzen»)
  - Hüllzellen für Axone im ZNS, hemmen Wachstum und Regeneration
- **Mikrogliazellen (residente Makrophagen)**
  - Immunabwehr; Entwicklung: «Pruning» von Neuronen, Synapsen, Markscheiden
- **Ependymzellen, Plexusepithelzellen**
  - Ependymzellen → einschichtiges Epithel des Ventrikelsystems mit Kinozilien, Plexusepithelzellen → Epithel des Plexus choroideus → Liquorproduktion
- **Schwann-Zellen**
  - Hüllzellen für Axone im PNS, Schmerzrezeptoren, unterstützen Regeneration
- **Mantelzellen = Satellitenzellen**
  - Hüllzellen für Nervenzellkörper im PNS, zT. ähnliche Funktion wie Astrozyten



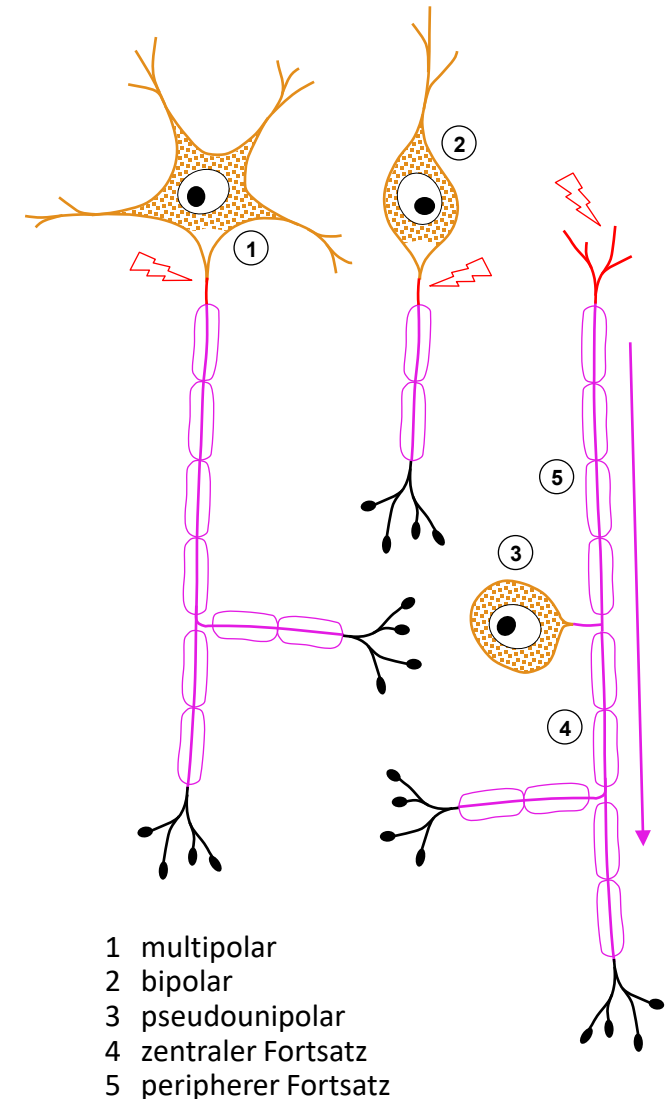
# Neuron, Grundbauplan

- somatodendritisches Kompartiment
  - Soma = Zellkörper: Zellkern hell (Euchromatin, viele Gene exprimiert), Perikaryon = Zytoplasma im Soma mit Nissl-Substanz (rER)
  - Dendriten: meist mehrere, ia. <1 mm, fließender Übergang aus Soma mit Nissl-Substanz im Anfangsteil, verzweigt, ev dekoriert mit Dornen = Spines
- axonales Kompartiment
  - Axon: singular, Kollateralen, Hüllzellen (im PNS immer vorhanden, im ZNS fakultativ), Länge bis über 1m
  - keine Nissl-Substanz in Axonhügel und Axon
  - initiales Segment: erster Abschnitt des Axons, Kompartimentgrenze, keine Hüllzellen
  - axonaler Endbaum, Boutons (= Verdickungen) terminal und en passant
- Synapsen: Input & Output
  - Dendriten & Soma: Integration erregender & hemmender Inputs
  - initiales Segment: Resultat der Integration → neues Impulsmuster, Modulation / Unterdrückung durch hemmende Inputs
  - Axon & Kollateralen: Verbreitung der Impulse als Aktionspotential
  - Endbaum & Boutons: Output, Übertragung auf andere Zellen moduliert durch erregende & hemmende Inputs



# Neuron, Formen

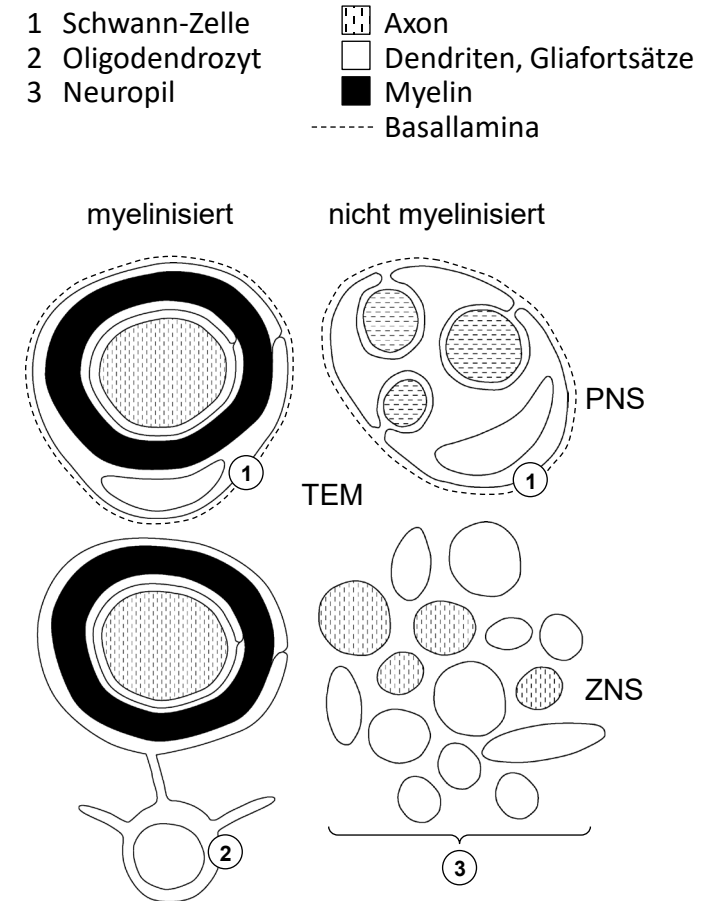
- **Multipolares Neuron**
  - 1 Axon + mehrere Dendriten
  - Pyramidenzellen (pyramidenförmiger Zellkörper, Grosshirnrinde), Sternzellen (rundlicher Zellkörper, Dendriten in alle Richtungen, ZNS+PNS)
- **Bipolares Neuron**
  - 1 Axon + 1 Dendrit (Netzhaut des Auges)
- **Pseudounipolares Neuron**
  - primärafferente Neurone = 1. Glied der Leitung peripherer Rezeptor → ZNS
  - Soma in Spinal- oder sensiblen Hirnnervenganglion (PNS), kugelförmig ohne Dendriten, kein synaptischer Input am Soma
  - peripherer Fortsatz («dendritisches» Axon, im PNS): Verbindung zu Rezeptor / Sinnesorgan in Peripherie, dort Impulserzeugung
  - zentraler Fortsatz (PNS → ZNS): Weiterleitung der Signale ins ZNS, Übergabe an sekundäre Neurone in sensiblen Kernen (2. Glied der Leitung) innerhalb Rückenmark oder Hirnstamm
- **Reichweite**
  - kurzes Axon: Interneurone, hemmend oder erregend
  - langes Axon: Projektionsneurone, mehrheitlich aber nicht immer erregend
  - Übergangsformen, uneinheitlich eingeteilt





# Nervenfaser

- Nervenfaser (ZNS+PNS)
  - strukturelle Definition: Axon (Neuron) + Hüllzellen (Glia)
    - PNS: Basallamina zwischen Hüllzelle und umgebendem Bindegewebe
  - Funktion: Erregungsleitung, Informationsübermittlung über kurze (Interneurone) oder lange Strecken (Projektionsneurone)
  - PNS und ZNS: myelinisiert (va. Projektionsneurone) oder nicht myelinisiert
- myelinisierte Nervenfasern
  - Myelinscheide = Markscheide: Umwicklung durch Zellmembran der Hüllzelle, Stabilisation durch Proteine, für Fine-Tuning dynamisch auf- und abgebaut
  - pro Hüllzelle elektrische Isolation auf Strecke von 1-1.5mm (Internodium)
  - zwischen Hüllzellen Ranvier-Knoten: Axonmembran lokal frei und erregbar
  - rasche saltatorische Erregungsleitung: passive sprunghafte Impulsausbreitung im Internodium, punktuelle Zwischenverstärkung an den Ranvier-Knoten
  - PNS: myelinisierende Schwann-Zelle umhüllt nur ein Axon
  - ZNS: Oligodendrozyt, myelinisiert via Fortsätze mehrere Axone
- Nicht myelinisierte Nervenfasern
  - PNS: mehrere Axone pro nicht-myelinisierende Schwann-Zelle + Basallamina
  - ZNS: in der Regel keine Hüllzelle, Axone + Dendriten + Gliafortsätze = Neuropil
  - keine elektrische Isolation, langsame kontinuierliche Erregungsleitung



# Nervenfasertypen im PNS

- Leitgeschwindigkeit
  - steigt mit Faserdurchmesser, beschleunigt durch Myelinisierung: saltatorische Erregungsleitung
  - Ökonomie: Fasern nur so schnell wie nötig → Spektrum von Nervenfasertypen (auch im ZNS)
  - Klassifikation im PNS: Erlanger-Gasser A $\alpha$ - $\delta$ ,B,C; Lloyd-Hunt (nur afferent): I-IV

*nicht auswendig lernen!*

Erlanger Gasser	Lloyd Hunt	Myelin	Funktion		$\varnothing$ $\mu$ m	m/s
A $\alpha$		ja	efferent	Skelettmuskelfasern		
A $\alpha$	Ia	ja	afferent	Muskelspindeln	12-20	70-120
A $\alpha$	Ib	ja	afferent	Sehnenspindeln		
A $\beta$	II	ja	afferent	Muskelspindeln	6-12	40-70
A $\beta$	II	ja	afferent	Haut-Mechanorezeptoren		
A $\gamma$		ja	efferent	Muskelspindeln		
A $\delta$	III	dünn	afferent	Temperatur, Schmerz	3-6	12-40
A $\delta$	III	dünn	afferent	tiefe Druckrezeptoren		
B		dünn	efferent	vegetativ präganglionär	1-3	2-12
C		nein	efferent	vegetativ postganglionär	0.5-1	0.5-2
C	IV	nein	afferent	Temperatur, Schmerz		

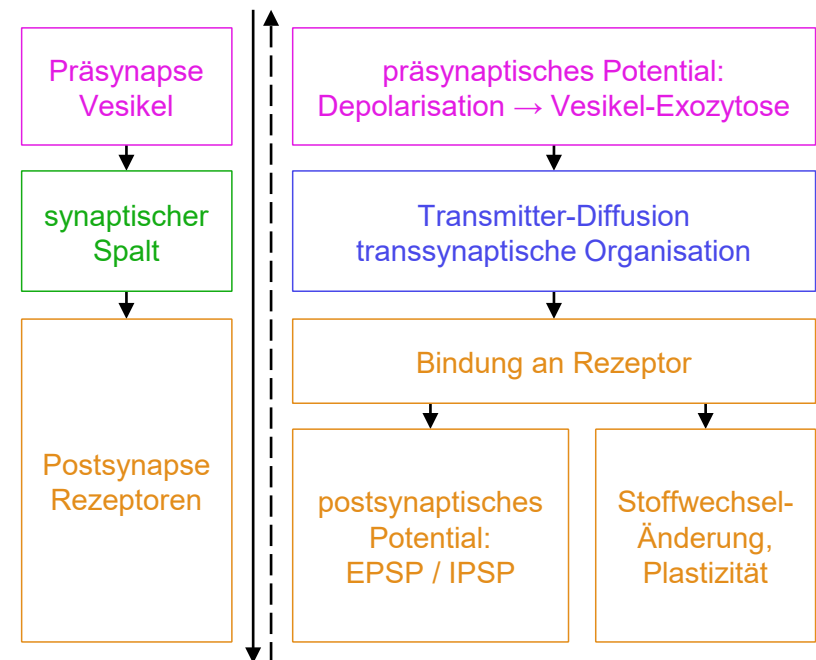
# Chemische und elektrische Synapse

- Synapse
  - Kommunikationskontakt zur Impulsübertragung zwischen erregbaren Zellen: Neurone, Muskelzellen, Sinneszellen
- elektrische Synapse
  - Gap Junction, symmetrisch, elektrische Koppelung und Synchronisation durch Austausch von Ionen zwischen beteiligten Zellen
- chemische Synapse
  - asymmetrische Struktur, gerichtete Informationsübertragung Präsynapse → Postsynapse über synaptischen Spalt durch chemischen Transmitter
  - synaptischer Spalt: Extrazellulärraum, keine zytoplasmatische Kontinuität aber genaue Ausrichtung der Strukturen zwischen Prä- und Postsynapse
  - Präsynapse: Transmitter in synaptischen Vesikeln bereit für Ausschüttung
  - Postsynapse: in Membran Rezeptoren für Transmitter, Art der ausgelösten Prozesse bestimmt durch Kombination Rezeptor-Transmitter
  - postsynaptische Potentiale: Depolarisation = exzitatorisch (EPSP) = erregend, Hyperpolarisation = inhibitorisch (IPSP) = hemmend
  - Stoffwechsel-Änderung → Plastizität = Minuten bis Jahre bleibende Veränderung der Eigenschaften der Synapse abhängig von übertragenen Informationen → Mechanismus für Langzeitgedächtnis. Feedbacksignale Postsynapse → Präsynapse tragen zur Plastizität bei.

## • Transmitter

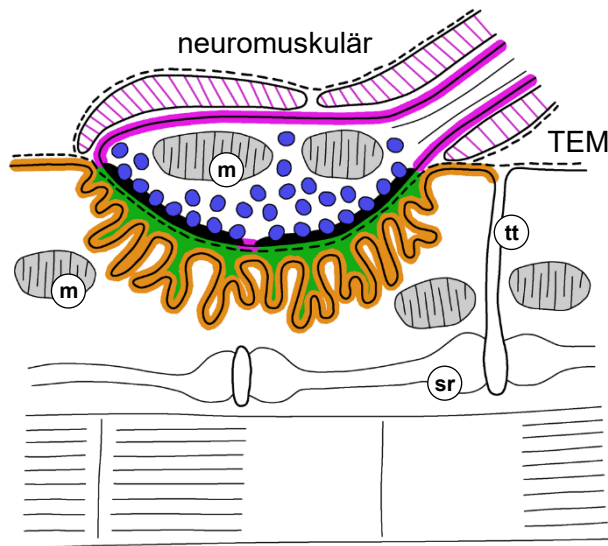
- erregend: Glu
- hemmend: GABA, Gly
- je nach Rezeptor: DA, NA, ACh, 5HT
- Peptide: Transmitter oder Modulator

chemische Synapse: Strukturelemente und Prozesse:



# Chemische Synapse PNS versus ZNS

- **Gemeinsame Strukturelemente**
  - Präsynapse = Bouton mit synaptischen Vesikeln, aktive Zone = Andockstelle für Vesikel an präsynaptischer Membran, Mitochondrien
  - Postsynapse durch synaptischen Spalt vollständig von Präsynapse getrennt, Mitochondrien
- **Speziell für neuromuskuläre Synapse**
  - Schwann-Zellen, Basallamina (auch im synaptischen Spalt), Postsynapse = Muskelfaser mit starker Membranauffaltung

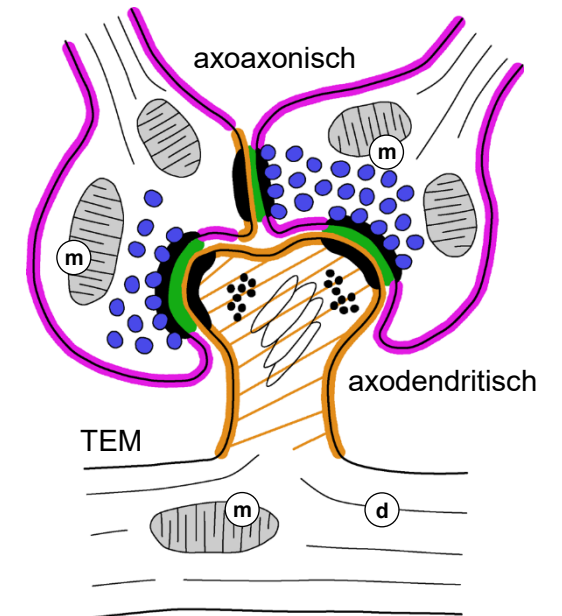


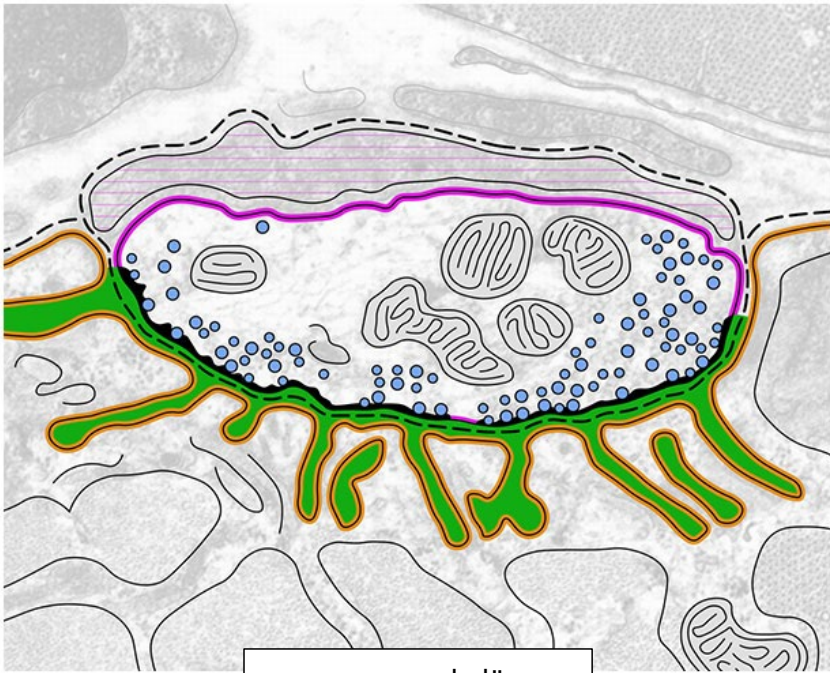
- Motoneuron
- ◌ Schwann-Zellen
- Basallamina
- Muskelfaser
- tt T-Tubulus
- sr sarkopl. Retikulum

- Axon + Bouton
- synaptische Vesikel
- ▲▲ aktive Zone, präsynaptische Membran
- synaptischer Spalt
- Postsynapse / postsynaptische Membran
- m Mitochondrien (prä- & postsynaptisch)

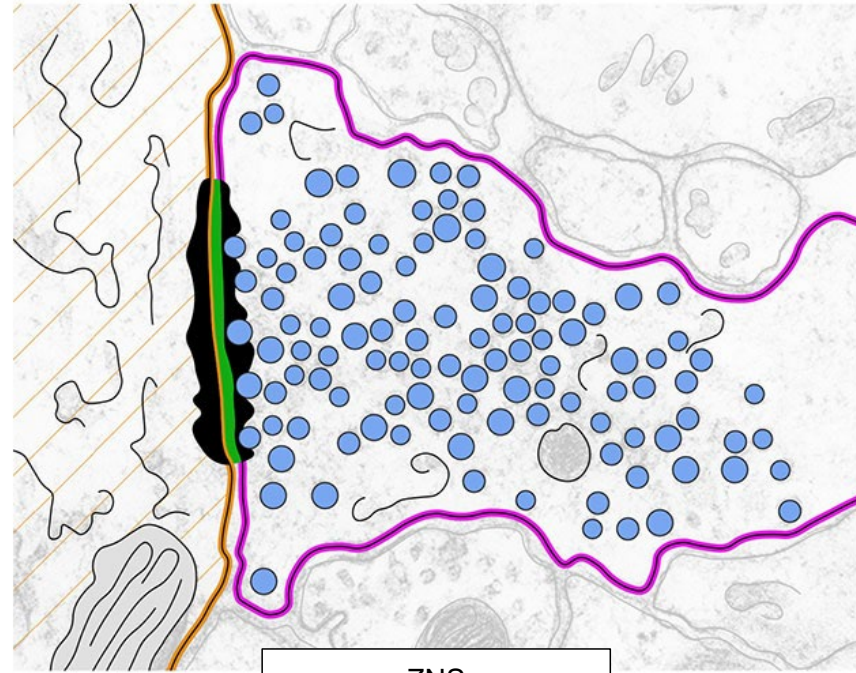
- **Speziell für ZNS-Synapse**
  - Beispiel im ZNS: Postsynapse = 2x Spine (axodendritisch), 1x Bouton (axoaxonisch). Ebenfalls möglich: axodendritisch mit Schaft, axosomatisch, axoziliär mit primärem Zilium
  - hier mit postsynaptischer Verdichtung: Typ Gray I = erregend = asymmetrisch; (ohne Verdichtung: Typ Gray II = hemmend = symmetrisch)

- d Dendrit
- Spine
- postsynaptische Verdichtung

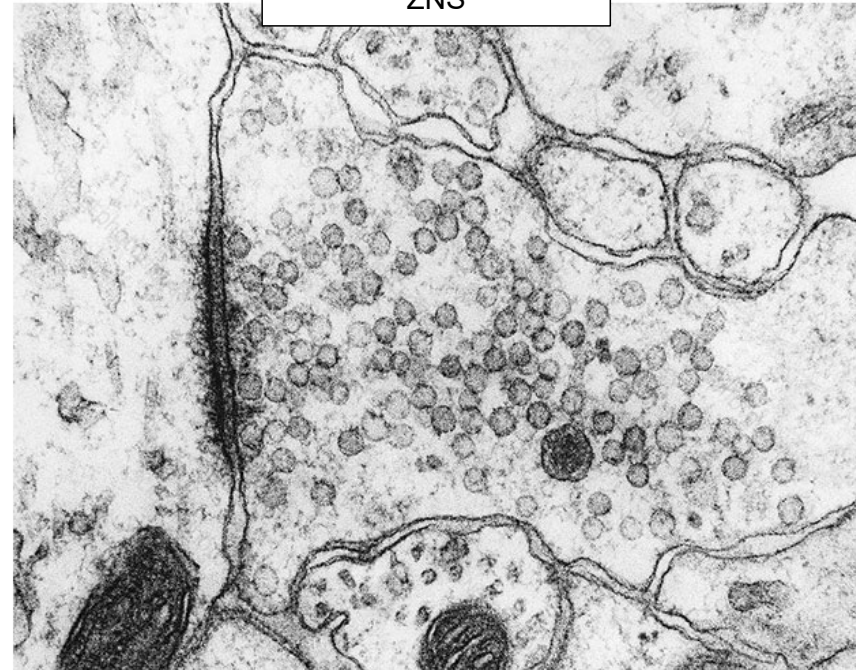




neuromuskulär



ZNS



# Organisation des Nervengewebes

- **Graue und weisse Substanz im ZNS**
  - weisse Substanz spezialisiert auf Leitungsfunktion.  
Histologie: myelinisierte Nervenfasern und Gliazellen (v.a. Oligodendrozyten),  
fehlend: Somata, Dendriten, axonale Endbäume, Synapsen
  - graue Substanz spezialisiert auf Verarbeitung, Speicherung.  
Histologie: Neurone (Somata, Dendriten, Axone, axonale Endbäume), Synapsen,  
Gliazellen, wenige myelinisierte Nervenfasern
  - Rinde = oberflächliche graue Substanz (Grosshirn, Kleinhirn)
  - Kerne = Nuclei = tiefliegende Elemente grauer Substanz
  - Formatio reticularis: Bereich des Hirnstamms mit verstreut angeordneten Neuronen, weder weiss noch grau
- **Periphere Ganglien und Nerven im PNS**
  - neuronale Somata im PNS in Ganglien konzentriert:
    - sensibel: Somata afferenter Neurone, Gliazellen
    - vegetativ: Somata efferenter Neurone, Dendriten, Synapsen, Gliazellen
  - Rest nur Nervenfasern: Leitungsfunktion  
(Namen tragende Nerven, kleine namenlose Nervenfaserbündel, Plexus, sympathischer Grenzstrang zwischen Ganglien)

