

# Das Nervensystem

## Grundlagen & Entwicklung

Dr. Marie-Luise Kümmel  
Institut für Neuroanatomie  
[marie-luise.kuemmel@ruhr-uni-bochum.de](mailto:marie-luise.kuemmel@ruhr-uni-bochum.de)

„Boah Neurobiologie... das is‘ ja schon spannend und so aber...  
das is‘ so komplex, das versteht ja kein Mensch“



Krähen nutzen Werkzeuge und lösen Probleme logisch – sie sind vergleichbar intelligent wie Menschenaffen

Bienen haben ein erstaunliches Gedächtnis – bei 100.000 x weniger Neuronen als wir!



Ein Oktopus hat ein zentrales Gehirn und 8 weitere – 1 in jedem Arm



Elefanten erkennen sich im Spiegel



## Digitales Implantat überbrückt verletztes Rückenmark

<https://www.wissenschaft.de/gesundheitsmedizin/digitales-implantat-ueberbrueckt-verletztes-rueckenmark/>

„In einer Pilotstudie ermöglichte das Implantat einem Patienten, der seit zehn Jahren querschnittsgelähmt war, wieder aus eigener Kraft zu gehen und zu stehen – wenn auch mit Krücken“

GEHIRN-COMPUTER-SCHNITTSTELLE

## Ein neues Gerät kann Gedanken in Sprache übersetzen – in Echtzeit

<https://www.spektrum.de/news/neuroimplantat-kann-gedanken-in-sprache-umwandeln-in-echtzeit/2260073>

## Sprachlos war gestern: KI macht Gedanken hörbar

07. April 2025 – Uwe Kerkow

<https://www.telepolis.de/features/Sprachlos-war-gestern-KI-macht-Gedanken-hoerbar-10337678.html>

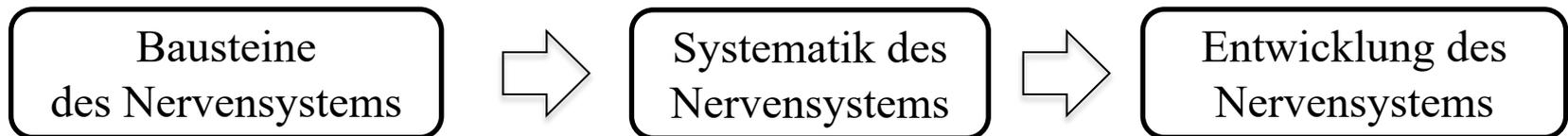
## Das Nervensystem – was ist das?

„Das Nervensystem dient der Aufnahme, Leitung und Verarbeitung von **Informationen** aus der Umwelt und von inneren Organen. Es hat weiterhin die Aufgabe, die jeweiligen **Reize** mit adäquaten **Reaktionen** zu beantworten und ist die strukturelle Grundlage von **Emotionen**, **Gedächtnis** und **Denkprozessen**.“

Duale Reihe Anatomie, 5. Auflage, S. 195

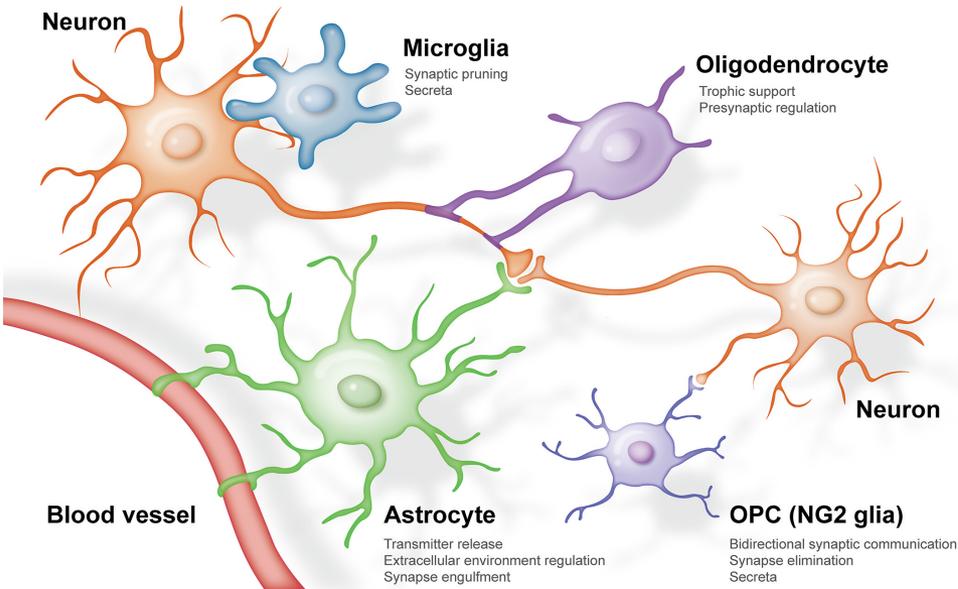
- Schnittstelle zwischen Umwelt, Körper und Wahrnehmung
- Steuerung aller Körperfunktionen
- ermöglicht es uns, zu fühlen, zu denken und zu erinnern

## Vorlesungsinhalt



Hinweis:  = vertiefendes Wissen, nicht klausurrelevant

## Was sind die Bausteine des Nervensystems?



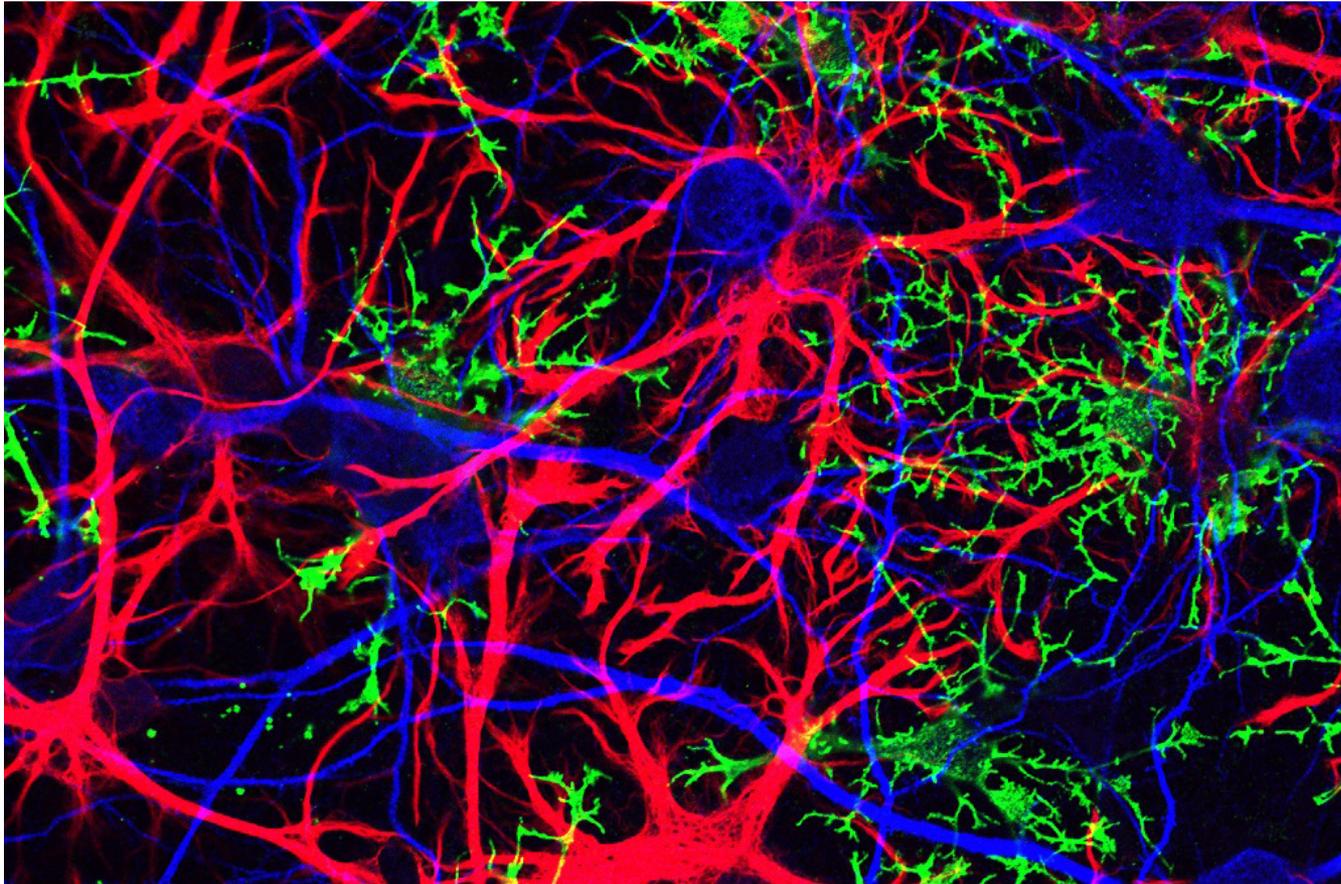
1) **Nervenzellen (Neurone):** spezialisierte Zelle zur Erregungsübertragung und Erregungsweiterleitung.

2) **Gliazellen:** “Stützgewebe”, welches die Neurone umgibt. Bilden eine *strukturelle* und *funktionelle* Einheit mit den Neuronen. Dienen der Isolation, dem Stoffwechsel, der Reparatur des Nervengewebes, der Immunabwehr, der Regulation des Mikromilieus u.v.m.

Die unterschiedlichen Typen der Gliazellen unterscheiden sich zwischen zentralem und peripheren Nervensystem.

3) Extrazelluläre Matrix: amorphe Substanz zwischen den Zellen

Der Anteil an Neurone und Gliazellen im zentralen Nervensystem ist nahezu identisch



Neurone

Astrozyten

Oligodendrozyten

extrazelluläre  
Matrix

Bildquelle: <https://www.quantamagazine.org/glia-brain-cells-long-in-neurons-shadow-reveal-hidden-powers-20200127/>

## Der Aufbau eines Neurons

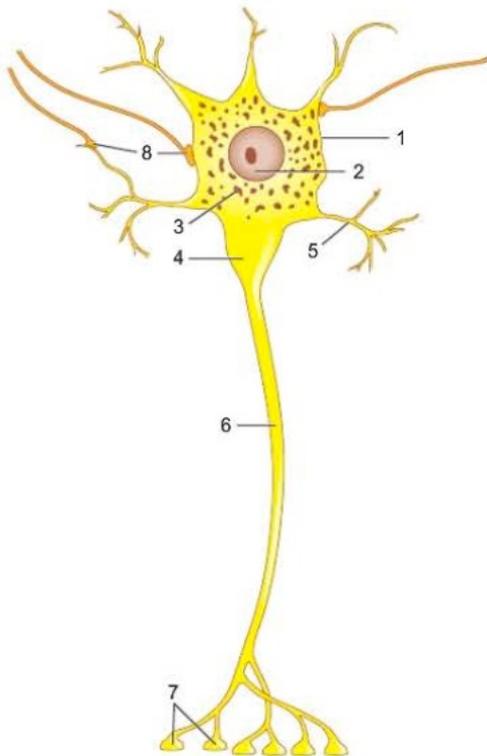


Abb. 1.1 Schematische Darstellung vom Bauprinzip einer Nervenzelle (Neuron).

1 Perikaryon (Soma), 2 Zellkern mit Nucleolus, 3 raues endoplasmatisches Retikulum (Nissl-Schollen), das typischerweise im Bereich des 4 Axonursprungs (= Axonhügel) fehlt. 5 Dendrit, 6 Axon, 7 synaptische Endkolben (= synaptische Endknöpfchen), 8 synaptische Endkolben anderer Nervenzellen.

aus: Neuroanatomie, 5. Auflage, Martin Trepel, S. 2

- **Zellkörper** (auch „Soma“ oder „Perikaryon“ genannt) + **Fortsätze**
  - **Dendriten**: Erregungsempfang; viele
  - **Axone**: Erregungsweiterleitung; nur eins
- **Synapse**

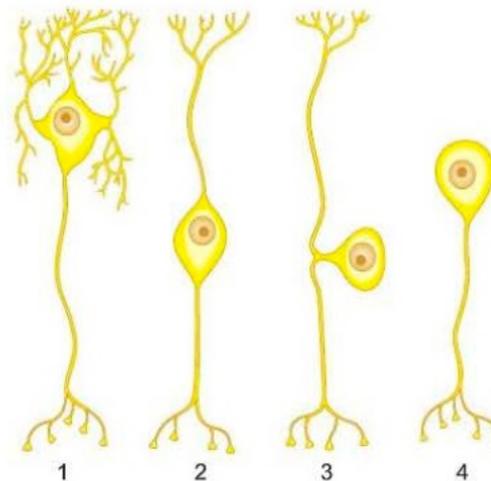


Abb. 1.4 Neuronentypen.

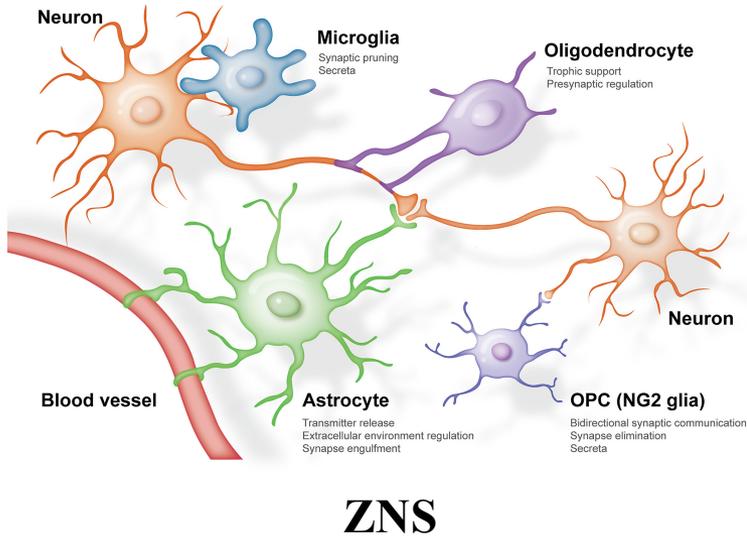
Axone mit synaptischen Endkolben sind nach unten gerichtet.

1 Multipolares Neuron, 2 bipolares Neuron, 3 pseudounipolares Neuron, 4 unipolares Neuron.

aus: Neuroanatomie, 5. Auflage, Martin Trepel, S. 5

1: am häufigsten  
3: sensible Ganglien  
(Spinalganglien)

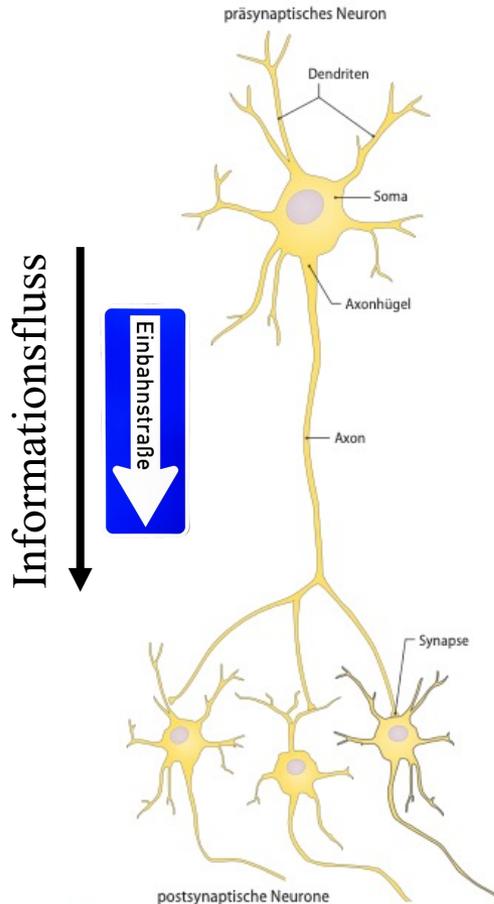
## Die Vielfalt der Gliazellen



- **Oligodendrozyten:** Markscheidenbildung ZNS
- **Astrozyten:** Stützfunktion, Ernährung, Regeneration, Narbenbildung, Modulation der Signalübertragung
- **Mikroglia:** Immunabwehr
- Ependymzellen: Auskleidung der Liquorräume

- **Schwann-Zellen:** Markscheidenbildung im ZNS, Umhüllung markloser Axone
- Mantelzellen: Umhüllung der Zellkörper (Soma) sensibler Neurone

## Wie funktionieren Neurone?



- Informationen gehen (meist über die Dendriten) am Neuron ein
- Informationen werden im Soma miteinander verrechnet
- verrechnete Information wird über das Axon weitergeführt
- Signal wird an einer Synapse von einem Neuron an ein anderes Neuron weitergegeben
- und so weiter...

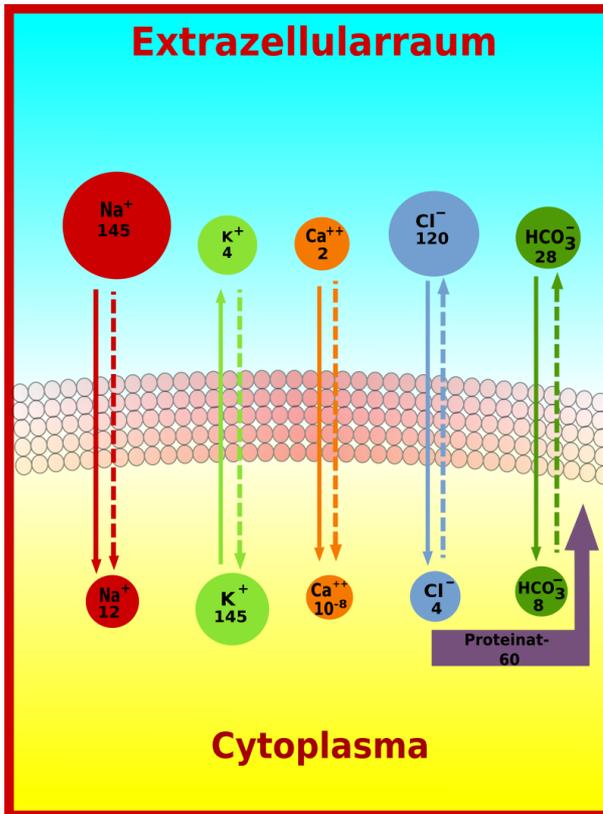
## Was sind denn „Informationen“ im Nervensystem?

- Informationen werden in Form von elektrischen Signalen weitergegeben
- elektrische Signale = Weitergabe einer Potenzialdifferenz über die Membran
- an einer Synapse werden elektrische Signale in chemische Signale (Neurotransmitter) umgewandelt

Abb. 5.2 Nervenzelle im Überblick. Vom Zellkörper (Soma) gehen zwei Arten von Zellausläufern ab: Dendriten und Axone. An Dendriten formen vorgeschaltete Neurone mit der Zelle Synapsen, spezialisierte Kontaktstellen, an denen die Informationsübertragung stattfindet (nur dargestellt für die postsynaptischen Neurone). Axone beginnen am Axonhügel und ziehen zu den nachgeschalteten (postsynaptischen) Neuronen, mit denen sie ihrerseits Synapsen formen

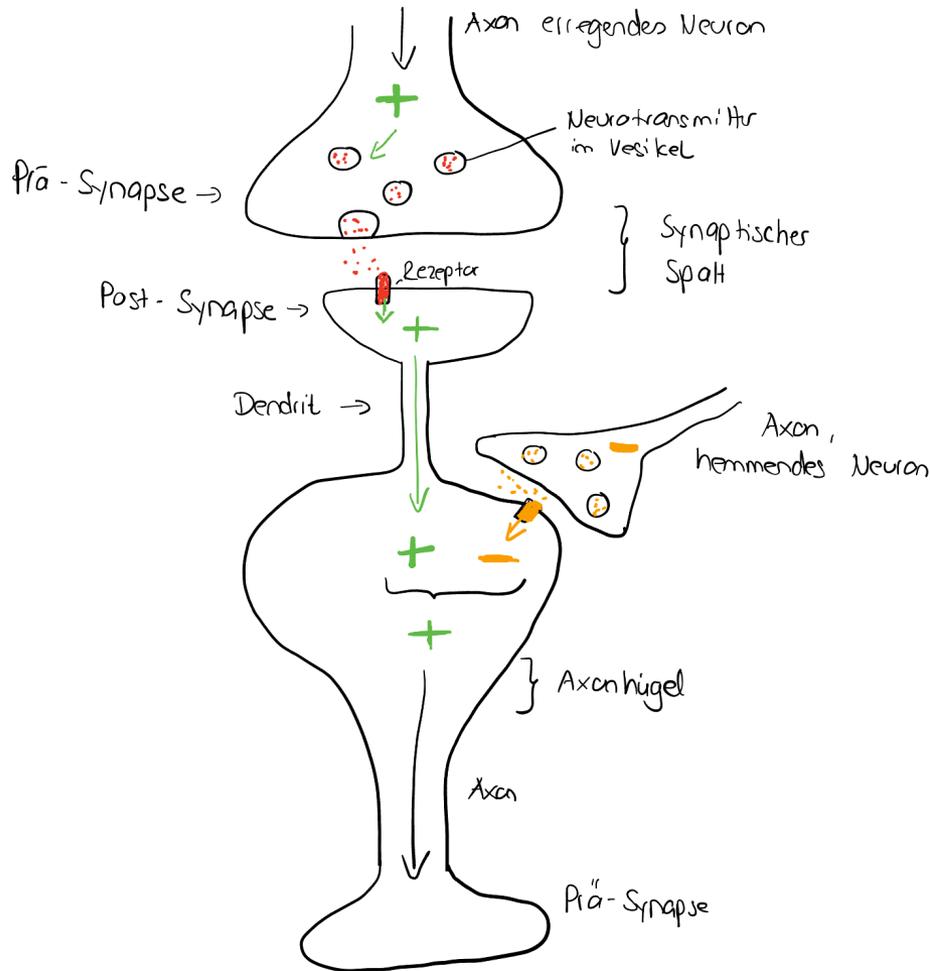
aus: Physiologie des Menschen (Brandes, Lang, Schmitt) 32. Auflage, Springer Verlag, S. 58

## Die Potenzialdifferenz an Nervenzellen



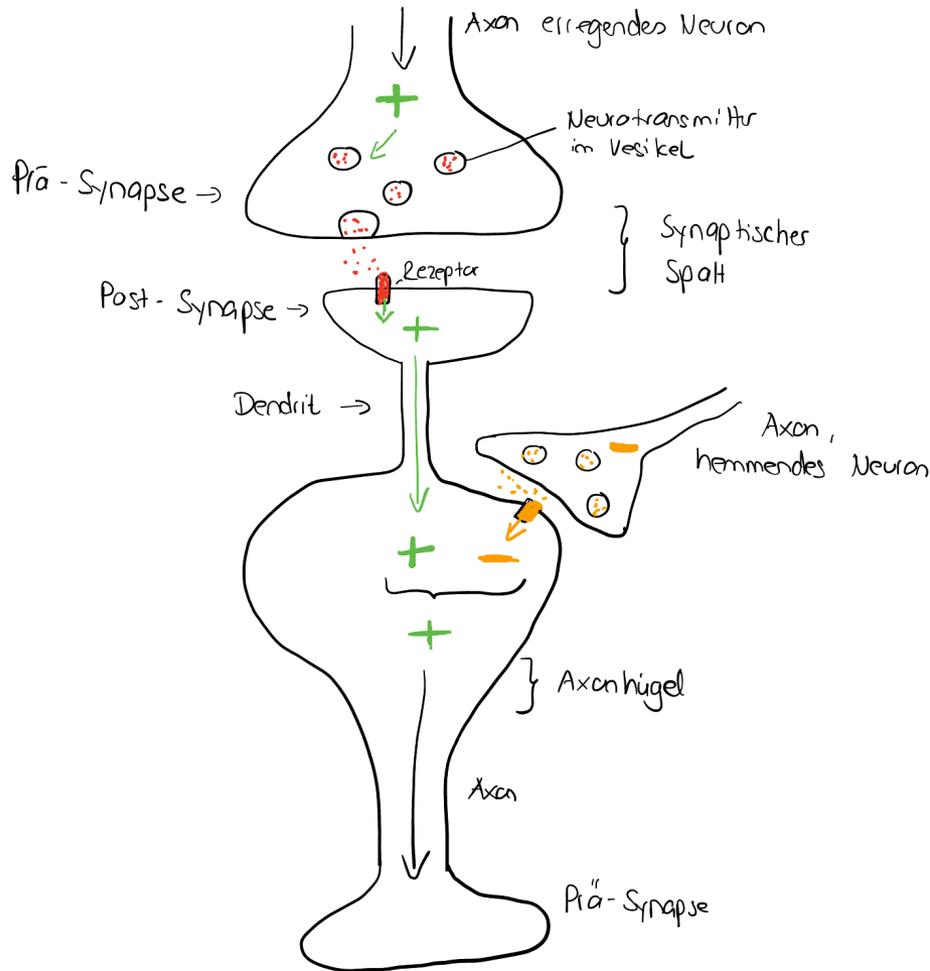
- Potenzialdifferenz bedingt durch unterschiedliche Konzentration verschiedener Ionen innerhalb und außerhalb der Zelle (Angabe zu Calcium in Mol, alles andere mM)
- keine freie Diffusion der Ionen i.d.R. über Membran, sie sind somit getrennt, dadurch entsteht ein Potential zwischen innen und außen
- das Ruhemembranpotential von Neuronen : -70 mV (innen negativer als außen)
- strömen Ionen in die Zelle oder aus ihr heraus, über Kanäle und Rezeptoren, kann sich das Membranpotential ändern, bsp.: Aktionspotenziale
- positive Änderungen nennt man **Depolarisation**
- negative Änderungen **Hyperpolarisation**

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Ruhemembranpotential>



## Schnelle Erklärung:

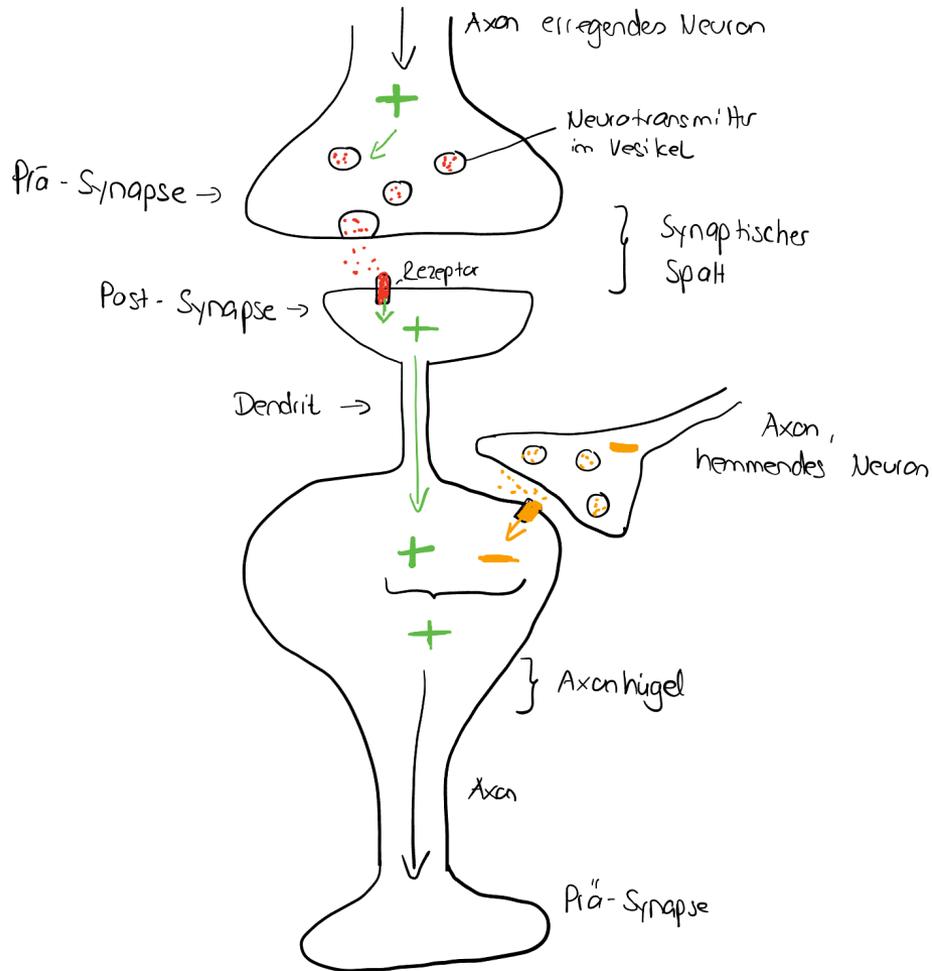
- über das Axon trifft eine Erregung an der Präsynapse ein
- die Erregung der Präsynapse führt zu einer Freisetzung von Neurotransmittern in den synaptischen Spalt (elektrisches Signal -> chemisches Signal)
- die freigesetzten Neurotransmitter binden an spezielle Rezeptoren an der Postsynapse
- dadurch wird auch die Postsynapse erregt
- über den Dendriten wird die Erregung an das Soma weitergegeben
- dort wird die Erregung mit anderen Signalen, z.B. auch hemmenden Signalen verrechnet
- wenn die Erregung > Hemmung und ein Schwellenwert von -55 mV überschritten wird wird am Axonhügel ein Aktionspotenzial gebildet
- Aktionspotenzial „wandert“ das Axon entlang zur nächsten Synapse



## Detaillierte Erklärung:



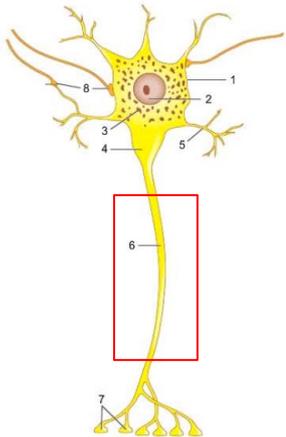
- über ein Axon erreicht ein Aktionspotenzial eine präsynaptische Endigung und depolarisiert (+) diese
- die Depolarisierung führt zur Öffnung spannungsabhängiger Calciumkanäle und zu einem Einstrom von Calcium in die präsynaptische Endigung
- die angestiegene Calciummenge veranlasst die Vesikel, welche den Neurotransmitter lagern, in Richtung synaptischen Spalt zu wandern und über eine Verschmelzung mit der Membran den Neurotransmitter freizusetzen
- handelt es sich bei dem Neurotransmitter um Glutamat oder Acetylcholin, wird das Neuron, was sie freisetzt, als „erregend“ bezeichnet, weil diese Transmitter an der Postsynapse eine Depolarisation (+) auslösen. handelt es sich um GABA, wird das Neuron als „hemmend“ bezeichnet, weil GABA an der Postsynapse eine Hyperpolarisation (-) hervorruft.
- der erregende Neurotransmitter diffundiert über den synaptischen Spalt und bindet an seine spezifischen Rezeptoren
- dadurch wird eine Depolarisation der Postsynapse hervorgerufen, welche sich über den Dendriten zum Soma fortsetzt
- An einem Neuron können sehr viele verschiedene Erregungen und Hemmungen eingehen (bis zu 10.000!)
- alle werden mit einander verrechnet, wird der Schwellenwert überschritten, wird ein Aktionspotenzial ausgelöst



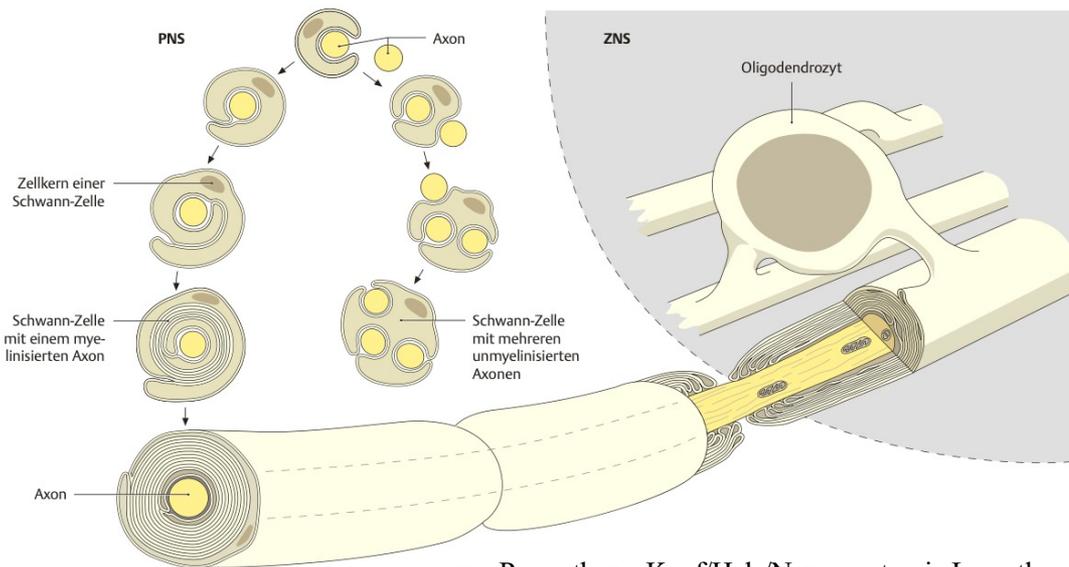
## darüber hinaus good to know:

- Synapsen können an Dendriten (axodendritisch) oder auch am Soma (axosomatisch) einer anderen Nervenzelle enden, manchmal auch direkt am Axon (axoaxonisch) u.v.m
- Eine Nervenzelle kann bis zu 10.000 Synapsen haben, 100 Billionen sind es vermutlich in unserem Gehirn insgesamt
- Synapsen bilden sich nicht nur zwischen 2 Neuronen, sondern auch zwischen Neuronen und Muskeln (motorische Endplatte) oder Neuronen und Drüsen (neuroglandulär)

## marklose vs. markhaltige Axone



- **markhaltige Axone** : Axone, die von einer Myelinscheide umgeben sind, schnellere Erregungsweiterleitung durch Isolation
- **marklose Axone** besitzen keine Myelinscheide, langsamere Erregungsweiterleitung
- beides findet sich im zentralen und peripheren Nervensystem
- Myelin besteht zu 75% aus Lipiden (v.a. Sphingomyelin), leicht unterschiedliche Komposition im ZNS und PNS
- Myelinscheide hergestellt von Schwann-Zellen (PNS) oder Oligodendrozyten (ZNS)
- sind aber oft ins Zytoplasma einer Schwann-Zelle eingebettet und somit geschützt



ein Oligodendrozyt myelinisiert mehrere Axone

unmyelinisierte Axone liegen nicht im Soma eines Oligodendrozyten eingebettet, sondern „frei“

aus: Prometheus, Kopf/Hals/Neuroanatomie Lernatlas

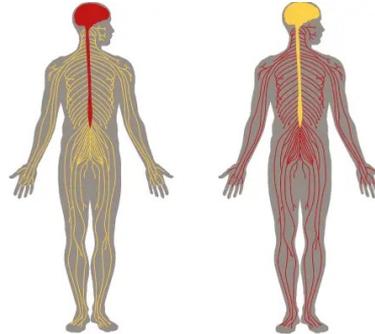
eine Schwann-Zelle myelinisiert *einen* Teilabschnitt eines Axons

eine Schwann-Zelle kann *mehrere* unmyelinisierte Neurone einbetten = Remak-Bündel

# Die (morphologische) Gliederung unseres Nervensystems

**Gehirn und Rückenmark**

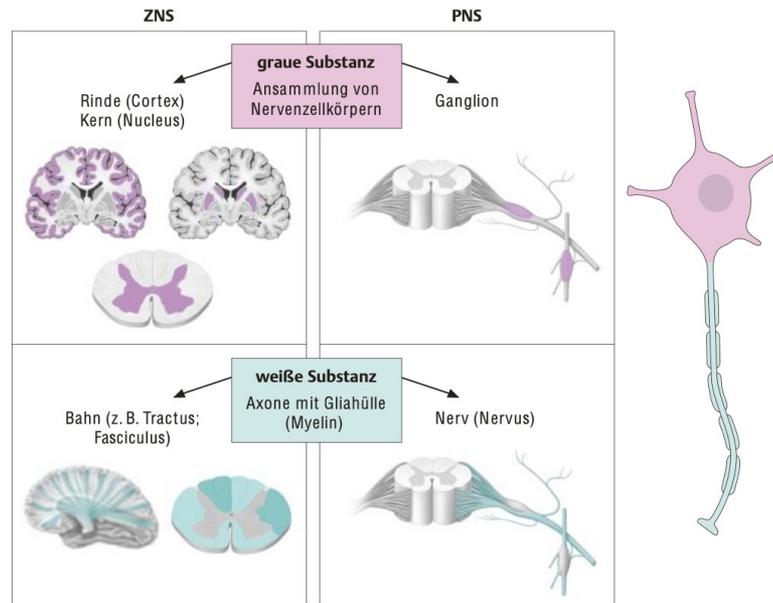
**ZNS**



**PNS**

**periphere Nerven**  
und Ganglien (Nervenzellkörper)

<https://www.nachhilfe-team.net/lernen-leicht-gemacht/zentrales-nervensystem/>

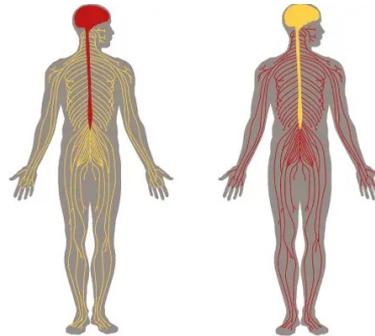


der Übergang von ZNS zu PNS definiert sich durch den Wechsel der Myelinisierung der Axone von Oligodendrozyten (ZNS) zu Schwann-Zellen (PNS) (histologisch als Redlich-Obersteiner-Zone)

## Gehirn und Rückenmark

Nervenfasern im ZNS (=weiße Substanz) werden nicht als „Nerv“, sondern als „(Nerven)Bahn“ (Tractus oder Fasciculus) bezeichnet

ZNS



PNS

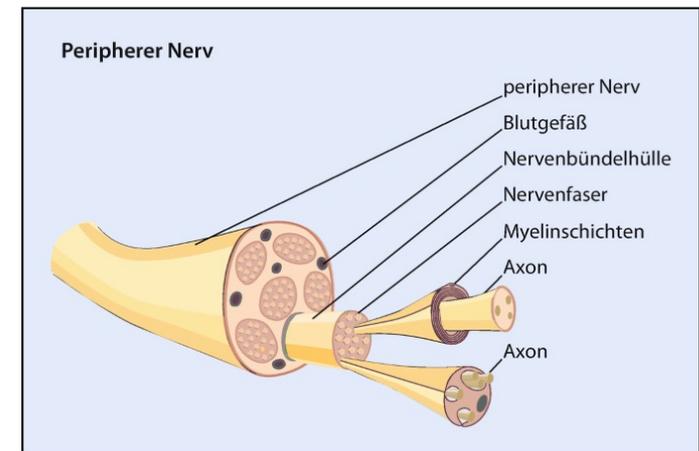
## periphere Nerven

und Ganglien (Nervenzellkörper)

Nervenfasern im PNS = Nerv

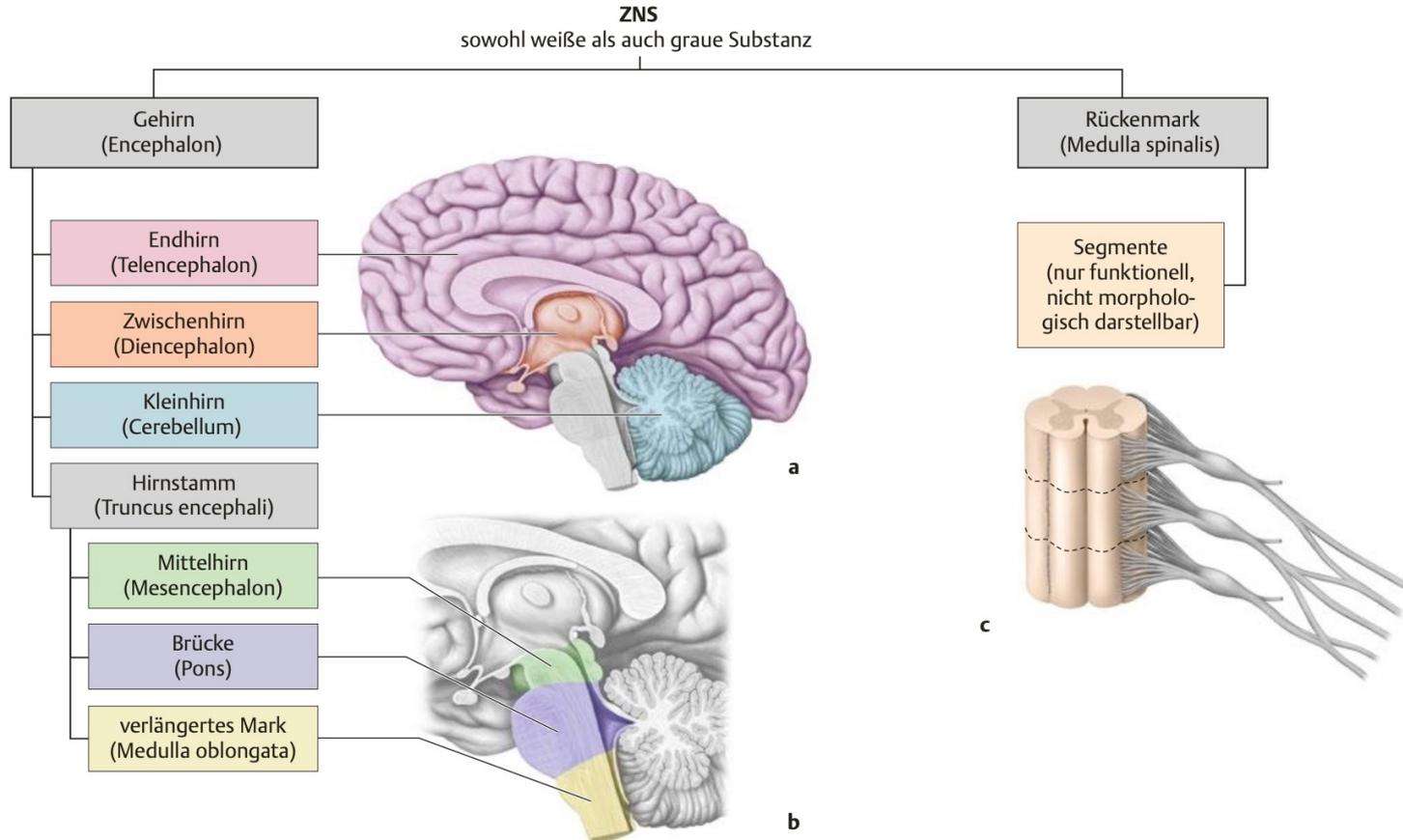
<https://www.nachhilfe-team.net/lernen-leicht-gemacht/zentrales-nervensystem/>

Die bindegewebigen „Hüllen“, die den Nerv im PNS bündeln, gibt es im ZNS in dieser Form nicht, daher der Begriffsunterschied



Nerv = Bündel aus mehreren Nervenfasern  
Nervenfaser = Bündel aus mehreren Axonen  
durch externe Hüllen gebündelt

# Das zentrale Nervensystem



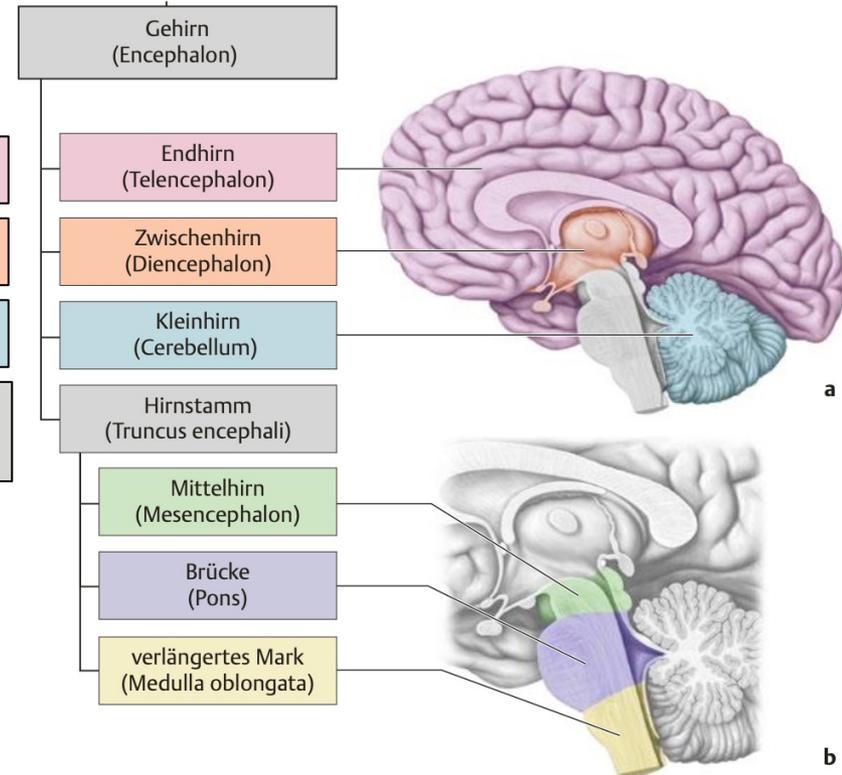
aus: Prometheus, Kopf/Hals/Neuroanatomie Lernatlas

Bewusstsein, Denken, Planen Sinnesverarbeitung, willkürliche Bewegung

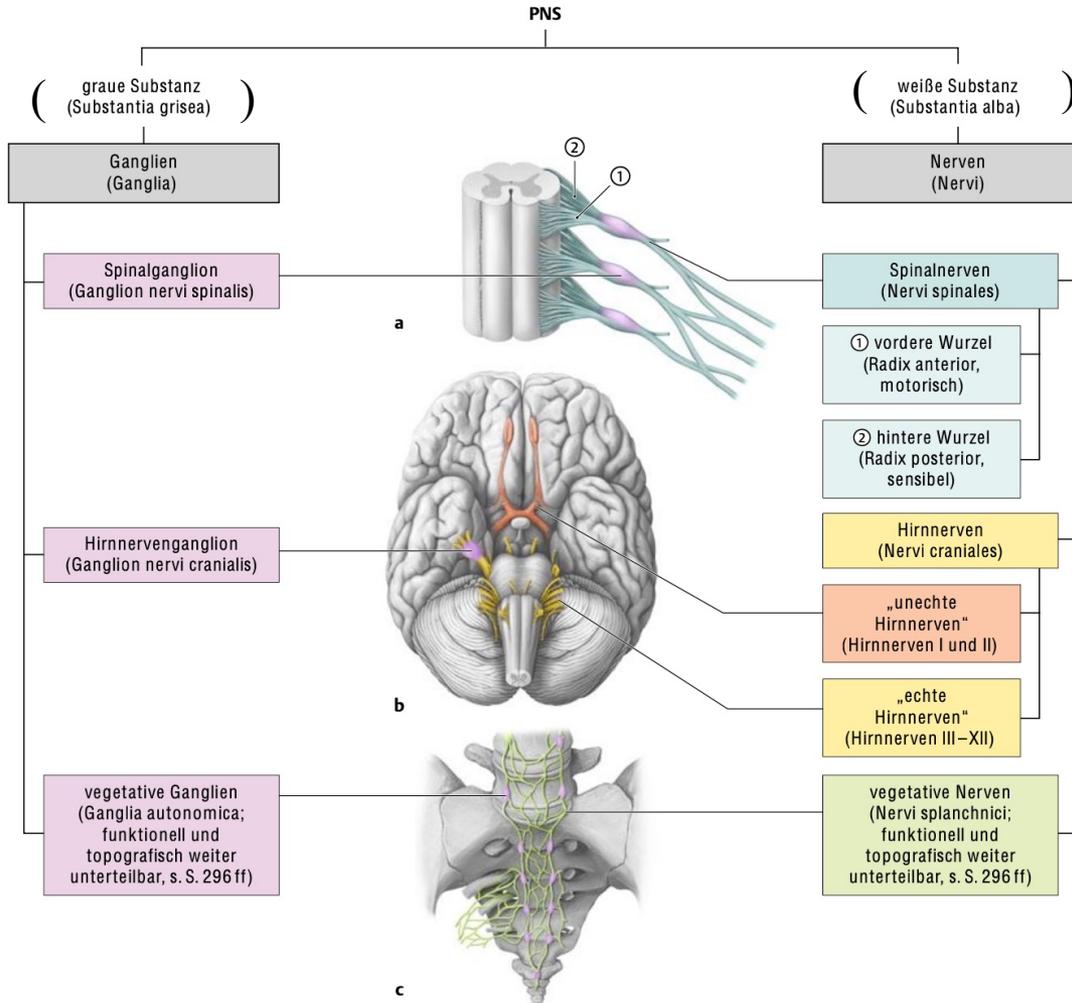
“Tor zum Bewusstsein“ (Thalamus), Regulation Körperfunktionen, Hormone

Feinabstimmung der Motorik, Gleichgewicht, Muskelgedächtnis

Regulation Vitalfunktion (Atmung, Herzschlag etc), Schutzreflexe (Husten, Würgen, Niesen, Schlucken)



# Das periphere Nervensystem



Nerven des PNS = periphere Nerven

lassen sich nach ihrer **Informationsrichtung** funktionell in „efferent/motorisch = aus der Peripherie“ und „afferent/sensibel = in die Peripherie“ eingliedern

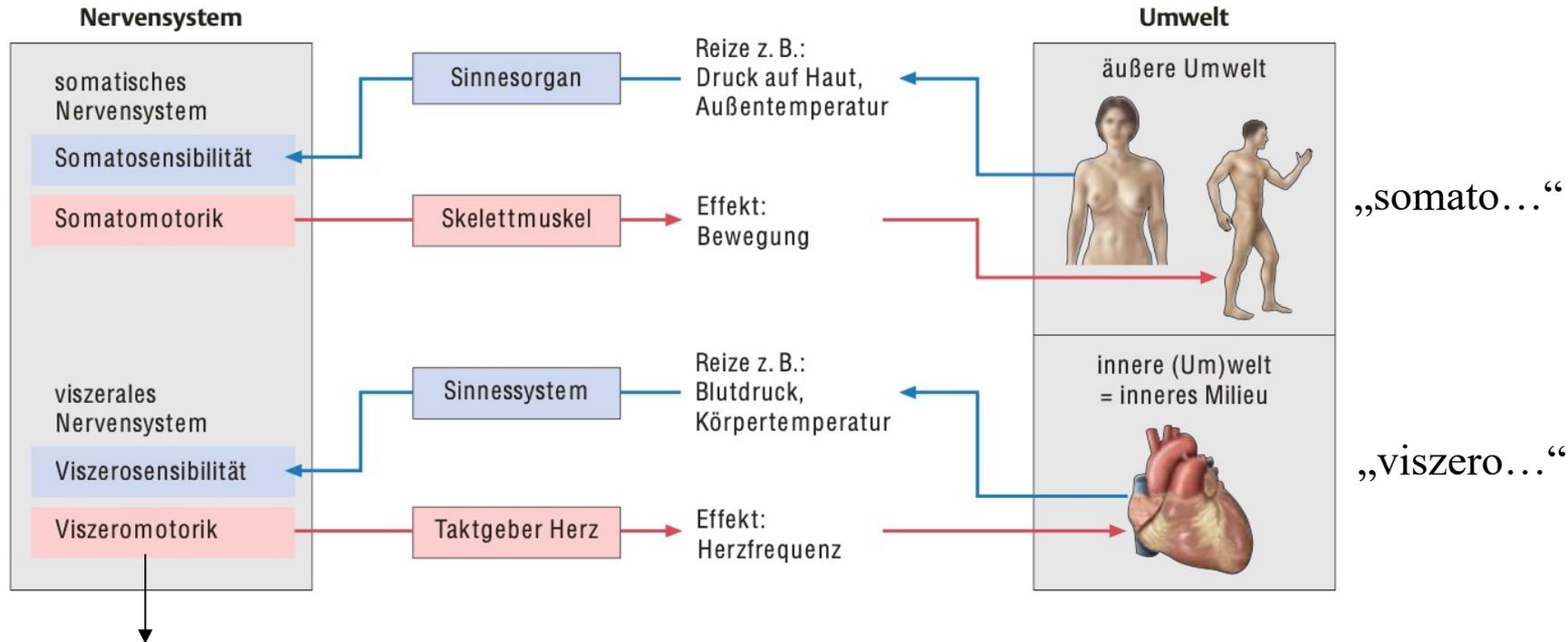
lassen sich nach ihrer **Informationsquelle** funktionell in „somatisch“ (aus der äußeren Umwelt) und „viszeral“ (aus der inneren Umwelt) einteilen

\*motorisch = Bewegungssteuernd

\*sensibel = Wahrnehmung

aus: Prometheus, Kopf/Hals/Neuroanatomie Lernatlas

# Die Informationsrichtung und Informationsquelle des PNS

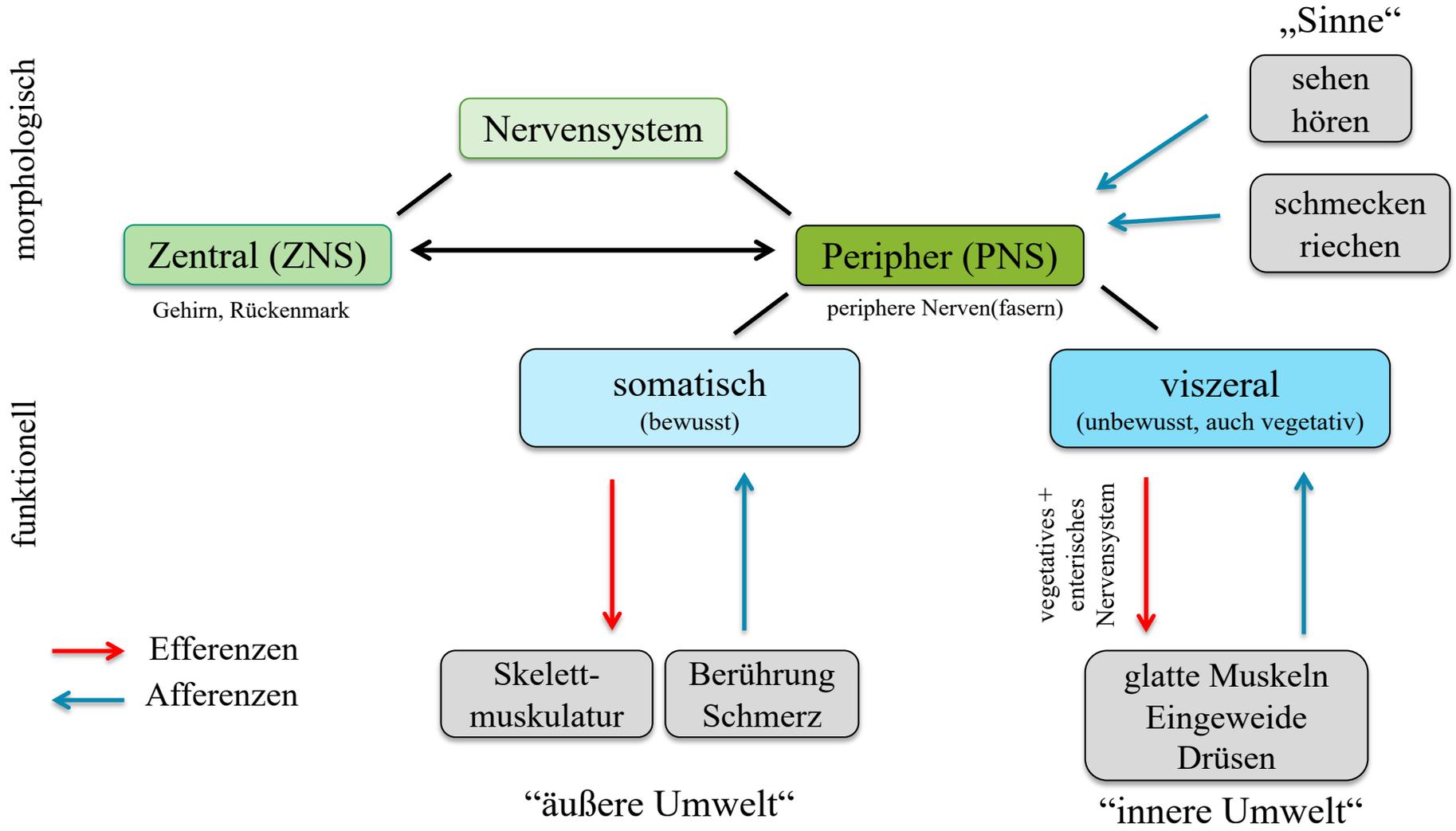


Viszeromotorik: Steuerung aller „unbewussten“ Prozesse über das **vegetative Nervensystem** (Sympathikus und Parasympathikus) und das **enterische Nervensystem** (eigenständiges Nervensystem des Magen-Darm Traktes)

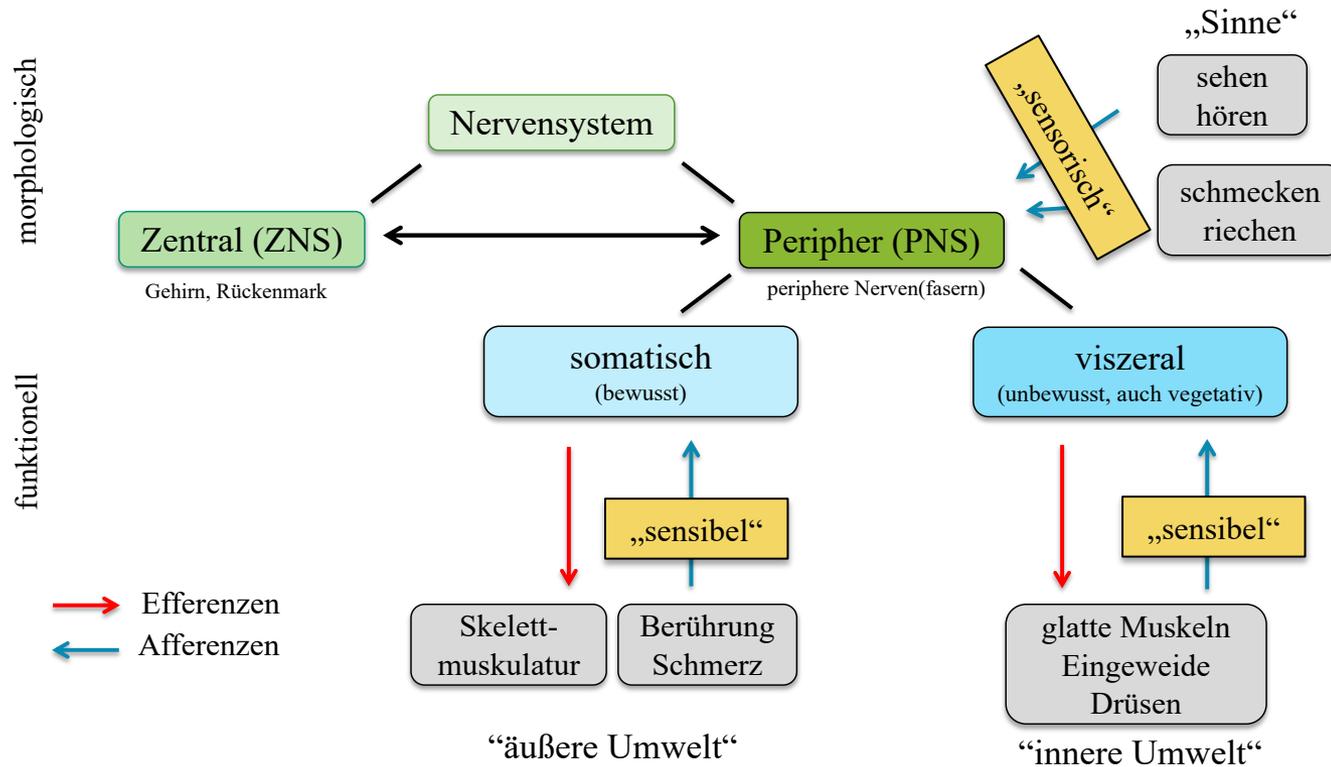
← Afferenzen (aus Richtung Peripherie)

→ Efferenzen (in Richtung Peripherie)

# Die morphologische & funktionelle Gliederung unseres Nervensystems



# „Sensibel“ vs. „Sensorisch“



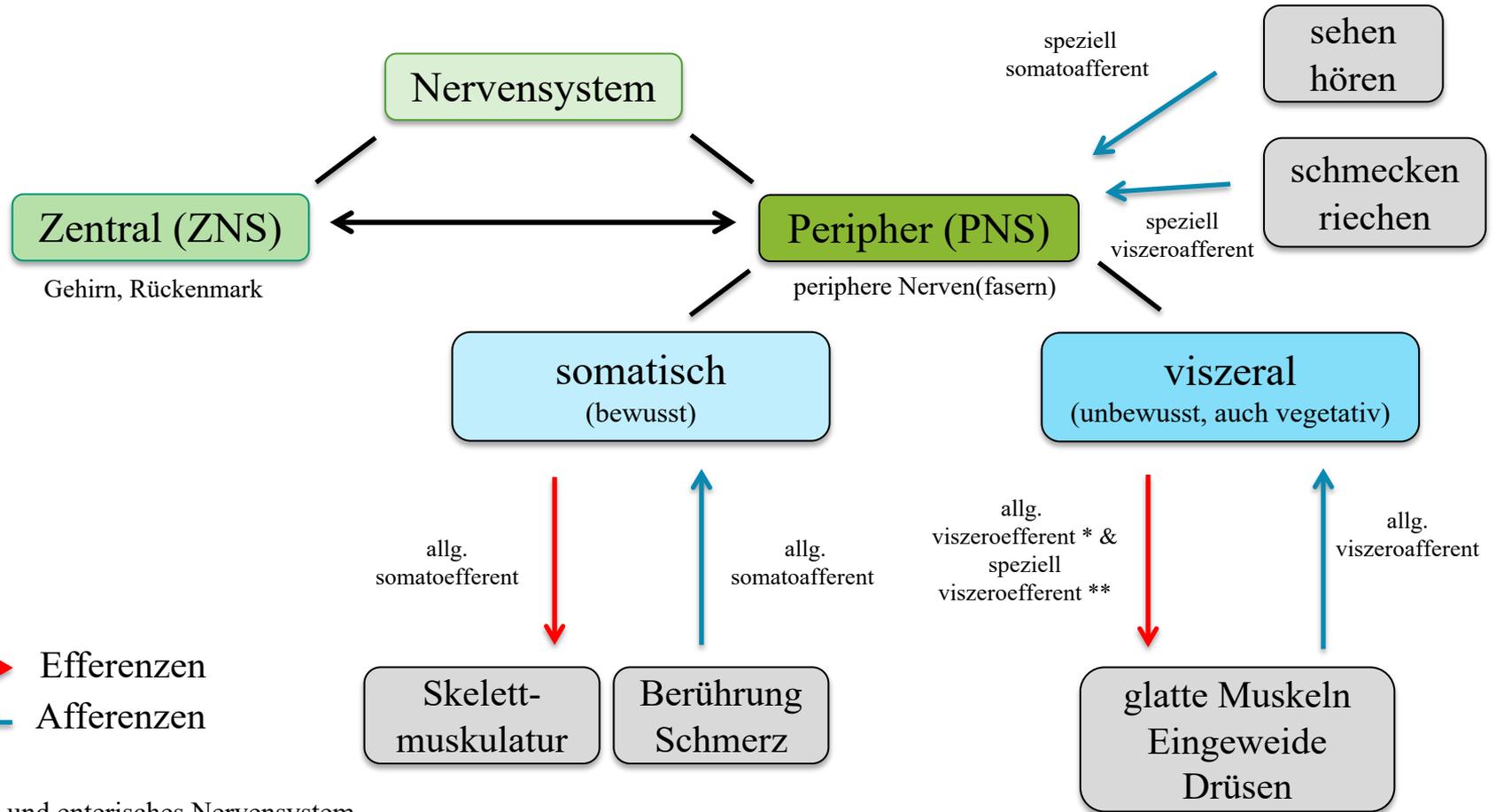
im Deutschen wird sprachlich zwischen „sensibel“ und „sensorisch“ unterschieden. Im Englischen ist beides mit „sensoric“ übersetzt. Es gibt auch die Definition „sensibel“ nur für Gefühlsempfindungen zu gebrauchen. Grundsätzlich kann man „sensibel“ und „sensorisch“ sinngemäß gleichsetzen.

# Die Gliederung unseres Nervensystems: spezielle Fachtermini



morphologisch

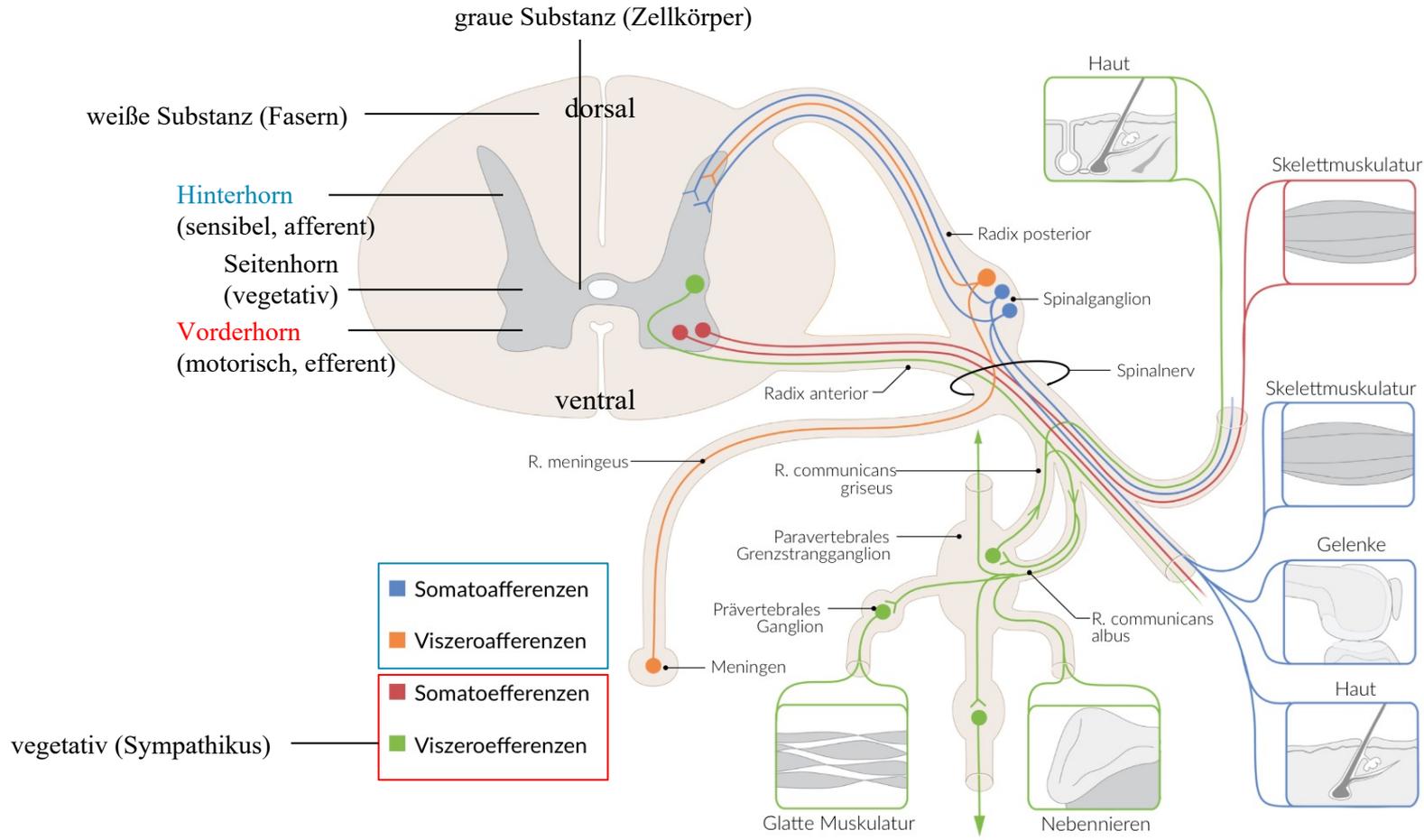
funktionell



\*: vegetatives und enterisches Nervensystem

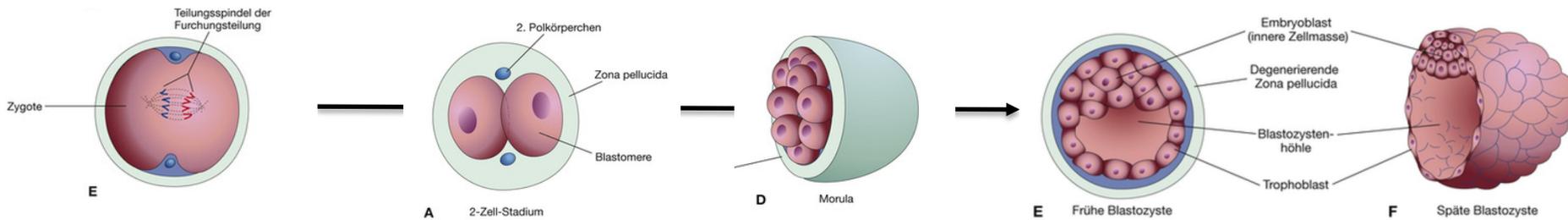
\*\* : Kaumuskeln, mimische Muskeln, Kehlkopfmuskeln sowie Pharynx/Gaumenmuskeln zählen auch zur quergestreiften Skelettmuskulatur, werden aber von speziell viszeroefferenten Nerven versorgt!

# Der Aufbau des Rückenmarks



# Die Entwicklung des Nervensystems

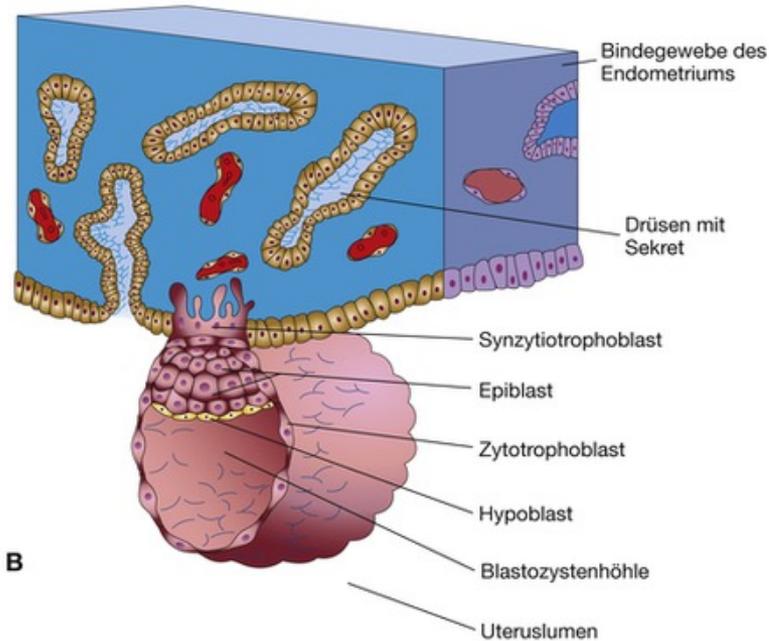
## 1. Schritt: von der Zygote zur Blastozyste



nach der Befruchtung:  
Zygote wandert in Richtung Gebärmutter... ...durchläuft dabei viele mitotische Zellteilungen...

...bis zur Blastozyste  
aus **Embryoblast** und **Trophoblast**.  
Ankunft in der Gebärmutter

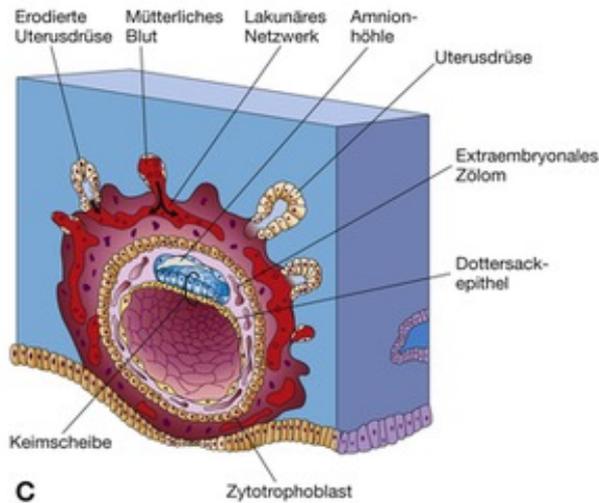
## 2. Schritt: **Implantation** in die Gebärmutterwand



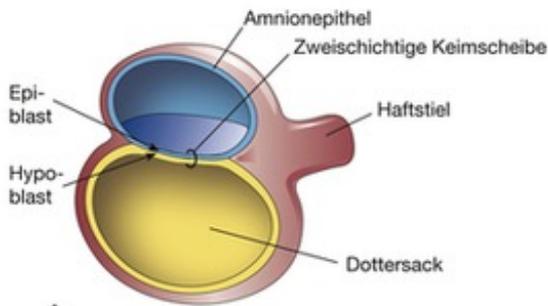
- Embryoblast differenziert sich zu **Epiblast** und **Hypoblast**
- Trophoblast differenzieren sich zu *Zytotrophoblast* (Einzelzellen) und *Synzytiotrophoblast* (Verschmelzung mehrerer Zellen)
- Synzytiotrophoblast „gräbt“ sich in die Gebärmutterwand ein

aus: Embryologie; Moore, Persaud, Torchia, 6. Auflage

### 3. Schritt: Entstehung der Keimscheibe und der 3 Keimblätter (**Gastrulation**)



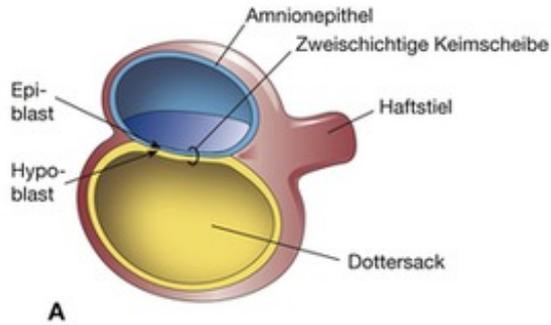
C



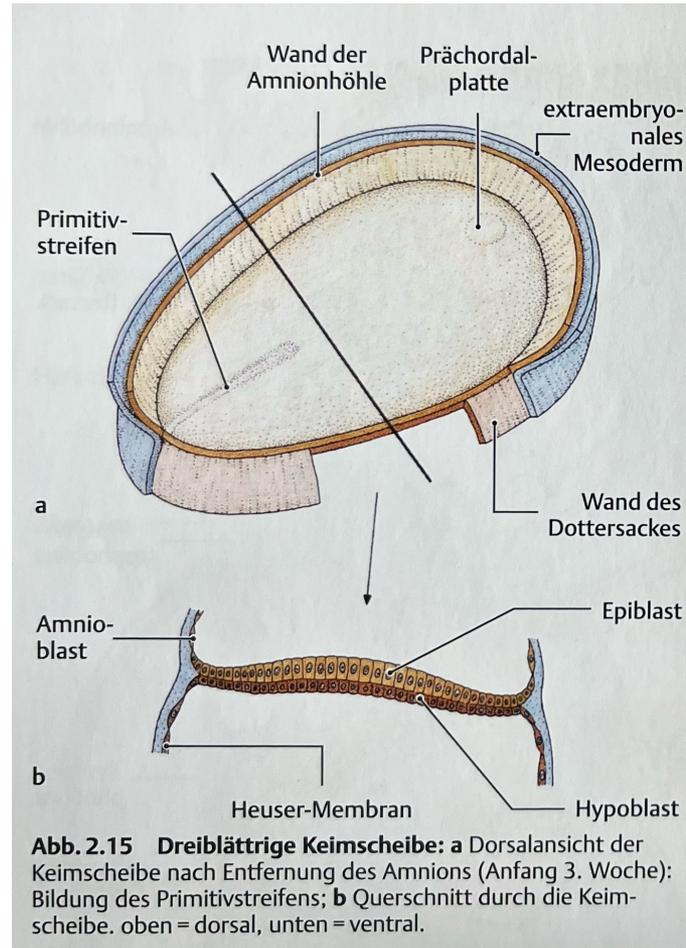
A

- *Blastozyste baut sich komplett in die Gebärmutterwand ein*
- *wird umspült von mütterlichem Blut (später: Plazenta)*
- *Bildung von extraembryonalem Bindegewebe (extraembryonales Mesoderm) welches Amnionhöhle und Dottersack innerhalb des Trophoblasten umgibt*
- Bildung der **Amnionhöhle** (auf Seite des Epiblasten) (später: Fruchtwasser)
- Bildung des **Dottersacks** (auf Seite des Hypoblasten)
- Aus Epiblast differenzieren sich jetzt die 3 Keimblätter: **Mesoderm, Endoderm und Ektoderm**

## Keimscheibe = Boden der Amnionhöhle, Epiblastenzellschicht



aus: Embryologie; Moore,  
Persaud, Torchia, 6. Auflage

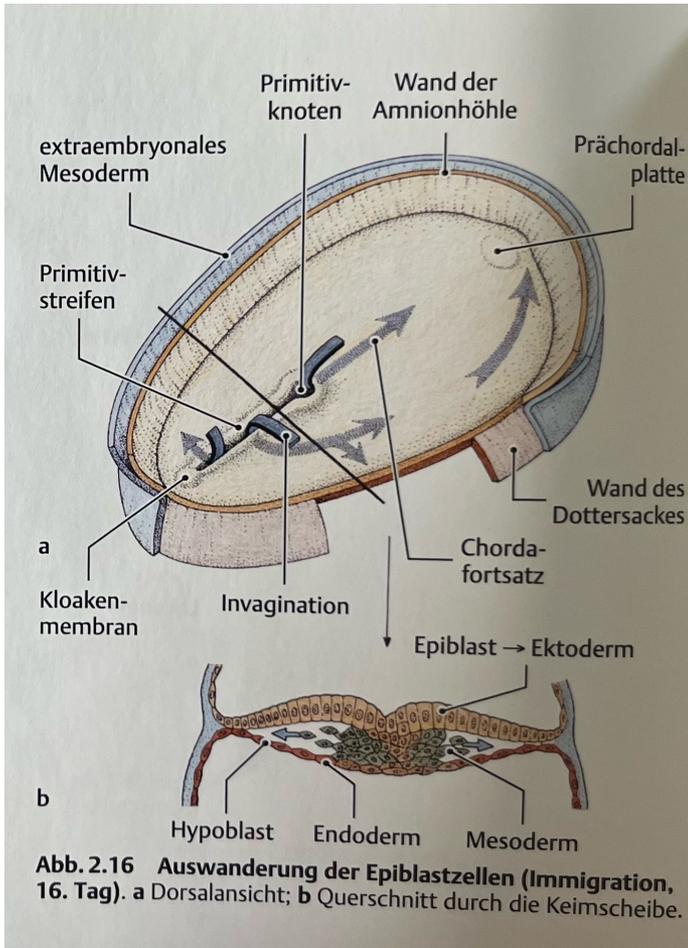


**Abb. 2.15 Dreiblättrige Keimscheibe:** a Dorsalansicht der Keimscheibe nach Entfernung des Amnions (Anfang 3. Woche): Bildung des Primitivstreifens; b Querschnitt durch die Keimscheibe. oben = dorsal, unten = ventral.

aus: Kurzlehrbuch Embryologie; Brand-Saberi, 4. Auflage

Am Hinterrand der Keimscheibe bildet sich **Primitivstreifen** dadurch, dass zur Mittellinie wandernde und proliferierende Epiblasten eine Verdickung hervorrufen

aus: Kurzlehrbuch Embryologie; Brand-Saberi, 4. Auflage

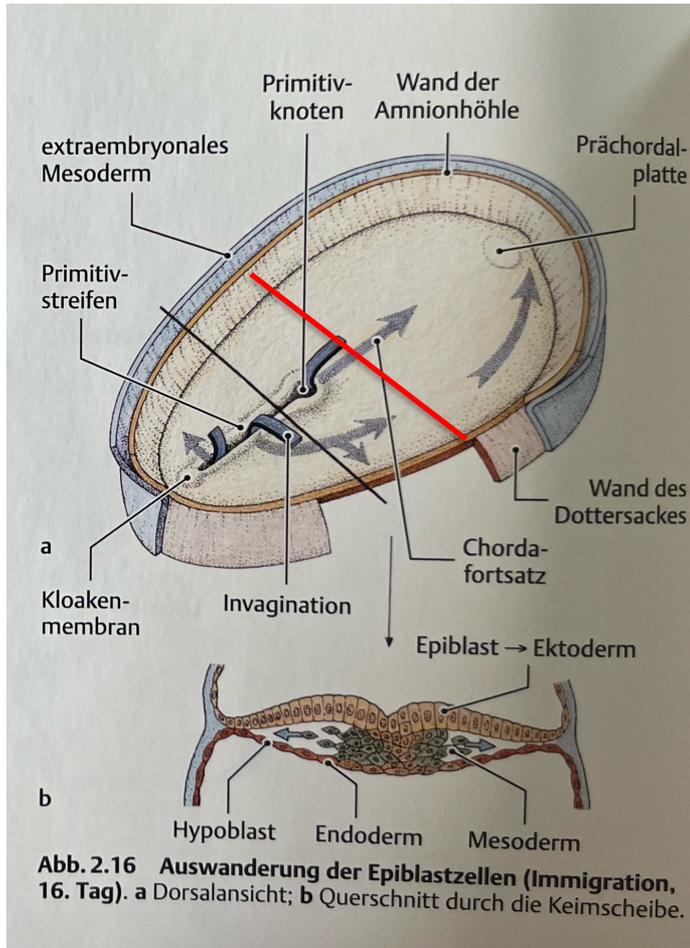


⇒ Querschnitt durch die Keimscheibe  
auf Höhe des Primitivstreifens

**Invagination:** auf der Länge des Primitivstreifens lösen sich Zellen aus Epiblastenzellschicht und wandern in den Spalt zwischen Epiblast und Hypoblast = **Mesoderm**. Einige der aus dem Epiblast ausgewanderten Zellen wandern bis zum Hypoblast runter und verdrängen diesen nach und nach = **Endoderm**.

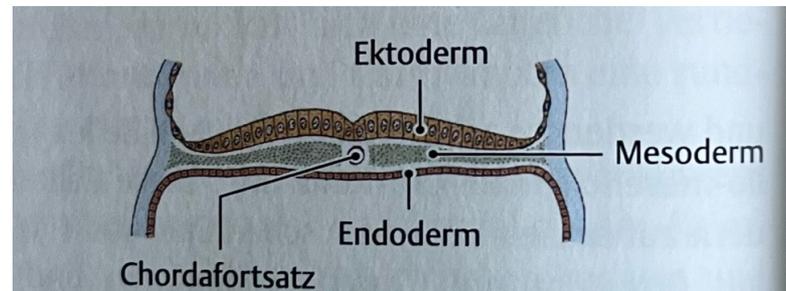
Sobald sich Mesoderm und Endoderm gebildet haben wandeln sich die verbliebenen Epiblastenzellen zu **Ektoderm** um.

## 4. Schritt: Die Bildung des Chordafortsatzes:



Der Primitivstreifen endet am „kranialen“ Ende mit dem **Primitivknoten** (die dort entstehende Einsenkung nennt sich Primitivgrube). Auch am Primitivknoten wandern Zellen aus der Epiblastenzellschicht aus und lagern sich „vor“ dem Primitivknoten zwischen Epiblast und Hypoblast ein = **Chordafortsatz**.

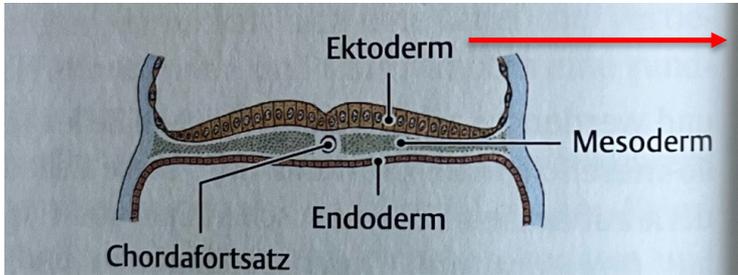
**Querschnitt** durch die Keimscheibe vor dem Primitivknoten (vgl. rote Linie)



aus: Kurzlehrbuch Embryologie; Brand-Saberi, 4. Auflage

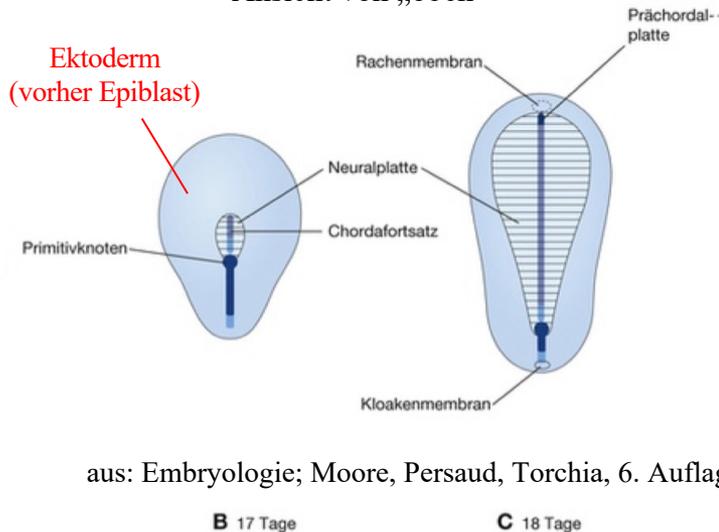
=> Querschnitt durch die Keimscheibe auf Höhe des Primitivstreifens

## 5.Schritt: Bildung Neuralplatte & Chorda dorsalis:



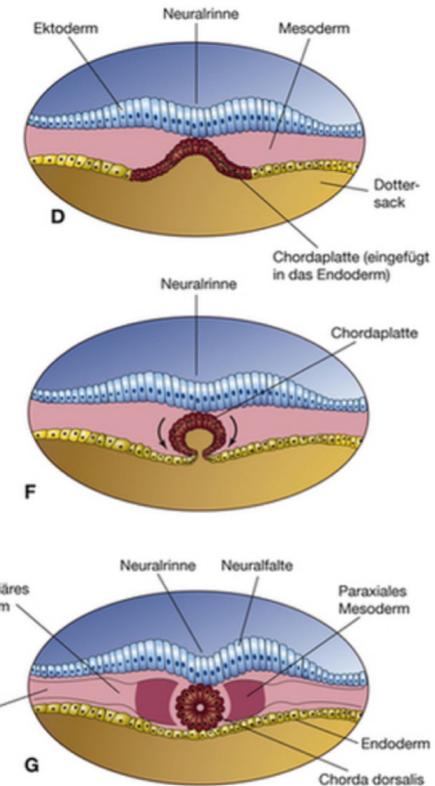
über Chordafortsatz  
Umwandlung zu  
**Neuralplatte**

Ansicht von „oben“



aus: Embryologie; Moore, Persaud, Torchia, 6. Auflage

Ansicht von „vorne“



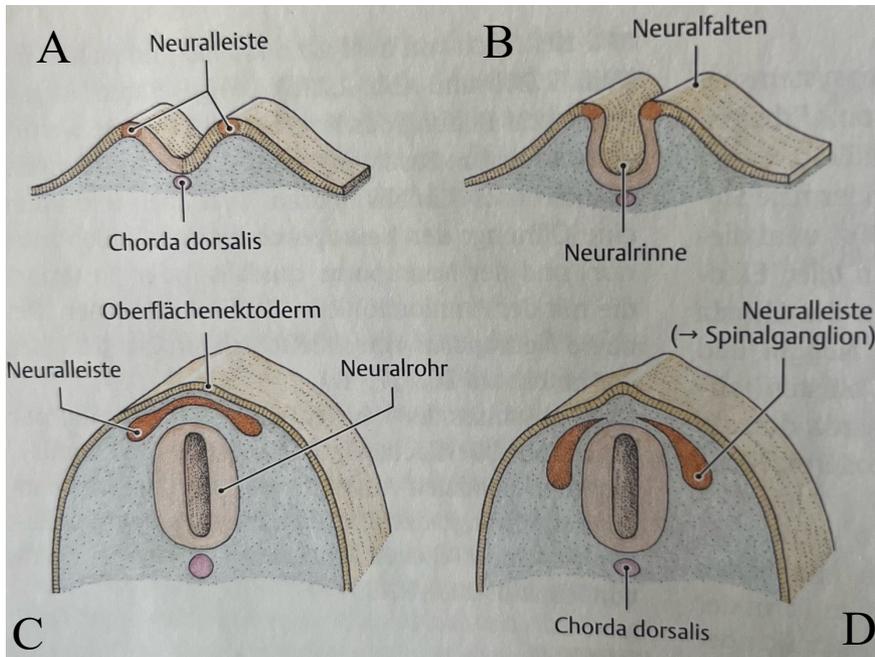
aus: Embryologie; Moore, Persaud, Torchia, 6. Auflage

Das Ektoderm, das über diesem Chordafortsatz liegt, wandelt sich zur **Neuralplatte** um.

Der Chordafortsatz faltet sich zur **Chorda dorsalis**, die Neuralplatte bildet eine Rinne = **Neuralrinne**

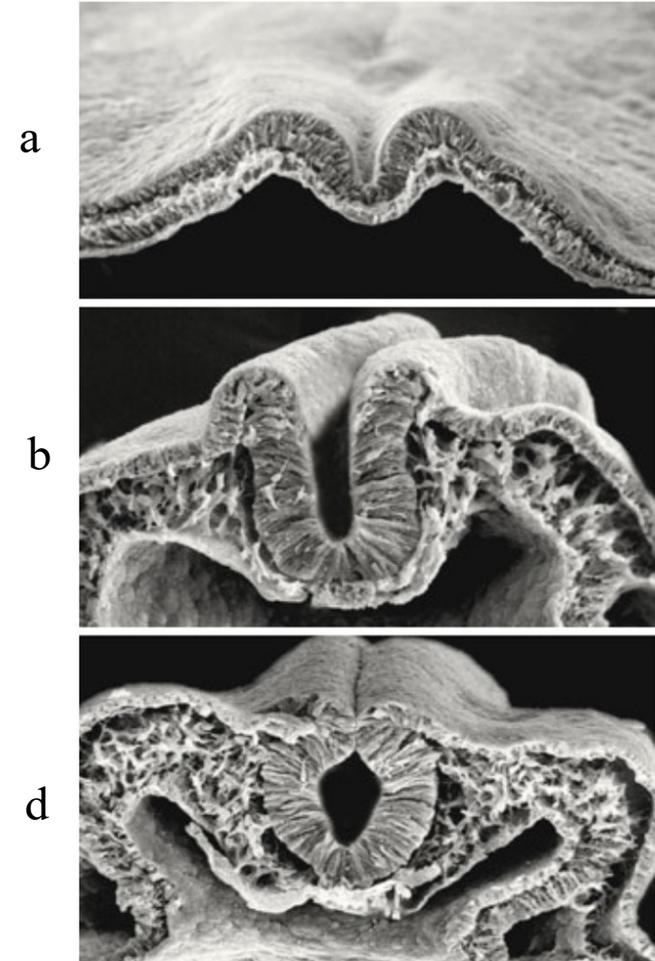


## Vergleich der Neurulation als Schema (A-D) und als entsprechende Aufnahmen im Rasterelektronenmikroskop (a, b, d)



aus: Kurzlehrbuch Embryologie; Brand-Saberi, 4. Auflage

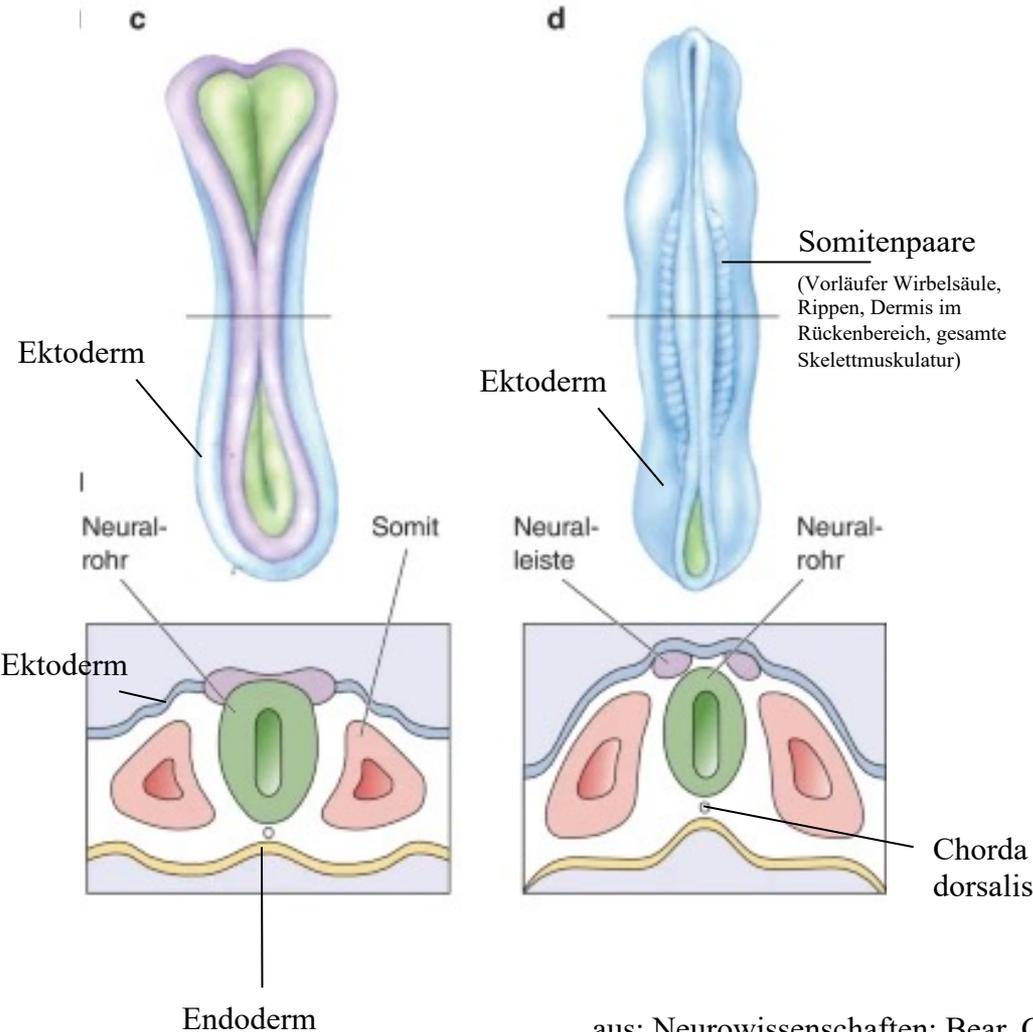
Das **Neuralrohr** ist die embryonale Anlage des gesamten **zentralen Nervensystems**, aus ihr entwickelt sich das **Gehirn** und das **Rückenmark**



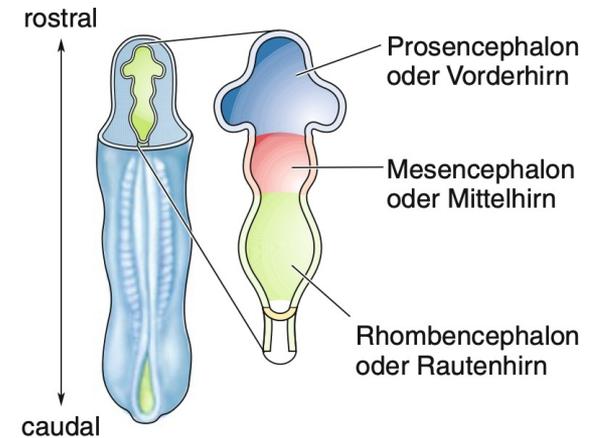
aus: Neurowissenschaften; Bear, Connor, Paradiso, 4. Auflage

0,180 mm

## 7. Schritt: Die Hirnbläschen als Ort der Gehirnentwicklung



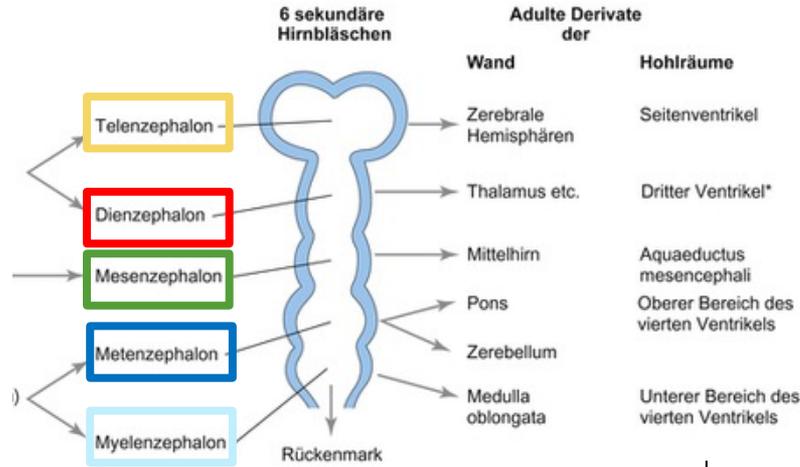
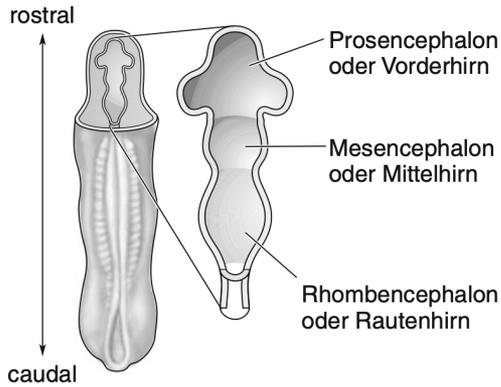
rostral: zum Gesicht hin  
caudal: zum „Schwanz“ hin



**Abb. 7.11 Die drei primären Gehirnbläschen.** Das rostrale Ende des Neuralrohrs differenziert sich zu den drei Vesikeln, aus denen schließlich das gesamte Gehirn hervorgeht. Gezeigt ist eine Ansicht von oben; der horizontale Schnitt ermöglicht einen Einblick in das Innere des Neuralrohrs

aus: Neurowissenschaften; Bear, Connor, Paradiso, 4. Auflage

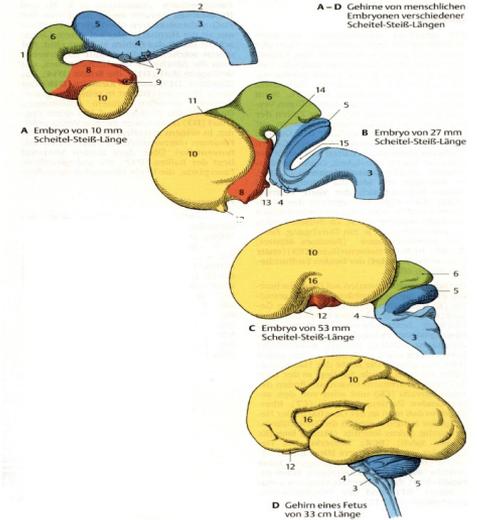
# aus den Hirnbläschen entwickeln sich die einzelnen Hirnbereiche



aus: Embryologie; Moore, Persaud, Torchia, 6. Auflage

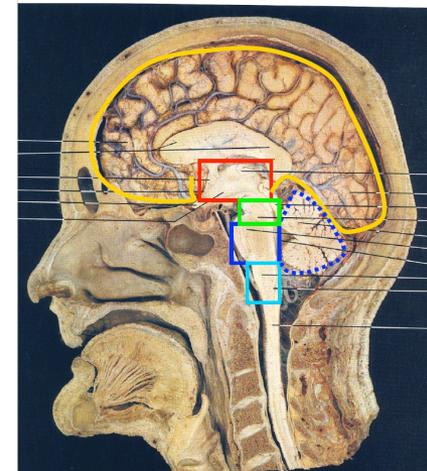
↓  
Liquorsystem

Taschenatlas der Anatomie Bd. 3, W. Kahle, Thieme

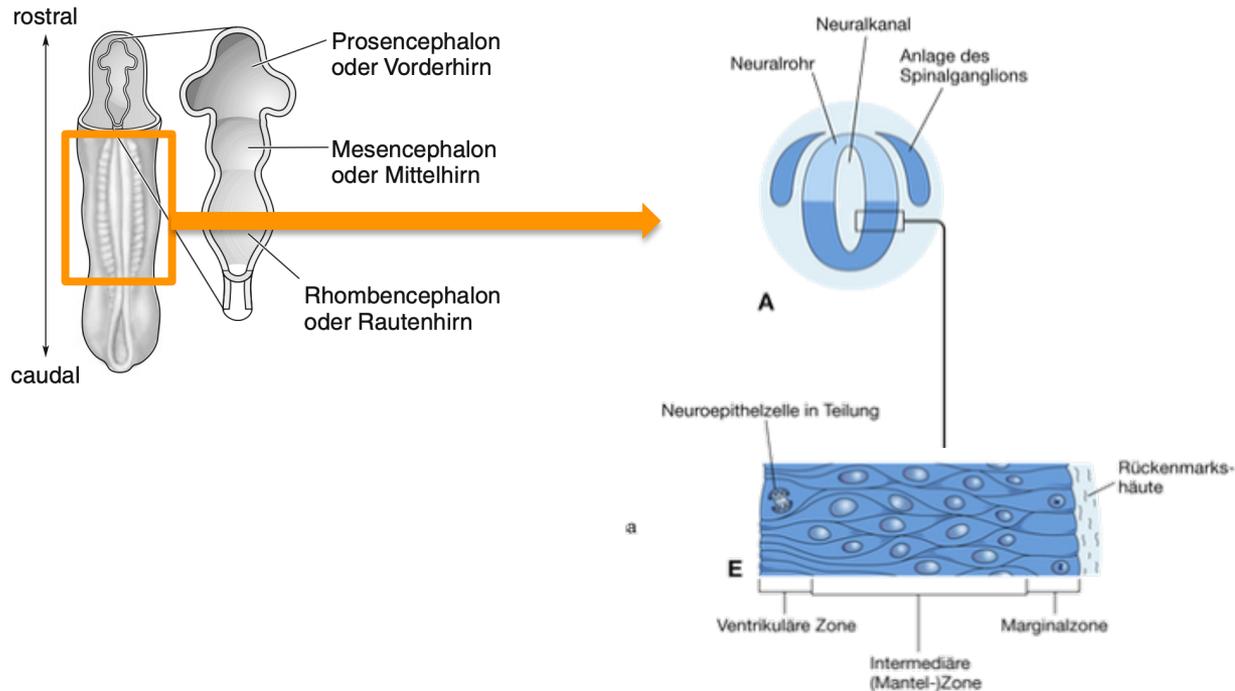


aus: Neurowissenschaften;  
Bear, Connor, Paradiso, 4. Auflage  
(beachte: andere Farbkodierung,  
daher hier grau!)

Modifiziert durch Dr. Meseke, aus: Rohen,  
Yokochi, Lütjen-Drecoll, Anatomie; 8.A.  
2010, Schattauer



## 8. Schritt: Die Entwicklung des Rückenmarks



Aus dem Neuralrohr unterhalb des 4. Somitenpaares entwickelt sich das **Rückenmark**. Aus der Neuralleiste die meisten peripheren Nerven. Die Zellen in der seitlichen Wand des Neuralrohr (Neuralepithelzellen) unterlaufen viele Zellteilungen und der Neuralkanal verengt sich immer weiter (schließlich bleibt nur Zentralkanal zurück). Es bilden sich **drei Zell-Zonen**: zum Neuralkanal hin die Ventrikulärzone (hier entstehen die **Gliazellen**), mittig die Mantelschicht (hier entstehen die **Neuroblasten** aus denen sich die Neurone entwickeln) und am Rand die **Marginalzone**, in die später die Axone der Nerven reinwachsen und die somit die weiße Substanz bildet. Durch unterschiedlich starkes Wachstum bildet sich ventral die **Grundplatte** (=> **Vorderhorn**, Motorische Neurone) und dorsal die **Flügelplatte** (=> **Hinterhorn**, sensorische Neurone)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!