

Lerneinheit I.8 „Wach sein und schlafen“:

Neuroanatomie

1. Bestandteile und Aufbau des ZNS

Dieses Kapitel soll einen groben Überblick über das Nervensystem geben. Besprochen werden zunächst die Gliederung des Nervensystems nach verschiedenen Gesichtspunkten, der Aufbau eines Neurons, verschiedene Typen von Neuronen und die Markscheidenbildung.

1.1 Gliederung des Nervensystems

Das Nervensystem kann unterteilt werden in

- das zentrale Nervensystem (ZNS) und
- das periphere Nervensystem (PNS).

Eine weitere Einteilungsmöglichkeit des Nervensystems ist die in

- das somatische Nervensystem und
- das vegetative Nervensystem.

1.1.1 Zentrales Nervensystem

Das zentrale Nervensystem umfasst Gehirn und Rückenmark, die beiden von den *Meningen* (Hirn-/Rückenmarkshäuten) umschlossen werden und im *Liquor cerebrospinalis* (Hirnwasser) schwimmen. Nach außen sind sie durch den Schädel / die Wirbelsäule vor direkter Verletzung geschützt. Dadurch werden Schädigungen wie z.B. durch Stoß oder Schlag wirkungsvoll eliminiert. Makroskopisch lassen sich im ZNS graue von weißer Substanz sowie Rinde, Mark und Kerngebiete unterscheiden.

1.1.2 Peripheres Nervensystem

Das periphere Nervensystem hat zwei Aufgaben:

- die Sensibilität und
- die Motorik.

Es empfängt Reize aus der Peripherie und leitet diese an das ZNS weiter (*Sensibilität*). Gleichzeitig leitet es die Impulse des ZNS in die Peripherie mit nachfolgender Muskelkontraktion (*Motorik*). Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, hat der Körper eine Vielzahl von Nerven, die entweder sensible oder motorische oder beide Qualitäten aufweisen.

1.1.3 Somatisches Nervensystem

Das somatische Nervensystem (= animalisches Nervensystem) dient der willkürlichen Anspannung der Muskeln und der bewussten (sensiblen) Wahrnehmung aus der Peripherie. Es findet sich sowohl im ZNS als auch im PNS.

1.1.4 Vegetatives Nervensystem

Statt vegetativ werden synonym auch die Begriffe *autonom* und *viszeral* verwendet. *Viscera* kommt aus dem Lateinischen und bedeutet Eingeweide. Damit erklärt sich die Funktion des vegetativen Nervensystems: Es steuert unbewusst und unwillkürlich die inneren Organe und dient damit der Lebenserhaltung.

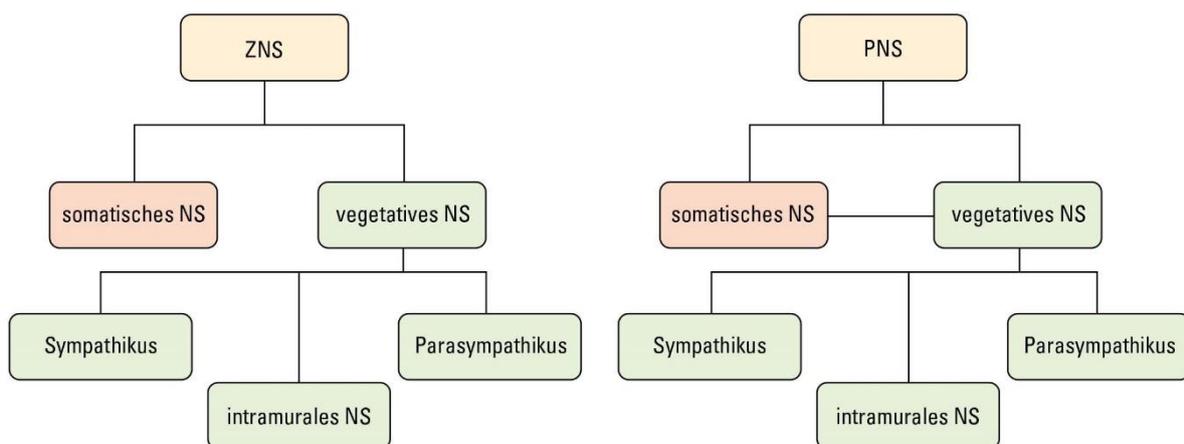
Merke:

Der Sympathikus lässt die Pupillen weit werden, Darmtätigkeit, Harn- und Stuhldrang werden unterdrückt, die Haut beginnt zu schwitzen, Herzfrequenz und Atmung werden schneller, die Muskeldurchblutung steigt.

Der Parasympathikus verengt die Pupillen, die Darmtätigkeit wird angeregt, Herzfrequenz und Atmung werden langsamer.

Daneben gibt es das Darmnervensystem (enterisches Nervensystem), das eines der intramuralen Nervensysteme unseres Körpers ist. Seine Neurone liegen in den Wänden des Gastrointestinaltraktes und koordinieren die Muskelaktivität (Peristaltik) des Darmrohres. Man unterscheidet dabei den

- Plexus myentericus (Auerbach-Plexus) zwischen der Längs- und der Ringmuskelschicht
- Plexus submucosus (Meißner-Plexus) zwischen der Mucosa und der Submucosa

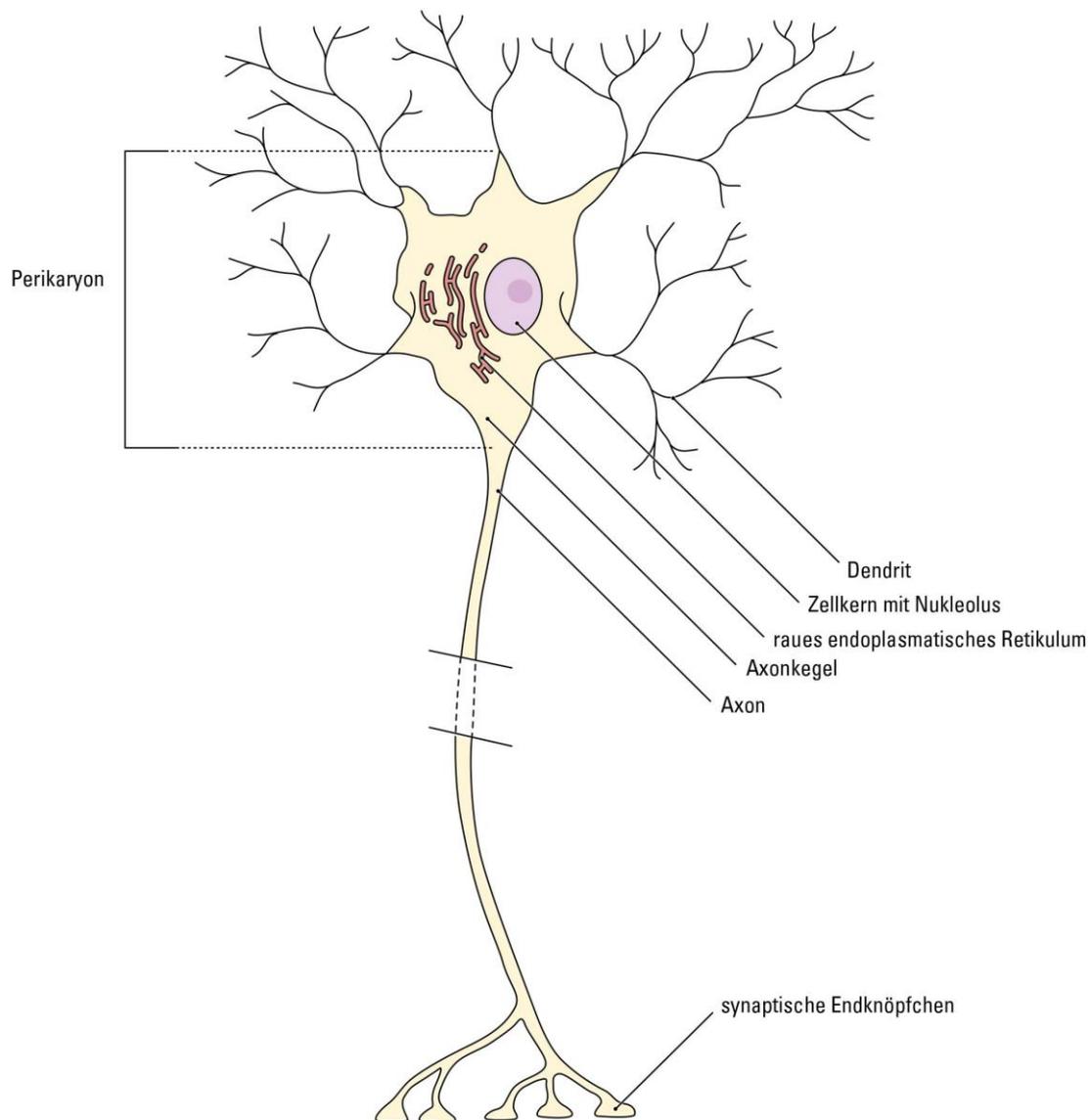


1.2 Histologie des Nervensystems

Das Nervensystem besteht aus dem Nervengewebe und einem dazwischen gelagerten speziellen Bindegewebe. Das Nervengewebe besteht aus **Neuronen**, das Bindegewebe aus **Gliazellen**.

1.2.1 Aufbau eines Neurons

Ein Neuron ist die kleinste funktionelle Einheit im Nervensystem. Jedes Neuron besteht aus einem **Soma/Perikaryon** (Zellkörper) mit Zellkern nebst Nukleolus und einem oder mehreren Fortsätzen. Die Zellfortsätze, die Erregungen von anderen Zellen empfangen, werden **Dendriten** genannt. Diejenigen Fortsätze, die der Erregungsweitergabe dienen, werden **Axone** (Neuriten) genannt. Meist besitzt ein Neuron nur ein Axon, das aber bis zu einem Meter lang sein kann.



Das Perikaryon ist die Stoffwechselzentrale des Neurons. Hier werden alle Substanzen gebildet und die Fortsätze transportiert. Als Ausdruck der hohen Stoffwechselaktivität ist das raue endoplasmatische Retikulum im Perikaryon besonders stark ausgeprägt. Im Bereich des Axonursprungs (Axonkegels) dagegen fehlt es. Das raue ER und freie Ribosomen liegen in Gruppen zusammen, die aufgrund ihrer Basophilie lichtmikroskopisch gut darstellbar sind und **Nissl-Schollen (Tigroid)** genannt werden.

Übrigens ...

Fertig ausdifferenzierte Neurone besitzen keine Zentriolen mehr, d.h. sie können sich nicht mehr teilen. Nach der Geburt untergegangene Nervenzellen können daher nie mehr ersetzt werden.

Kontaktstellen zwischen Neuronen werden **Synapsen** genannt. Die im ZNS vorkommenden chemischen Synapsen verwenden verschiedene Neurotransmitter zur Überbrückung des synaptischen Spaltes. Diese Neurotransmitter können sowohl erregend als auch hemmend sein. Wie das Neuron letztendlich auf die an den Dendriten und dem Soma ankommenden Reize reagiert hängt von der Anzahl der ankommenden erregenden und hemmenden Impulse ab.

Merke:

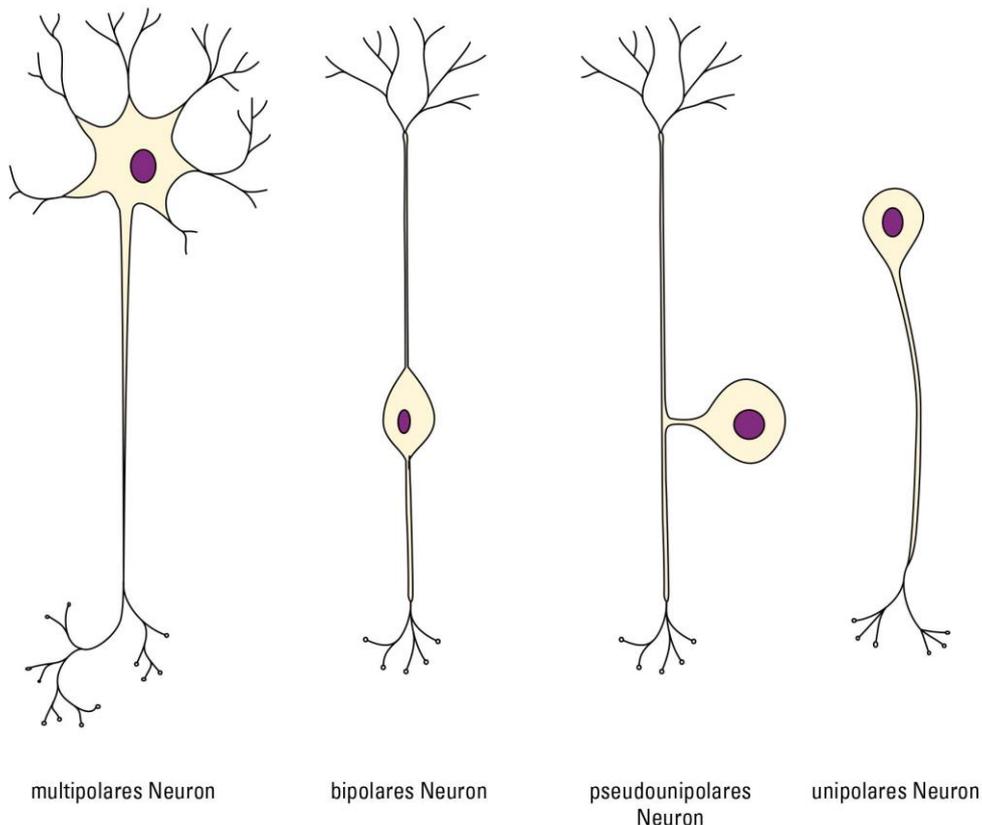
Antwort des Neurons = Summe der erregenden Impulse minus Summe der hemmenden Impulse.

Die Erregung kann aufgrund des Aufbaus der Synapsen im Axon und in den Dendriten nur in eine Richtung weitergeleitet werden.

1.2.2 Neuronentypen

Anhand der Fortsätze, die vom Perikaryon abgehen, unterscheidet man verschiedene Neuronentypen.

- Multipolare Neurone kommen am häufigsten vor. Vom Perikaryon nehmen bei diesem Typus mehr als zwei Fortsätze ihren Ursprung.
- Bipolare Neurone besitzen einen reizwahrnehmenden Fortsatz und ein Axon.
- Pseudounipolare Neurone finden sich in sensiblen Ganglien. Vom Perikaryon entspringt nur ein Fortsatz, der sich dann in einen axonalen und einen dendritischen Fortsatz aufspaltet.
- Bei unipolaren Neuronen fehlen die reizwahrnehmenden Fortsätze. Sie besitzen nur ein Axon. Die Reizwahrnehmung erfolgt über Synapsen am Perikaryon oder am Axon.



Merke:

Multipolare Neurone sind am häufigsten.

1.2.3 Einteilung der Nervenfasern

Die Leitungsgeschwindigkeit einer Nervenfaser steigt proportional zu ihrem Durchmesser. Man unterteilt die Nervenfasern in drei Klassen:

- A (am schnellsten, markhaltig)
- B (mittelschnell, dünn myelinisiert)
- C (am langsamsten, marklos)

Innerhalb der Klasse A gibt es noch die Einteilung in $A\alpha$ (am allerschnellsten), $A\beta$, $A\gamma$ und $A\delta$ (langsamste der Schnellen).

1.2.4 Gliagewebe

Gliagewebe ist für die Funktion des Nervensystems absolut unentbehrlich. Es unterstützt Neurone und gibt dem Nervensystem seinen räumlich zusammenhängenden Aufbau. Gliazellen füllen den Interneuralraum soweit aus, dass zwischen den einzelnen zellulären Elementen des ZNS nur noch ein spaltförmiger Inter- bzw. Extrazellularraum bestehen bleibt.

Übrigens ...

Im Gegensatz zu den Neuronen können sich die Gliazellen zeitlebens teilen. Klinisch relevant ist dies für die Narben- und Tumorbildung.

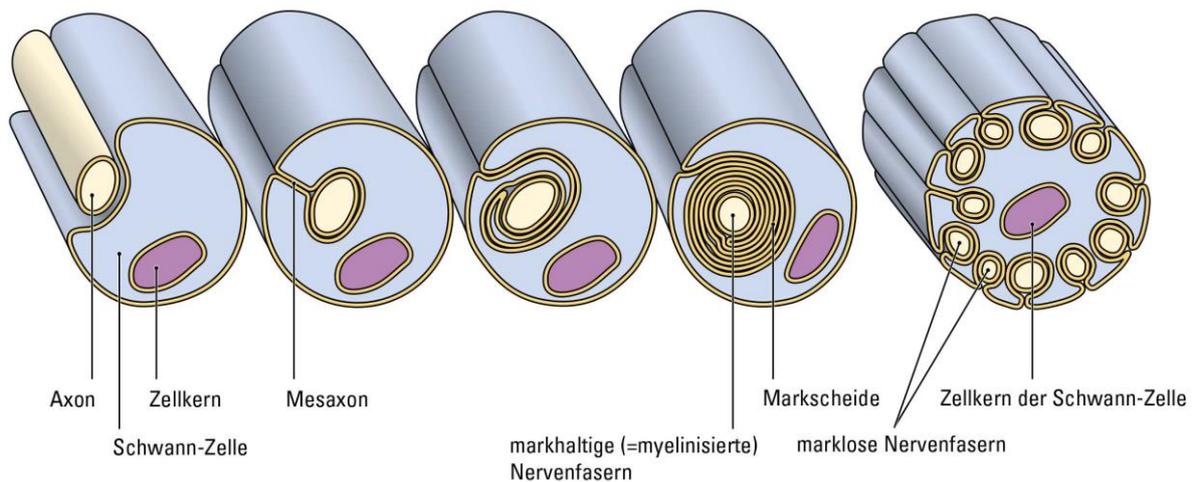
Innerhalb der großen Gliazellgemeinde unterscheidet man periphere von zentralen Gliazellen, die unterschiedlicher embryonaler Abstammung sind.

Periphere Gliazellen

Periphere Gliazellen entstammen der **Neuralleiste**. Dabei handelt es sich vorrangig um **Schwann-Zellen**, die für die Myelinisierung (Markscheidenbildung, Ummarkung) der peripheren Nerven zuständig sind. Markscheiden dienen der elektrischen Isolierung.

Zwischen zwei Schwann-Zellen bleibt in aller Regel ein kleiner Spaltraum, an dem der Nervenfortsatz blank liegt. Durch die Kanäle im Bereich des Spaltraumes wird die saltatorische (springende) Erregungsleitung ermöglicht, die eine hohe Nervenleitgeschwindigkeit zur Folge hat. Der Raum zwischen zwei Schwann-Zellen heißt **Ranvier-Schnürring**. Je größer dabei der myelinisierte Bereich (Internodium) zwischen zwei Ranvier-Schnürringen ist, desto höher ist die Nervenleitgeschwindigkeit. Während der Markscheidenbildung entstehen **Mesaxone**. Das sind Membranduplikaturen der äußeren und inneren Plasmamembran einer Schwann-Zelle.

Die langsam übertragenden marklosen Nerven sind auch von Schwann-Zellen zur elektrischen Isolierung umgeben. Dabei umfasst eine Schwann-Zelle mehrere Nervenfortsätze und man sieht im Querschnitt keine Lamellenstruktur.



Merke:

Periphere Gliazellen entstammen der Neuralleiste. Mesaxone entstehen während der Markscheidenbildung und sind Membranduplikaturen der Plasmamembran. Sie kommen sowohl bei markhaltigen als auch bei marklosen Nerven vor.

Übrigens ...

Wird ein Nervenzellfortsatz distal durchtrennt, kommt es zur Waller-Degeneration (anterograde oder orthograde Degeneration). Dabei stirbt der abgetrennte distale Teil ab und seine Markscheide zerfällt. Durch Proliferation / Wiederauswachsen der Schwann-Zellen kann die Markscheide neu gebildet werden. Sie dient als mechanische und chemische (durch Sekretion von Wachstumsfaktoren) Leitschiene für den – mit 1 Millimeter pro Tag – neu auswachsenden Nerven.

Zentrale Gliazellen

Zentrale Gliazellen stammen wie Neurone aus dem **Neuralrohr**. Sie nehmen ca. 50% des Hirnvolumens ein. Man unterscheidet vier Typen:

- **Astrozyten**
- **Oligodendrozyten**
- **Mikro-/Mesoglia (Achtung: Abstammung vom Mesoderm!)**
- **Ependymzellen**

Merke:

Gliazellen sind die wichtigsten unterstützenden Zellen des ZNS. Sie entstammen aus dem Neuralrohr.

Mikroglia-Zellen stammen nicht aus dem Neuralrohr, sondern vom Mesoderm ab.

Astrozyten. Astrozyten sind die Stützzellen des ZNS und ersetzen zugrunde gegangenes Gewebe (Glianarben). Mit ihren Fortsätzen ziehen sie zu den Blutgefäßen und wirken dort am Austausch von Nährstoffen und Stoffwechselprodukten zwischen Blut und Neuronen mit. Daher haben sie entscheidenden Anteil an der Ausbildung der Blut-Hirn-Schranke.

Oligodendrozyten. Die Oligodendrozyten sind die Markscheidenbildner des ZNS. Dabei umschließt der Oligodendrozyt mit seinen Fortsätzen mehrere Axone / Dendriten.

Übrigens ...

Die Multiple Sklerose ist eine Autoimmunerkrankung des Körpers gegen Oligodendrozyten. Dabei kommt es zum Abbau der Markscheiden. Die Folgen sind Lähmungen und Sensibilitätsverluste, die zum Teil durch erneute Umhüllung der Nervenfortsätze reversibel sind.

Mikro- oder Mesoglia (Hortega-Zellen). Diese kleinen Gliazellen des ZNS sind nicht ortsständig. Sie sind eingewanderte Makrophagen, die Abwehr- und Abräumaufgaben erfüllen. Sie entstammen als einzige Gliazellen dem Mesoderm.

Ependymzellen. Ependymzellen sehen wie hochprismatische Epithelzellen aus und kleiden die Ventrikel aus. Sie besitzen viele Mikrovilli als Ausdruck einer starken Sekretions-/Resorptions-tätigkeit.

1.2.5 Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke besteht aus drei Schichten:

- Endothel der Kapillaren (innen)
- Basalmembran
- Astrozytenfortsätze (außen)

Sie ist selektiv durchlässig für Ethanol aufgrund seiner Lipidlöslichkeit und kann bei Infektionen oder Tumoren durchlässiger werden (Schrankenstörung).

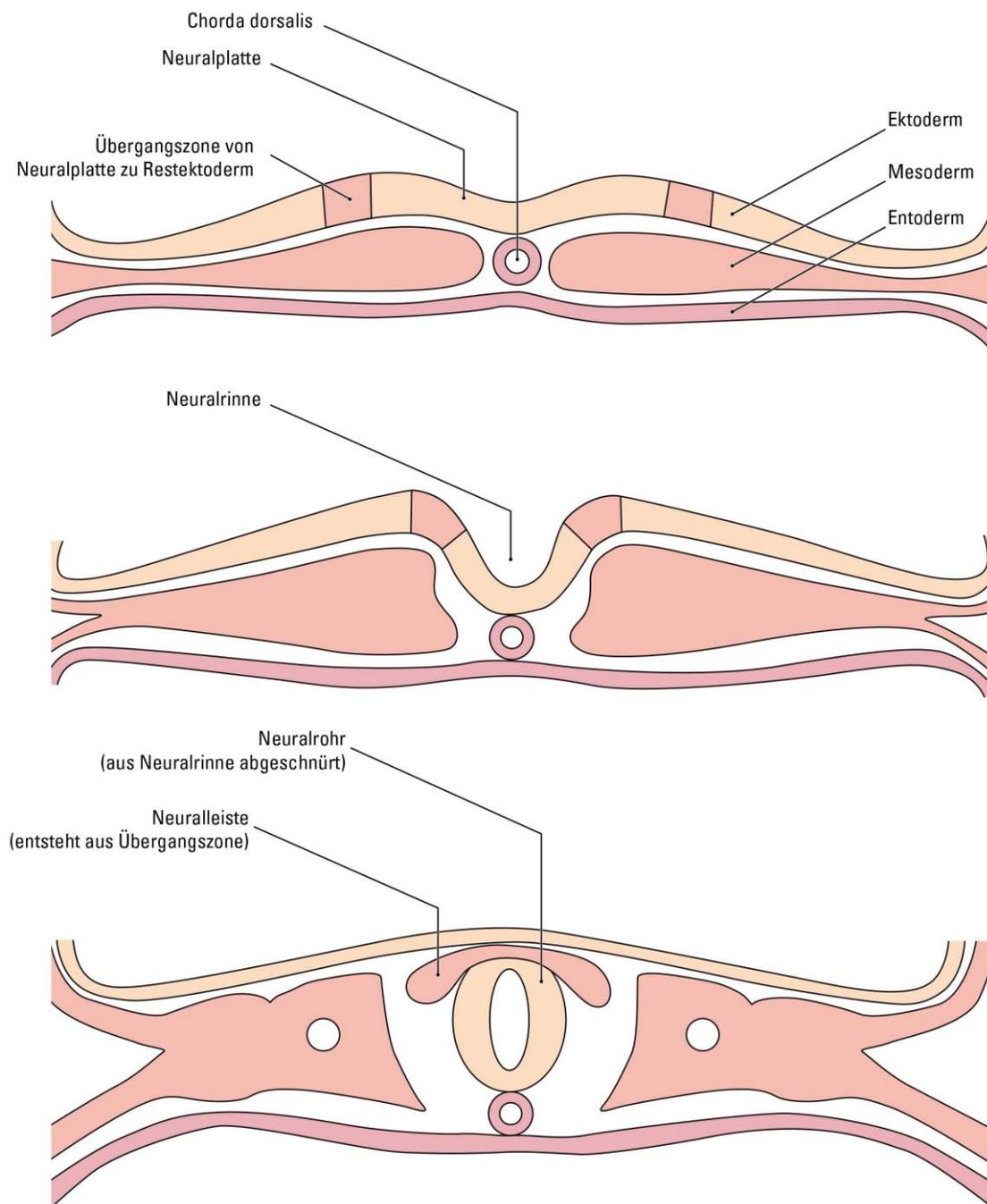
1.2.6 Ganglien

Hier sollten man unbedingt folgende Begriffe auseinanderhalten:

- Ganglienzelle (andere Bezeichnung für Nervenzelle/Neuron)
- Ganglion (Ansammlung von Nervenzellkörpern)

Die sensiblen Ganglien enthalten immer Perikarien pseudounipolarer Neurone (Ausnahme: Bipolarzellen des sensorischen Ganglions von Hirnnerv VIII). In diesen Ganglien findet KEINE Umschaltung der Information statt.

2. Entwicklung



2.1 Embryonale Entwicklung des Nervensystems

Auch wenn es auf den ersten Blick nicht so scheint, ist die Entwicklung des Nervensystems gar nicht so kompliziert. Bei der embryonalen Entwicklung des Nervensystems lassen sich drei wesentliche Schritte unterscheiden:

1. Induktion
2. Neurulation
3. Bläschenformation

2.1.1 Induktion

Sind die drei Keimblätter Entoderm, Mesoderm und Ektoderm beim Embryo entstanden, entwickelt sich durch einen von Mesoderm/Chorda dorsalis (primitive Längsachse) ausgehenden Reiz (Induktion) im Ektoderm ein spezialisierter Bezirk, das Neuroektoderm. Dies geschieht etwa am 17. Embryonaltag. Aus diesem Neuroektoderm bildet sich die Neuralplatte, aus der der größte Anteil des Nervensystems entsteht.

2.1.2 Neurulation

Die Neuralplatte vertieft sich zur Neuralrinne und schnürt sich als Neuralrohr ab. Dieser Vorgang wird Neurulation genannt und findet in etwa am 18. Embryonaltag statt. Die Übergangszone zwischen Ektoderm und Neuroektoderm nähert sich beiderseits durch die Neurulation an und bildet die Neuralleiste. Sie enthält das Material für die Entwicklung des peripheren Nervensystems.

Zu Beginn ist das Neuralrohr an beiden Enden noch offen. Nach dem Verschluss entwickelt sich aus dem abgeschlossenen Neuralrohrsystem das Ventrikelsystem.

Übrigens ...

Ein fehlerhafter Schluss des Neuralrohres führt zu dysraphischen Defekten:

Aus dem fehlenden Schluss des Neuroporus rostralis entsteht ein Anencephalus. Dabei fehlen alle oder große Teile des Groß- und Zwischenhirns sowie des Schädeldachs. Diese Fehlbildung ist mit dem Leben nicht vereinbar.

Bleibt der Schluss des Neuroporus caudalis aus, so entsteht eine Spina bifida. Je nach Schweregrad ist sie von außen nicht sichtbar (Spina bifida occulta) oder führt zum sichtbaren Austreten des Rückenmarks samt Meningen (Meningomyelozele). Diese Fehlbildung ist mit dem Leben vereinbar und kann operativ korrigiert werden.

2.1.3 Bläschenformation

Aus dem Neuralrohr bilden sich am oberen Ende die Hirnbläschen. Es werden

- Vorderhin (Prosencephalon)
- Mittelhirn (Mesencephalon)
- Hinterhirn / Rautenhirn (Rhombencephalon)

als primäre Hirnbläschen unterschieden.

Die Vorder- und Hinterhirnbläschen teilen sich am 32. Embryonaltag erneut, sodass fünf sekundäre Hirnbläschen entstehen:

Prosencephalon (Vorderhirn)

- **Telencephalon** (Endhirn oder Großhirn)
 - o linke und rechte Hemisphäre
- **Diencephalon** (Zwischenhirn)
 - o Augenbläschen (Anlage für Nervus opticus, Retina, Netzhaut)
 - o Thalamus etc.

Mesencephalon (Mittelhirn)

Rhombencephalon (Hinterhirn/Rautenhirn)

- **Metencephalon**
 - o Cerebellum (Kleinhirn)
 - o Pons (Brücke)
- **Myelencephalon** (zukünftige Medulla oblongata)

Merke:

Zum Rhombencephalon gehören Metencephalon und Myelencephalon.

Die Bläschen wachsen unterschiedlich schnell, sodass es zu einem Abkippen des Neuralrohrs zwischen Mittel- und Zwischenhirn nach vorn um ca. 60° kommt.

2.2 Kiemenbögen und Derivate

Auch wenn Embryologie nicht jedermanns Interessengebiet ist, lohnt es sich, ein wenig davon aufzunehmen. Mit Hilfe der Embryologie ist nämlich die häufig auf den ersten Blick nicht logisch nachvollziehbare Innervation bestimmter Muskeln leichter verständlich. Ein Beispiel dafür sind die Kiemenbögen und ihre Derivate.

| Kiemenbogen | Nerv | Muskeln | Skelettelemente | Bänder |
|-----------------------|--|---|--|---|
| 1. Mandibularbogen | Nervus trigeminus (V) | Kaumuskeln <ul style="list-style-type: none"> - M. mylohyoideus - Venter anterior des M. digastricus - M. tensor tympani - M. tensor veli palatini | Malleus Incus Mandibula Maxilla Os zygomaticum | vorderes Band des Malleus Lig. sphenomandibulare |
| 2. Hyoidbogen | Nervus facialis (VII) | mimische Muskulatur <ul style="list-style-type: none"> - M. stapedius - M. stylohyoideus - Venter posterior des M. digastricus | Stapes Proc. styloideus kleines Zungenbeinhorn oberer Teil des Zungenbeinkörpers | Lig. stylohyoideum |
| 3. Kiemenbogen | Nervus glosso-pharyngeus (IX) | M. stylopharyngeus | großes Zungenbeinhorn unterer Teil des Zungenbeinkörpers | |
| 4. und 6. Kiemenbogen | Nervus laryngeus superior et inferior (recurrens) des Nervus vagus | Pharynx- und Larynxmuskulatur | Schildknorpel Ringknorpel Aryknorpel Cartilago corniculata Cartilago cuneiformis | |

Kiemenbögen und deren Derivate.

Während der Embryonalzeit entwickeln sich die Kiemenbögen. Diese sind – wie der Rest des Körpers auch – segmental angelegt. Jedem Kiemenbogen können Skelettelemente, Bänder, Muskulatur und Nerven zugeordnet werden.

Prüfungsfragen

Welche Einteilungsmöglichkeiten des Nervensystems kennen Sie?

ZNS, PNS, somatisches, vegetatives Nervensystem.

Erläutern Sie bitte den Aufbau einer Nervenzelle.

[Abb.]

Bitte erklären Sie, was markhaltig und was marklos bedeutet.

markhaltig = mit Myelinscheide

marklos = ohne Myelinscheide

Erläutern Sie den Vorteil der Myelinscheide.

Erhöhung der Leitungsgeschwindigkeit durch saltatorische Erregungsleitung.

Welche Neuronentypen kennen Sie?

multipolare, bipolare, unipolare und pseudounipolare

Erklären Sie bitte, was Ganglien im Nervensystem sind.

Ganglien sind Ansammlungen von Nervenzellkörpern im peripheren Nervensystem.

Bitte erläutern Sie den Unterschied zwischen grauer und weißer Substanz.

graue Substanz = Perikaryen

weiße Substanz = Fortsätze und Gliagewebe

Erläutern Sie bitte den Unterschied zwischen zentraler und peripherer Glia.

Periphere Glia entstammt der Neuralleiste, Beispiel: Schwann-Zelle

zentrale Glia entstammt dem Neuralrohr, bis auf Mikroglia, die dem Mesoderm entstammt.

es gibt vier Typen:

- Astrozyten
- Oligodendrozyten
- Mikro-/Mesoglia
- Ependymzellen

Bitte erläutern Sie, welche Hirnnerven zu welchem Kiemenbogen gehören.

1. Mandibularbogen: Nervus trigeminus (V)
2. Hyoidbogen: Nervus facialis (VII)
3. Kiemenbogen: Nervus glossopharyngeus (IX)
4. und 6. Kiemenbogen: Nervus laryngeus superior und inferior (recurrens) des Nervus vagus (X)

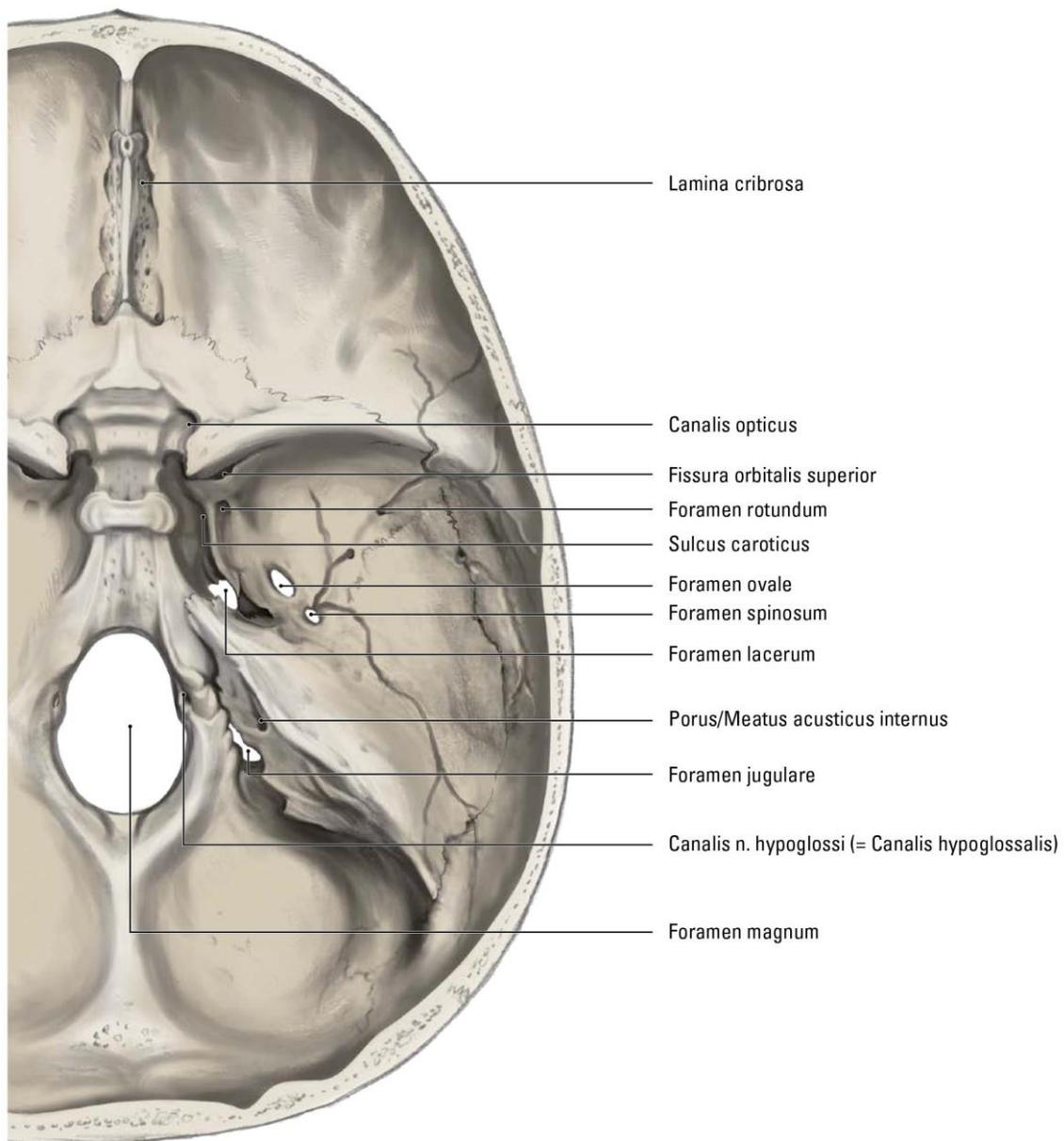
Welche Fehlbildungen bei der Neurulation kennen Sie?

Anencephalus, Spina bifida occulta und Meningomyelozele

3. Hirnnerven

3.1 Makroskopie

Die wesentlichen Öffnungen des Schädels sind in folgender Grafik dargestellt:



Merke:

roter Max – durch das Foramen **rotundum** zieht der Nervus **maxillaris**

ovale Mandel – durch das Foramen **ovale** zieht der Nervus **mandibularis**

3.2 Nervus olfactorius (Hirnnerv I)

Der *Nervus olfactorius* (Riechnerv) ist ein rein sensorischer (speziell-viszerosensibler) Nerv. Im Gegensatz zu den anderen sensiblen Nervenzellen befinden sich diese Nervenzellen jedoch nicht in einem Ganglion. Sie besitzen auch keine peripheren und zentralen Fortsätze, sondern bilden selbst die Axone, die ins ZNS reichen. Diese Art von Sinneszellen werden **primäre Sinneszellen** genannt. Die marklosen Fortsätze bilden die *Filae olfactoriae* und ziehen durch die *Lamina cribrosa* zum *Bulbus olfactorius*. Dort findet die erste Umschaltung statt, weshalb man den *Bulbus olfactorius* auch als Hirnnervenkern des *Nervus olfactorius* auffassen kann. Vom *Bulbus olfactorius* ziehen die Fasern dann über den *Tractus olfactorius* in die primäre Riechrinde.

Faserqualität: sensorisch (speziell-viszerosensibel).

Übrigens ...

Bei Schädelbasisverletzungen kann es durch Scherkräfte zum Abriss der Filae olfactoriae an der Lamina cribrosa kommen. Dies kann eine Hyposmie (Riechminderung) oder sogar eine Anosmie (Unfähigkeit zu riechen) zur Folge haben. Die Betroffenen können nur noch süß, sauer, salzig und bitter schmecken; scharfe Agenzien wie Ammoniak werden über den Trigeminus wahrgenommen (Trigeminusreizstoffe).

3.3 Nervus opticus (Hirnnerv II)

Der *Nervus opticus* (Sehnerv) ist ebenfalls ein rein sensorischer (speziell-viszerosensibler) Hirnnerv. Er ist als Teil des Zwischenhirnes aufzufassen, beginnt in der Retina und setzt sich dort aus den Fortsätzen der großen retinalen Ganglienzellen zusammen. Diese Fortsätze liegen an einer Stelle besonders dicht (*Papilla nervi optici*) und bilden dort den *blinden Fleck*. Nach Verlassen des blinden Flecks ist der *Nervus opticus* von Oligodendrozyten und den Hirnhäuten umgeben. In seinem Verlauf verlässt er die Orbita zusammen mit der *Arteria ophthalmica* durch den *Canalis opticus*.

Über der Hypophyse bildet er das *Chiasma opticum*. Dort kreuzen die Fasern, die von der medialen Netzhauthälfte kommen (laterales Gesichtsfeld), zur Gegenseite. Die Fasern der lateralen Netzhauthälfte (mediales Gesichtsfeld) verlaufen hingegen ungekreuzt. Nach der Kreuzung spricht man vom *Tractus opticus*. Dieser zieht zum *Corpus geniculatum laterale* des Thalamus. Dort findet die erste Umschaltung außerhalb der Retina statt. Danach ziehen die Fasern zur primären Sehrinde.

Faserqualität: sensorisch (speziell-viszerosensibel).

Merke:

Das Chiasma opticum befindet sich über der Hypophyse und kann deshalb leicht durch Hypophysentumoren geschädigt werden!

Übrigens ...

*Bei der **Stauungspapille** schwillt durch Behinderung des venösen Abflusses die Papilla nervi optici an. Dies sieht man beim Spiegeln des Augenhintergrundes als Vorwölbung. Die Stauungspapille ist Ausdruck eines gesteigerten Hirndrucks und sollte immer eine weiterführende Diagnostik nach sich ziehen. Bei der **Multiplen Sklerose** kommt es zu einem autoimmun bedingten Zerfall von Oligodendrozyten und damit dem Funktionsverlust der betroffenen Nervenbahnen. Da der Nervus opticus als Teil des Gehirns auch von Oligodendrozyten umgeben ist, manifestiert sich die Erkrankung häufig in Form von Schleiersehen oder Gesichtsfeldausfällen, die unter Umständen zur Blindheit führen.*

3.4 Nervus oculomotorius (Hirnnerv III)

Der *Nervus oculomotorius* innerviert einen Großteil der Augenmuskulatur. Er verlässt den Hirnstamm in der *Fossa interpeduncularis*. Sein Ursprung liegt im Mittelhirn. Dabei ist das somatomotorische Kerngebiet für die Innervation der quergestreiften äußeren Augenmuskeln, das viszeromotorische Kerngebiet für die Innervation der glatten inneren Augenmuskeln zuständig.

Somatomotorisch innerviert der *Nervus oculomotorius* diese äußeren Augenmuskeln:

- *Musculus rectus superior* (Hebung, Einwärtsrollung, Adduktion)
- *Musculus rectus medialis* (Adduktion)
- *Musculus rectus inferior* (Senkung, Auswärtsrollung, Adduktion)
- *Musculus obliquus inferior* (Hebung in Adduktionsstellung, Auswärtsrollung, Adduktion)
- *Musculus levator palpebrae superioris* (Lidöffnung)

Ein Ast mit parasymphatischen Fasern zieht zum *Ganglion ciliare* und versorgt viszeromotorisch diese glatten Augenmuskeln:

- *Musculus ciliaris*
- *Musculus sphincter pupillae*.

Faserqualität: somatomotorisch und viszeromotorisch.

Merke:

Der *Nervus oculomotorius* innerviert alle äußeren Augenmuskeln mit **Ausnahme** des **Musculus obliquus superior** und des **Musculus rectus lateralis**.

Übrigens ...

Beim Ausfall eines *Nervus oculomotorius* klagt der Patient über Doppelbilder, da das betroffene Auge nach außen und unten blickt. Bei Blick in die Richtung des geschädigten Auges werden die Doppelbilder weniger. Durch Ausfall des *Musculus levator palpebrae superioris* kommt es zur Ptosis (schlaffes Herunterhängen des Augenlids). Die Mydriasis (Weitstellung der Pupille) und mangelndes Akkomodationsvermögen resultieren aus dem Ausfall der parasymphatischen Fasern. Damit wird das Lesen mit dem betroffenen Auge schwer möglich. Zur Untersuchung wird der Pupillenreflex getestet.

Die Ptosis des **Horner-Syndroms** entsteht durch Lähmung des sympathisch innervierten *Musculus tarsalis superior*. Sie ist nicht so ausgeprägt wie die Ptosis infolge der Lähmung des *Musculus levator palpebrae superioris*.

3.5 Nervus trochlearis (Hirnnerv IV)

Der *Nervus trochlearis* versorgt nur den *Musculus obliquus superior* am Auge. Er ist ein rein somatomotorischer Hirnnerv und hat sein Kerngebiet im Mittelhirn.

In seinem Verlauf tritt der *Nervus trochlearis* als einziger Hirnnerv dorsal aus, am Unterrand der Vierhügelplatte. Topographisch hat er Bezug zum *Sinus cavernosus*. Seine Funktion ist die Innervation des *Musculus obliquus superior* (Senkung in Adduktionsstellung, Einwärtsrollung, Abduktion).

Faserqualität: rein somatomotorisch.

Übrigens ...

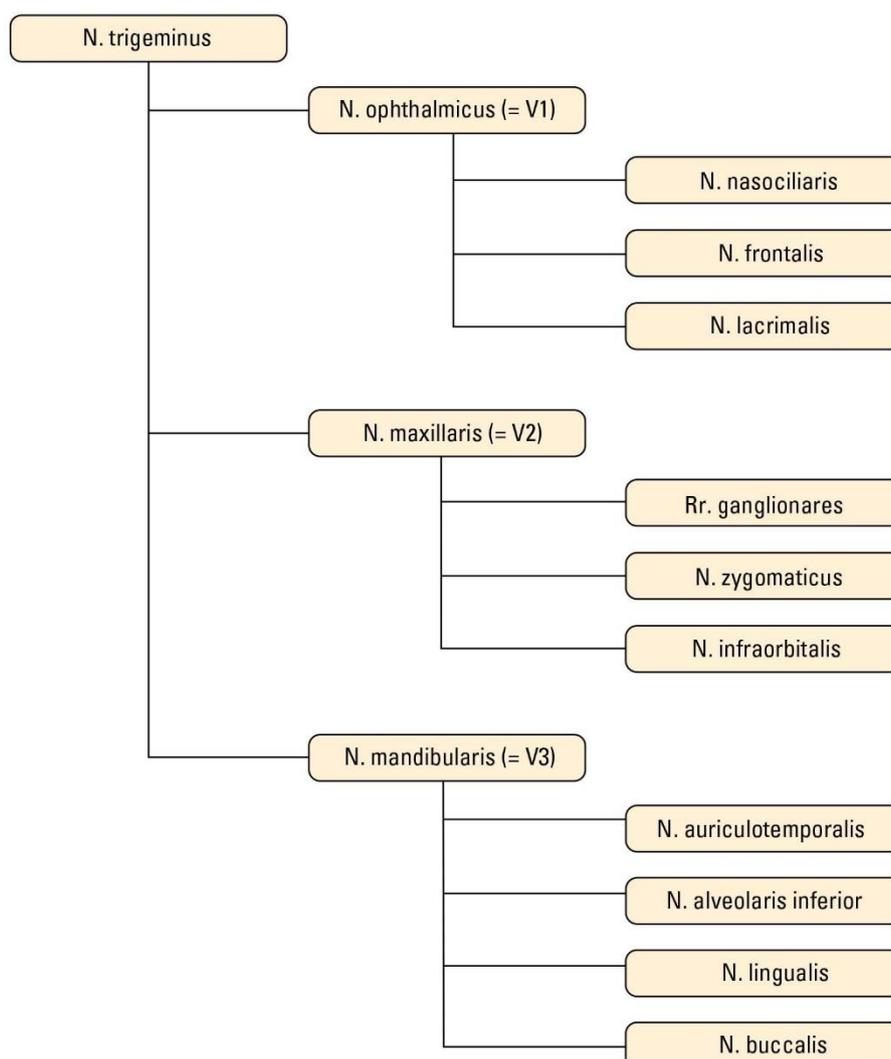
Bei Schädigung des Nervus trochlearis steht der Bulbus nach media oben. Die Patienten sehen Doppelbilder und versuchen, durch Schiefhaltung des Kopfes diese auszugleichen. Die Doppelbilder entstehen am deutlichsten beim Blick nach medial unten.

3.6 Nervus trigeminus (Hirnnerv V)

Der Nervus trigeminus ist ein gemischt sensibler und motorischer Nerv. Mit der größeren *Radix sensoria* versorgt er sensibel das gesamte Gesicht, Mund und Nasenschleimhäute sowie einen Großteil der Hirnhäute. Die kleinere *Radix motoria* versorgt motorisch die Kaumuskulatur.

Innerhalb einer Duratasche bildet er das große semilunare *Ganglion trigeminale* (*Ganglion semilunare* oder auch *Ganglion Gasseri*). Es enthält die Perikaryen der pseudounipolaren Nervenzellen. Aus dem Ganglion entspringen drei große Hauptstämme:

- Nervus ophthalmicus (V1)
- Nervus maxillaris (V2)
- Nervus mandibularis (V3)



Lediglich der *Nervus mandibularis* führt die Fasern aus der *Radix motoria*, um damit die Kaumuskeln zu innervieren. Alle drei Hauptstämme teilen sich nochmals in mindestens drei Hauptäste auf. Dabei versorgt jeweils der erste Hauptast das zugehörige Schleimhautareal, der zweite Hauptast zieht nach medial und der dritte nach lateral.

Faserqualität: somatosensibel und viszeromotorisch.

Merke:

Das Ganglion Gasseri = Ganglion semilunare = Ganglion trigeminale enthält nur Nervenzellkörper. Hier wird **nichts umgeschaltet**.

Das Ganglion selbst liegt in einer Duratasche und vermittelt Kopfschmerzen.

3.6.1 Nervus ophthalmicus (Hirnnerv V1)

Der *Nervus ophthalmicus* teilt sich in der *Fissura orbitalis superior* in den *Nervus nasociliaris*, *Nervus frontalis* und *Nervus lacrimalis* auf. Vorher gibt er einen rückläufigen Ast für die Hirnhäute ab (*Ramus tentorius*).

| Nerv | Versorgungsgebiet |
|---------------------|--|
| Nervus nasociliaris | <ul style="list-style-type: none"> - Siebbeinzellen - Keilbeinhöhle - Nasenscheidewand - Konjunktiva - Nasenrücken sensibel |
| Nervus frontalis | <ul style="list-style-type: none"> - Stirn - medialer Augenwinkel - Oberlid sensibel |
| Nervus lacrimalis | lateraler Teil von <ul style="list-style-type: none"> - Augenwinkel - Oberlid - Konjunktiva sensibel Tränendrüse sekretorisch |

Äste des Nervus ophthalmicus und ihre Versorgungsgebiete.

3.6.2 Nervus maxillaris (Hirnnerv V2)

Der *Nervus maxillaris* gibt vor dem Durchtritt durch das *Foramen rotundum* einen *Ramus meningeus* ab. Dann tritt er in die *Fossa pterygopalatina* ein, wo er sich in drei Äste teilt:

| Nerv | Versorgungsgebiet |
|--------------------|--|
| Rami ganglionares | sensibel: <ul style="list-style-type: none"> - Schleimhaut der Nasenmuscheln - hintere Siebbeinzellen - harter und weicher Gaumen |
| Nervus zygomaticus | sensibel: <ul style="list-style-type: none"> - Haut über dem Jochbein |

| | |
|-----------------------|---|
| Nervus infraorbitalis | sensibel: - Haut zwischen Unterlid und Oberlippe über die Nervi alveolares superiores: - Zähne des Oberkiefers |
|-----------------------|---|

Äste des Nervus maxillaris und ihre Versorgungsgebiete.

3.6.3 Nervus mandibularis (Hirnnerv V3)

Der *Nervus mandibularis* führt neben sensiblen Fasern auch motorische Fasern für die Kaumuskulatur. Er verlässt die Schädelhöhle durch das *Foramen ovale* und tritt in die *Fossa infratemporalis* ein. Von dort zieht ein rückläufiger Ast zusammen mit der *Arteria meningea media* durch das *Foramen spinosum* in die Schädelhöhle zurück, zur Versorgung der Meningen.

Der sensible Anteil zweigt sich in vier Äste auf:

| Nerv | Versorgungsgebiet |
|----------------------------|---|
| Nervus auriculo-temporalis | sensibel: - Schläfe - vordere Ohrmuschel |
| Nervus alveolaris inferior | sensibel: - Unterkieferzähne - Haut des Kinns (als Nervus mentalis) |
| Nervus lingualis | allgemein-somatosensibel: - vordere zwei Drittel der Zunge speziell-viszerosensibel: - vordere zwei Drittel der Zunge (über Fasern aus der Chorda tympani) |
| Nervus buccalis | sensibel: - Wangenschleimhaut - angrenzendes Zahnfleisch |

Äste des Nervus mandibularis und ihre Versorgungsgebiete.

Die motorischen Äste werden nach den Muskeln benannt, die sie innervieren:

- *Nervus massetericus (Musculus masseter)*
- *Nervi temporales profundi (Musculus temporalis)*
- *Nervi pterygoidei (Musculus pterygoideus medialis et lateralis)*
- *Nervus mylohyoideus (Mundbodenmuskulatur)*
- Äste zum *Musculus tensor veli palatini* und *Musculus tensor tympani*

Übrigens ...

Eine Schädigung des Nervus trigeminus hat eine Sensibilitätsstörung des betroffenen Gesichtsareals zur Folge. Ist der motorische Anteil betroffen, weicht der Unterkiefer beim Öffnen zur Seite der Schädigung ab.

Die weitaus häufigere Trigeminusneuralgie (Überempfindlichkeit des Nervus trigeminus) hat schwerste Schmerzzustände auf schon kleinste Berührungsreize zur Folge. Klinisch prüft man deshalb die Trigeminusdruckpunkte (Austrittsstellen des Nervus trigeminus).

Der Kornealreflex bewirkt den Lidschluss und wird auch zur Überprüfung des Nervus facialis eingesetzt.

3.7 Nervus abducens (Hirnnerv VI)

Der *Nervus abducens* entspringt relativ medial in der *Medulla oblongata* am Unterrand der Brücke. Er verläuft als einziger Hirnnerv durch das Lumen des *Sinus cavernosus* und zieht durch die *Fissura orbitalis superior* zum *Musculus rectus lateralis*. Seine ausschließliche Funktion ist die motorische Versorgung des:

- *Musculus rectus lateralis* (Abduktion)

Faserqualität: somatomotorisch.

Übrigens ...

Bei Schädigung des *Nervus abducens* blickt das betroffene Auge nach medial. Dies führt zu Doppelbildern, die beim Blick nach lateral stärker werden, beim Blick nach medial schwächer werden.

3.8 Nervus facialis (Hirnnerv VII)

Der *Nervus facialis* innerviert mit speziell-viszeromotorischen Fasern die gesamte mimische Muskulatur. Die mit ihm laufenden Intermediusfasern (deshalb auch *Nervus intermedio-facialis* genannt) führen parasymphatisch-sekretorische Fasern sowie sensorische Geschmacksfasern.

In ihrem Verlauf treten der *Nervus facialis* und der *Nervus intermedius* im Kleinhirnbrückenwinkel aus und ziehen zusammen mit dem *Nervus vestibulocochlearis* durch den *Porus acusticus internus*. Im äußeren Fazialisknie des *Canalis facialis* liegt das *Ganglion geniculi* mit den pseudounipolaren Nervenzellkörpern der sensorischen Nervenzellen für die sensorischen Geschmacksfasern.

Die motorischen Fasern treten in die *Glandula parotis* ein und teilen sich dort in fünf Äste auf:

- *Rami temporales*
- *Rami zygomatici*
- *Rami buccales*
- *Ramus marginalis mandibulae*
- *Ramus colli*

In Höhe des *Ganglion geniculi* verlassen präganglionäre parasymphatische Fasern den Hauptstamm des *Nervus facialis*. Sie ziehen als *Nervus petrosus major* zum *Ganglion pterygopalatinum* und werden dort auf das zweite Neuron umgeschaltet. Die postganglionären Fasern ziehen mit dem *Nervus zygomaticus* (Ast des *Nervus maxillaris*) zur Tränendrüse.

Der *Nervus stapedius* geht auch im *Canalis facialis* ab und innerviert den *Musculus stapedius*. Kurz bevor der *Nervus facialis* den *Canalis facialis* verlässt, zweigt die *Chorda tympani* (Paukensaite) ab. Die Fasern schließen sich dem *Nervus lingualis* (aus dem *Nervus mandibularis*) an und innervieren die vorderen zwei Drittel der Zunge sensorisch. Präganglionäre Fasern ziehen zum *Ganglion submandibulare*, wo sie umgeschaltet werden und die Speicheldrüsen (*Glandula submandibularis*, *Glandula sublingualis*, akzessorische Zungendrüsen) innervieren.

Die Funktion des *Nervus facialis* ist die motorische Innervation der mimischen Muskulatur, des *Venter posterior* des *Musculus digastricus*, des *Musculus stylohyoideus* sowie des *Musculus stapedius*. Parasymphatisch innerviert er die Tränendrüse sowie die *Glandulae submandibulares et sublingualis*. Sensorisch versorgt er die vorderen zwei Drittel der Zunge.

Faserqualität: speziell-viszeromotorisch, allgemein-viszeromotorisch und speziell-viszerosensibel.

Merke:

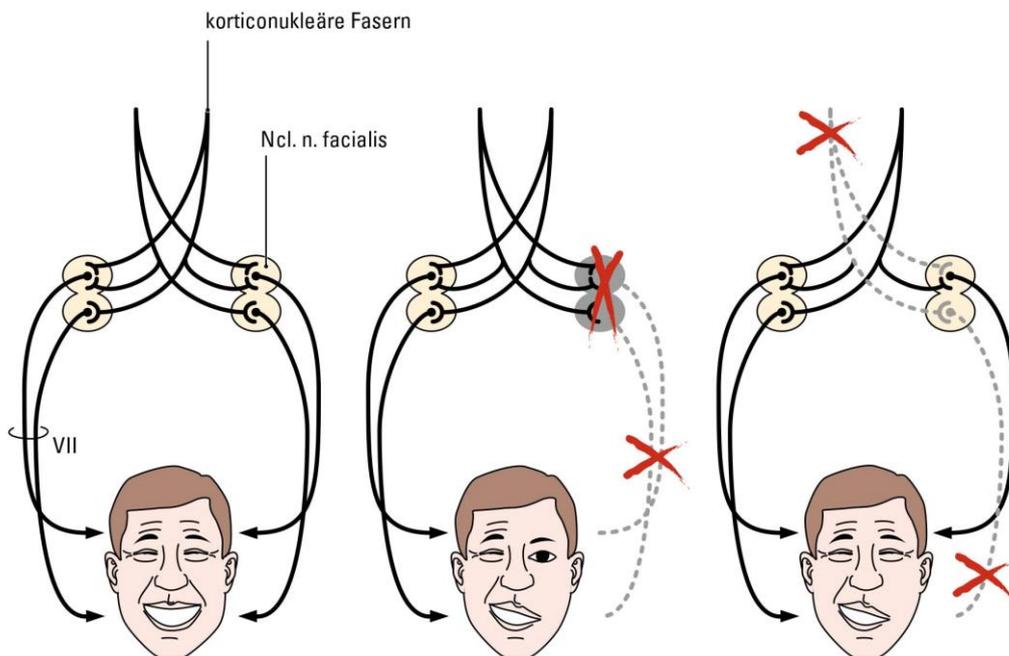
Der Nervus facialis innerviert den Musculus buccinator.

Übrigens ...

Man unterscheidet zwischen zentraler und peripherer Facialisparesse.

Bei der **peripheren Facialisparesse** kann die Stirn auf der betroffenen Seite nicht gerunzelt, das Auge nicht geschlossen und der Mund nicht bewegt werden.

Bei der **zentralen Facialisparesse** kann die Muskulatur unterhalb des Augenlids der betroffenen Seite nicht mehr bewegt werden. Stirnrunzeln und Lidschluss sind jedoch noch möglich, da die dafür zuständigen Kerngebiete auch durch die kontralaterale Seite innerviert werden. Bei Schädigung vor Abgang der Chorda tympani können auch Geschmackstörungen an den vorderen zwei Dritteln der Zunge auftreten. Die Tränenproduktion ist bei Schädigung vor dem Abgang des Nervus petrosus major vermindert. Zur Hyperakusis kommt es durch Lähmung des Musculus stapedius.

**3.9 Nervus vestibulocochlearis (Hirnnerv VIII)**

Der *Nervus vestibulocochlearis* ist ein rein sensorischer Hirnnerv. Er setzt sich aus zwei Anteilen zusammen. Beide führen Afferenzen aus dem Innenohr. Der *Nervus cochlearis* führt akustische Reize aus der Schnecke, der *Nervus vestibularis* führt statische Reize (Gleichgewichtsempfinden) aus *Sacculus*, *Utriculus* und den Bogengängen.

Die Perikaryen des *Nervus cochlearis* liegen im *Ganglion cochleare* (*Ganglion spirale cochleae*). Die zentralen Fortsätze bilden den *Nervus cochlearis*. Die Perikaryen des *Nervus vestibularis* liegen im *Ganglion vestibulare* im *Meatus acusticus internus*. Die zentralen Fortsätze bilden den *Nervus vestibularis*. Im inneren Gehörgang vereinigen sich diese beiden Nerven, um gemeinsam durch den *Porus acusticus internus* in die hintere Schädelgrube zu ziehen. Kaudolateral des *Nervus facialis* zieht der *Nervus vestibulocochlearis* dabei in den Hirnstamm, um sich dort in seine beiden Anteile zu spalten. Der *Nervus vestibulocochlearis* versorgt über den *Nervus cochlearis* einerseits das Innenohr sensorisch

(Hörnerv), andererseits vermittelt er dem Hirnstamm über den *Nervus vestibularis* die Impulse aus dem Vestibularorgan (Nerv für das Gleichgewichtsempfinden). Diese Impulse werden im Hirnstamm reflektorisch so verschaltet, dass uns mühelos der aufrechte Stand, Gang sowie die Anpassung von Augen- und Körperbewegungen gelingen.

Faserqualität: speziell-somatosensibel.

Merke:

Der Nervus vestibulocochlearis führt Fasern aus dem Innenohr. Die **vestibulären** Anteile dienen dem **Gleichgewichtsempfinden**, die **cochleären** Anteile dienen dem **Hören**.

Übrigens ...

Es muss immer die Schädigung des Nervus cochlearis von der des Nervus vestibularis unterschieden werden. Eine Schädigung des Nervus cochlearis führt zu Taubheit des betroffenen Ohres. Eine Schädigung des vestibulären Anteils führt dagegen zu Schwindel, Übelkeit, Fallneigung zur erkrankten Seite und einem pathologischen Nystagmus. Da der Nervus vestibulocochlearis im Kleinhirnbrückenwinkel aus dem Hirnstamm austritt, kann er dort relativ leicht durch einen Tumor komprimiert werden, häufig zusammen mit dem Nervus facialis. Da die Tumoren (häufig Akustikusneurinome) relativ langsam wachsen, fällt die Vestibularfunktion der betroffenen Seite nicht schlagartig aus, sondern kann durch die Informationen der Gegenseite kompensiert werden.

3.10 Nervus glossopharyngeus (Hirnnerv IX)

Der IX. Hirnnerv innerviert Zunge und Schlund. In seinem Verlauf tritt der *Nervus glossopharyngeus* zwischen VIII. und X. Hirnnerv unter der Brücke aus dem Hirnstamm aus, verlässt den Schädel – gemeinsam mit dem *Nervus vagus* sowie dem *Nervus accessorius* – durch das *Foramen jugulare* und bildet dort zwei Ganglien. Das *Ganglion superius* (oberes kleines Ganglion) ist rein sensibel, das *Ganglion inferius* (unteres größeres Ganglion) enthält sensible und parasympathische Fasern. Im hinteren Drittel der Zunge verzweigt sich der Nerv, gibt zuvor jedoch noch Äste zur Parotis, zum Mittelohr (*Nervus tympanicus*), zum Pharynx und zum *Sinus caroticus* sowie zum *Glomus caroticum* ab.

Motorisch innerviert der *Nervus glossopharyngeus* die Schlundmuskulatur sowie den *Musculus levator veli palatini*. Parasympathisch innerviert er die *Glandula parotis* und die Schleimdrüsen des Rachens. Mittelohr, *Tuba auditiva*, Rachenschleimhaut und das hintere Zungendrittel werden somatosensibel innerviert. Über die viszerosensible Innervation des *Sinus caroticus* und des *Glomus caroticum* spielt der *Nervus glossopharyngeus* eine wichtige Rolle bei der zentralen Atem- und Kreislaufregulation. Sensorisch werden schließlich noch die *Papillae vallatae* innerviert. Diese liegen im hinteren Drittel der Zunge und dienen der Wahrnehmung von Bitterstoffen.

Faserqualität: viszeromotorisch, parasympathisch, somatosensibel, viszerosensibel, sensorisch.

Merke:

Der Nervus glossopharyngeus hat über die Innervation des *Sinus caroticus* und des *Glomus caroticum* Einfluss auf die zentrale Atem- und Kreislaufregulation.

Übrigens ...

Da der Nervus glossopharyngeus und der Nervus vagus gemeinsam aus dem Schädel austreten, werden sie häufig gemeinsam geschädigt. Dies geschieht z.B. durch Tumore. Der Ausfall des Nervus glossopharyngeus hat dann einen Sensibilitätsverlust des oberen Pharynx und des hinteren Zungendrittels zur Folge („bitter“ wird nicht mehr wahrgenommen). Außerdem kann das Gaumensegel nicht mehr richtig angehoben werden. Dies hat zur Folge, dass die Uvula zur gesunden Seite abweicht.

3.11 Nervus vagus (Hirnnerv X)

Mit seinem großen viszeromotorischen Anteil ist der *Nervus vagus* der größte parasympathische Nerv im Körper. Er innerviert viszeromotorisch Teile der Schlund- und die Kehlkopfmuskulatur. Für deren Sensibilität sowie die des äußeren Gehörgangs hat er einen sensiblen Anteil. Schließlich besitzt der *Nervus vagus* noch einen sensorisch-gustatorischen Anteil für die Epiglottis und viszerosensible Anteile für die Brust- und Baueingeweide.

Der *Nervus vagus* verlässt gemeinsam mit dem *Nervus glossopharyngeus* und dem *Nervus accessorius* durch das *Foramen jugulare* die Schädelhöhle. Dort bildet er – wie der *Nervus glossopharyngeus* – ein kleines *Ganglion superius* und ein größeres *Ganglion inferius*. Ein *Ramus meningeus* versorgt die Meninge der hinteren Schädelgrube. Der *Nervus vagus* zieht mit der *Arteria carotis interna*, später *communis* und der *Vena jugularis interna* nach kaudal und gibt einen *Ramus pharyngeus* zur Innervation der Pharynxmuskulatur ab. Im weiteren Verlauf gibt der *Nervus vagus* einen *Nervus laryngeus recurrens* ab, der links unter dem Aortenbogen, rechts unter der *Arteria subclavia* umbiegt und zum Kehlkopf zurückzieht. Motorisch innerviert der *Nervus vagus* die Kehlkopfmuskulatur und ermöglicht damit das Atmen und Sprechen. Sensibel versorgt er ebenfalls den Kehlkopf sowie einen Teil der Ohrmuschel und den äußeren Gehörgang (führt zu Hustenreiz bei Manipulation). Viszerosensibel versorgt er einen Großteil der Eingeweide (Lungen, Aortenbogen, Herz). Parasympathisch innerviert der *Nervus vagus* alle Organe vom Halsbereich abwärts bis zur linken Kolonflexur.

Faserqualität: viszeromotorisch, parasympathisch (allgemein-viszeromotorisch), somatosensibel, viszerosensibel, sensorisch.

Merke:

Der Nervus vagus innerviert sensibel das Herz und motorisch die Kehlkopfmuskulatur.

Übrigens ...

Die Schädigung des *Nervus vagus* verursacht Schluckbeschwerden, Gaumensegellähmung mit Uvulaabweichung zur gesunden Seite und eine näselle Aussprache. Durch die einseitige Lähmung der Kehlkopfmuskulatur kommt es zur Heiserkeit als Leitsymptom der Vagusschädigung (*Nervus laryngeus recurrens*).

3.12 Nervus accessorius (Hirnnerv XI)

Der *Nervus accessorius* ist ein rein somatomotorischer, kranialisierter Hirnnerv. Das bedeutet, dass der größte Teil der Accessorius-Fasern im Bereich der *Medulla oblongata* zwischen Vorder- und Hinterhorn entspringt (*Radix spinalis*) und der Nerv kein Hirnnerv im eigentlichen Sinne ist. Er zieht gemeinsam mit dem *Nervus glossopharyngeus* und dem *Nervus vagus* durch das *Foramen jugulare* und läuft im lateralen Halsdreieck nach kaudal. Dabei schließt sich seine *Radix cranialis* dem *Nervus vagus* an. Seine Funktion ist die motorische Innervation des *Musculus sternocleidomastoideus* und des *Musculus trapezius*.

Faserqualität: rein somatomotorisch.

Merke:

Der Nervus accessorius ist **kein echter Hirnnerv**, sondern ein **kranialisierter Hirnnerv**.

Übrigens ...

Die Schädigung des *Nervus accessorius* kann z.B. bei Operationen im lateralen Halsdreieck erfolgen (Lymphknotenentfernung). Es kommt zur Schiefhaltung des Kopfes nach kontralateral mit Wendung des Gesichtes nach ipsilateral. Weiterhin findet sich bei den Patienten eine Schwäche beim Heben des Armes über die Horizontale sowie eine *Scapula alata*.

3.13 Nervus hypoglossus (Hirnnerv XII)

Der *Nervus hypoglossus* ist der einzige Hirnnerv, der vor der Olive aus der *Medulla oblongata* entspringt. Er zieht zwischen *Arteria carotis interna* und *Vena jugularis interna* zum Zungengrund, wo er lateral des *Musculus hypoglossus* eintritt. Er ist der einzige Nerv, der die Zunge motorisch versorgt.

Faserqualität: rein somatomotorisch.

Übrigens ...

Nach einer Schädigung des Nervus hypoglossus weicht die Zunge beim Herausstrecken zur erkrankten Seite ab. Die Sprache ist dann meist verwaschen und das Schlucken erschwert.

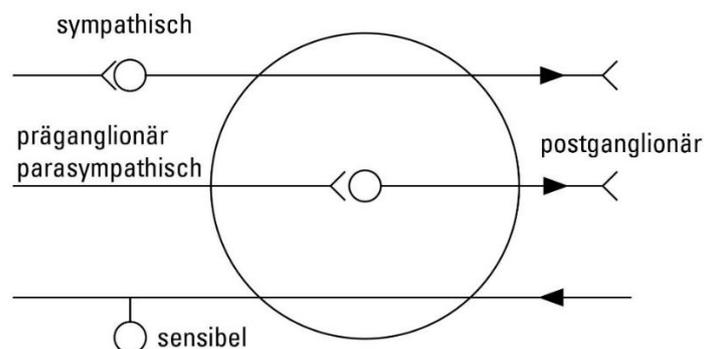
3.14 Parasympathische Kopfganglien

Es gibt vier parasympathische Kopfganglien:

- *Ganglion ciliare*
- *Ganglion pterygopalatinum*
- *Ganglion submandibulare*
- *Ganglion oticum*

Die parasympathischen Ganglien liegen immer nah am Erfolgsorgan und verschalten die parasympathischen Fasern. Im Gegensatz dazu liegen die sympathischen Ganglien immer vom Erfolgsorgan entfernt.

Der grundsätzliche Bauplan der vegetativen Kopfganglien sieht folgendermaßen aus:



Jedes der vier Kopfganglien besitzt drei Nervenwurzeln unterschiedlicher Qualität. Die **parasympathischen präganglionären Fasern** werden im Ganglion auf das zweite Neuron umgeschaltet und ziehen als **postganglionäre Fasern** zum Erfolgsorgan. Die **sympathischen** und **sensiblen Anteile** ziehen durch das Ganglion hindurch, werden dort jedoch nicht umgeschaltet.

Merke:

Zu jedem parasympathischen Kopfganglion gehören **sympathische, parasympathische und sensible Fasern**. Es werden jedoch nur die **parasympathischen Fasern im Ganglion verschaltet**.

3.14.1 Ganglion ciliare

Das *Ganglion ciliare* liegt in der Orbita, lateral des *Nervus opticus*.

Seine **parasymphatischen Fasern** stammen aus dem *Nucleus Edinger-Westphal* (*Nucleus oculomotorius accessorius*) und gelangen mit dem *Nervus oculomotorius* zum *Ganglion ciliare*. Dort werden sie verschaltet und ziehen danach zu den glatten inneren Augenmuskeln (*Musculus sphincter pupillae* und *Musculus ciliaris*).

Die **sympathischen Fasern** ziehen aus dem *Ganglion cervicale superius* ohne Umschaltung durch das *Ganglion ciliare* und innervieren den *Musculus dilatator pupillae*.

Die **sensiblen Fasern** aus dem *Nervus nasociliaris* des *Nervus trigeminus* ziehen ebenfalls unverschaltet durch das *Ganglion ciliare* und innervieren die Hornhaut des Auges.

Übrigens ...

Wird das *Ganglion ciliare* geschädigt, erlischt der Kornealreflex und die Pupille kann nicht mehr auf Lichtreize reagieren.

3.14.2 Ganglion pterygopalatinum

Das *Ganglion pterygopalatinum* liegt in der *Fossa pterygopalatina*. Dort werden die sekretorischen Fasern zur Tränendrüse auf das zweite Neuron umgeschaltet.

Die **parasymphatischen Fasern** erhält es über den *Nervus petrosus major* aus dem Intermediusanteil des *Nervus facialis*. Die postganglionären Fasern ziehen mit dem *Nervus zygomaticus* aus dem *Nervus maxillaris* zur Orbita und von dort zur Tränendrüse, die sie sekretorisch innervieren.

Die **sympathischen Fasern** kommen aus dem *Plexus caroticus*.

Die **sensiblen Fasern** stammen aus den *Rami ganglionares* des *Nervus maxillaris*. Sie innervieren den Gaumen sowie die Nasennebenhöhlen sensibel.

3.14.3 Ganglion submandibulare

Das *Ganglion submandibulare* liegt oberhalb der *Glandula submandibularis*. Es innerviert die *Glandulae submandibularis* und *sublingualis* sowie einige akzessorische Zungendrüsen. Die **parasymphatischen Anteile** stammen aus der *Chorda tympani* des *Nervus facialis* und versorgen außer der *Glandula parotis* alle Speicheldrüsen. Die **sympathischen Anteile** stammen aus dem *Plexus caroticus* und die **sensiblen Fasern** entstammen dem *Nervus lingualis*.

3.14.4 Ganglion oticum

Das *Ganglion oticum* liegt in der *Fossa infratemporalis*, medial des Austritts des *Nervus mandibularis*. Dort werden die parasympathischen Fasern für die *Glandula parotis* verschaltet.

Die **parasympathischen Fasern** verlaufen über den *Nervus petrosus minor* aus dem *Nervus glossopharyngeus* zum Ganglion, werden dort verschaltet und ziehen dann mit dem *Nervus auriculotemporalis* aus V3 zur *Glandula parotis*.

Die **sympathischen Fasern** entstammen dem *Plexus caroticus* und gelangen über die *Arteria meningea media* zum Ganglion.

Die **sensiblen Fasern** werden hier von motorischen Fasern begleitet und entstammen dem *Nervus mandibularis*. Die **motorischen Fasern** innervieren den *Musculus tensor veli palatini* sowie den *Musculus tensor tympani*.

4. Rückenmark

Das Rückenmark enthält Nervenzellen und Nervenfasern. Es ist afferent und efferent mit dem Gehirn verbunden. Im Rückenmark liegen auch die Motoneurone, die die Muskeln motorisch innervieren und damit Bewegungen ermöglichen.

4.1 Makroskopie

Die *Medulla spinalis* (Rückenmark) ist ca. 45 cm lang, liegt im Wirbelkanal und ist von Hirnhäuten und Liquor umgeben. Sie reicht beim Erwachsenen bis zum ersten Lendenwirbelkörper und endet im *Conus medullaris*.

Merke:

Beim Säugling reicht das Rückenmark noch bis zum dritten Lendenwirbelkörper (LWK), beim Erwachsenen nur bis zum ersten LWK. Dies resultiert aus dem – im Vergleich zum Rückenmark – schnelleren Wachstum der Wirbelsäule.

Das Rückenmark ist am Schädel im Bereich des *Foramen magnum* und am *Os sacrum* über das ***Filum terminale*** fixiert und macht alle Bewegungen mit.

Schaut man sich das Rückenmark in seiner gesamten Länge an, findet man zwei Verdickungen:

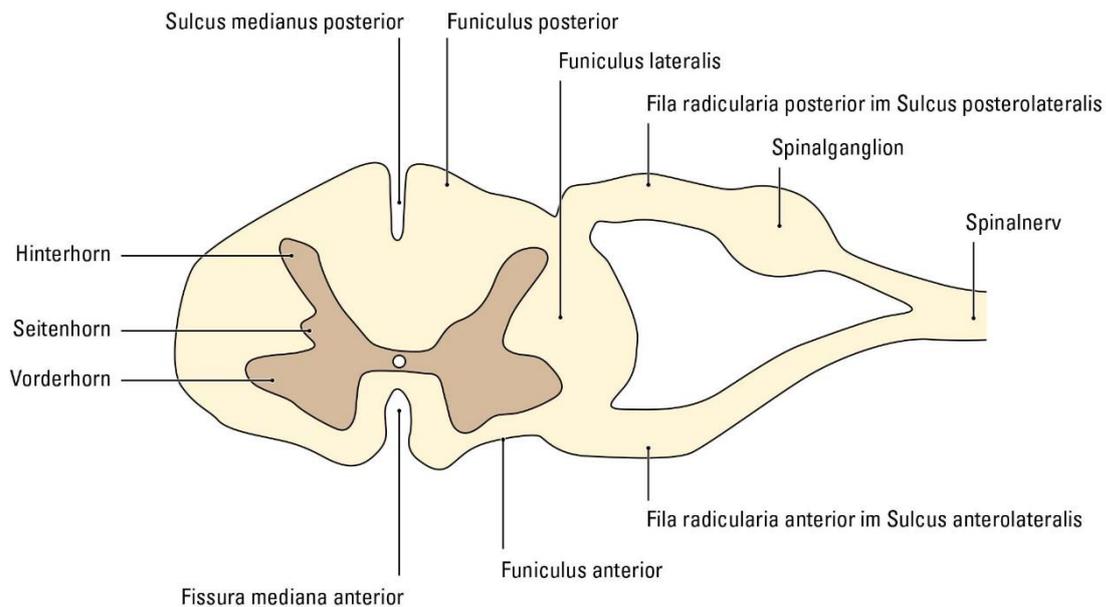
- ***Intumescencia*** (Anschwellung) ***cervicalis***
- ***Intumescencia lumbosacralis***

Diese Verdickungen liegen im Bereich der Segmente, die den *Plexus cervicalis/brachialis* und *lumbosacralis* bilden. Die Anschwellung kommt durch die große Anzahl motorischer Neurone zustande.

Im folgenden Querschnitt sind schematisch alle wesentlichen makroskopischen Details dargestellt.

Merke:

Die *Fissura mediana anterior* liegt vorn.



Das Rückenmark kann in Segmente (Abschnitte) eingeteilt werden. Dabei gibt es ebenso viele Rückenmarksegmente wie Wirbelkörper – mit einer Ausnahme: Der Mensch hat sieben Halswirbelkörper, aber acht zervikale Spinalnervenpaare. Dies hat entwicklungsgeschichtliche Ursachen, denn die *Okziputkondylen* waren ursprünglich ein eigener Wirbel und sind sekundär mit dem *Os occipetale* verwachsen. Deshalb ziehen die Spinalnerven im Zervikalmark (C1-C8) **oberhalb des Wirbelkörpers** entlang. Im Thorakalmark ziehen die 12 Spinalnervenpaare dagegen **unterhalb des Wirbelkörpers** entlang, ebenso wie im Lumbalmark (L1-L5), Sakralmark (S1-S5) und Coccygealmark.

Merke:

Im Zervikalmark gibt es acht Spinalnervenpaare. Diese ziehen oberhalb des entsprechenden Wirbelkörpers entlang. Im Thorakal-, Lumbal- und Sakralmark gibt es genauso viele Spinalnervenpaare wie Wirbel. Die Spinalnerven ziehen unterhalb des entsprechenden Wirbelkörpers entlang.

Wie bereits beschrieben reicht das Rückenmark beim Erwachsenen bis zum ersten Lendenwirbelkörper. Das heißt, dass zum Beispiel das Rückenmarksegment L1 noch im Bereich der Brustwirbelsäure liegt. Dementsprechend verlaufen die Nervenwurzeln nach ihrem Austritt aus dem Rückenmark noch ein Stück im Wirbelkanal nach unten, bevor sie in ihrem zugehörigen *Foramen intervertebrale* austreten. Ab LWK 1 laufen im Wirbelkanal nur noch Nervenfasern zu ihren Intervertebrallöchern. Diese Fasern werden als ***Cauda equina*** (Pferdeschwanz) bezeichnet.

Übrigens ...

Sehr häufig hört man von Bandscheibenvorfällen und damit verbundenen Schmerzen/Ausfallerscheinungen. Die Bandscheiben (Zwischenwirbelscheiben) liegen zwischen den Wirbelkörpern und sind nach ventral und dorsal durch ein straffes Längsband gegen Herausrutschen weitgehend gesichert. Bei chronischer Fehlbelastung der Wirbelsäule mit Bandscheibendegeneration kann der Anulus fibrosus der Bandscheibe reißen und der Nucleus pulposus wird meist nach lateral herausgequetscht. Dies wird als Bandscheibenvorfall / Diskusprolaps bezeichnet.

Makroskopisch tritt die Nervenwurzel (z.B. L4) im oberen Drittel von LWK 4 aus dem Durasack aus und zieht dann schräg nach kaudal ventral, um im Foramen intervertebrale auszutreten. Die Nervenwurzel

L5 liegt dorsolateral der Bandscheibe L4/5. Dies hat bei einem Diskusprolaps von L4/5 eine Kompression der Nervenwurzel L5 zur Folge.

Klinisch äußert sich dies in segmentartigen Sensibilitätsstörungen von der proximalen Unterschenkelaußenseite schräg über die Schienbeinvorderkante bis zum Großzehnrücken. Außerdem kommt es zur Schwächung der Dorsalextension der Großzehe.

4.2 Rückenmarkshäute

Das Rückenmark ist – ebenso wie das Gehirn – von einer harten und einer weichen Hirnhaut umgeben.

Die weiche Hirnhaut besteht aus zwei Anteilen:

- die **Pia mater** (weiche Hirnhaut) liegt dem Rückenmark direkt an und zieht auch in die Furchen hinein
- die **Arachnoidea mater** (Spinnwebhaut) liegt der harten Hirnhaut von innen an und hüllt das Rückenmark samt *Pia mater* ein, ohne bis in die Furchen zu ziehen

Die **Dura mater** (harte Hirnhaut) besteht aus straffem Bindegewebe und hüllt die beiden anderen Häute von außen ein.

4.3 Räume im und um das Rückenmark

Der Raum zwischen dem Periost der Wirbelkörper und der *Dura mater* heißt **Epiduralraum** oder **Periduralraum**. Er ist mit Fettgewebe und einem darin eingebetteten Venenplexus ausgefüllt. Die Spinalnerven durchziehen diesen Raum auf dem Weg zum *Foramen intervertebrale*. *Dura mater* und *Arachnoidea mater* sind miteinander verwachsen. Zwischen *Arachnoidea* und *Pia mater* befindet sich der **Subarachnoidalraum**. Dies ist der äußere Liquorraum des Rückenmarks, der folglich mit Liquor gefüllt ist. Er reicht bis SWK 2.

Merke:

Im Gegensatz zum Gehirn existiert im Rückenmark ein **Epi- oder Periduralraum**.

Übrigens ...

*Bei einer **Lumbalpunktion** gewinnt man Liquor, indem man zwischen LWK 3 und LWK 4 den Subarachnoidalraum punktiert.*

*Eine **Peridural-(Epidural-)anästhesie** wird zur **selektiven Blockade** einzelner Spinalnerven eingesetzt. Dabei sticht man zwischen zwei Wirbelbögen ein und spritzt sich den Periduralraum mit einer NaCl-Lösung weit, da dieser mit 1-2 mm ziemlich eng ist. Hat man den Periduralraum punktiert, „fällt“ man mit der Kanüle regelrecht in das dort vorhandene Fettgewebe hinein („loss of resistance“) und kann das Lokalanästhetikum applizieren. Da dieses im Fettgewebe schlecht diffundiert, bleibt die anästhetische Wirkung auf wenige Segmente beschränkt.*

*Im Gegensatz dazu betäubt man bei der **Spinalanästhesie** alle Wurzeln kaudal der Injektionsstelle gleichzeitig. Das Vorgehen ähnelt dem bei der Lumbalpunktion, nur injiziert man nach erfolgreicher Punktion ein Lokalanästhetikum, das sich im Liquor verteilt und die Betäubung der Nervenfasern zur Folge hat.*

4.4 Graue und weiße Substanz

Im ZNS kann man graue und weiße Substanz schon makroskopisch unterscheiden:

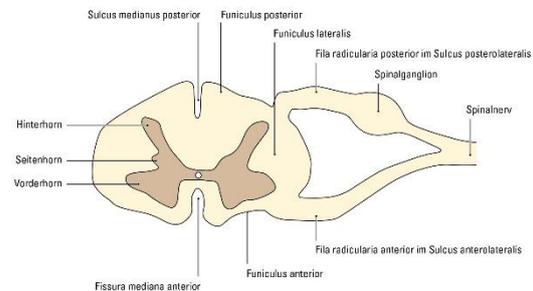
- graue Substanz = Perikaryen
- weiße Substanz = Fortsätze und Gliagewebe



Merke:

Im Gehirn liegt die graue Substanz außen (Rinde) und die weiße Substanz innen. Im Rückenmark liegt die graue Substanz innen und die weiße Substanz außen.

Die graue Substanz im Rückenmark weist eine typische Schmetterlingskonfiguration auf. Dabei zeigt der breitere Teil als **Cornu anterius** nach vorn: er wird als Vorderhorn bezeichnet und enthält motorische Neurone. Im schmaleren **Cornu posterius** (Hinterhorn) werden sensible Neurone aus dem Spinalganglion umgeschaltet.



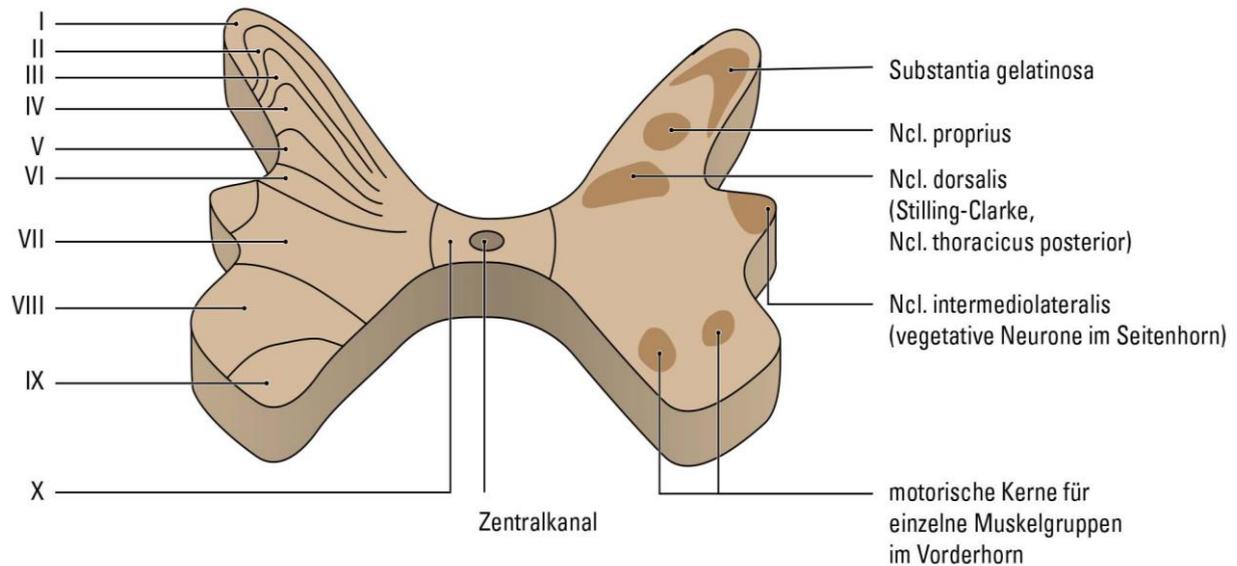
Merke:

ventral = motorisch
dorsal = sensorisch

Die Vorderwurzeln und die Hinterwurzeln vereinigen sich zum Spinalnerv. Zwischen Vorder- und Hinterhorn befindet sich das **Cornu laterale** (Seitenhorn), das nur im Thorakal- und Lumbalmark vorkommt und die Neurone des vegetativen Nervensystems enthält.

Bisher haben wir nur vom Querschnitt, also zwei Dimensionen gesprochen. Da das Rückenmark aber ein dreidimensionales Gebilde ist, setzen sich die Vorder- und Hinterhörner über die gesamte Länge des Rückenmarks fort. Man spricht daher von **Säulen** (Vorder- und Hintersäulen). Die **Commissura grisea** verbindet die beiden Schmetterlingshälften der grauen Substanz miteinander. Darin befindet sich der **Canalis centralis**. Er steht mit dem inneren Liquorraum des Gehirns in Verbindung, ist jedoch häufig obliteriert.

Histologisch wird die graue Substanz in **Laminae** (unterschiedliche Zellschichten) eingeteilt. Diese werden von dorsal nach ventral von I-X nummeriert. Parallel dazu können auch Nervenkerne in der grauen Substanz abgegrenzt werden. Diese können vor allem im Bereich des Hinterhorns den Laminae zugeordnet werden.



Die **weiße Substanz** liegt um die graue Substanz herum und enthält nur **Fortsätze**. Sie wird gegliedert in die **Funiculi** (Stränge): Vorder-, Seiten- und Hinterstrang.

Merke:

Hörner und Säuen = graue Substanz
Strang = weiße Substanz

Vorderhorn/Vordersäule: graue Substanz, motorisch

Seitenhorn: graue Substanz, vegetatives Nervensystem

Vorderstrang/Seitenstrang: weiße Substanz mit sensiblen und motorischen Bahnen

Da zum Teil auch Bahnen auf Rückenmarksebene kreuzen, müssen Verbindungen zwischen der weißen Substanz der rechten und linken Rückenmarkshälfte vorhanden sein. Diese existieren auch und zwar in Form der **Commissurae alba anterior et posterior**, die vor oder hinter der **Commissura grisea** liegen.

4.4.1 Hinterhorn

Im Hinterhorn endet ein Teil der sensiblen Fasern. Dort wird die sensible Information vom ersten Neuron (Perikaryon im Spinalganglion) auf das zweite Neuron umgeschaltet.

Merke:

Die sensible Information läuft über **mindestens drei Neurone** zum Großhirn: Das Perikaryon des ersten Neurons liegt im Spinalganglion, das zweite Perikaryon liegt im Rückenmark und das dritte Perikaryon liegt im Thalamus.

Nucleus dorsalis (Stilling-Clarke)

Dieses Kerngebiet wird auch als *Nucleus thoracicus posterior* bezeichnet. Es nimmt die Lamina V-VI ein und existiert nur im Thorakalmark. Der *Nucleus dorsalis* empfängt propriozeptive Impulse aus der Peripherie (Tiefensensibilität). Diese geben Aufschluss über Lage und Stellung des Körpers sowie der Extremitäten und werden im *Tractus spinocerebellaris posterior* zum Kleinhirn geleitet.

Nucleus proprius

Dieser Kern liegt im gesamten Rückenmark in der Mitte des Hinterhorns. Wie der *Nucleus dorsalis* leitet er propriozeptive Afferenzen.

Propriozeption = Tiefensensibilität

Darunter versteht man sensible Impulse aus den Muskelspindeln, Gelenk- und Sehnenrezeptoren, die Informationen über die Lage und Stellung des Körpers weiterleiten.

Substantia gelatinosa

Dieser Kernkomplex entspricht den Lamina II und III und liegt damit ganz dorsal im Hinterhorn. Er erhält propriozeptive und exterozeptive **Schmerzafferenzen**. Diese werden hier auf das zweite Neuron umgeschaltet und gelangen über den *Tractus spinothalamicus* zum Thalamus.

4.4.2 Seitenhorn

Das Seitenhorn wird auch *Nucleus intermediolateralis* oder *Columna intermediolateralis* genannt. Es existiert im Thorakal-, Lumbal- und Sakralmark, jedoch nicht im Zervikalmark. Makroskopisch gut sichtbar ist es jedoch nur im Thorakalmark. Von Segment C8 bis L2/L3 befinden sich im Seitenhorn die ersten Neurone der **sympathischen efferenten Bahn**. Die Umschaltung auf das zweite Neuron erfolgt in den Grenzstrangganglien. Im Sakralmark liegen die ersten Neurone der **parasympathischen efferenten Bahn**. Die Umschaltung auf das zweite Neuron erfolgt nah am Erfolgsorgan.

Merke:

Der Sympathikus hat seine Neurone **thorakolumbal**, der Parasympathikus **kraniosakral**.

4.4.3 Vorderhorn

Die im Vorderhorn liegenden Neurone versorgen motorisch (efferent) die Skelettmuskulatur. Sie liegen im Bereich der Lamina VIII-IX. An Zellen finden sich dort α -, β - und γ -Motoneurone. γ -Motoneurone

innervieren die Muskelfasern in den Muskelspindeln, die für die Feinabstimmung der Bewegung miteinander verantwortlich sind. Als Neurotransmitter der Motoneurone fungiert Acetylcholin.

Übrigens ...

Bei der Kinderlähmung (Poliomyelitis) kommt es zu einer schlaffen Lähmung der vom betroffenen Rückenmarksegment versorgten Muskeln bei erhaltener Sensibilität.

4.5 Reflexe

Ein Reflex ist eine unwillkürliche, immer gleich verlaufende Antwort eines Organs auf einen Reiz. Neben den **Muskeleigenreflexen** und dem **Fremdreflex** gibt es noch andere Arten, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll.

Merke:

Bei einem Eigenreflex erfolgen Reiz und Antwort in einem Organ. Bei einem Fremdreflex erfolgen Reiz und Antwort in unterschiedlichen Organen. Sie sind stets polysynaptisch.

4.5.1 Muskeleigenreflex

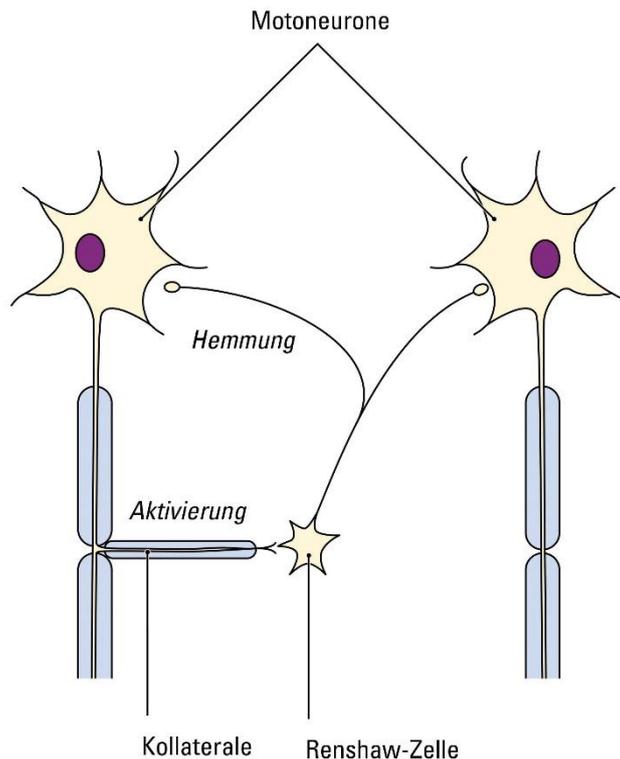
Beim Patellarsehnenreflex zum Beispiel dehnt man durch Schlag auf die Patellarsehne den *Musculus quadriceps femoris* und erregt damit die darin befindlichen Muskelspindeln. Die Afferenzen der Muskelspindeln ziehen durch das Hinterhorn hindurch, um direkt am α -Motoneuron des gedehnten Muskels zu enden. Das α -Motoneuron wird erregt und der gedehnte Muskel kontrahiert sich. In unserem Beispiel kommt es zur Streckung im Kniegelenk. Bei diesem Reflex ist nur eine Synapse zwischengeschaltet. Man spricht deshalb von einem **monosynaptischen Reflex**. Der Patellarsehnenreflex kann nur bei intakten *Radices posteriores* des *Nervus femoralis* ausgelöst werden.

| Reflex / innerviertes Organ | Segment |
|--|--------------------------|
| Achillessehnenreflex | S1 – S2 |
| Bizepssehnenreflex | C5 – C6 |
| Patellarsehnenreflex | L3 – L4 |
| Motoneurone zur Innervation der Musculi interossei | C8 – Th1 |
| Plexus brachialis | C5 – Th1 (ventrale Äste) |

Auswahl an Segmentzuordnungen einzelner Muskeln und Reflexe.

4.5.2 Renshaw-Hemmung

In dem genannten Beispiel wurden als Reflexantwort die Strecker innerviert. Zur Beendigung des Reflexes tragen die **Renshaw-Zellen** bei. Dies sind Interneurone, die hemmend auf dasjenige Alpha-Neuron projizieren, das die Renshaw-Zellen über eine Kollaterale aktiviert hat.



4.5.3 Fremdreflex

Als Beispiel soll hier das Treten in eine Glasscherbe dienen. Dabei registriert die Haut den Schmerzreiz und das Bein wird reflektorisch im Kniegelenk gebeugt (der Fuß wird zurückgezogen). Das andere Knie wird gestreckt, um das Gleichgewicht zu halten. Die Afferenz aus der Haut des Fußes zieht in das Hinterhorn und wird dort auf zwei Zwischenneurone umgeschaltet. Das erste erregt das **ipsilaterale** Motoneuron, das die Kniebeuger innerviert. Das zweite Interneuron erregt das **kontralateral** gelegene Motoneuron zur Innervation der Kniestrecker im anderen Bein.

4.6 Bahnen

Die auf- und absteigenden Bahnen des Rückenmarks verlaufen in der weißen Substanz im Vorder-, Seiten- und Hinterstrang.

Merke:

Die meisten absteigenden Bahnen enden im Vorderhorn und werden deshalb auch als motorische Bahnen bezeichnet. Die meisten aufsteigenden Bahnen nehmen ihren Ursprung im Hinterhorn und werden als sensible Bahnen bezeichnet.

Die linke Körperhälfte ist sowohl sensibel als auch motorisch überwiegend in der rechten Großhirnhemisphäre repräsentiert und umgekehrt. Das bedeutet, dass fast alle Bahnen irgendwann zur Gegenseite kreuzen.

4.6.1 Sensible (aufsteigende) Bahnen

Merke:

Die Bahnen werden in aller Regel nach Ursprungs- und Zielort benannt. Daher zieht zum Beispiel der Tractus spinothalamicus vom Rückenmark zum Thalamus.

Tractus spinothalamicus

Diese Bahn wird auch als Vorderseitenstrang bezeichnet und setzt sich aus zwei Teilen, dem *Tractus spinothalamicus lateralis et anterior* zusammen. Im Vorderseitenstrang werden grobe Druck-, Tast-, Temperatur- und Schmerzempfindungen geleitet. Diese fasst man als **protopathische Sensibilität** zusammen. Die Schmerzafferenzen werden in der *Substantia gelatinosa* auf das zweite Neuron umgeschaltet, nachdem sie direkt nach ihrem Eintritt ins Rückenmark ein bis zwei Segmente aufgestiegen sind. Zusammen mit den anderen Faserqualitäten **kreuzen** sie in der **Commissura alba** auf die Gegenseite und ziehen zum Thalamus. Von dort projizieren sie in die Großhirnrinde.

Übrigens ...

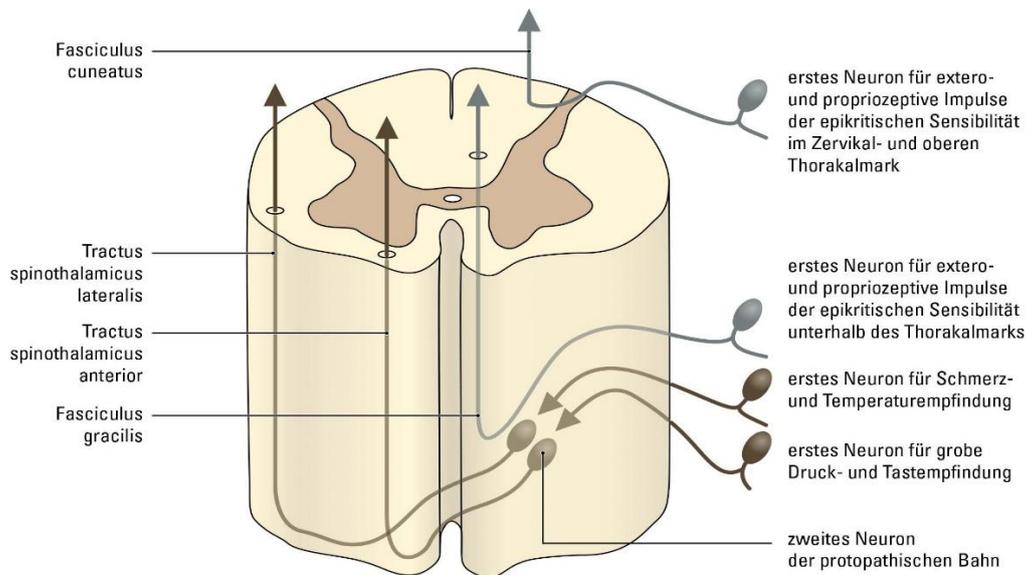
Unter dissoziierter Empfindungsstörung versteht man einen isolierten Ausfall der protopathischen Sensibilität.

Hinterstrangbahnen

Der Hinterstrang wird durch zwei Bahnen gebildet. Der **Fasciculus gracilis** führt die Impulse der unteren Extremität und liegt im Rückenmark ganz medial. Der **Fasciculus cuneatus** existiert erst ab dem Thorakalmark und führt dementsprechend die Impulse der oberen Extremität. Er liegt lateral des *Fasciculus gracilis*. Daraus ergibt sich eine somatotope Gliederung.

Die Hinterstrangbahnen werden auf Rückenmarksebene **nicht verschaltet**, sondern ziehen **ungekreuzt** zur *Medulla oblongata*. Dort werden sie im *Nucleus gracilis et cuneatus* auf das zweite Neuron umgeschaltet. Danach kreuzen sie und ziehen als *Lemniscus medialis* zu den lateralen Thalamuskernen der Gegenseite.

Die Hinterstrangbahnen leiten **propriozeptive** (Informationen aus den Muskel-, Sehnen- und Gelenkrezeptoren über Lage und Stellung der Extremitäten) und **exterozeptive** (Informationen über Lokalisation und Qualität einer Berührung) Impulse der **epikritischen Sensibilität**.



Merke:

Da die Hinterstränge ungekreuzt verlaufen, kommt es bei einer Schädigung zu Ausfällen auf der ipsilateralen Seite.

Kleinhirnseitenstrangbahnen

Die Kleinhirnseitenstrangbahnen bestehen ebenfalls aus zwei Bahnen:

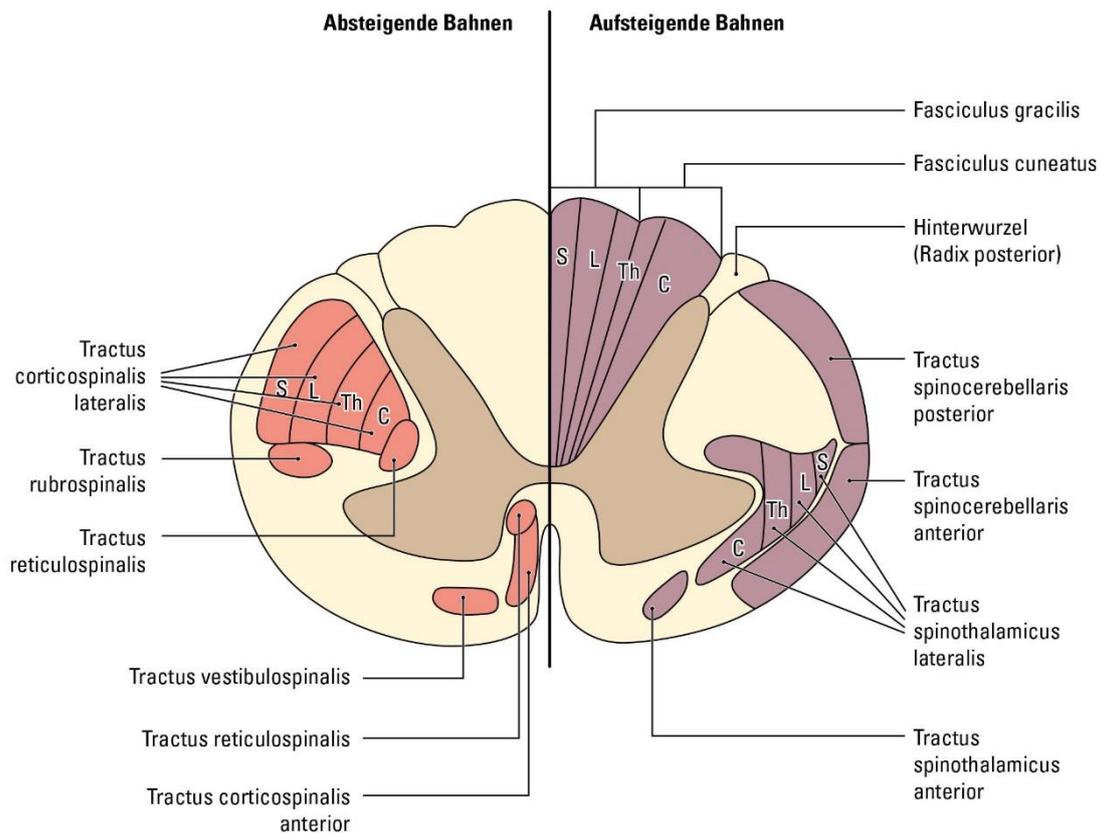
- ***Tractus spinocerebellaris posterior***
- ***Tractus spinocerebellaris anterior***

Der *Tractus spinocerebellaris posterior* entspringt im *Nucleus dorsalis (Stilling-Clarke)* und leitet propriozeptive Informationen im **gleichseitigen** Seitenstrang zum Kleinhirn. Der *Tractus spinocerebellaris anterior* entspringt an der Basis des Hinterhorns (Lamina V-VIII) und leitet ebenfalls propriozeptive Informationen zum Kleinhirn. Allerdings verläuft der *Tractus spinocerebellaris anterior* **gleichseitig und gekreuzt** im venterolateralen Seitenstrang. Die auf Rückenmarksebene gekreuzten Anteile kreuzen beim Eintritt ins Kleinhirn wieder nach ipsilateral zurück.

Das Kleinhirn erhält über den *Tractus spinocerebellaris posterior et anterior* nur Afferenzen aus dem ipsilateralen Rückenmark. Mithilfe dieser Informationen reguliert das Kleinhirn die Feinmotorik.

4.6.2 Motorische (absteigende) Bahnen

Im Prinzip gibt es zwei wichtige motorische Bahnsysteme. Zum einen die **Pyramidenbahn**, die den Hauptteil der absteigenden Bahnen ausmacht, und zum anderen die **extrapyramidalen Bahnen**.



Pyramidenbahn

Die Pyramidenbahn nimmt ihren Ursprung im Motocortex, zieht durch den Hirnstamm und bildet in der *Medulla oblongata* die medial gelegene **Pyramide**.

Direkt darunter **kreuzen ca. 90%** der Fasern zur Gegenseite (Pyramidenbahnkreuzung oder *Decussatio pyramidorum*), um anschließend als *Tractus corticospinalis lateralis* im Seitenstrang nach unten zu ziehen und die α -Motoneurone zu innervieren. Die 10% der ungekreuzten Fasern laufen medial der *Fissura longitudinalis anterior* als *Tractus corticospinalis anterior* nach unten, um schließlich in Segmenthöhe auch zu kreuzen.

Merke:

Alle Fasern der Pyramidenbahn kreuzen zur Gegenseite.

Übrigens ...

Eine Schädigung der Pyramidenbahn hat eine spastische Parese mit Beeinträchtigung vor allem der Feinmotorik zur Folge. Bei der Schädigung fällt dementsprechend auch die Kontrollfunktion aus, sodass primitive Reflexe wieder ausgelöst werden können. Ein klinisch wichtiges Beispiel hierfür ist der **Babinski-Reflex** (Bestreichen des lateralen Fußrandes führt zur Dorsalextension der Großzehe).

Extrapyramidale Bahnen

Hierunter versteht man alle motorischen Bahnen, die ins Rückenmark projizieren und nicht in der Pyramidenbahn verlaufen.

| Ursprung | Name der Bahn | Kreuzung |
|----------------------|---------------------------|-----------------|
| Nucleus ruber | Tractus rubrospinalis | ja |
| Nuclei vestibulares | Tractus vestibulospinalis | nein |
| Formatio reticularis | Tractus reticulospinalis | läuft bilateral |

Extrapyramidale Bahnen.

Die extrapyramidalen Bahnen (außer der *Tractus rubrospinalis*) innervieren in erster Linie die Motoneurone der Rumpf- und proximalen Extremitätenmuskulatur. Deshalb sind sie vorrangig für die **Massenbewegungen** von Rumpf und Extremitäten verantwortlich. Besonders der *Tractus vestibulospinalis* sowie der *Tractus reticulospinalis* spielen eine wichtige Rolle für den **Tonus** der Muskulatur.

| Bahn | Qualität | Verschaltung / Kreuzung |
|---|--|---|
| sensibler Vorderseitenstrang (Tractus spinothalamicus) | Schmerz, Temperatur, grobe Druck- und Tastempfindung (protopathische Sensibilität) | segmentale Verschaltung mit nachfolgender Kreuzung über die Commissura alba |
| Hinterstrangbahnen (Fasciculus gracilis et cuneatus) | fein differenzierte Tastwahrnehmung und Propriozeption (epikritische Sensibilität) | Verschaltung und Kreuzung erst im Hirnstamm |
| Kleinhirnseitenstrangbahnen | propriozeptive Impulse zum Kleinhirn | teilweise gekreuzt, teilweise ungekreuzt zum Kleinhirn |
| Pyramidenbahn (Tractus corticospinalis) | feinmotorische Innervation der distalen Extremitätenmuskulatur | 90% kreuzen im Bereich der Medulla oblongata, 10% kreuzen später |
| extrapyramidale Bahnen (Ursprung in den Hirnnervenkernen) | grobmotorische Innervation der proximalen Extremitätenmuskulatur | |

Wichtigste Bahnen, ihre Faserqualitäten sowie Verschaltung und Kreuzung.

4.7 Gefäßversorgung

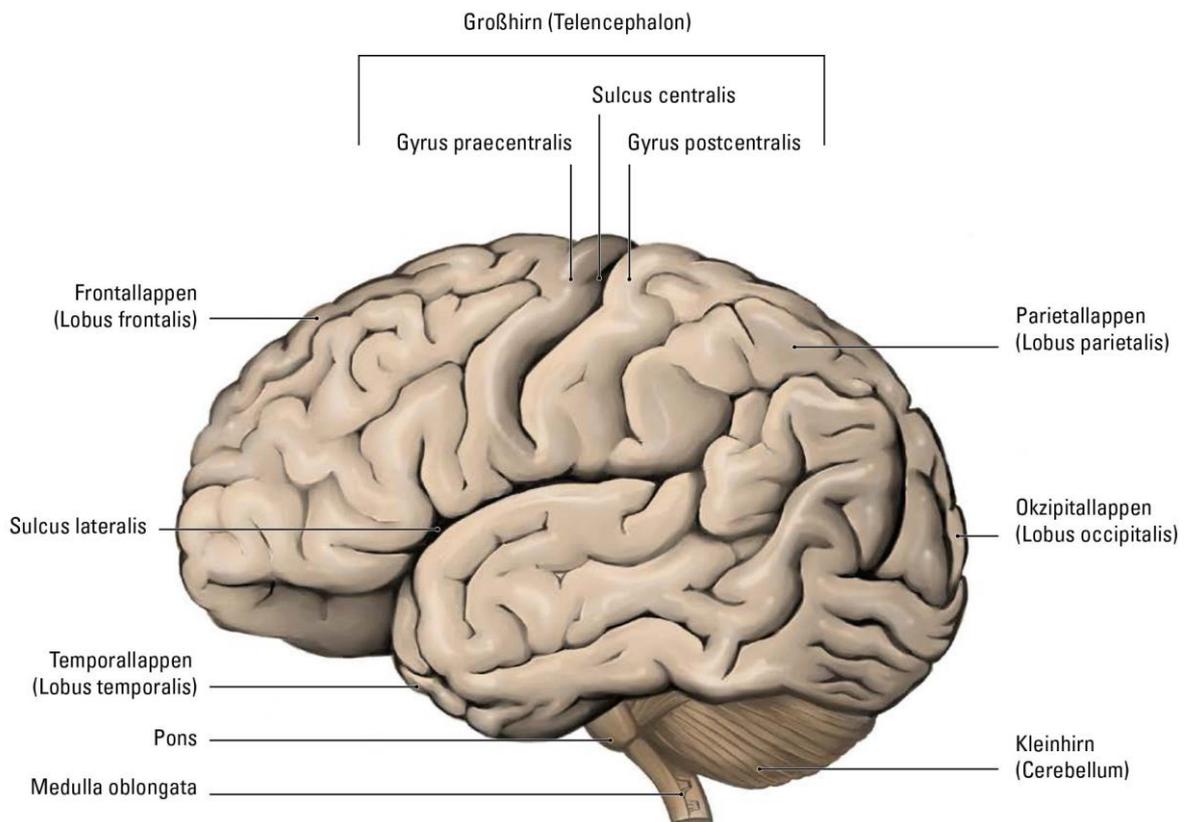
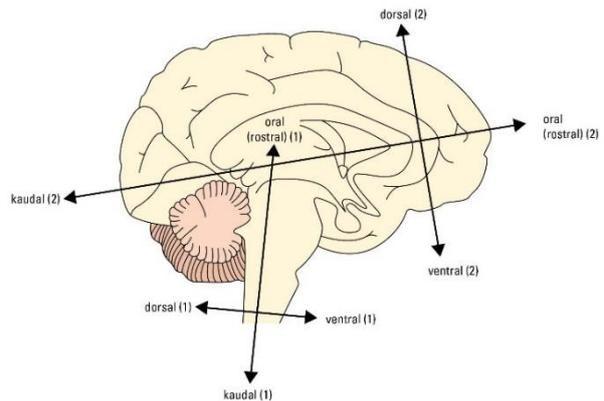
Das Rückenmark wird durch drei längs verlaufende Arterien mit Blut versorgt. Die *Arteria spinalis anterior* läuft in der *Fissura longitudinalis anterior*. Sie entspringt aus den beiden *Arteriae vertebrales*. Dorsal verlaufen zwei *Arteriae spinales posteriores*, die aus den *Arteriae posteriores inferiores cerebelli* entspringen. Besonders im Bereich der Intumeszenzen (Verdickungen) sichern Zuflüsse, die von den Interkostal- bzw. Lumbalararterien stammen, die Blutversorgung.

5. Makroskopie des Gehirns

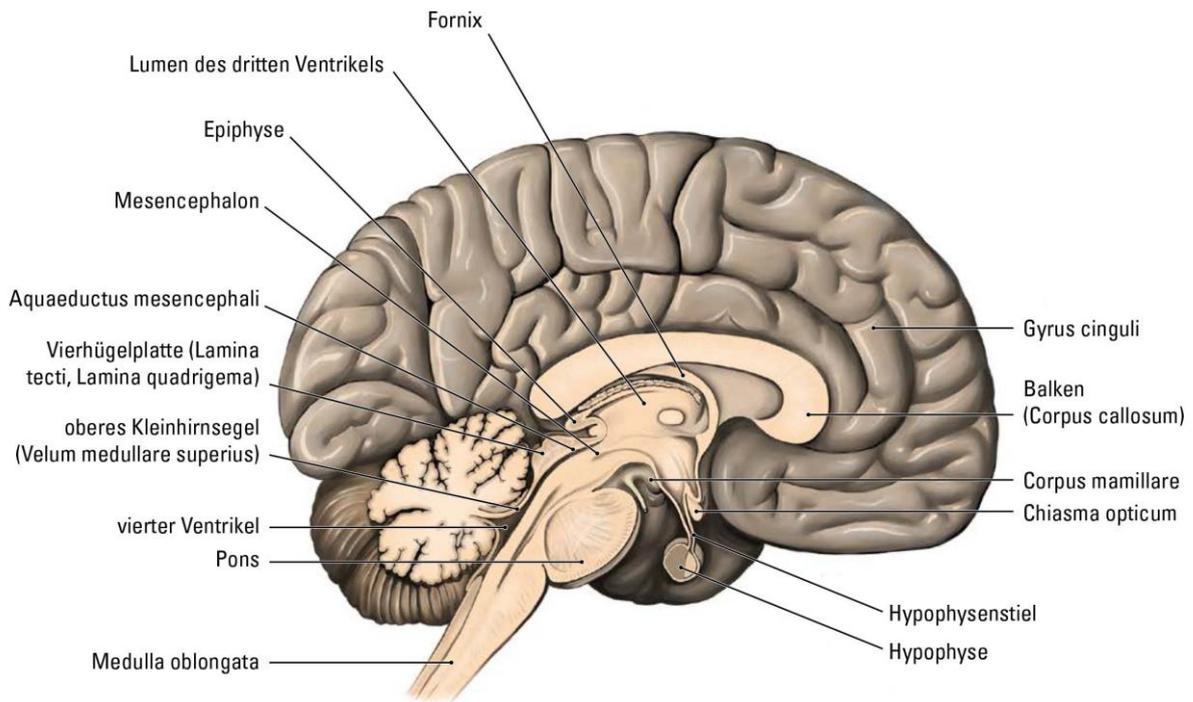
In diesem Kapitel werden die grundlegenden makroskopischen Strukturen dargestellt, die am kompletten sagittal halbierten Gehirn erkannt werden sollten. Auf erklärenden Text wurde hier weitestgehend verzichtet, da die wesentlichen Strukturen im vorangegangenen und nachfolgenden Text erklärt werden.

5.1 Topographische Achsen

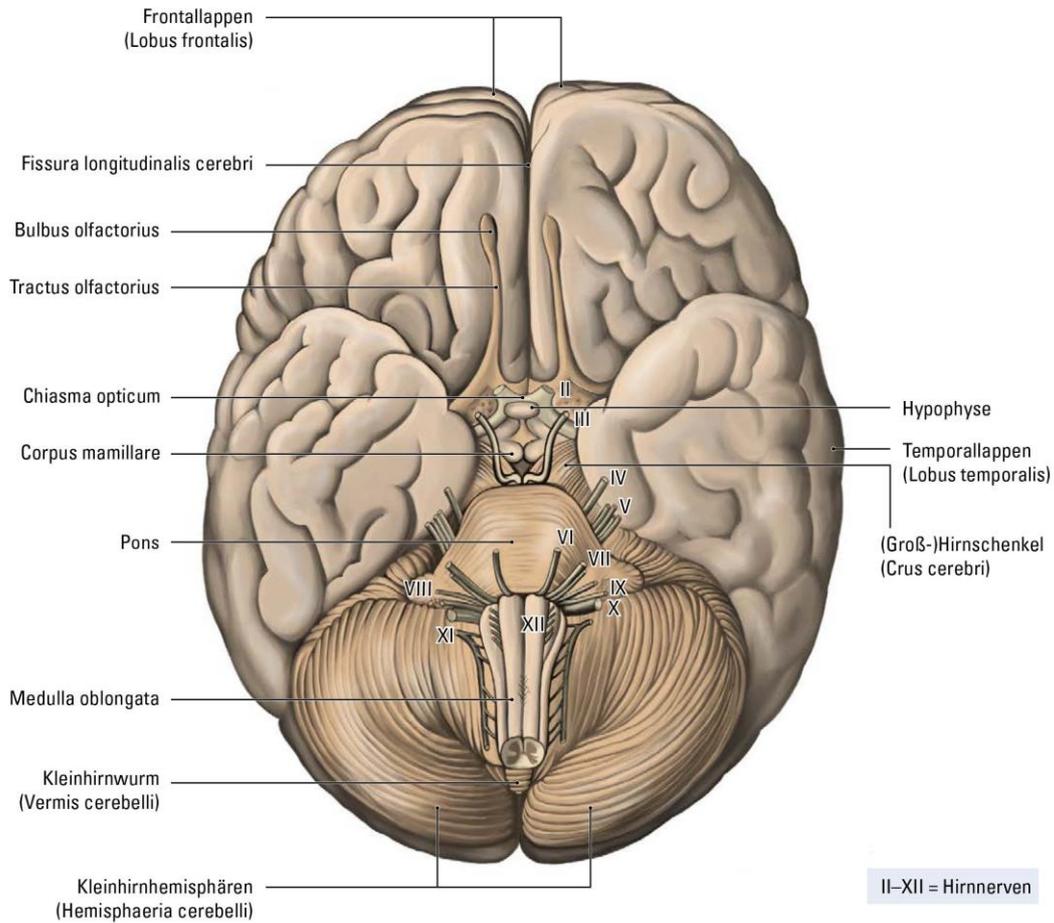
Wie bereits früher erwähnt, kommt es durch das unterschiedlich schnelle Wachstum der Hirnbläschen zu einem Abkippen des Neuralrohrs nach vorn zwischen Mittelhirn und Zwischenhirn um ca. 60°. Damit ergeben sich unterschiedliche topographische Bezeichnungen für Hirnstamm sowie Zwischen- und Großhirn.



Lateralansicht des Gehirns.



Medialansicht des Gehirns.



II–XII = Hirnnerven

Basalansicht des Gehirns.

5.2 Basalganglien

Basalganglien sind Kerne im Marklager des Großhirns. Dazu gehören:

- das **Striatum** (bestehend aus **Nucleus caudatus** und **Putamen**)
- das **Pallidum** (*Globus pallidus*)

Funktionell lassen sich der *Nucleus subthalamicus* und die *Substantia nigra* dazu zählen.

Übrigens ...

Nach alter Nomenklatur werden *Putamen* und *Pallidum* als *Nucleus lentiformis* bezeichnet.

5.2.1 Striatum

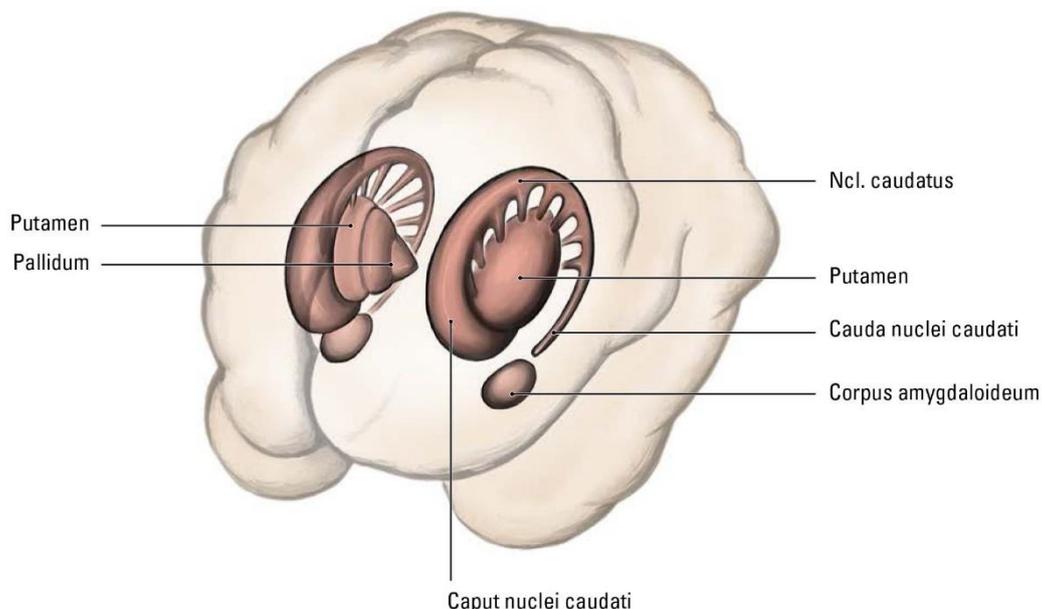
Das *Striatum* besteht aus **Putamen** und **Nucleus caudatus**. Beide Teile entstammen einer gemeinsamen Anlage und werden durch die einsprossende *Capsula interna* getrennt. Funktionell ist das *Striatum* eine wichtige Schaltstelle motorischer Impulse.

Die **Afferenzen** stammen überwiegend aus der ipsilateralen Hirnhälfte von

- **Kortex** (vom motorischen, sensorischen und präfrontalen Assoziationskortex)
- **Substantia nigra**
- **Thalamus**

Die **Fibrae corticostriatales** wirken mit ihrem Transmitter **Glutamat** erregend auf das *Striatum*. Die **Fibrae nigrostriatales** wirken mit ihrem Transmitter **Dopamin** hemmend auf das *Striatum*.

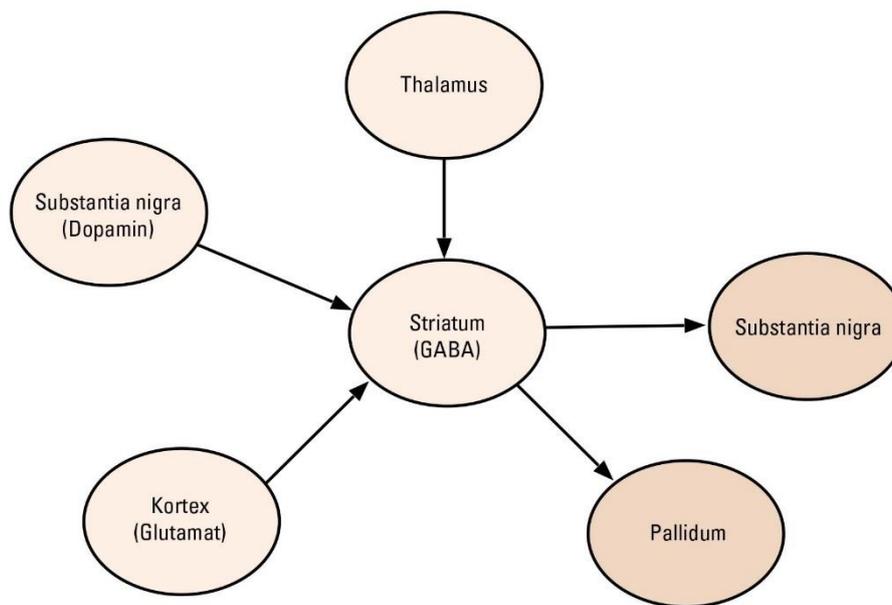
Efferent ist das *Striatum* mit dem **Pallidum** und der **Substantia nigra** verbunden. Die striatalen Neurone wirken durch ihren Transmitter **GABA** hemmend in ihren Projektionsgebieten.



Funktion: Über die kortikostriatalen Bahnen bekommt das *Striatum* vor allem motorische Impulse zugeleitet. Diese Bewegungsimpulse werden hier überwiegend **hemmend** bearbeitet. Einige Impulse werden jedoch auch **fördernd** bearbeitet.

Merke:

Das Striatum kann Bewegungsimpulse ganz oder teilweise unterdrücken. Dem Striatum wird auch der Nucleus accumbens zugeordnet. Er spielt eine zentrale Rolle im „Belohnungssystem“ des Gehirns sowie bei der Entstehung von Sucht.



5.2.2 Pallidum

Das Pallidum stammt entwicklungsgeschichtlich zu großen Teilen vom Zwischenhirn ab und kann als funktioneller Antagonist des Striatums verstanden werden.

Die **Afferenzen** stammen von **Striatum**, **Nucleus subthalamicus** und **Thalamus**. Dabei wirken die Fasern aus dem Striatum hemmend auf das Pallidum.

Die **Efferenzen** laufen zum **Thalamus** (*Nucleus ventralis anterior*). Dieser Kern projiziert erregend in die motorische Hirnrinde. Hemmende Efferenzen laufen zum **Nucleus subthalamicus**.

Funktion: Das mediale Pallidumsegment wirkt **hemmend** auf motorische Impulse. Das laterale Pallidumsegment wirkt **fördernd** auf motorische Impulse.

Merke:

Das Pallidum wirkt eher bahnend für motorische Impulse.

5.2.3 Nucleus subthalamicus

Der *Nucleus subthalamicus* entstammt ebenfalls dem Zwischenhirn und liegt ventromedial des *Pallidums*. Afferent und efferent ist er vor allem mit dem Pallidum verbunden.

Funktion: Er **hemmt** Bewegungsimpulse.

5.2.4 Claustrum

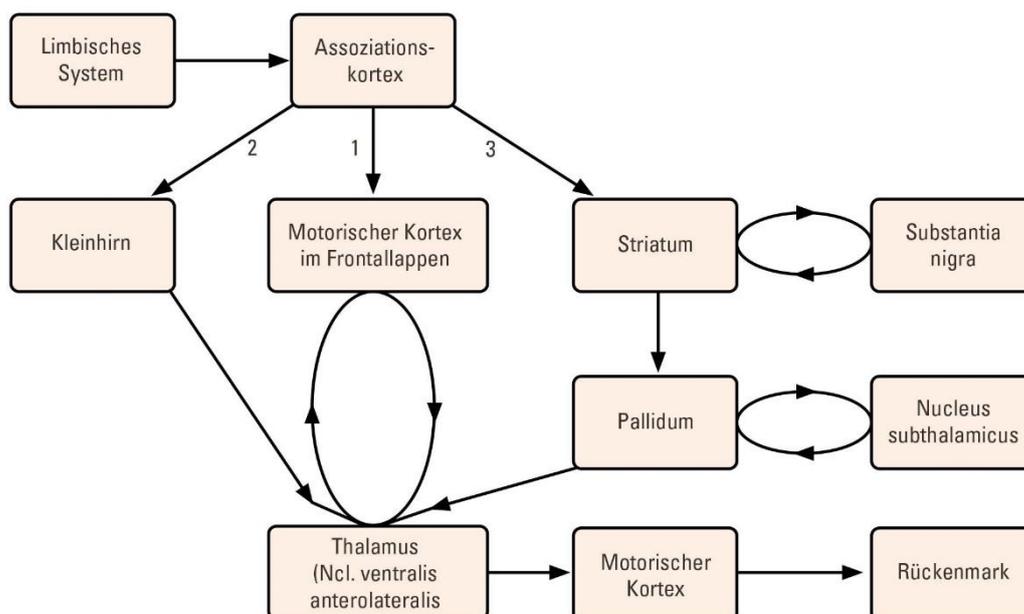
Diese dünne Schicht grauer Substanz liegt zwischen Striatum und Inselrinde. Ihre Funktion ist bisher nicht bekannt.

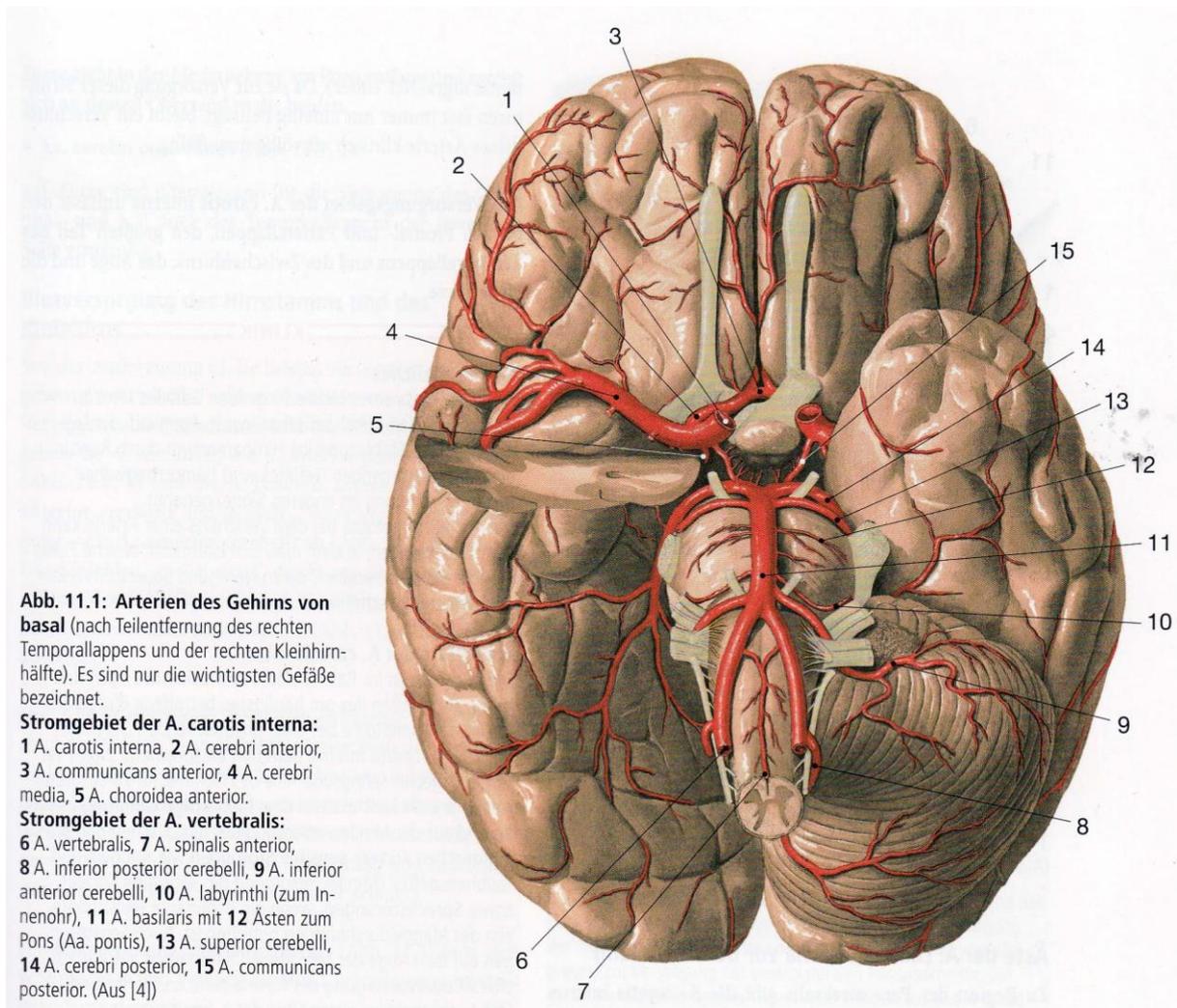
5.2.5 Vom Bewegungsimpuls zur Bewegung

Der Bewegungsantrieb entsteht im *limbischen System* und wird an den *Assoziationskortex* weitergeleitet. Von dort existieren **drei Wege**, die letztlich alle im *Thalamus* und anschließend im *Motorkortex* enden. Von dort erfolgt die Weiterleitung der Impulse über die kortikonucleäre und/oder die kortikospinale Bahn.

Merke:

Die motorischen Impulse werden vom Kleinhirn fein abgestimmt und von den Basalganglien bahnend oder unterdrückend bearbeitet.

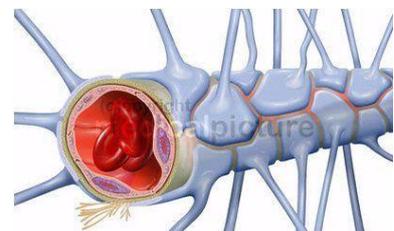




6.1.2 Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke dichtet das Gehirn- oder Rückenmarksgewebe gegen das Blut ab. Diese Barriere ist aus drei Schichten aufgebaut:

- den **Endothelien** der Kapillaren
- der darunterliegenden **Basalmembran** und
- den **Fortsätzen von Astrozyten**



Die Endigungen dieser Fortsätze liegen eng aneinandergereiht an der Basalmembran der Hirnkapillaren und bilden so die äußerste Schicht der Blut-Hirn-Schranke. Die eigentliche „Filterschicht“ ist jedoch das innenliegende Endothel mit seinen **Tight junctions**. Die Bildung dieser dichten Interzellularverbindung wird durch die Astrozytenfortsätze induziert. So wird eine Barriere für alle sonst kapillargängigen Stoffe gebildet, die dadurch entweder selektiv *durchgelassen* oder an ihrer Penetration in das sehr empfindliche Hirngewebe *gehindert* werden. Dies geschieht in Abhängigkeit von der chemischen Beschaffenheit des Stoffes (Molekülgröße, Ionenladung, Lipophilie etc.). Aber auch andere, differenziertere Unterscheidungskriterien zwischen einzelnen Nährstoffen, Hormonen, Elektrolyten oder „Giftstoffen“ liegen dieser Selektion zugrunde.

Warum aber brauchen wir eine Blut-Hirn-Schranke? Zum einen deshalb, weil auf diese Weise potenziell neurotoxische Stoffe vom Nervengewebe mit seiner sehr eingeschränkten Regenerationsfähigkeit nach Schädigung ferngehalten werden. Zum anderen ist sie ein Schutz des Gehirns gegen die Schwankungen der Plasmazusammensetzung, insbesondere dessen Gehalt an Noradrenalin, Glycin etc., von Stoffen also, die im ZNS als Neurotransmitter vorkommen und somit die topisch streng geordneten Funktionsabläufe im ZNS stören können.

Die Blut-Hirn-Schranke fehlt in Hirnbereichen, deren neuroendokrine (z.B. *Hypophyse*) oder chemosensorische (z.B. *Area postrema*) Funktion eine direkte Kommunikation mit der Blutbahn erfordert. Diese Bereiche werden als **neurohämale Region** bezeichnet und finden sich in den zirkumventrikulären Organen.

Klinik: Schrankenstörung

Unter krankhaften Bedingungen, insbesondere im Rahmen einer Entzündung (z.B. bei Infektionen des ZNS, in der Nähe wachsender Tumoren oder nach Gewebetraumatisierung), kann die Blut-Hirn-Schranke durchlässig werden, was man meist kurz als Schrankenstörung bezeichnet. Dies sieht man zum Beispiel immer wieder in Form eines Hirnödems auf den Bildern von Hirntumoren. Infolge dieser Schrankenstörung bei Tumoren und Entzündungen können auch Stoffe in das umgebende Hirn- oder Rückenmarksgewebe gelangen, die normalerweise durch die dichte Schranke an der Penetration ins gesunde ZNS-Gewebe gehindert werden. Das trifft auch auf bestimmte Medikamente (was man sich therapeutisch zunutze macht) oder Kontrastmittel (was bei radiologischen Untersuchungen zum Nachweis einer gestörten Blut-Hirn-Schranke eine große Rolle spielt) zu.

6.2 Große zuführende Gefäße

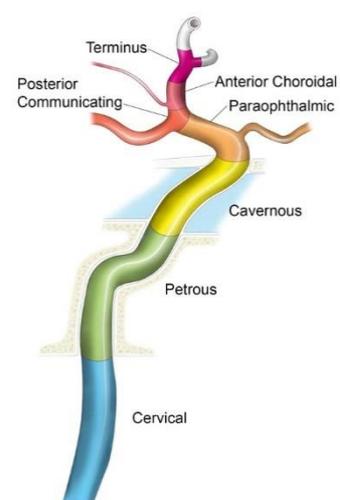
6.2.1 Arteria carotis interna

Die *Arteria carotis communis* teilt sich in die *Arteria carotis externa* und die *Arteria carotis interna*. Die *Arteria carotis interna* zieht, **ohne einen Ast abzugeben**, bis zur Schädelbasis. Sie durchläuft die Schädelbasis im **Canalis caroticus** des Felsenbeins und tritt über das **Foramen lacerum** in das Schädelinnere ein. In der Schädelhöhle tritt sie direkt in den **Sinus cavernosus** ein und durchläuft diesen S-förmig lateral der Hypophyse.

Anschließend verläuft sie unter Abgabe kleinerer Äste im Subarachnoidalraum (*Cisterna chiasma opticum*) ein kleines Stück nach vorne bis in der Höhe der *Substantia perforata anterior* des Frontalhirns, wo sie sich in die

- **Arteria cerebri anterior** und die
- **Arteria cerebri media**

aufteilt.



Man unterscheidet im Verlauf der *Arteria carotis interna* vier Abschnitte:

- **Pars cervicalis** (C1-Segment): vom Anfang bis zur Schädelbasis
- **Pars petrosa** (C2-Segment): im Verlauf durch die Schädelbasis
- **Pars cavernosa** (C3-Segment): im Verlauf durch die *Sinus cavernosus*
- **Pars cerebralis** (C4-Segment): nach Verlassen des *Sinus cavernosus* bis zur Aufteilung in die *Arteria cerebri anterior* und *media*.

Der S-förmige Verlauf in der *Pars cavernosa* und in der beginnenden *Pars cerebralis* wird als **Karotissiphon** bezeichnet.

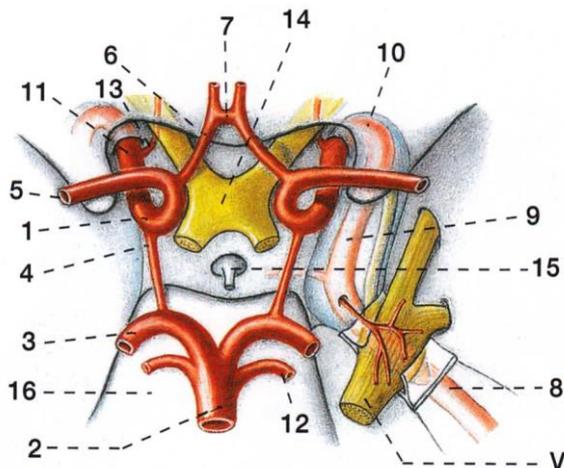


Abb. 11.2: Intrakranieller Verlauf der A. carotis interna und Circulus arteriosus cerebri. Ansicht von oben.

1 A. carotis interna, 2 A. basilaris, die sich in eine linke und rechte 3 A. cerebri posterior aufgabelt. Von dieser zieht die 4 A. communicans posterior zur 1 A. carotis interna. Die A. carotis interna gabelt sich in die 5 A. cerebri media und die 6 A. cerebri anterior auf. Die beiden Aa. cerebri anteriores sind durch die 7 A. communicans anterior verbunden. 8 Pars petrosa der A. carotis interna (Verlauf im Canalis caroticus), 9 Pars cavernosa der A. carotis interna (Verlauf im Sinus cavernosus mit 10 Karotissiphon), 11 Pars cerebralis der A. carotis interna (Verlauf nach dem Sinus cavernosus bis zur Aufgabelung), 12 A. superior cerebelli, 13 A. ophthalmica, 14 Chiasma opticum, 15 Hypophyse, 16 Clivus, V N. trigeminus. (Aus [1])

Äste der Arteria carotis interna vor der Aufteilung

Zu Beginn der *Pars cerebralis* gibt die *Arteria carotis interna* zunächst die **Arteria ophthalmica** ab, die das Auge und Teile der Nasennebenhöhlen versorgt. Die *Arteria ophthalmica* kommuniziert im Bereich des medialen Augenwinkels mit Ästen der *Arteria facialis*, die aus der *Arteria carotis externa* abstammt. Bei Stenosen der *Arteria carotis interna* kann über diese Anastomose ein Kollateralkreislauf erfolgen, der dem *Circulus arteriosus* Blut aus der *Arteria carotis externa* zuleitet. Nach der *Arteria ophthalmica* geht aus der *Arteria carotis interna* die **Arteria communicans posterior** ab, die als Teil des **Circulus arteriosus cerebri** eine Anastomose zwischen hinterem und vorderem Hirnkreislauf bildet.

Außerdem gibt die *Arteria carotis interna* vor ihrer Aufteilung in *Arteria cerebri anterior* und *media* die folgenden Äste ab:

- *Arteria hypophysialis superior*
- *Arteria hypophysialis inferior*
- *Arteria choroidea anterior* (zur Versorgung von *Plexus choroideus* des Seitenventrikels, *Capsula interna*, Basalganglien, Hippocampus, Amygdala, Thalamus, *Substantia nigra*, *Nucleus ruber*). Da sie zur Versorgung dieser Strukturen fast immer nur anteilig beiträgt, bleibt ein Verschluss dieser Arterie klinisch oft völlig unauffällig.

Das **Versorgungsgebiet der Arteria carotis interna** umfasst den ganzen Frontal- und Parietallappen, den größten Teil des Temporallappens und des Zwischenhirns, das Auge und die Hypophyse.

Klinik: Grundsätzliches

Der Verschluss eines hirnversorgenden Gefäßes führt zu einem Hirninfarkt (ischämischer Insult, Apoplex, „Schlaganfall“). Eine Einblutung ins Hirnparenchym wird hämorrhagischer Insult (Hirnblutung im engeren Sinne) genannt. Die Ausfallsymptome bei dem Verschluss einer Arterie kann man sich herleiten, indem man sich klarmacht, welche Funktion die Zentren ausüben, deren Nährstoff- und Sauerstoffversorgung jetzt eingeschränkt ist.

Klinik: Verschluss der Arteria carotis interna

Die Arteria carotis ist im Rahmen der Arteriosklerose nach den Herzkranzgefäßen das am häufigsten betroffene Blutgefäß. Die Ausfallsymptome bei einer unzureichenden Durchblutung der Arteria carotis interna betreffen entsprechend ihrem Versorgungsgebiet sehr große Teile des Gehirns. Im Vordergrund stehen jeweils kontralateral eine halbseitige Lähmung (resultierend aus der Minderversorgung des motorischen und prämotorischen Kortex), sensible Störungen wie Kribbeln und Taubheitsgefühl (Minderversorgung des sensiblen Kortex) sowie Sprachstörungen, wenn die dominante Hemisphäre von der Mangelversorgung betroffen ist. Auch Sehstörungen auf dem Auge der betroffenen Seite treten auf, die eine Minderversorgung der Retina zurückzuführen sind (die Arteria ophthalmica kommt aus der Arteria carotis interna).

6.2.2 Arteria vertebralis

Die Arteria vertebralis zweigt sich als erster Ast aus der Arteria subclavia ab und verläuft durch die Querfortsatzlöcher der zervikalen Wirbelkörper entlang der Halswirbelsäule bis nach oben zum Atlas, wo sie dann zwischen diesem und dem Okzipitalknochen in das obere Ende des Wirbelkanals eintritt. Sie hat dabei einen stark gewundenen Verlauf, um so bei weiteren Bewegungsumfängen in den oberen Zervikalwirbeln nicht überdehnt zu werden. Sie zieht anschließend lateral der Medulla oblongata durch das Foramen magnum in die Schädelhöhle hinein. Am Unterrand der Brücke vereinigt sie sich mit der Arteria vertebralis der Gegenseite zur

- **Arteria basilaris**

Diese zieht in der Medianebene am Pons entlang und zweigt sich an dessen Oberrand in die beiden

- **Arteriae cerebri posteriores**

auf. Diese sind überwiegend für die Versorgung des Okzipital- und zum Teil auch des Temporallappens der jeweiligen Seite zuständig.

Blutversorgung des Hirnstamms und des Kleinhirns

Vor der Aufzweigung in die beiden Arteriae cerebri posteriores geben Arteria vertebralis und Arteria basilaris wichtige Äste zur Versorgung des Hirnstamms und des Kleinhirns ab. Dabei geben die Arteria vertebralis die

- **Arteria inferior posterior cerebelli**

und die *Arteria basilaris* die

- ***Arteria inferior anterior cerebelli***
- ***Arteria superior cerebelli***

ab. Das Kleinhirn wird also zum Teil direkt aus der *Arteria vertebralis* zum Teil aus der *Arteria basilaris* versorgt.

Die Kleinhirnarterien versorgen zusätzlich den *Plexus choroideus* des vierten Ventrikels (*Arteria inferior posterior cerebelli*), die lateralen Anteile von *Medulla oblongata* und *Pons* (*Arteria inferior anterior cerebelli*) sowie das Innenohr (über die *Arteria labyrinthi*, die meist aus der *Arteria inferior anterior cerebelli* – seltener direkt aus der *Arteria basilaris* – entspringt und zusammen mit dem VIII. Hirnnerv zum Innenohr gelangt).

Die Blutversorgung des Hirnstamms lässt sich vereinfacht in drei Bereiche einteilen:

- ventromedial
- ventrolateral
- dorsolateral

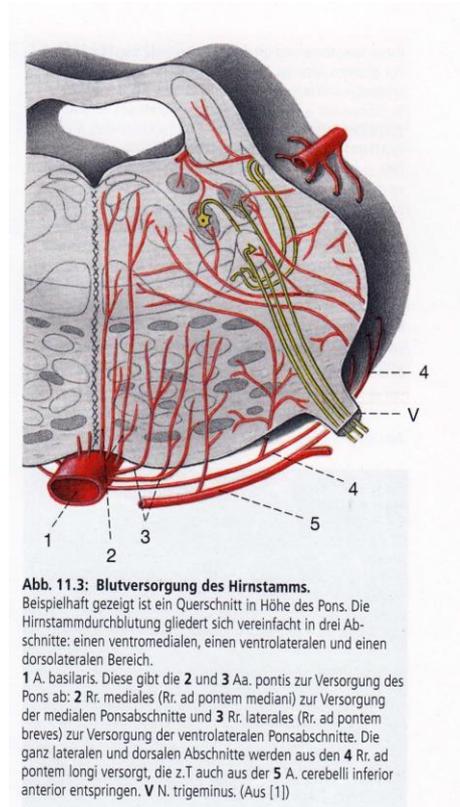


Abb. 11.3: Blutversorgung des Hirnstamms.
Beispielhaft gezeigt ist ein Querschnitt in Höhe des Pons. Die Hirnstammdurchblutung gliedert sich vereinfacht in drei Abschnitte: einen ventromedialen, einen ventrolateralen und einen dorsolateralen Bereich.
1 A. basilaris. Diese gibt die 2 und 3 Aa. pontis zur Versorgung des Pons ab: 2 Rr. mediales (Rr. ad pontem mediani) zur Versorgung der medialen Ponsabschnitte und 3 Rr. laterales (Rr. ad pontem breves) zur Versorgung der ventrolateralen Ponsabschnitte. Die ganz lateralen und dorsalen Abschnitte werden aus den 4 Rr. ad pontem longi versorgt, die z.T. auch aus der 5 A. cerebelli inferior anterior entspringen. V N. trigeminus. (Aus [1])

Die **ventromedialen Anteile des Hirnstamms** werden aus direkten kleineren Ästen der *Arteria vertebralis* (*Medulla oblongata*), *Arteria basilaris* (*Pons*) oder *Arteria cerebri posterior* (Mesencephalon) versorgt. Dabei ist vor allem im *Medulla-oblongata*-Bereich durch die beiden *Arteriae vertebrales* eine deutliche Seitentrennung in der Versorgung vorhanden, so dass eine einseitige Durchblutungsstörung in der *Arteria vertebralis* isolierte Schäden in einer Hälfte dieses Hirnstammabschnittes zur Folge hat.

Die **ventrolateralen** und **dorsolateralen Hirnstammanteile** werden von kurzen (lateral) und langen (dorsal) Ästen der *Arteria basilaris* oder der Kleinhirnarterien (*Medulla oblongata*, *Pons* und zum Teil Mesencephalon) und der *Arteria cerebri posterior* (Mesencephalon) versorgt.

Klinik: Durchblutungsstörungen im vertebrobasilären Bereich

Folgende Symptome stehen im Vordergrund:

Schwindelgefühl und Ohrgeräusche (Minderversorgung des Innenohrbereiches und der Medulla oblongata mit den Cochlearis- und Vestibulariskernen)

Gleichgewichtsstörungen (Minderversorgung des Innenohrs, der Medulla oblongata und des Kleinhirns)

Sehstörungen (Minderversorgung der Sehrinde, der Sehstrahlung und partiell des Corpus geniculatum laterale)

Bewusstseinsstörungen (Minderversorgung der Formatio reticularis mit ARAS)

Lähmungen und Sensibilitätsstörungen (Minderversorgung der großen auf- und absteigenden Bahnen)

Diese Symptome sind oft nur auf eine Seite beschränkt, da nur einzelne Äste der Arteria vertebralis oder Arteria basilaris verschlossen sind. Ein völliger Verschluss der Arteria basilaris (Basilaristhrombose) verläuft durch den Ausfall lebenswichtiger Zentren (Atmung, Kreislauf) im Hirnstamm meist tödlich.

Eine spezielle Form vertebrobasilärer Durchblutungsstörung ist das sogenannte Subclavian-Steal-Syndrom. Es tritt bei einer Stenose der Arteria subclavia vor der Abzweigung der Arteria vertebralis auf. Wird durch entsprechende Muskelbewegungen die Durchblutung in der oberen Extremität gesteigert, die sonst durch die Arteria subclavia versorgt wird, dreht sich in der Arteria basilaris der Blutstrom um und der Arm wird über die Arteria carotis interna – Circulus arteriosus – Arteria basilaris und schließlich über eine Strömungsumkehr in der Arteria vertebralis mit Blut versorgt, was natürlich in einer entsprechenden Mangelversorgung des vertebrobasilären Versorgungsbereiches im Gehirn resultiert.



Abb. 11.4: Hirnstamminsult.

Kernspintomographie des pontomesenzephalen Übergangs bei einseitigem Verschluss der Rr. mediales und laterales aus den Aa. pontis der A. basilaris (vgl. Abb. 11.3). Dadurch einseitige Minderversorgung des medialen und ventralen Hirnstamms in dieser Höhe. Das infarzierte Areal (durch Pfeile markiert) grenzt sich hell gegen das umliegende Hirnstammgewebe ab.

Symptomatik des Patienten: Halbseitenlähmung (Hemiparese) kontralateral durch Läsion der kortikospinalen und kortikonukleären Bahn sowie Halbseitensensibilitätsstörung (Hemihypästhesie) durch Läsion des Lemniscus medialis.

(Bild aus Universitätsklinikum Freiburg, Abt. Neuroradiologie, beigetragen von Prof. Dr. J. Klisch)

6.2.3 Circulus arteriosus cerebri

Der *Circulus arteriosus cerebri* (Willisii) ist ein Gefäßsystem, das den **vorderen Hirnkreislauf** (der hämodynamisch aus den beiden *Arteriae carotides internae* gespeist wird) und den **hinteren Hirnkreislauf** (der hämodynamisch aus den beiden *Arteriae vertebrales* gespeist wird) über Anastomosenarterien miteinander verbindet. Auch **rechter** und **linker Hirnkreislauf** werden auf diese Weise verbunden. So geht aus der linken und rechten *Arteria carotis interna* je eine **Arteria communicans posterior** ab, die eine Anastomose zwischen den *Arteriae carotides internae* und den beiden *Arteriae cerebri posteriores* bildet. Letztere sind wiederum selbst über ihren gemeinsamen Ursprung aus der *Arteria basilaris* miteinander verbunden. Die beiden *Arteriae cerebri anteriores* schließlich sind durch die **Arteria communicans anterior** verbunden, so dass der Kreislauf geschlossen ist. Wie oben erwähnt, kann über dieses beim Gesunden nur wenig durchblutete Kollateralenverbindungssystem der Ausfall einer der großen zuführenden Arterien von den anderen Gefäßen kompensiert werden unter der Voraussetzung, dass die Durchblutungsstörung strömungstechnisch vor dem *Circulus arteriosus* liegt und nicht plötzlich, sondern über einen Zeitraum von Wochen oder Monaten eintritt, so dass sich das Kollateralgefäßbett ausweiten kann.

Es ist klinisch von großer Bedeutung, dass alle großen gehirnversorgenden Arterien einschließlich des *Circulus arteriosus cerebri* im **Subarachnoidalraum** verlaufen.

Klinik: Aneurysmen und Subarachnoidalblutungen

Der *Circulus arteriosus cerebri* sowie der Beginn der großen daraus hervorgehenden Arterien ist sehr häufig der Sitz sogenannter Aneurysmen. Dies sind arterielle Gefäßwandfehlbildungen, denen vor allem eine mangelhafte Ausbildung der Muskelschicht zugrunde liegt, wodurch es zu einer dünnwandigen Aussackung des Gefäßes, dem eigentlichen Aneurysma, kommt. Solche cerebralen Aneurysmen platzen (rupturieren) gelegentlich spontan, vor allem aber unter Druckbelastungen, und führen so zu Blutungen, die fast immer Subarachnoidalblutungen sind. Im Gegensatz zu epiduralen oder subduralen Blutungen kann man bei Subarachnoidalblutungen stets Blut im Liquor nachweisen, da diese in den äußeren Liquorraum (entspricht dem Subarachnoidalraum) hinein erfolgen. Das in den Subarachnoidalraum austretende Blut verursacht eine intrakranielle Raumforderung sowie Spasmen (Verkrampfungen) der hirnersorgenden Arterien. Aufgrund dessen sind Subarachnoidalblutungen grundsätzlich lebensbedrohlich.

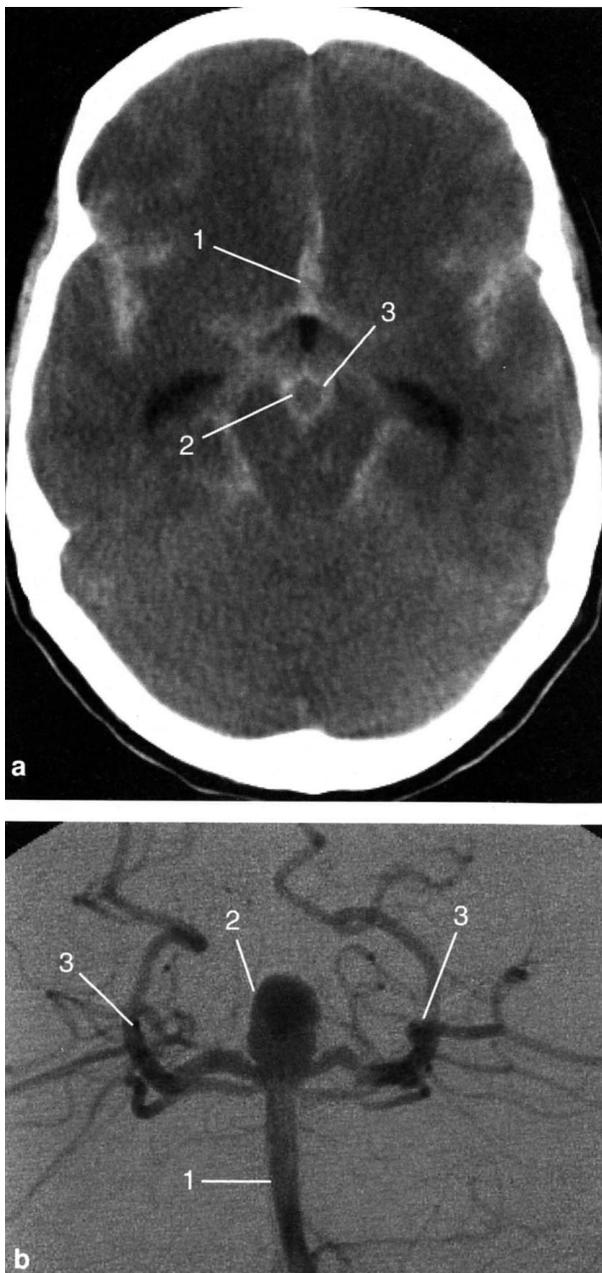


Abb. 11.5: Subarachnoidealblutung bei Ruptur eines Aneurysma der A. basilaris.

a Computertomographie. Das frische Blut, das sich im Subarachnoidealraum (hier sichtbar in sämtlichen basalen Liquorzisternen bis in die Fissura und Fossa lateralis) ausdehnt, stellt sich weiß dar. Die inneren Liquorräume (Ventrikel) sind nicht blutgefüllt und stellen sich deshalb schwarz dar.

1 Blut in der Cisterna chiasmatica, **2** Aneurysma am rostralen Ende der A. basilaris, erkennbar an der Aussparung innerhalb der Blutung in der **3** Cisterna interpeduncularis.

b Angiographie (Gefäßdarstellung nach Kontrastmittelinjektion, zur Technik siehe Abb. 11.13). Ventrodorsalansicht.

1 A. basilaris, **2** Aneurysma, **3** Aa. cerebri posteriores.

Symptomatik bei Subarachnoidealblutung: massiver, plötzlich (perakut) einsetzender Kopfschmerz (Vernichtungskopfschmerz), häufig kurz darauf Bewusstseinsverlust.

(Bilder aus Universitätsklinikum Freiburg, Abt. Neuroradiologie, beigetragen von PD Dr. A. Berlis)

6.3 Die drei großen Gehirnarterien

Für die Versorgung des Groß- und Zwischenhirnes sind vor allem drei große und besonders wichtige Arterien zuständig:

- **Arteria cerebri anterior**
- **Arteria cerebri media**
- **Arteria cerebri posterior**

Jeder dieser drei Arterien ist ein relativ gut abgrenzbares Versorgungsgebiet im Zwischen- und Großhirnbereich zugeordnet, wobei diese Gebiete fast ausschließlich von der entsprechenden Arterie versorgt werden und nur bei langsamen Verschlüssen (meist durch zunehmende Arteriosklerose) über Kollateralen der angrenzenden Arterie in den Randgebieten mitversorgt werden können.

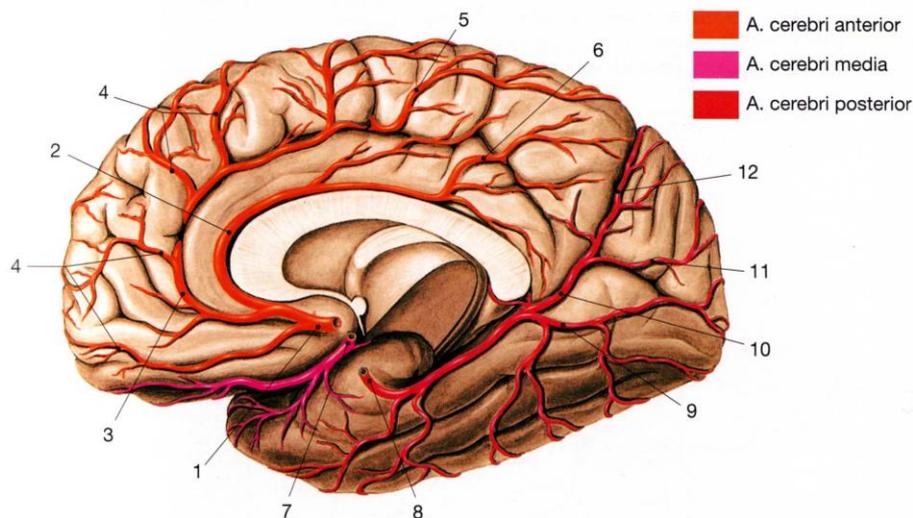
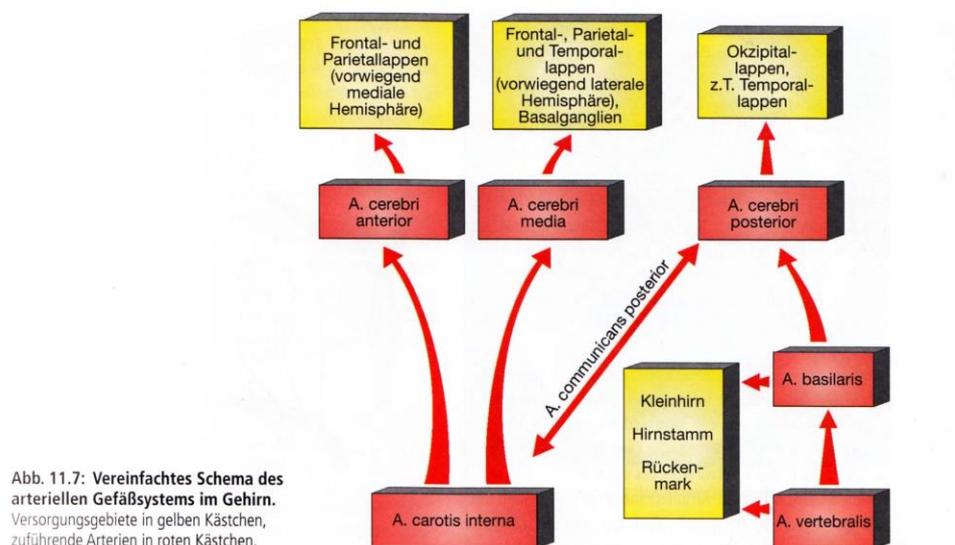


Abb. 11.8: Arterien des Gehirns von medial.

1 A. cerebri anterior: Nach Abgabe der A. communicans anterior (nicht dargestellt) zieht sie zum Corpus callosum und teilt sich in ihre beiden Haupt-äste auf: die **2 A. pericallosa** und die **3 A. callosomarginalis**. Die **2 A. pericallosa** setzt den Verlauf der A. cerebri anterior entlang dem Corpus callosum fort. Von der **3 A. callosomarginalis** gehen zahlreiche **4 Rr. frontales** ab, die den Frontallappen versorgen. Die **3 A. callosomarginalis** endet mit den **5 Rr. paracentrales** an der Medialseite des Gyrus pre- und postcentralis (Lobulus paracentralis). Die **2 A. pericallosa** endet mit den **6 Rr. precuneales**.

7 A. cerebri media: mit Ästen vor allem zum vordersten Bereich des Temporal-lappens.

8 A. cerebri posterior: Sie zieht zwischen Mittelhirn (abpräpariert) und Temporal-lappen nach hinten und verzweigt sich in **9 A. occipitalis lateralis** und **10 A. occipitalis medialis**. **10** zweigt sich in **11 R. calcarinus** (für die Sehrinde) und **12 R. parietooccipitalis** auf. (Aus [4])

6.3.1 Arteria cerebri anterior

Verlauf

Die *Arteria cerebri anterior* zweigt sich aus der *Arteria carotis interna* ab. Sie zieht über das *Chiasma opticum* hinweg und – nach Abgabe der *Arteria communicans anterior* – in den Interhemisphärenspalt. Dort verläuft sie vorne um das Balkenknie herum auf die Dorsalseite des Balkens und teilt sich dabei in ihre beiden Hauptäste, die *Arteria pericallosa* und die *Arteria callosomarginalis*. Unter Abgabe zahlreicher Äste verlaufen diese bis zur Grenze von Parietal- zu Okzipitallappen. Der Anteil der *Arteria cerebri anterior* vor Abgang der *Arteria communicans anterior* (*Pars praecommunalis*) wird als **A1-Segment**, der anschließende Anteil (*Pars postcommunicalis*) als **A2-Segment** bezeichnet.

Versorgungsgebiet

Das Versorgungsgebiet der ***Arteria cerebri anterior*** erstreckt sich medial über den ganzen Frontal- und Parietallappen, das Septum und die basalen Vorderhirnstrukturen. Es reicht auch über die Mantelkante hinaus auf die Konvexität der Großhirnhemisphäre, wo noch ein Teil des Frontal- und Parietallappens versorgt wird. An **funktionellen Zentren** durchblutet die *Arteria cerebri anterior* also einen großen Teil des **präfrontalen und prämotorischen Kortex** und mit einem ihrer Endäste (*Arteria paracentralis*) die Teile des *Gyrus prae- und postcentralis*, die somatotopisch für die Versorgung des **Bein- und Fußbereiches** zuständig sind.

Nach Abgabe der *Arteria communicans anterior* zweigt aus der *Arteria cerebri anterior* ein rückwärtig verlaufende *Arteria striata medialis distalis* (*Arteria recurrens*, *Heubner-Arterie*) ab, die im Bereich der *Substantia perforata anterior* ins Gehirn eintritt und zum Teil den vorderen Schenkel der *Capsula interna* sowie den vorderen Teil des *Striatums* mit Blut versorgt. Da im vorderen Schenkel der *Capsula interna* auch kortikopontine Bahnen verlaufen (die für die Kleinhirnfunktion von großer Bedeutung sind), kann es bei Verschluss dieser Arterie zu Kleinhirnausfallsymptomen, wie z.B. Dysarthrie, kommen.

Klinik: Durchblutungsstörungen der Arteria cerebri anterior

Eine isolierte Durchblutungsstörung der *Arteria cerebri anterior* ist selten. Tritt sie auf, kann es zum Beispiel bei einer distalen Stenosierung (isolierte Mangel durchblutung des medialen *Gyrus-prae-centralis*-Bereichs) zu einer schlaffen Lähmung im Bein- und Fußbezirk der kontralateralen Seite (häufig verbunden mit Harninkontinenz) kommen. Durch die Minderperfusion der medialen *Gyrus-postcentralis*-Anteile besteht eine Sensibilitätsstörung an Bein und Fuß. Wird bei sehr proximalen Verschlüssen auch der präfrontale Kortex nicht mehr durchblutet, können zusätzlich Persönlichkeitsveränderungen auftreten.

6.3.2 Arteria cerebri media

Verlauf

Die *Arteria cerebri media* ist als Endast der *Arteria carotis interna* die stärkste der drei großen Gehirnarterien. Sie setzt den Verlauf der *Arteria carotis interna* nach Abgabe der *Arteria cerebri anterior* fort.

Das ist klinisch sehr wichtig, denn Emboli (mit dem Blutstrom abgelöste Blutgerinnsel oder Gefäßwandablagerungen, sogenannte **Plaques**) aus dem Carotisstromgebiet gelangen deshalb meist in die *Arteria cerebri media*. Nach Abzweigung aus der *Arteria carotis interna* gibt die *Arteria cerebri media* die *Arteriae centrales anterolaterales (Arteriae lenticulostricatae)* ab. Es handelt sich dabei um mehrere senkrecht abzweigenden Arterien, die durch die *Substantia perforata anterior* ins Gehirn eintreten und das *Striatum* und *Pallidum* sowie einen Teil von *Capsula interna* und *Thalamus* versorgen.

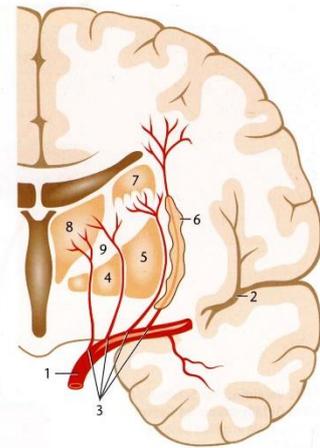


Abb. 11.9: Blutversorgung des Capsula-interna- und Basalganglienbereichs durch die A. cerebri media. 1 A. cerebri media, die auf ihrem Weg zur 2 Fossa lateralis die 3 Aa. centrales anterolaterales (Aa. lenticulostricatae) zu den Basalganglien und zur Capsula interna abgibt. 4 Pallidum, 5 Putamen, 6 Claustrum, 7 Ncl. caudatus, 8 Thalamus, 9 Capsula interna.

Die *Arteria cerebri media* zieht dann nach lateral zwischen Temporalappen und Inselrinde in die *Fossa lateralis*, wo sie sich in ihre kortikalen Endäste aufzweigt. Dabei unterscheidet man einen **Truncus superior** mit Ästen zum Frontal- und Parietallappen und einen **Truncus inferior** mit Ästen zum Temporalappen. Diese sich auf der lateralen Hemisphäre ausbreitenden Äste der *Arteria cerebri media* sind in ihrer Ausbildung variabel. Die nomenklatorische Kenntnis dieser Äste ist für die meisten Belange nicht von allzu großer praktischer Bedeutung und ihre Namensgebung ist uneinheitlich – ein Auswendiglernen ist deshalb nicht sinnvoll.

Der erste Teil der *Arteria cerebri media* bis in die *Fossa lateralis* wird **M1-Segment**, der zweite, sich in der *Fossa lateralis* verzweigende Anteil, **M2-Segment** genannt.

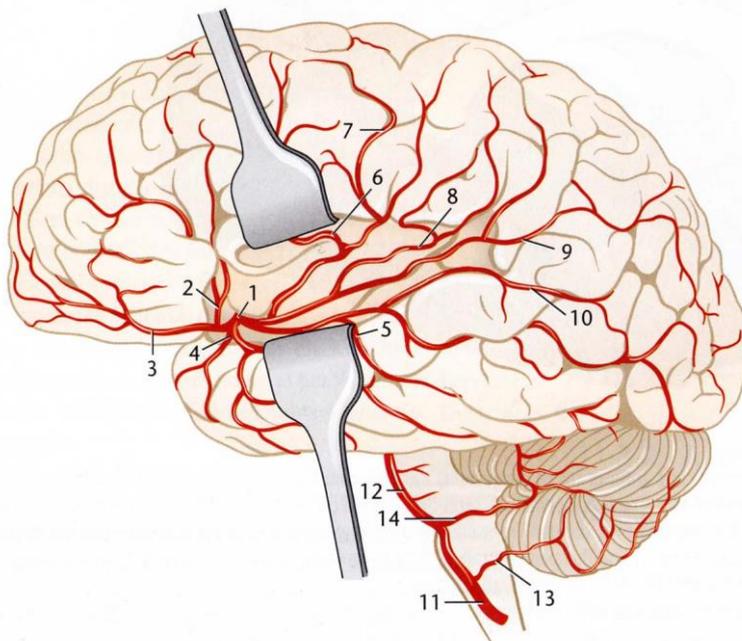


Abb. 11.10: Arterien des Gehirns von lateral. Operculum (basaler Frontal- und Parietallappen, oberer Temporalappen) zur Freilegung der A. cerebri media auseinander gedrängt.

1 A. cerebri media: Sie verzweigt sich in der Fossa lateralis zwischen Temporal- und Frontallappen. Die wichtigsten Äste sind: 2 A. triangularis, 3 A. frontobasalis lateralis, 4 R. temporalis anterior, 5 R. temporalis medius, 6 A. sulci precentralis, 7 A. sulci centralis, 8 A. sulci postcentralis, 9 A. parietalis posterior, 10 R. gyri angularis.

Vertebrobasilärer Bereich: 11 A. vertebralis, 12 A. basilaris, 13 A. inferior posterior cerebelli, 14 A. inferior anterior cerebelli. (Aus [1])

Versorgungsgebiet

Die *Arteriae centrales anterolaterales* versorgen das basale Vorderhirn, das *Striatum* und einen Teil des *Pallidums* (mit einem kleinen Teil des angrenzenden *Thalamus*) und – was von großer klinischer Bedeutung ist – einen Großteil der **Capsula interna**. Des Weiteren versorgt die *Arteria cerebri media* die Inselrinde und erhebliche Teile des Frontal-, Parietal- und Temporalappens. Darunter fallen zahlreiche wichtige funktionelle Zentren wie **motorischer Kortex** (Rumpf, obere Extremität und Kopf), ein

Teil des prämotorischen Kortex, primärer und sekundärer **sensorischer Kortex**, motorisches und sensorisches **Sprachzentrum**, frontales Blickzentrum und auch der *Gyrus angularis* (Kopplungsstelle zwischen visuellem und auditorischem System).

Klinik: Durchblutungsstörungen der Arteria cerebri media

Die Arteria cerebri media ist von allen intrakraniellen gehirnversorgenden Arterien am häufigsten von einer Mangel durchblutung im Rahmen von Arteriosklerose und Embolien oder von einer Gefäßruptur im Rahmen des Bluthochdrucks (arterielle Hypertonie) betroffen.

Wird die ganze Arteria cerebri media verschlossen, kommt es auf der kontralateralen Seite zu einer (oft kopf- und armbetonten) Halbseitenlähmung. Dies erklärt sich einerseits durch eine Minderversorgung der entsprechenden Capsula-interna-Anteile, die die kortikofugalen Fasern führen, andererseits durch eine Minderversorgung des motorischen und prämotorischen Kortex. Des Weiteren kommt es zu einer halbseitigen somatosensiblen Empfindungslosigkeit (Minderversorgung der somatosensiblen Rinde) auf der kontralateralen Seite. Da auch das frontale Augenfeld von der Arteria cerebri media versorgt wird, kommt es vorübergehend zu einer Blickdeviation zur ipsilateralen Seite (funktionelles Überwiegen des Blickzentrums in der nicht geschädigten, kontralateralen Hemisphäre).

Ist die dominante Hemisphäre betroffen kommen folgende Ausfälle hinzu: globale Aphasie (motorische und sensorische, da beide Sprachzentren minderversorgt sind) sowie eine Alexie und Agraphie (Lese- und Schreibunfähigkeit, durch Minderversorgung des Gyrus angularis). Bei einem Verschluss einzelner Äste der Arteria cerebri media, die die eben genannten Zentren versorgen, können diese Symptome auch isoliert auftreten.

Die Arteriae centrales anterolaterales sind auf Grund ihres senkrechten Abgangs aus der Arteria cerebri media und der daraus resultierenden Strömungsturbulenzen für arteriosklerotische Veränderungen prädestiniert. So sind sie oft Kandidaten für einen Gefäßverschluss und bei Hochdruckpatienten besonders häufig Manifestationsort der oben erwähnten Gefäßrupturen. Solche Blutungen führen ebenso wie ein Verschluss dieser Gefäße zu einem Gewebeuntergang im Bereich der Basalganglien und vor allem der Capsula interna, was in einer kontralateralen Halbseitenlähmung (Hemiplegie) resultiert.

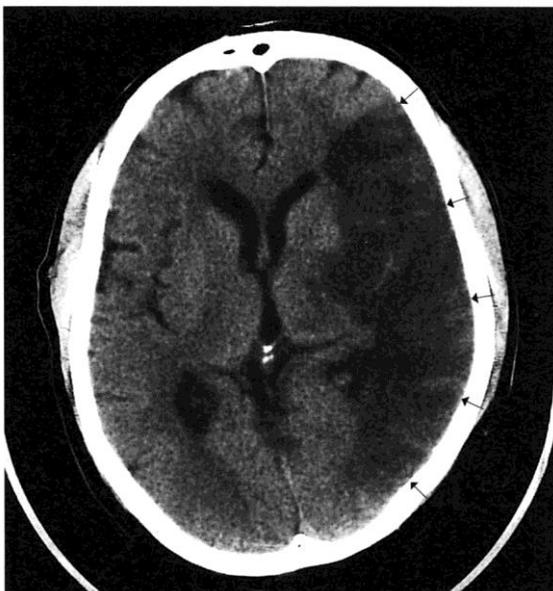


Abb. 11.11: Verschluss der A. cerebri media („Mediainsult“).

Computertomographie des Gehirns bei komplettem Verschluss der A. cerebri media links (die Schnittbilder in der Klinik werden „seitenverkehrt“ projiziert, man sieht also „von unten“ auf die Schnittebene). Das außen mit Pfeilen markierte Infarktareal (vgl. mit Abb. 11.6c, 2) grenzt sich dunkel gegen das übrige Hirnparenchym ab.

Symptomatik des Patienten: Innerhalb von Minuten eintretende globale (motorische und sensorische) Aphasie und eine Hemiplegie (Halbseitenlähmung) rechts. Stunden später Bewusstseinsverlust durch die zunehmende Hirnschwellung, da O₂-unterversorgtes Hirnparenchym anschwillt (beachte die verquollenen, also nicht mehr sichtbaren Sulci auf der betroffenen Seite im Vergleich zur kontralateralen Seite).

(Bild aus Universitätsklinikum Freiburg, Abt. Neuroradiologie, mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Schumacher)

6.3.3 Arteria cerebri posterior

Die unpaare *Arteria basilaris* teilt sich in jeweils eine linke und rechte *Arteria cerebri posterior* auf. Hämodynamisch gehört die *Arteria cerebri posterior* somit zu Versorgungsgebiet des vertebrobasilären Systems.

Verlauf

Nachdem die *Arteria cerebri posterior* die *Arteria communicans posterior* als Verbindung zur *Arteria carotis interna* abgegeben bzw. aufgenommen hat, zieht sie zwischen Mittelhirn und Temporallappen um den Hirnstamm herum nach hinten an die mediale Hemisphärenseite, wo sie sich im Bereich des *Isthmus gyri cinguli* in ihre beiden Endäste, die *Arteria occipitalis medialis* und *Arteria occipitalis lateralis*, aufzweigt, von denen weitere Äste zum medialen Parietal- und Okzipitallappen einschließlich der Sehrinde abgehen. Man unterscheidet im Verlauf der *Arteria cerebri posterior* vier Abschnitte, die mit **P1-** bis **P4-Segment** bezeichnet werden: P1 bis zum Abgang der *Arteria communicans posterior*, P2 von dort bis zum Abgang des *Ramus temporalis inferior posterior*, P3 von dort bis zum Erreichen der medialen Hemisphärenfläche, P4 von dort bis zur Aufzweigung in die Endäste.

Versorgungsgebiet

Kortikal versorgt die *Arteria cerebri posterior* den kaudalen und basalen Bereich des Temporallappens mit dem *Hippocampus* sowie den gesamten Okzipitallappen mit primärer und sekundärer **Sehrinde** und einen erheblichen Teil der Sehstrahlung. Ein spezieller Ast, der *Ramus calcarinus*, ist nur für die Versorgung der primären Sehrinde zuständig. **Subkortikal** durchblutet die *Arteria cerebri posterior* vor allem den *Thalamus* und einen Großteil des Mittelhirns.

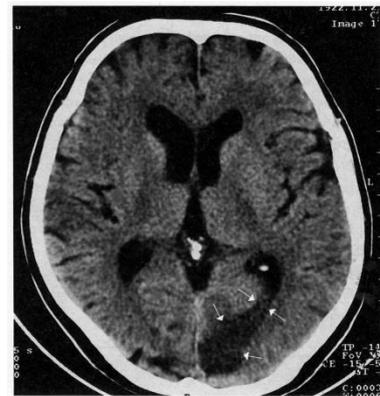


Abb. 11.12: Teilverschluss der A. cerebri posterior („Posteriorinsult“).
Computertomographie des Gehirns bei Teilverschluss der A. cerebri posterior links (Blick auf die Schnittebene „von unten“). Das mit Pfeilen markierte Infarktareal (vgl. mit Abb. 11.6c, 3) grenzt sich dunkel gegen das übrige Hirnparenchym ab und beinhaltet einen Großteil der Sehstrahlung und der primären Sehrinde.
Symptomatik des Patienten: Hemianopsie nach rechts, die sich während einer Autofahrt entwickelt hatte. Beim Einfahren in die Hausgarage rampte er mit seinem Wagen die rechte Garagenwand, weil er diese nicht mehr wahrnehmen konnte.
(Bild aus Universitätsklinikum Tübingen, Abt. Neuroradiologie, mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Petersen)

Klinik: Durchblutungsstörungen der Arteria cerebri posterior

Wegen der engen Relation dieses Gefäßes zum visuellen System (Versorgung des *Corpus geniculatum laterale*, des größten Teils der Sehstrahlung sowie primärer und sekundärer Sehrinde) hat ein Verschluss der *Arteria cerebri posterior* überwiegend visuelle Ausfälle zur Folge. Meist resultiert eine homonyme Hemianopsie zur Gegenseite der Schädigung. Der Bereich der Sehrinde, in dem die Fasern mit der visuellen Information der *Macula retinae* enden (dem zentralen Punkt des Gesichtsfeldes, der auch für das schärfste Sehen verantwortlich ist), ist relativ gut mit Gefäßanastomosen versorgt, die aus der *Arteria cerebri media* gespeist werden. Deshalb ist bei entsprechenden Infarkten mit Hemianopsie häufig das zentrale und scharfe Sehen noch intakt. Natürlich kann die isolierte Unterversorgung einzelner Teile des Versorgungsbereichs der *Arteria cerebri posterior* auch eine Quantenanopsie (Ausfall nur eines Viertels des Gesichtsfeldes) oder auch nur einzelne dunkle Flecken im Gesichtsfeld (Skotome) zur Folge haben.

Durch eine Minderperfusion der subkortikalen Versorgungsareale sind bei Verschluss der hinteren Gehirnarterie auch Thalamusausfallssymptome wie z.B. Bewusstseinsverlust (Minderperfusion der unspezifischen Thalamuskern) der Schmerzsyndrome möglich.

6.3.4 Darstellung der Gehirngefäße am Lebenden

Die Blutgefäße des Gehirns, wie sie bisher besprochen wurden, können nicht nur am anatomischen Präparat, sondern auch am Lebenden dargestellt werden, was sehr große praktische Relevanz hat. Durchblutungsstörungen in den hirnersorgenden Gefäßen sind häufig, und der diagnostische Bedarf ist entsprechend groß. Bildgebend stellt man die Blutgefäße gegenwärtig vor allem mit zwei Methoden dar:

- **Kontrastmittelinjektion** mit anschließenden **Röntgenaufnahmen / Computertomographien**
- **Kontrastmittelinjektion** mit anschließenden **Kernspintomographien**

Dabei lassen sich Gefäßverengungen oder -verschlüsse, Gefäßfehlbildungen, aber auch die Blutversorgung von Tumoren zur Planung von Operationen darstellen. Die Kenntnis der normalen Anatomie der Gehirngefäße ist dabei unabdingbare Voraussetzung für die Analyse der Bilder. Darüber hinaus kann man die hirnersorgenden Gefäße **dopplersonographisch** untersuchen, was aber weniger der Bildgebung als der schnellen und unkomplizierten Funktionsdiagnostik vor allem des extrakraniellen Verlaufs dieser Gefäße dient.

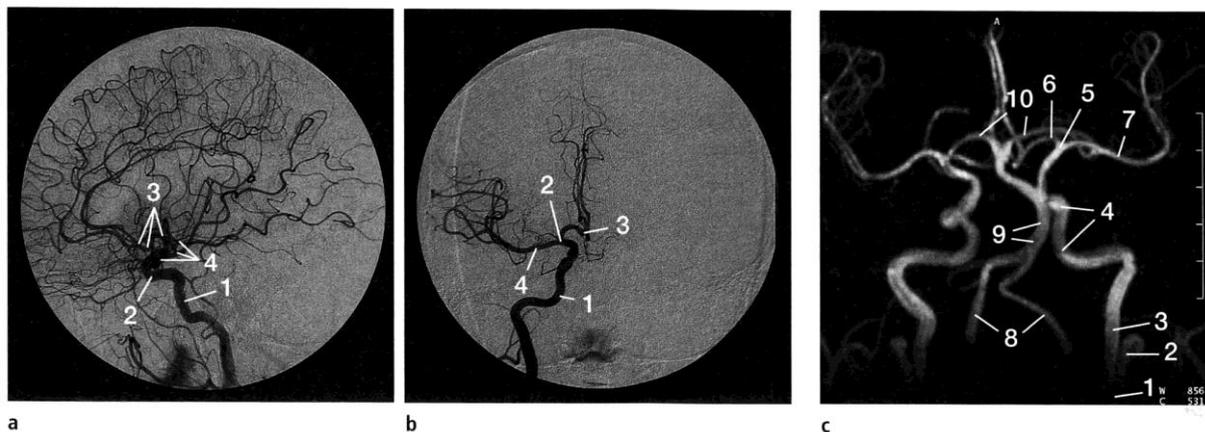


Abb. 11.13: Zerebrale Angiographie.

a Röntgen-Angiographie der rechten A. carotis communis in der Ansicht von lateral (lateral Strahlengang). Gezeigt ist eine Aufnahme in der sog. *arteriellen* Durchströmungsphase (in der sich daran anschließenden sog. *venösen* Phase hat das Kontrastmittel die Hirnarterien und das Kapillarnetz durchlaufen und befindet sich in den Hirnvenen; dies ist hier nicht dargestellt). **1** A. carotis interna mit **2** Karotissiphon, **3** A. cerebri anterior mit Aufgabelung in A. pericallosa und A. callosomarginalis (vgl. Abb. 11.8), **4** A. cerebri media mit Aufgabelung in ihre Endäste (vgl. Abb. 11.10).

b Röntgen-Angiographie der A. carotis communis in der Ansicht von ventral (sagittaler = a.p.-Strahlengang, arterielle Phase). **1** A. carotis interna, **2** Aufteilung der A. carotis interna in **3** A. cerebri anterior und **4** A. cerebri media.

c Magnetresonanztomographie (= Kernspintomographie)-Angiographie aller vier großen hirnersorgenden Arterien (Aa. carotides internae und Aa. vertebrales). Aus den nach Kontrastmittelinjektion gefertigten Kernspin-Schichtaufnahmen errechnet der Computer ein dreidimensionales Modell der hirnersorgenden Arterien, Ventrodorsalansicht. **1** A. carotis communis, **2** A. carotis externa, **3** A. carotis interna mit **4** Karotissiphon, **5** Aufteilung der A. carotis interna in **6** A. cerebri anterior und **7** A. cerebri media, **8** A. vertebralis beidseits, **9** A. basilaris mit Aufteilung in die **10** Aa. cerebri posteriores. (Bilder aus Universitätsklinikum Freiburg, Abt. Neuroradiologie, beigetragen von Prof. Dr. J. Klisch)

6.4 Hirnvenen und Sinus durae matris

Das gesamte venöse Blut aus dem Gehirnbereich sammelt sich über die Gehirnvenen in den venösen **Sinus durae matris**, von denen es fast ausschließlich über die **Vena jugularis interna** der oberen Hohlvene und damit dem Herzen zugeleitet wird.

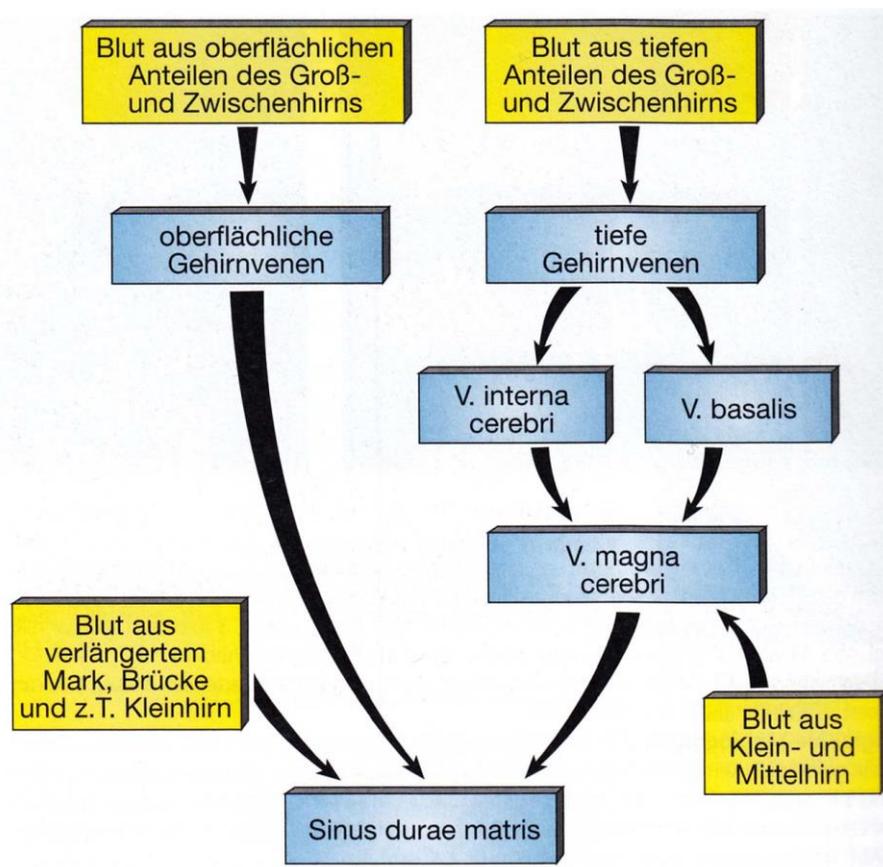
Ein kleiner Teil des Blutes verlässt den Gehirnschädelbereich auch über die Rückenmarksvenen und über die **Venae emissariae**, die eine Verbindung zwischen duralen Sinus, Diploëvenen und den Kopfhautvenen darstellen.

Wie fast alle Venen des Kopfes haben auch die Gehirnvenen keine Klappen. Zudem sind ihre zarten Wände frei von Muskelgewebe und meist hauchdünn. Man unterscheidet im Gehirn prinzipiell:

- **oberflächliche** Venen (*Venae cerebri superficiales*)
- **tiefe** Venen (*Venae cerebri profundae*)

Merke:

Die oberflächlichen und tiefen Venen unterscheiden sich dadurch, dass die oberflächlichen Venen direkt in die Sinus durae matris münden, während die tiefen Venen in die Vena magna cerebri (Galenii) ableiten, die dann ihrerseits in den Sinus rectus mündet.



Klinik: Sinus- und Hirnvenenthrombose

Wie alle anderen Venen des Körpers können auch die Gehirnvenen durch eine Thrombose verschlossen werden, einschließlich der großen duralen Sinus. Es resultiert daraus ein Blutrückstau in den betroffenen Gehirngebieten, derer venöser Abfluss behindert ist. Dieser Rückstau und der damit verbundene Druckanstieg führen sehr häufig wegen des zarten Wandaufbaus zu ihrem Zerreißen und damit zu intrazerebralen Blutungen.

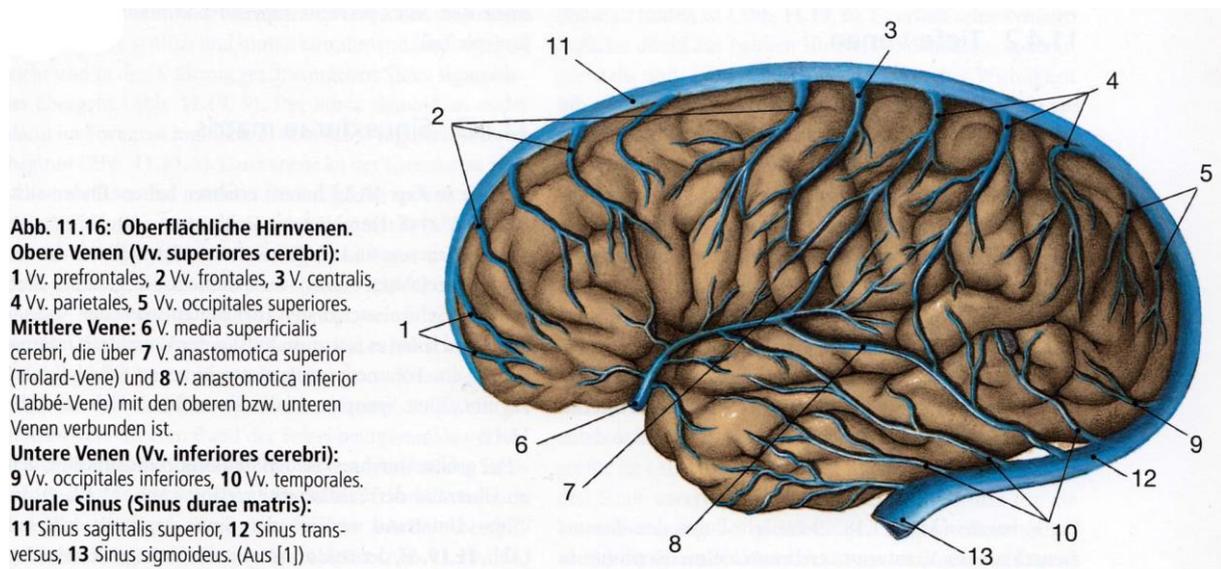
Die Symptomatik einer solchen Hirnvenenthrombose richtet sich nach den betroffenen Gehirnarealen, die unter Umständen eng umschrieben sein können (z.B. motorische Rinde oder Basalganglien mit Thalamus). Grundsätzlich kommt es bei einem Verschluss der Blutabflusswege zur Hirnschwellung, die in einer sogenannten Einklemmung des Gehirns enden kann, weshalb eine große Hirnvenenthrombose stets lebensbedrohlich ist.

6.4.1 Oberflächliche Venen

Die oberflächlichen Venen leiten das Blut aus den äußeren 1 – 2 cm des Großhirns (Kortex und darunter liegendes Marklager) ab. Bei diesen Venen unterscheidet man:

- **obere** Venen (*Venae superiores cerebri*)
- **mittlere** Venen (*Vena media superficialis cerebri*)
- **untere** Venen (*Venae inferiores cerebri*)

Die *Venae superiores cerebri*, von denen es etwa 8 – 12 pro Hemisphäre gibt, drainieren das Blut der oberen lateralen und medialen Hemisphäre (vor allem Frontal- und Parietallappen), verlaufen im Subarachnoidalraum zum Teil entlang großer Sulci des Endhirns und leiten das Blut direkt in den *Sinus sagittalis superior*. Von der Gehirnoberfläche aus müssen sie den Subarachnoidalraum queren und anschließend als sogenannte „**Brückenvenen**“ die Arachnoidea durchbohren, um dann vom (fiktiven) Subduralraum aus in den venösen Sinus zu enden.



Klinik: subdurale Blutungen

Diese Venen können selbst bei leichteren Schädeltraumen (die zu Scherkräften zwischen Dura und Arachnoidea führen) verletzt werden, wodurch es zu meist ausgedehnten Blutungen in den Subduralspalt, sogenannten subduralen Blutungen, kommt. Diese treten aufgrund der anatomischen Verhältnisse praktisch nur als venöse Blutung auf. Wenn die Blutung nicht spontan zum Stillstand kommt und auf diese Weise durch die entstehende Raumforderung in Form des sich ausweitenden Subduralraumes das Gehirn komprimiert wird, werden dort lokalisierte Zentren in ihrer Funktion beeinträchtigt.

Neben den meist bestehenden Kopfschmerzen treten dann auch neurologische Ausfallerscheinungen hinzu. Die Symptome können oft erst Wochen nach der eigentlichen Verletzung auftreten, da der Blutdruck in den betroffenen Gefäßen sehr gering ist, das Blut also nur langsam austritt und die Raumforderung daher nur langsam größer wird.

Die *Vena media superficialis cerebri* entsteht aus den *Venae anastomotica superior* und *inferior*, die die oberen und unteren Zerebralvenen miteinander verbinden, und leitet das Blut aus der Umgebung des *Sulcus lateralis* direkt in den *Sinus sphenoparietalis*.

Die *Venae inferiores cerebri* sammeln das Blut aus dem basalen Hemisphärenbereich (vor allem Temporal- und Okzipitallappen). Sie verlaufen ebenfalls an der Oberfläche der Hemisphäre und leiten das Blut in die großen duralen Blutleiter der Schädelbasis, vor allem in den *Sinus transversus*.

6.4.2 tiefe Venen

Die tiefen Venen des Gehirns münden in die ***Vena magna cerebri*** und drainieren vor allem das Blut aus den **subkortikalen Großhirnstrukturen** und dem **Zwischenhirn**. Man kann hier zwei große Gefäße hervorheben, in die alle anderen tiefen Venen einmünden und die sich dann beide zur unpaaren *Vena magna cerebri* vereinigen:

- ***Vena basilaris***
- ***Vena interna cerebri***

Während die *Vena basilaris* vorwiegend die ventralen subkortikalen Vorderhirnstrukturen drainiert, führt die *Vena interna cerebri* das Blut großer Bereiche der Basalganglien und des nach hinten angrenzenden Marklagers.

Die *Vena basilaris* entsteht durch den Zusammenschluss der *Vena anterior* und *Vena media profunda cerebri* (Verlauf dieser beiden Gefäße parallel zu *Arteria cerebri anterior* und *Arteria cerebri media*) im Bereich der *Substantia perforata anterior*. Sie zieht von dort an Hypothalamus und Mittelhirn vorbei bis zu oberem Ende der Vierhügelplatte. Die *Vena interna cerebri* entsteht im Bereich des *Foramen interventrikulare* zwischen Seitenventrikel und drittem Ventrikel vor allem durch die Vereinigung dreier Venen:

- *Vena choroidea superior* (Blut aus dem *Plexus choroideus* der Seitenventrikel und des dritten Ventrikels)
- *Vena septi pellucidi* (Blut aus dem Marklager des Frontal- und Parietallappens)
- *Vena thalamostriata superior* (Blut aus *Striatum*, *Pallidum* und Teilen des *Thalamus*)

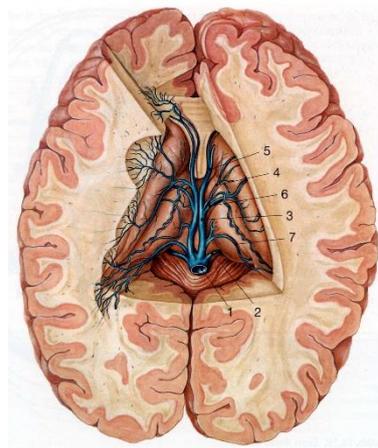
Die *Vena thalamostriata* ist gleichzeitig eine Grenzstruktur zwischen *Nucleus caudatus* und *Thalamus* und damit Landmarke zwischen Telencephalon und Diencephalon. Sie mündet nach einem kurzen, nach dorsal gerichteten Verlauf im den *Sinus rectus*.

Venöser Abfluss aus dem Hirnstamm und dem Kleinhirn

Während das Mittelhirn vorwiegend direkt in die *Vena magna cerebri* über die *Vena basilaris* ableitet, fließt venöses Blut aus dem *Pons* in den *Sinus petrosus*, *Sinus transversus* oder in die Kleinhirnvenen. Die *Medulla oblongata* drainiert sowohl über Rückenmarksvenen als auch über die benachbarten duralen Sinus. Das Kleinhirn schließlich leitet sein venöses Blut in die *Vena cerebri magna*, den *Sinus rectus* (oberer Teil) sowie den *Sinus petrosus superior* und *Sinus transversus* (unterer Teil).



Abb. 11.17: Subdurales Hämatom.
Kernspintomographie des Kopfes bei ausgehnter subduraler Blutung links (Blick auf die Schnittebene „von unten“). Das Hämatom (mit X bezeichnet) hebt sich weiß gegen das graue, komprimierte und nach innen verdrängte Hirnparenchym ab.
(Bild aus Universitätsklinikum Freiburg, Abt. Neuroradiologie, mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Schumacher)



6.4.3 Sinus durae matris

Zwischen zwei Durablättern Hohlräume, die als venöse Blutleiter dienen und als **Sinus durae matris** (kurz: **durale Sinus**) bezeichnet werden. Sie sammeln das gesamte Blut aus dem Gehirnbereich, den Hirnhäuten sowie der Augenhöhle und leiten es fast ausnahmslos der *Vena jugularis interna* zu, die im *Foramen jugulare* der hinteren Schädelgrube beginnt.

Der größte von ihnen ist der **Sinus sagittalis superior**, der im Oberrand der *Falx cerebri* verläuft. In ihrem Unterrand verläuft der **Sinus sagittalis inferior**, der zusammen mit der *Vena magna cerebri* im **Sinus rectus** endet. Dieser wiederum fließt im **Confluens sinuum** mit dem *Sinus sagittalis superior* zusammen. Vom Confluens aus richtet sich nach rechts und links der **Sinus transversus**, der die hintere Schädelgrube seitlich und hinten einrahmend, nach ventral zieht und in den S-förmig geschwungenen **Sinus sigmoideus** übergeht. Der *Sinus sigmoideus* endet dann im **Foramen jugulare**, in dem die *Vena jugularis interna* beginnt. Ganz vorne an der Grenzkante zwischen vorderer und mittlerer Schädelgrube verläuft entlang den Keilbeinflügeln der **Sinus sphenoparietalis**, der in den medial davon liegenden **Sinus cavernosus** mündet. Dieser *Sinus cavernosus* umgibt die in der *Sella turcica* liegende Hypophyse als ein großes venöses Hohlraumsystem. Von ihm aus existiert eine Verbindung zum **Sinus sigmoideus** über den **Sinus petrosus inferior**, die jeweils im oberen bzw. unteren Rand der Felsenbeinpyramide verlaufen. Ein weiterer Abfluss des *Sinus cavernosus* ist der sich dorsal der Sella auf dem Clivus nach kaudal ausbreitende **Plexus basilaris**, der sein Blut ebenfalls größtenteils ins *Foramen jugulare* ableitet.

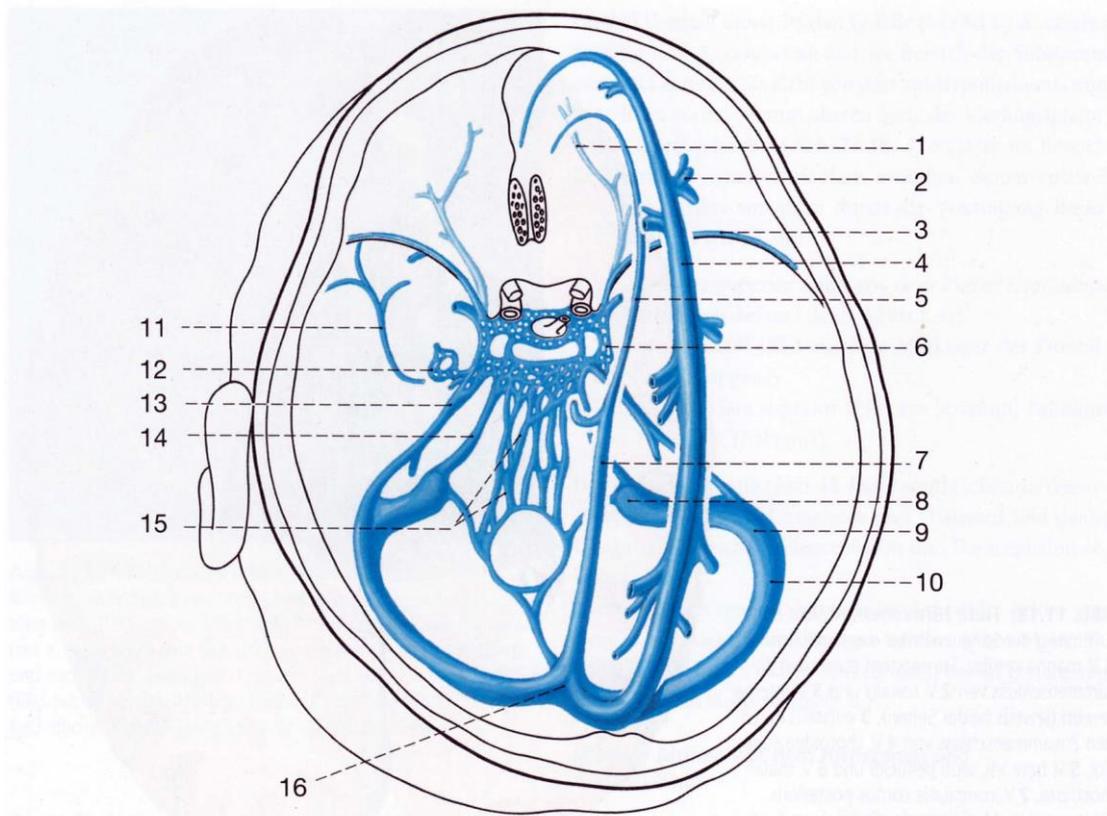


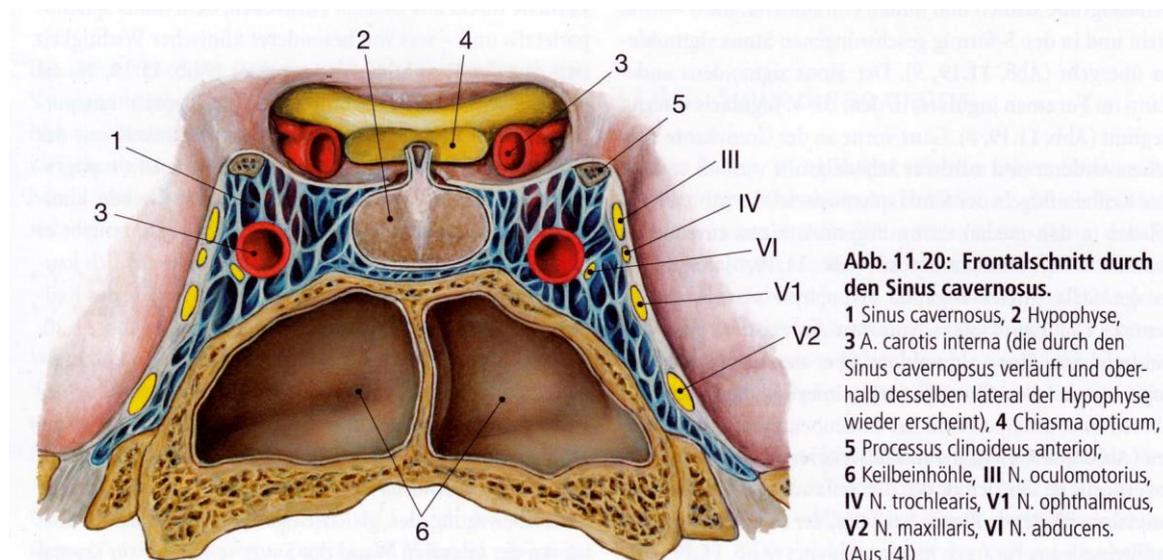
Abb. 11.19: Sinus durae matris.

1 V. ophthalmica superior, 2 Vv. superiores cerebri (abgeschnitten), 3 Sinus sphenoparietalis, 4 Sinus sagittalis superior, 5 Sinus sagittalis inferior, 6 Sinus cavernosus, 7 Sinus rectus, 8 Beginn der V. jugularis interna, 9 Sinus sigmoideus, 10 Sinus transversus, 11 V. meningea media, 12 Plexus venosus foraminis ovalis, 13 Sinus petrosus superior, 14 Sinus petrosus inferior, 15 Plexus basilaris, 16 Confluens sinuum. (Aus [1])

Topographie des Sinus cavernosus

Dieser Sinus ist ein gekammertes Hohlraumsystem, das, von zwei Durablättern umkleidet, links und rechts der Hypophyse zu finden ist. Er erhält seine venösen Zuflüsse direkt aus basalen Hirnvenen, dem *Sinus parietalis* und – was von besonderer klinischer Wichtigkeit ist – aus der **Vena ophthalmica superior**, die das venöse Blut aus dem *Bulbus oculi* (Augapfel) transportiert und im Bereich des medialen Augenwinkels mit der **Vena facialis** bzw. **Vena angularis** anastomosiert.

Die topographischen Beziehungen des *Sinus cavernosus* haben klinische Bedeutung. Wie beschrieben, umgibt er bilateral die Hypophyse, während sich kaudal von ihm, nur durch eine dünne Knochenplatte des Keilbeins getrennt, der *Sinus sphenoidalis* befindet. Der *Sinus cavernosus* wird von mehreren Leitungsbahnen durchzogen, wobei die *Arteria carotis interna* – die hier einen S-förmigen Verlauf aufweist (**Karotissiphon**) – die größte ist. Des Weiteren läuft mitten durch den *Sinus cavernosus* der *Nervus abducens* (VI), der für die Lateralbewegung des gleichseitigen Auges verantwortlich ist. An der **lateralen Wand** des Sinus verlaufen von kranial nach kaudal der *Nervus oculomotorius* (III), der *Nervus trochlearis* (IV) und der *Nervus ophthalmicus* (1. Trigeminusast, V1) und an der **laterokaudalen Wand** (weiter vorne dann am Boden) schließlich der *Nervus maxillaris* (2. Trigeminusast, V2).



Klinik: septische Sinus-cavernosus-Thrombose

Durch die Nähe des Sinus cavernosus zu den Nasennebenhöhlen, insbesondere zum Sinus sphenoidalis, kann eine eitrige Nasennebenhöhlenentzündung in den Sinus cavernosus durchbrechen und dort zu einer eitrigen (= septischen) Thrombose führen. Das Gleiche kann eintreten, wenn aus dem Gesichtsbereich über die Vena angularis und die Vena ophthalmica superior Erreger in den Sinus cavernosus gelangen (z.B. aus Furunkeln). Eine septische Thrombose im Sinus cavernosus führt zu einer Schädigung der dort verlaufenden Hirnnerven, wobei der Nervus abducens immer zuerst betroffen ist, da er direkt im und nicht nur am Rand des Sinus verläuft. Später können dann auch die anderen vier Hirnnerven (III, IV, V1 und V2) ausfallen. Des Weiteren kann es im Rahmen dieses Krankheitsbildes zu einer eitrigen Meningitis (= Hirnhautentzündung) kommen, da der Sinus cavernosus von Meningen umkleidet ist.

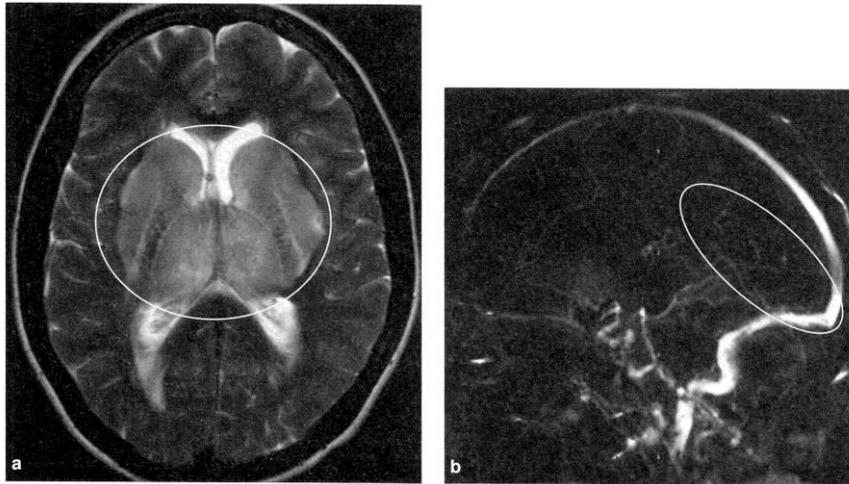


Abb. 11.15: Sinusthrombose und tiefe Hirnvenenthrombose.

a Kernspintomographie. Horizontalschnitt, sog. axiale Schnittebene.

b Magnetresonanztomographie (= Kernspintomographie)-Angiographie der Gehirnenen und Sinus. Ansicht von links-lateral (d.h. links im Bild ist vorne, rechts ist hinten) Thrombose des Sinus rectus und der in den Sinus mündenden tiefen Hirnvenen. Die pathologischen Veränderungen sind jeweils mit einem Kreis umrandet. Aufgrund des fehlenden venösen Abflusses entsteht ein venöser Stauungsinfarkt und eine Schwellung in den Basalganglien und im Thalamus beidseits. Deshalb hebt sich dieser Bereich in **a** bei dieser Untersuchungstechnik hell gegen das umgebende Hirngewebe ab. In **b** stellt sich der Sinus rectus nicht dar (zur Lage des Sinus siehe Abb. 11.19).

Symptomatik der Patientin: 18-jährige Frau mit Kopfschmerzen, Übelkeit, psychomotorischer Verlangsamung, im weiteren Verlauf durch Thalamusausfall zunehmender Bewusstseinsverlust.

(Bilder aus Universitätsklinikum Freiburg, Abt. Neuroradiologie, beigetragen von PD Dr. A. Berlis)

Klinik: Sinus-cavernosus-Fistel

Kommt es zu einer Verletzung der Arteria carotis interna in ihrem Verlauf im Sinus cavernosus (z.B. durch ein platzendes Aneurysma), strömt pulsierend mit arteriellem Druck Blut in den venösen Sinus, so dass eine arteriovenöse Fistel vorliegt. Über die Verbindung mit den Augenvenen erklärt sich das Leitsymptom dieses Krankheitsbildes: eine stark angeschwollene Augenhöhle mit wulstartigen, nicht mehr öffnungsfähigen Augenlidern und einem pulsierend nach vorne tretenden Augapfel.

Zusammenfassung

Blut-Hirn-Schranke

Das Blut der hirnvorsorgenden Gefäße ist vom Gehirngewebe durch die Blut-Hirn-Schranke getrennt. So werden Stoffe, die nicht in das ZNS gelangen sollen, am Durchtritt durch die Kapillarwand im ZNS-Bereich gehindert, während Sauerstoff, Nährstoffe und Metaboliten ausgetauscht werden können. Diese Barriere besteht aus drei Schichten: den Endothelien der Kapillaren, der darunter liegenden Basalmembran und den sich außen anlagernden Fortsätzen von Astrozyten.

Große zuführende Gefäße

Die Blutversorgung des Gehirns erfolgt im Wesentlichen aus den Arteria carotides internae und den Arteria vertebrales.

Arteria carotis interna

Sie entsteht bei der Teilung der Arteria carotis communis, zieht durch den Karotiskanal ins Schädelinnere, bildet dort im Sinus cavernosus den Karotissiphon und gibt danach die Arteria ophthalmica zum Auge ab. Anschließend teilt sie sich an der Hirnbasis in die Arteria cerebri anterior und die etwas stärkere Arteria cerebri media.

Das Versorgungsgebiet der Arteria carotis interna umfasst mit den drei genannten Endästen das gesamte Auge einschließlich der Retina, den vollständigen Frontal- und Parietallappen, den größten Teil

des Temporallappens und des Zwischenhirns sowie die Hypophyse. Wegen des sehr großen Versorgungsbereiches der Arteria carotis interna haben vollständige Verschlüsse dieses Gefäßes sehr weitreichende Folgen: von Lähmungen (motorischer Kortex) und Gefühlsstörungen (sensibler Kortex) auf der kontralateralen Körperseite, über Sprachstörungen (Broca- und/oder Wernicke-Zentrum) bis hin zu Sehverlusten oder gar Blindheit des betroffenen Auges (Retina).

Arteria vertebralis

Sie entspringt aus der Arteria subclavia, zieht entlang der Halswirbelsäule nach oben und tritt durch das Foramen magnum in die Schädelhöhle ein. Dort vereinigt sie sich am Unterrand des Pons mit der Arteria vertebralis der Gegenseite zur Arteria basilaris. Diese zieht ventral des Hirnstamms nach rostral und teilt sich in die beiden Arteriae cerebri posteriores, die den hinteren Teil des Groß- und Zwischenhirns versorgen. Zuvor gehen Äste zu Kleinhirn und Hirnstamm ab: Arteria inferior posterior cerebelli aus der Arteria vertebralis, Arteria inferior anterior cerebelli und Arteria superior cerebelli aus der Arteria basilaris sowie zahlreiche kleine mediale und laterale Äste direkt zur Versorgung von Medulla oblongata, Pons und Mesencephalon.

Das Versorgungsgebiet des vertebrobasilären Systems umfasst also den Okzipitallappen, Teile des Zwischenhirns, den gesamten Hirnstamm, das Kleinhirn, das Innenohr und den kranialen Teil des Rückenmarks. Eine Durchblutungsstörung dieser Arterien verursacht Symptome wie Schwindel (Vestibulariskerne, Innenohr), Doppelbilder und Blicklähmungen (Augenmuskelkerne und Hirnstammblickzentren), Gesichtsfeldausfälle (visueller Kortex), zerebelläre Ataxie (Kleinhirn) und Bewusstseinsstörungen (Formatio reticularis mit ARAS).

Circulus arteriosus cerebri (Willisii)

Karotis- und vertebrobasiläres Gefäßsystem sind über kleine Anastomosenerterien miteinander verbunden, die zusammen den Circulus arteriosus cerebri (Willisii) bilden: zwischen den beiden Arteriae cerebri anteriores die Arteria communicans anterior und zwischen der Arteria cerebri posterior und der Arteria carotis interna jeweils eine Arteria communicans posterior. Auf diese Weise sind die großen Gehirnarterien (Carotisstromgebiet und vertebrobasiläres Stromgebiet) untereinander und mit den Gefäßen der Gegenseite verbunden, so dass bei Minderdurchblutung eines Gefäßes die Durchblutung ggf. durch die anderen Gefäße kompensiert werden kann.

Große Gehirnarterien

Arteria cerebri anterior, Arteria cerebri media und Arteria cerebri posterior sind für die Versorgung des Groß- und Zwischenhirns zuständig.

Arteria cerebri anterior

Sie zieht rostral um das Balkenknief herum und verläuft dann oberhalb des Balkens an der medialen Hemisphäre im Interhemisphärenspalt zu ihren Versorgungsarealen, die im Wesentlichen die Medialseite des Frontal- und Parietallappens und den oberen Teil der Lateralseite des Frontal- und Parietallappens umfassen (präfrontaler Kortex, prämotorischer Kortex, Bein- und Fußregion des motorischen und sensiblen Kortex). Durchblutungsstörungen fallen vor allem durch Lähmungen und Empfindungsstörungen im Bein-/Fußbereich auf.

Arteria cerebri media

Sie setzt den Verlauf der Arteria carotis interna fort. Sie zieht medial des Temporallappens in die Fossa lateralis und breitet sich von dort vor allem an der lateralen Hemisphärenseite aus. Ihr Versorgungsgebiet umfasst die Basalganglien mit angrenzendem Thalamus, die Capsula interna mit den absteigenden kortikonukleären und kortikospinalen Bahnen (Durchblutungsstörungen in diesem Bereich sind sehr häufig!) und die lateralen Bereiche des Temporal-, Frontal- und Parietallappens (Arm-, Hand- und Gesichtsbereich) des Gyrus praecentralis und postcentralis sowie Broca- und Wernicke-Sprachzentrum in der dominanten Hemisphäre). Durchblutungsstörungen der Arteria cerebri media sind häufig und verursachen halbseitige kontralaterale Lähmungen (die aufgrund der Beteiligung der Capsula interna die

gesamte kontralaterale Körperhälfte betreffen können), Sensibilitätsstörungen und ggf. Sprachstörungen.

Arteria cerebri posterior

Sie zieht von ventrokaudal um das Mittelhirn herum zur medialen Hemisphärenseite und dort zum hinteren Bereich des Groß- und Zwischenhirns. Das Versorgungsgebiet umfasst den primären und sekundären visuellen Kortex mit dem Großteil der Sehbahn, den basalen Temporallappen und Teile des Zwischen- und Mittelhirns. Ein Verschluss der Arterie zeigt sich vor allem in Gesichtsfeldausfällen – wie homonyme Hemianopsie – und ggf. partiellen Thalamusausfallsymptomen.

Hirnvenen und Sinus durae matris

Das gesamte venöse Blut des Gehirns sammelt sich in den Sinus durae matris und wird von dort hauptsächlich über die Vena jugularis interna dem rechten Herzen zugeleitet.

Hirnvenen

Bei den duralen Sinus vorgeschalteten Gehirnvenen unterscheidet man oberflächliche und tiefe Venen. Während die oberflächlichen Gehirnvenen direkt in die Sinus durae matris münden, leiten die tiefen Gehirnvenen ihr Blut in die Vena magna cerebri ab, von wo aus es dann in den Sinus rectus gelangt.

Die oberflächlichen Gehirnvenen, die im Subarachnoidalraum zum Teil entlang den großen Sulci des Endhirns verlaufen, sammeln Blut aus dem Großhirnkortex und dem unmittelbar darunterliegenden Marklager. Um in die Sinus durae matris zu münden, müssen diese Venen als sogenannte „Brückenvenen“ durch den Spalt zwischen Dura und Arachnoidea hindurchziehen. Kommt es zwischen den beiden Hirnhäuten zu Scherkräften (z.B. bei Schädeltrauma), so reißen die oberflächlichen Gehirnvenen ein und es kommt zur Subarachnoidalblutung.

Die tiefen Gehirnvenen sammeln das Blut aus den subkortikal gelegenen Großhirnanteilen.

Bei Thrombosen der Gehirnvenen staut sich das Blut in die betroffenen Gehirnareale zurück, die dadurch geschädigt werden, was ebenso gefährlich werden kann wie eine arterielle Durchblutungsstörung.

Sinus durae matris

Die wichtigsten Sinus durae matris sind: Sinus sagittalis superior und Sinus sagittalis inferior (im Ober- bzw. Unterrand der Falx cerebri), Sinus rectus, Sinus transversus und Sinus sigmoideus (an der okzipitalen Schädelbasis verlaufend) und Sinus cavernosus (umgibt die Hypophyse; hat besondere klinische Bedeutung).

Der Sinus cavernosus bekommt venöse Zuflüsse unter anderem aus der Vena ophthalmica superior des Auges, die am medialen Augenwinkel mit Gesichtsvenen anastomosiert (Aufsteigen von Keimen des Gesichtsunterhautgewebes in den Sinus cavernosus möglich!). Durch den Sinus cavernosus ziehen die Arteria carotis interna und der Nervus abducens (VI), in seiner Seitenwand verlaufen der Nervus ophthalmicus (V1), Nervus oculomotorius (III), Nervus trochlearis (IV) und Nervus maxillaris (V2). Diese Leitungsbahnen können bei Sinus-cavernosus-Läsionen (Vereiterungen, Thrombosen) geschädigt werden.