



John P. J. Pinel
Paul Pauli

Biopsychologie

8., aktualisierte Auflage

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Informationen in diesem Produkt werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Herausgeber dankbar.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Die gewerbliche Nutzung der in diesem Produkt gezeigten Modelle und Arbeiten ist nicht zulässig. Fast alle Produktbezeichnungen und weitere Stichworte und sonstige Angaben, die in diesem Buch verwendet werden, sind als eingetragene Marken geschützt. Da es nicht möglich ist, in allen Fällen zeitnah zu ermitteln, ob ein Markenschutz besteht, wird das ©-Symbol in diesem Buch nicht verwendet.

Es konnten nicht alle Rechteinhaber von Abbildungen ermittelt werden. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt.

Authorized translation from the English language edition, entitled BIOPSYCHOLOGIE, 8th Edition, by PINEL, JOHN P.J., published by Pearson Education, Inc., publishing as Allyn and Bacon, Copyright © 2011 by Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

GERMAN language edition published by PEARSON DEUTSCHLAND GmbH, Copyright © 2012.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

13 12

ISBN 978-3-86894-145-6 (print); 978-3-86326-539-7 (PDF); 978-3-86326-008-8 (ePUB)

© 2012 by Pearson Studium,
ein Imprint der Pearson Deutschland GmbH
Martin-Kollar-Straße 10–12, D-81829 München
Alle Rechte vorbehalten
www.pearson-studium.de
A part of Pearson plc worldwide

Lektorat: Kathrin Mönch, kmoench@pearson.de
Übersetzung: Prof. Dr. Paul Pauli, Universität Würzburg
Korrektorat: Susanne Kossack, Troisdorf
Herstellung: Claudia Bäurle, cbaeurle@pearson.de
Satz: tiff.any GmbH, Berlin (www.tiff.any.de)
Einbandgestaltung: adesso 21, Thomas Arlt, München
Titelbild: Gettyimages Deutschland / Fotograf Dan Wilton
Druck und Verarbeitung: Print Consult GmbH
Printed in the Slovakia

Die Anatomie des Nervensystems

3

Die Systeme, Strukturen und Zellen unseres Nervensystems	58
3.1 Der allgemeine Aufbau des Nervensystems	58
Gliederung des Nervensystems	58
Hirnhäute, Ventrikel und Cerebrospinalflüssigkeit	60
Blut-Hirn-Schranke	60
3.2 Die Zellen des Nervensystems	62
Anatomie der Neurone	62
Gliazellen: Die vergessenen Zellen	64
3.3 Neuroanatomische Methoden und Richtungsbezeichnungen	66
Neuroanatomische Methoden	66
Richtungsbezeichnungen im Nervensystem von Wirbeltieren	68
3.4 Das Rückenmark	70
3.5 Die fünf Hauptabschnitte des Gehirns	71
3.6 Die Hauptstrukturen des Gehirns	72
Myelencephalon	72
Metencephalon	73
Mesencephalon	73
Diencephalon	73
Telencephalon	74

ÜBERBLICK

Die Systeme, Strukturen und Zellen unseres Nervensystems

Um die Funktionsweise des Gehirns zu verstehen, ist es zunächst erforderlich, seinen Aufbau zu verstehen – die Bezeichnungen und Lokalisationen seiner wichtigsten Regionen sowie ihre Verbindungen untereinander. Dieses Kapitel führt Sie in die Grundlagen der Anatomie des Gehirns ein.

Bevor Sie mit diesem Abschnitt beginnen, möchten wir uns für die mangelnde Voraussicht früher Neuroanatomien bei der Namensgebung neuroanatomischer Strukturen entschuldigen – aber wie konnten sie auch voraussehen, dass Latein und Griechisch, die Universalsprachen der Gebildeten ihrer Zeit, heutzutage keine universitären Pflichtfächer mehr sind! Um Ihnen das Verständnis zu erleichtern, ist die wörtliche deutsche Bedeutung der meisten neuroanatomischen Begriffe ebenfalls angeführt. Zudem wurde dieses Kapitel so kurz und prägnant wie möglich gehalten, nur die wichtigsten Strukturen werden vorgestellt. Der Lohn für die sorgfältige Bearbeitung dieses Kapitels ist ein grundlegendes Verständnis der Struktur des menschlichen Gehirns und ein neues Vokabular für Diskussionen darüber.

Der allgemeine Aufbau des Nervensystems

3.1

3.1.1 Gliederung des Nervensystems

Das Nervensystem der Wirbeltiere besteht aus zwei Teilen, dem zentralen Nervensystem und dem peripheren Nervensystem (siehe ► Abbildung 3.1). Grob gesprochen ist das **zentrale Nervensystem (ZNS)** der Teil des Nervensystems, der sich im Schädel und der Wirbelsäule befindet; das **periphere Nervensystem (PNS)** ist der Teil des Nervensystems, der sich außerhalb des Schädels und der Wirbelsäule befindet.

Das ZNS besteht aus zwei Teilen, dem Gehirn und dem Rückenmark. Das *Gehirn* (Encephalon) ist der Teil des ZNS, der sich im Schädel befindet; das *Rückenmark* (Medulla spinalis) ist der Teil, der sich in der Wirbelsäule befindet.

Das PNS besteht ebenfalls aus zwei Teilen, dem somatischen Nervensystem und dem autonomen Nervensystem. Das **somatische Nervensystem (SNS)** ist der Teil des PNS, der mit der äußeren Umwelt interagiert. Es besteht aus **afferenten Nerven**, die sensorische Signale von Haut, Skelettmuskeln, Gelenken, Augen, Ohren usw. zum ZNS leiten, und aus **efferenten Nerven**, die motorische Signale vom ZNS zu den Skelettmuskeln übertragen. Das **autonome Nervensystem**

(ANS) ist der Teil des PNS, der das innere Milieu des Körpers reguliert. Es besteht aus afferenten Nerven, die sensorische Signale von inneren Organen zum ZNS leiten, und aus efferenten Nerven, die motorische Signale vom ZNS zu den inneren Organen übertragen. Sie werden die Begriffe *afferent* und *efferent* nicht durcheinanderbringen, wenn Sie sich merken, dass die Efferenzen eher *Effekte* erzielen, da sie motorische Aktivitäten bedingen; die Afferenzen dagegen lösen eher *Affekte* aus, indem sie Signale zum ZNS leiten.

Das ANS besitzt zwei Arten efferenter Nerven: sympathische Nerven und parasympathische Nerven. Die **sympathischen Nerven** ziehen von *lumbalen* (Lendenwirbel) und *thorakalen* (Brustwirbel) Bereichen der Wirbelsäule in den Körper, die **parasympathischen Nerven** entspringen dem Gehirn und *sakralen* (Kreuzwirbel) Bereichen der Wirbelsäule (siehe hierzu Anhang I). Alle sympathischen und parasympathischen Nerven werden auf ihrem Weg zum Erfolgsorgan einmal umgeschaltet: Die sympathischen und parasympathischen Neurone gehen vom ZNS aus und legen nur den ersten Teil des Weges zum Erfolgsorgan zurück. Sie bilden synaptische Verbindungen (*Synap-*

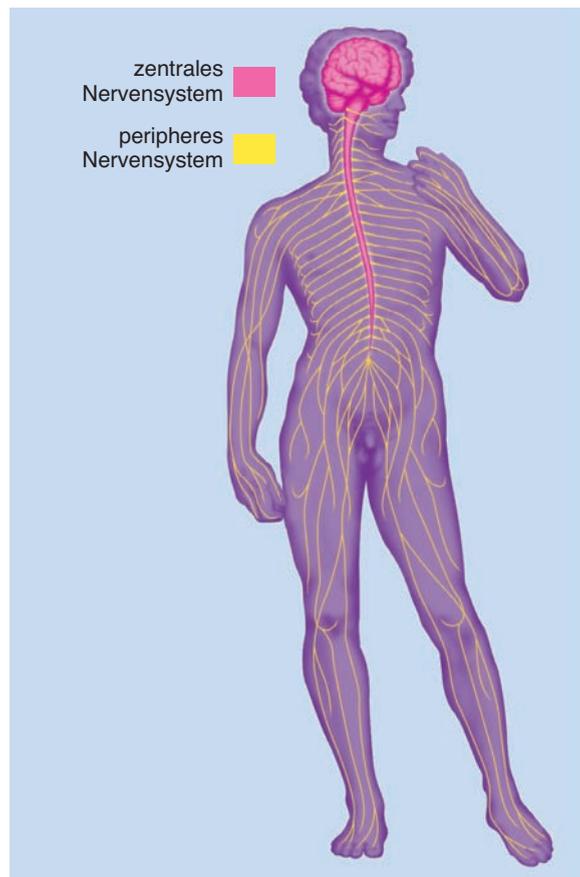


Abbildung 3.1: Das zentrale Nervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS) des Menschen. Das ZNS ist in Rot dargestellt, das PNS in Gelb. Beachten Sie, dass auch die Teile der peripheren Nerven, die innerhalb der Wirbelsäule liegen, als zum PNS gehörig betrachtet werden.

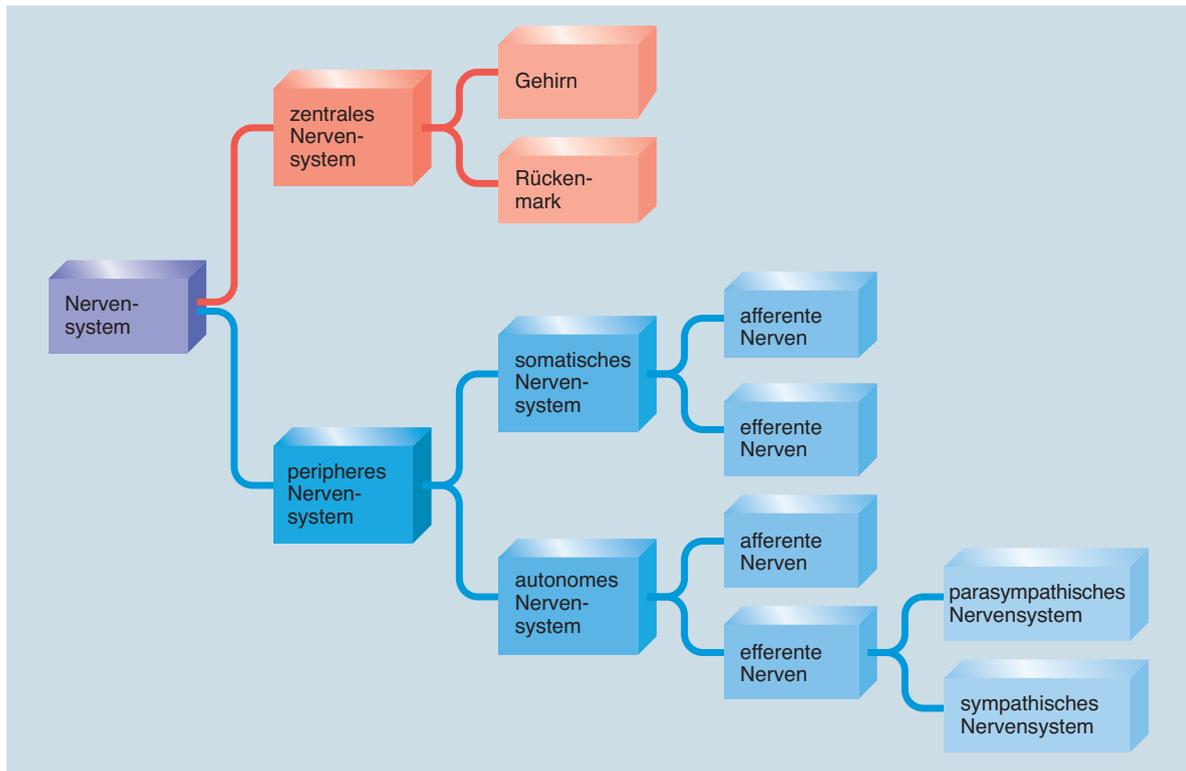


Abbildung 3.2: Die Hauptabteilungen des Nervensystems.

sen) mit anderen Neuronen, die das Signal die restliche Wegstrecke weiterleiten. Sympathisches und parasympathisches Nervensystem unterscheiden sich jedoch darin, dass die vom ZNS ausgehenden Projektionen sympathischer Neurone in einiger Entfernung von ihren Erfolgsorganen auf das zweite Neuron umgeschaltet werden, während die Projektionen parasympathischer Neurone in der Nähe ihrer Erfolgsorgane auf das zweite Neuron, das dann nur noch sehr kurz Signalwege überbrücken muss, umgeschaltet werden (siehe Anhang I).

Üblicherweise werden dem sympathischen und dem parasympathischen Nervensystem jeweils drei wichtige Funktionsprinzipien zugeschrieben: (1) Die sympathischen Nerven stimulieren, organisieren und mobilisieren Energiereserven in bedrohlichen Situationen, während parasympathische Nerven tätig werden, um Energie zu konservieren; (2) jedes autonome Erfolgsorgan erhält gegensätzlichen sympathischen und parasympathischen Input, seine Aktivität wird somit durch die relative Stärke der sympathischen und parasympathischen Aktivität kontrolliert; (3) durch den Sympathikus hervorgerufene Veränderungen weisen auf eine psychologische Aktivierung hin, während durch den Parasympathikus hervorgerufene Veränderungen psychologische Entspannung anzeigen. Diese Prinzipien sind zwar im Allgemeinen wahr und richtig, gleichwohl gibt es für jedes Prinzip auch bedeutsame Einschränkungen und Ausnahmen (siehe Guyenet, 2006 und Anhang II).

Die meisten Nerven des peripheren Nervensystems entspringen dem Rückenmark, aber es existieren zwölf „paarige“ Ausnahmen: die zwölf Paare von **Hirnnerven**, die direkt vom Gehirn ausgehen. Sie sind der Reihe nach von vorne nach hinten durchnummeriert. Zu den Hirnnerven gehören zwar auch rein sensorische Nerven, wie der *Nervus olfactorius* (I. Hirnnerv) und der *Nervus opticus* (II. Hirnnerv), aber die meisten beinhalten sowohl sensorische als auch motorische Fasern. Der längste Hirnnerv ist der *Nervus vagus* (X. Hirnnerv), dessen motorische und sensorische Fasern von und zu den Eingeweiden projizieren. Die zwölf paarweise angeordneten Hirnnerven und ihre Erfolgsorgane sind in Anhang III abgebildet, ihre Funktionen listet Anhang IV auf. Die autonomen motorischen Fasern der Hirnnerven gehören zum Parasympathikus.

Die Untersuchung der Funktionen der verschiedenen Hirnnerven dient den Neurologen normalerweise als Grundlage für eine Diagnose. Da die Funktion und Lokalisierung der Hirnnerven spezifisch sind, liefern Ausfälle von bestimmten Hirnnervenfunktionen zuverlässige Hinweise auf die Lage und das Ausmaß eines Tumors oder andere Gehirnpathologien.

► Abbildung 3.2 fasst die wichtigsten Teile des Nervensystems zusammen. Beachten Sie, dass das Nervensystem immer paarweise aufgebaut ist.

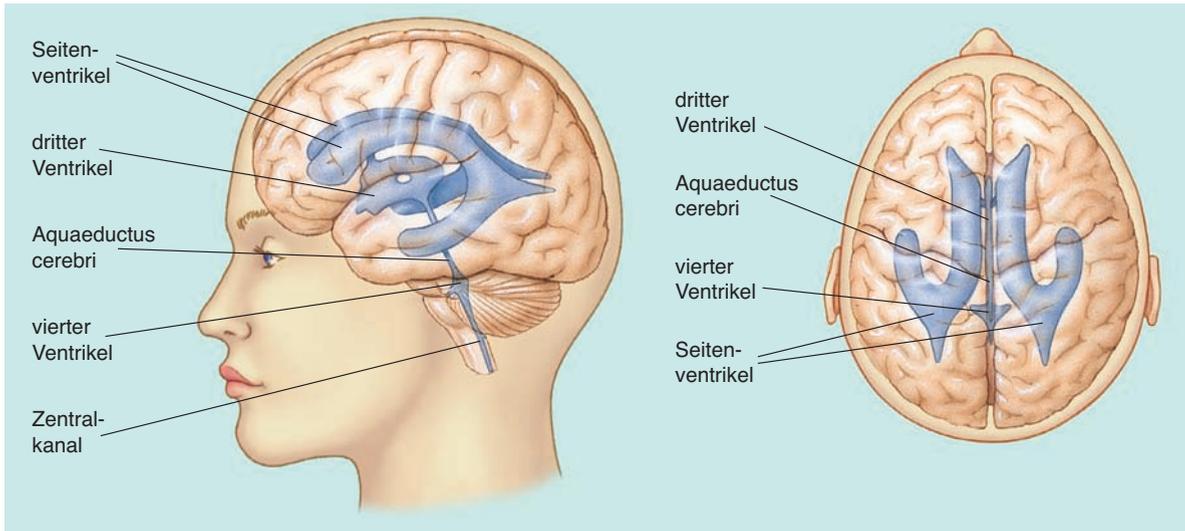


Abbildung 3.3: Die Ventrikel des Gehirns.

3.1.2 Hirnhäute, Ventrikel und Cerebrospinalflüssigkeit

Gehirn und Rückenmark (das ZNS) sind die am besten geschützten Organe des Körpers. Sie sind von Knochen umschlossen und von drei schützenden Membranen, den drei **Meningen** (Hirnhäuten), bedeckt. Die äußere *Meninx* (Singular von *Meningen*) ist eine harte Membran, genannt **Dura mater** (harte Mutter). Direkt innen an die Dura mater angrenzend folgen die feine **Arachnoidea mater** (spinnwebartige Membran) und der darunterliegende **Subarachnoidalraum**, der viele große Blutgefäße und Cerebrospinalflüssigkeit enthält. Daran schließt sich die innerste Hirnhaut, die **Pia mater** (fromme Mutter) an, die eng an der ZNS-Oberfläche anliegt.

Das ZNS wird zudem von der **Cerebrospinalflüssigkeit** (CSF, Liquor cerebrospinalis) geschützt, die den Subarachnoidalraum ausfüllt, die Ventrikel des Gehirns und den **Zentralkanal** des Rückenmarks, der sich über die gesamte Länge des Rückenmarks erstreckt. Die zerebralen **Ventrikel** sind die vier großen inneren Kammern des Gehirns: die zwei Seitenventrikel, der dritte Ventrikel und der vierte Ventrikel (siehe ► Abbildung 3.3). Der Subarachnoidalraum, der Zentralkanal und die Ventrikel des Gehirns sind über eine Reihe von Öffnungen miteinander verbunden und bilden somit ein einziges Reservoir.

Die Cerebrospinalflüssigkeit stützt und polstert das Gehirn. Diese Funktionen werden Patienten, bei denen ein Teil der Cerebrospinalflüssigkeit abgefließen ist, nur allzu bewusst. Sie leiden unter rasenden Kopfschmerzen und erleben jedes Mal, wenn sie ihren Kopf ruckartig bewegen, einen stechenden Schmerz.

Die Cerebrospinalflüssigkeit wird kontinuierlich vom **Plexus choroideus** produziert, einem Netzwerk aus Kapillaren (kleinen Blutgefäßen), das von der Aus-

kleidung der Pia mater in die Ventrikel hinausragt. Die überschüssige Cerebrospinalflüssigkeit wird vom Subarachnoidalraum aus kontinuierlich in große blutgefüllte Räume, die *Sinus durae matris* (venöse Blutleiter), absorbiert; diese verlaufen durch die Dura mater und münden in die großen Jugularvenen des Halses. ► Abbildung 3.4 veranschaulicht die Absorption der Cerebrospinalflüssigkeit aus dem Subarachnoidalraum in den großen Sinus, der oben am Gehirn zwischen den beiden zerebralen Hemisphären verläuft.

Gelegentlich wird der Fluss der Cerebrospinalflüssigkeit durch einen Tumor in der Nähe der engen Kanäle, die die Ventrikel verbinden, verhindert, z. B. in der Nähe des *Aquaeductus cerebri*, der den dritten und vierten Ventrikel verbindet. Die resultierende Flüssigkeitsansammlung führt dazu, dass sich die Wände der Ventrikel und somit das ganze Gehirn ausdehnen, was zu einem Zustand führt, der als *Hydrocephalus* (Wasserkopf) bezeichnet wird. Ein Hydrocephalus wird behandelt, indem die überschüssige Flüssigkeit aus den Ventrikeln abgeleitet und/oder die Blockade beseitigt wird.

Klinische Implikationen

3.1.3 Blut-Hirn-Schranke

Das Gehirn ist ein fein abgestimmtes elektrochemisches Organ, dessen Funktion durch bestimmte chemische Substanzen schwer gestört werden kann. Glücklicherweise gibt es einen Mechanismus, der den Übertritt vieler toxischer Substanzen aus dem Blut in das Gehirn verhindert: die **Blut-Hirn-Schranke** (siehe Benerjee & Bhat, 2007). Diese Schranke ergibt sich aus der speziellen Struktur der zerebralen Blutgefäße. Im übrigen Körper liegen die Zellen, die die Wände der Blutgefäße bilden, locker aneinander, daher können die meisten Moleküle leicht durch sie in das umlie-

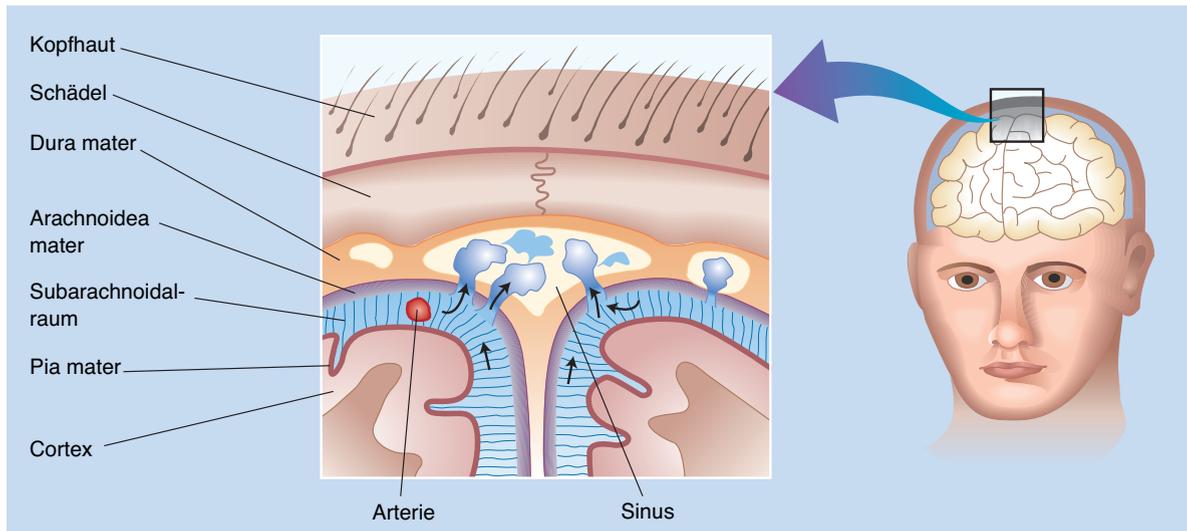


Abbildung 3.4: Die Absorption der Cerebrospinalflüssigkeit aus dem Subarachnoidalraum (blau) in einen großen Sinus. Beachten Sie die drei Meningen.

gende Gewebe übertreten. Im Gehirn dagegen liegen die Zellen der Blutgefäße eng aneinander und bilden somit für viele Moleküle eine Barriere, insbesondere für Proteine und andere große Moleküle (Abbot, Rönnbäck & Hannson, 2005). Das Ausmaß, in dem psychoaktive Substanzen (Psychopharmaka und Drogen) Gehirnprozesse beeinflussen, hängt von der Leichtigkeit ab, mit der sie die Blut-Hirn-Schranke durchdringen können (Löscher & Potschka, 2005).

Die Blut-Hirn-Schranke behindert aber nicht die Passage sämtlicher großer Moleküle. Einige Moleküle, die für die normale Gehirnfunktion kritisch sind (z. B. Glukose), werden aktiv durch die Wände der zerebralen Blutgefäße transportiert. Zudem erlauben die Wände der Blutgefäße in einigen Bereichen des Gehirns den unbehinderten Durchgang von bestimmten großen Molekülen.

Prüfen Sie Ihr Wissen...

Hier können Sie prüfen, ob Sie für den nächsten Abschnitt des Kapitels über die Zellen des Nervensystems bereit sind. Testen Sie Ihr Wissen, indem Sie die folgenden Textlücken mit den richtigen Begriffen füllen. Die richtigen Antworten finden Sie am Seitenende. Bevor Sie weiterlesen, sollten Sie die zu Ihren Fehlern oder Wissenslücken gehörenden Textpassagen wiederholen.

- 1 Gehirn und Rückenmark zusammen bilden das _____.
- 2 Das _____ ist der Teil des peripheren Nervensystems, der körperinterne Vorgänge reguliert.
- 3 Nerven, die Signale weg von einer Struktur, z. B. dem ZNS, leiten, nennt man _____.
- 4 Die Nerven des ANS, die von den Brust- und Lendenwirbeln des Rückenmarks ausgehen, nennt man _____.
- 5 _____ Nerven stimulieren, organisieren und mobilisieren Energie zur Bewältigung bedrohlicher Situationen.
- 6 Der Vagusnerv ist der längste _____.
- 7 Nervus olfactorius und Nervus opticus sind die einzigen rein sensorischen _____.
- 8 Die innerste Meninx ist die _____.
- 9 Die zentralen Ventrikel, der Subarachnoidalraum und der Zentralkanal sind mit _____ gefüllt.
- 10 Der Plexus choroideus produziert kontinuierlich _____.
- 11 Ein Tumor in der Nähe des _____ kann zu einem Hydrocephalus führen.
- 12 Der Übergang von vielen großen Molekülen aus dem Blut in das Gehirn wird von der _____ verhindert.

Lösungen

(1) Zentrale Nervensystem (ZNS), (2) Autonome Nervensystem (ANS), (3) efferente Nerven, (4) sympathische Nerven, (5) sympathische, (6) Hirnnerv, (7) Hirnnerven, (8) Pia mater, (9) Cerebrospinalflüssigkeit, (10) Cerebrospinalflüssigkeit, (11) Aquaeductus cerebri, (12) Blut-Hirn-Schranke

Die Zellen des Nervensystems

3.2

Die meisten Zellen des Nervensystems gehören zu einem von zwei grundsätzlich verschiedenen Zelltypen: Neuronen und Gliazellen. Ihre Anatomie wird in den beiden folgenden Abschnitten beschrieben.

3.2.1 Anatomie der Neurone

Neurone sind Zellen, die auf Empfang, Weiterleitung und Übertragung elektrochemischer Signale spezialisiert sind. Obwohl sie in einer unglaublichen Vielfalt an Formen und Größen vorkommen (siehe Nelson, Sugino & Hempel, 2006), ähneln viele denjenigen in ► Abbildung 3.5 und ► Abbildung 3.6.

Äußere Anatomie der Neurone In Abbildung 3.5 sind die wichtigsten äußeren Merkmale eines typischen Neurons dargestellt. Der Einfachheit halber beinhaltet die Abbildung auch die Definitionen der relevanten äußeren Merkmale.

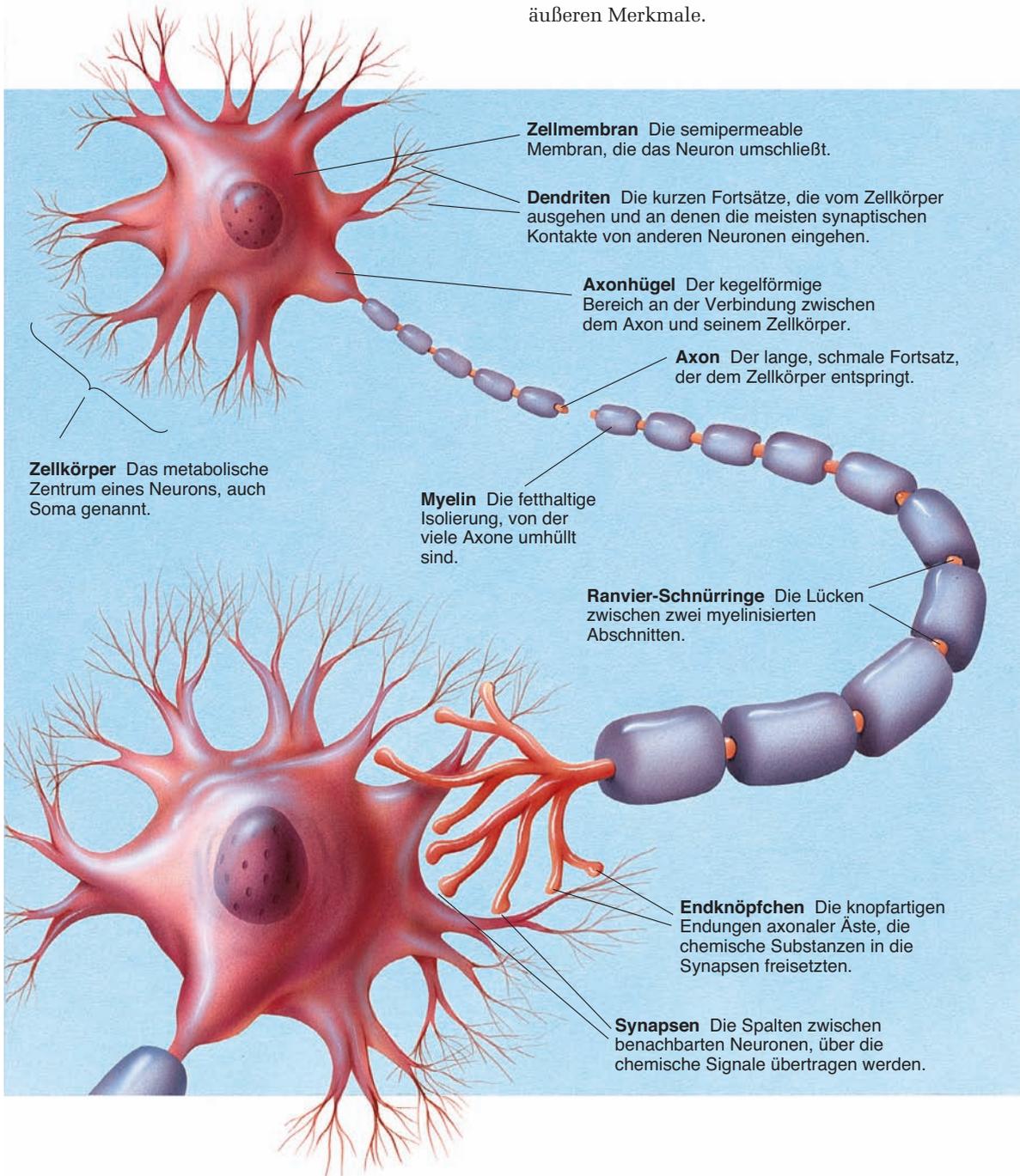


Abbildung 3.5: Die wichtigsten äußeren Merkmale eines typischen Neurons.

Innere Anatomie der Neurone Abbildung 3.6 zeigt die wichtigsten inneren Merkmale eines typischen Neurons und die Definitionen dieser Merkmale.

Zellmembran der Neurone Die neuronale Zellmembran besteht aus einer *Lipid-Doppelschicht* (Piomelli, Astarita & Rapaka, 2007) – zwei Schichten von Fettmole-

külen (siehe ► Abbildung 3.7). In die Lipid-Doppelschicht sind zahlreiche Proteinmoleküle eingebettet, die die Basis für viele der funktionalen Eigenschaften der Zellmembran bilden. Einige Membranproteine sind *Kanalproteine*, durch die bestimmte Moleküle passieren können; andere sind *Signalproteine*, die ein

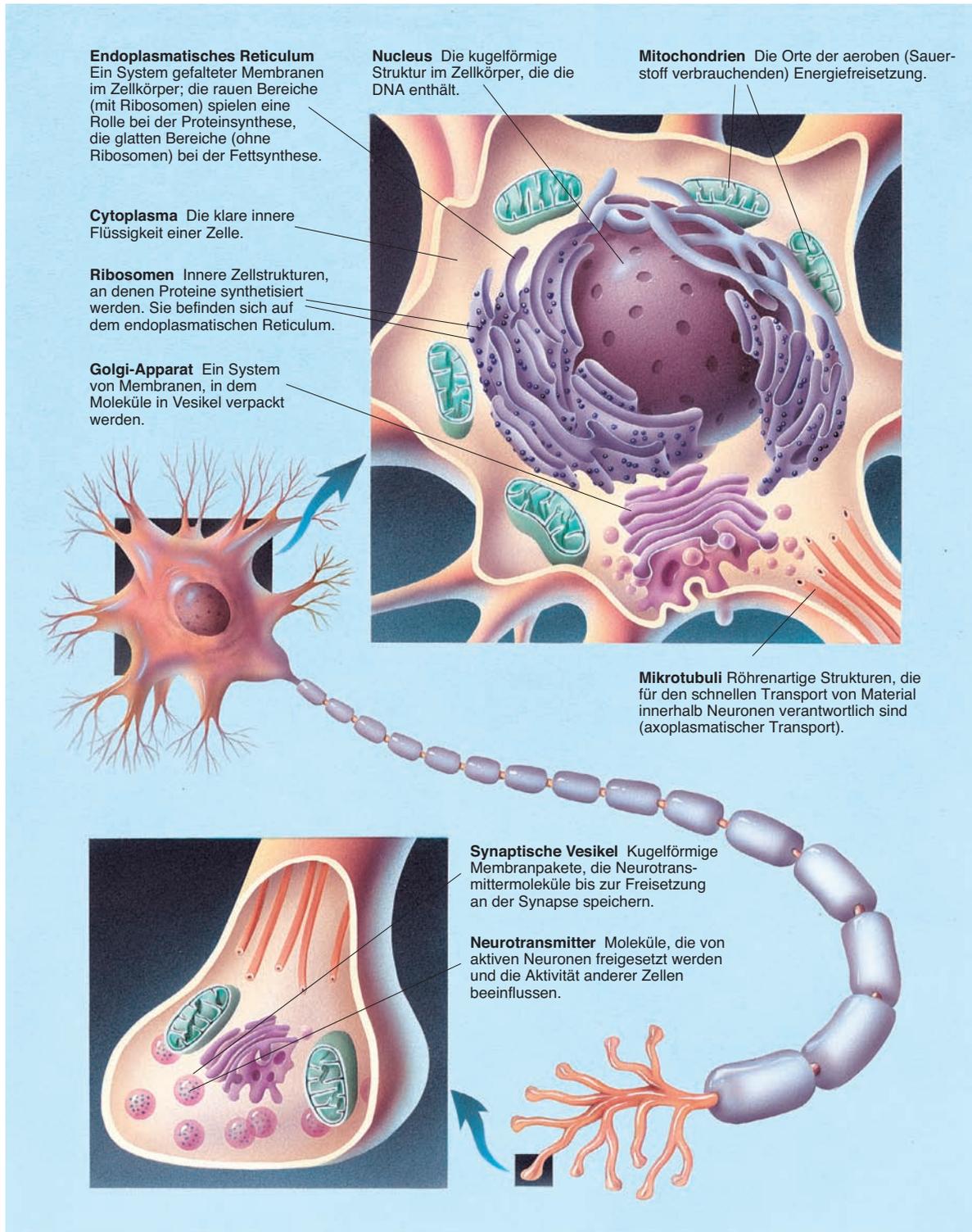


Abbildung 3.6: Die wichtigsten inneren Merkmale eines typischen Neurons.

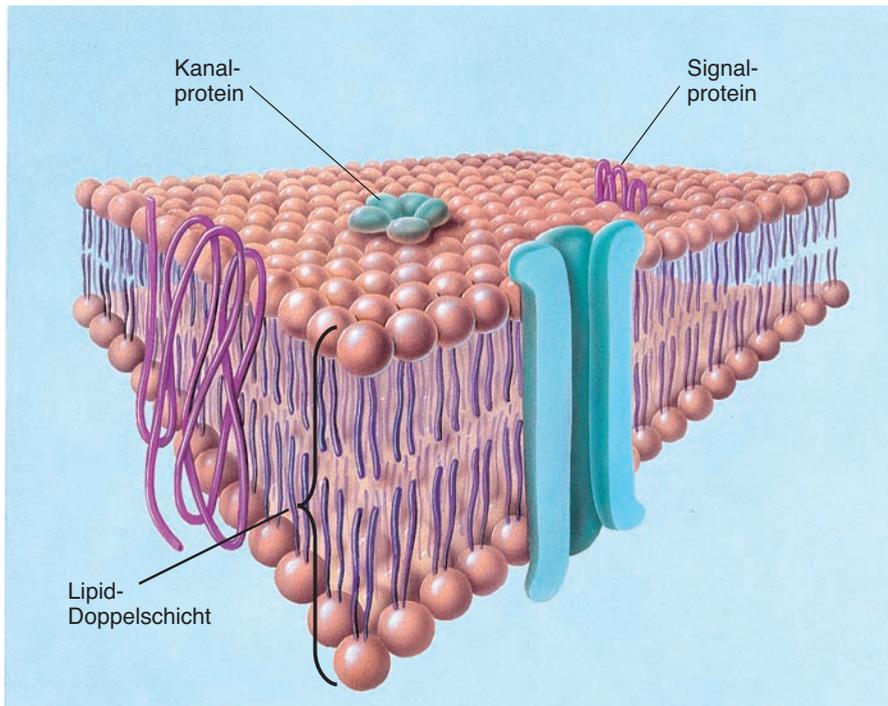


Abbildung 3.7: Die Zellmembran ist eine Lipid-Doppelschicht, in die Signalproteine und Kanalproteine eingebettet sind.

Signal ins Innere des Neurons übertragen, wenn bestimmte Moleküle an der Außenseite der Membran an sie binden.

Klassen von Neuronen ► Abbildung 3.8 zeigt, wie Neurone basierend auf der Zahl ihrer Fortsätze (d.h. Projektionen), die ihrem Zellkörper entspringen, klassifiziert werden. Ein Neuron mit mehr als zwei Fortsätzen, die von seinem Zellkörper ausgehen, wird als **multipolares Neuron** klassifiziert. Die meisten Neurone sind multipolar. Ein Neuron mit einem Fortsatz wird als **unipolares Neuron** bezeichnet, und ein Neuron mit zwei Fortsätzen als **bipolares Neuron**. Neurone mit kurzen Axonen oder überhaupt keinen Axonen werden **Interneurone** genannt. Ihre Funktion besteht darin, die neuronale Aktivität innerhalb einer einzigen Gehirnstruktur zu integrieren und nicht darin, Signale von einer Struktur zu einer anderen weiterzuleiten.

Neuroanatomische Strukturen von Neuronen Im Allgemeinen gibt es im Nervensystem zwei Arten fester neuronaler Strukturen: diejenigen, die hauptsächlich aus Zellkörpern bestehen, und diejenigen, die hauptsächlich aus Axonen bestehen. Im ZNS wird eine Anhäufung von Zellkörpern als **Nucleus** (deutsch „Kern“ oder „Kerngebiet“; Plural *Nuclei*) bezeichnet, im PNS als **Ganglion** (Plural *Ganglien*). (Beachten Sie, dass das Wort *Nucleus* zwei verschiedene neuroanatomische Bedeutungen hat; zum einen bezeichnet es eine Struktur im Zellkörper eines Neurons, zum anderen eine Anhäufung von Zellkörpern im ZNS.) Im ZNS wird ein Bündel von Axonen als **Trakt** (lateinisch „Tractus“) oder **Bahn** bezeichnet, im PNS als **Nerv**.

3.2.2 Gliazellen: Die vergessenen Zellen

Neurone sind nicht die einzigen Zellen im Nervensystem, es gibt noch die Gliazellen, die auch überall im ZNS vorkommen. Die häufigen Berichte, dass die Zahl der **Gliazellen** die Zahl der Neurone um 10 zu 1 übersteigt, wird durch neuere Forschung angezweifelt. Die Gliazellen dominieren zwar in einigen Gehirngebieten, insgesamt ist die Anzahl dieser beiden Zellarten im Gehirn aber ungefähr gleich (Azevedo et al., 2009).

Es gibt verschiedene Arten von Gliazellen (Fields & Stevens-Graham, 2002). **Oligodendrozyten** beispielsweise sind Gliazellen mit Fortsätzen, die sich um die Axone einiger Neurone des ZNS wickeln. Diese Fortsätze sind reich an *Myelin*, einer fetthaltigen, isolierenden Substanz. Die Myelinscheiden, die sie bilden, erhöhen Geschwindigkeit und Effizienz der axonalen Leitung. Eine vergleichbare Funktion wird im PNS von den **Schwann-Zellen** erfüllt, einer zweiten Klasse von Gliazellen. Oligodendrozyten und Schwann-Zellen sind in ► Abbildung 3.9 dargestellt. Beachten Sie, dass jede Schwann-Zelle ein Myelinsegment bildet, während jeder Oligodendrocyt mehrere Myelinsegmente bildet, oft an mehr als einem Axon. Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen Schwann-Zellen und Oligodendrozyten besteht darin, dass nur Schwann-Zellen die axonale *Regeneration* (Nachwachsen des Axons) nach Verletzungen lenken können. Dies ist der Grund, warum die neuronale Regeneration im Nervensystem der Säugetiere auf das PNS beschränkt ist.

Mikroglia bilden die dritte Klasse der Gliazellen. Ihr Name ist dadurch begründet, dass sie kleiner sind als die anderen Gliazellen. Sie reagieren auf Verletzun-

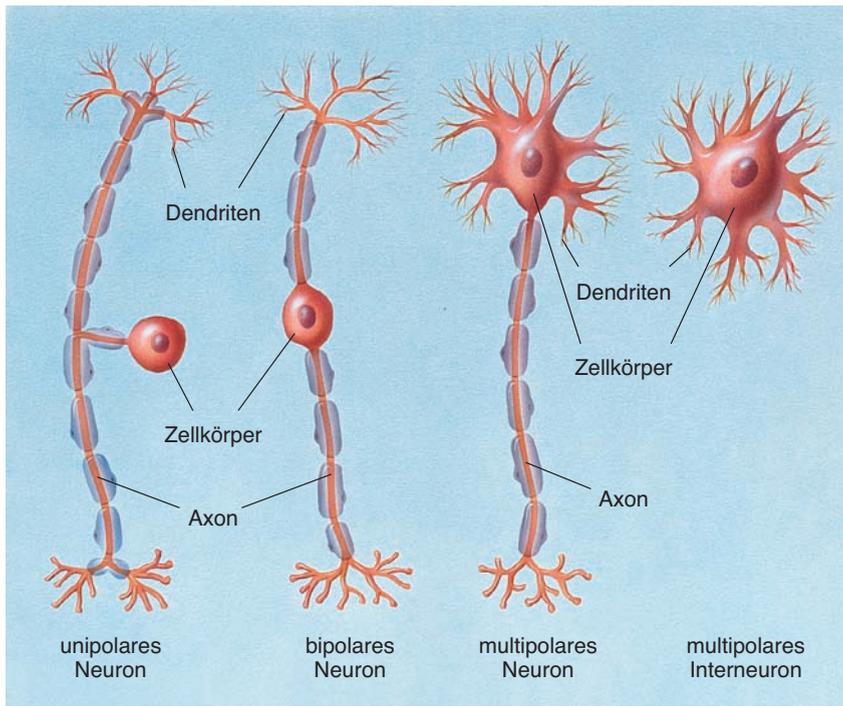


Abbildung 3.8: Ein unipolares Neuron, ein bipolares Neuron, ein multipolares Neuron und ein Interneuron.

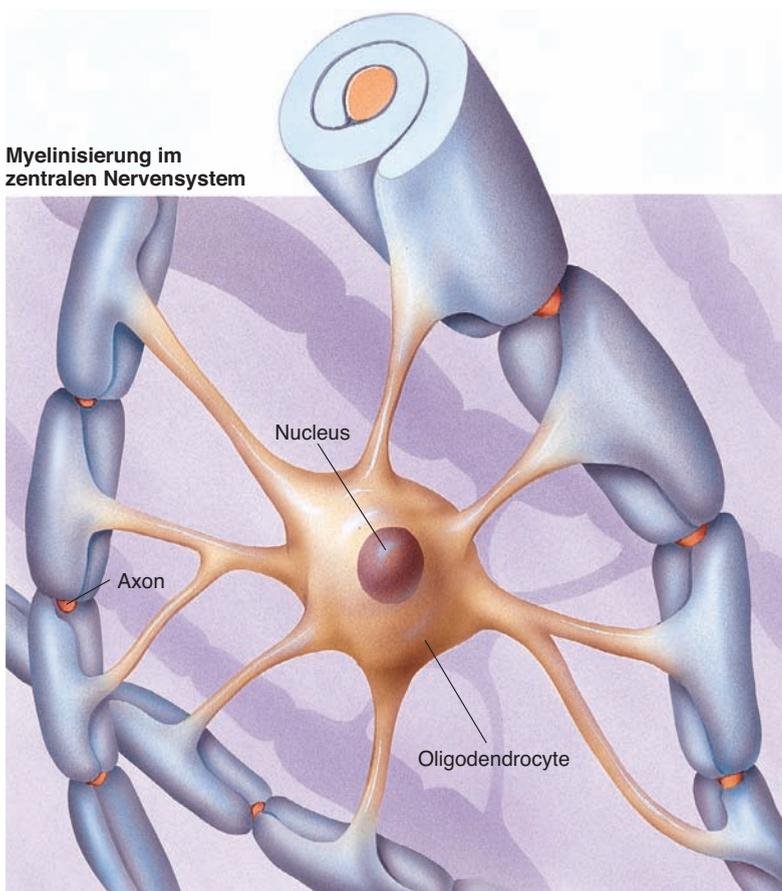


Abbildung 3.9: Die Myelinisierung von Axonen im ZNS durch einen Oligodendrozyten und die Myelinisierung von Axonen im PNS durch Schwann-Zellen.

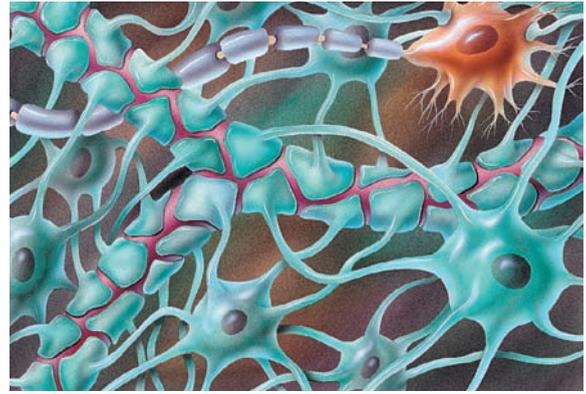
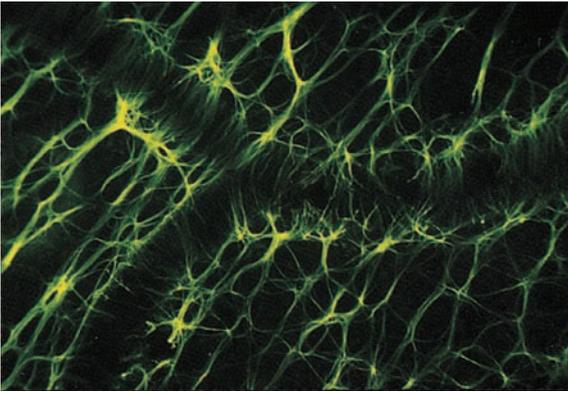


Abbildung 3.10: Astrozyten besitzen eine Affinität für Blutgefäße, und sie bilden eine unterstützende Matrix für Neurone. Die Fotografie auf der linken Seite zeigt einen Schnitt von Gehirngewebe, bei dem die Gliazellen gefärbt wurden; die ungefärbten Kanäle sind Blutgefäße. Die Illustration auf der rechten Seite ist eine dreidimensionale Darstellung des Bildes auf der linken Seite und zeigt, wie die Fortsätze der Astrozyten Blutgefäße bedecken und Neurone kontaktieren. Vergleichen Sie die beiden Abbildungen. (Fotografie mit freundlicher Genehmigung von T. Chan-Ling)

gen oder Krankheiten, indem sie tote oder absterbende Neurone verschlingen und Entzündungsprozesse auslösen (Nimmerjahn, Kirchhoff & Helmchen, 2005).

Astrozyten (oder Astroglia) bilden die vierte Klasse von Gliazellen. Sie sind die größten und häufigsten Gliazellen und werden so genannt, weil sie sternförmig sind (*astron* bedeutet „Stern“). Die armähnlichen Fortsätze einiger Astrozyten ummanteln die Außenflächen der Blutgefäße, die durch das Gehirn verlaufen, und sie nehmen Kontakt mit den Zellkörpern von Neuronen auf (siehe ► Abbildung 3.10). Diese besonderen Astrozyten spielen eine Rolle dabei, einigen chemischen Verbindungen die Passage vom Blut in die ZNS-Neuronen zu erlauben und anderen nicht (Abbott, Rönnbäck & Hansson, 2006).

Jahrzehntelang nahm man – ausgehend von Rudolf Virchow, der die Gliazellen entdeckt und benannt hat – an, dass die Funktion der Astrozyten hauptsächlich darin besteht, Neurone zu unterstützen, d.h. sie mit Nährstoffen zu versorgen, Abfallprodukte zu beseitigen und ein physisches Grundgerüst zu bilden, das die neuronalen Schaltkreise zusammenhält (*glia* bedeutet „Kleber“). Diese eingeschränkte Sicht auf die Rolle der Astrozyten änderte sich aber schnell, vor allem aufgrund einer Reihe bemerkenswerter Untersuchungen (siehe Kettenmann & Verkhratsky, 2008). Beispielsweise konnte nachgewiesen werden, dass Astrozyten Signale an Neurone senden und von diesen erhalten. Andere Gliazellen wiederum kontrollieren die Bildung und Erhaltung von Synapsen zwischen Neuronen (Jourdain et al., 2007), modulieren neuronale Aktivität (Rouach et al., 2008), erhalten die Funktion der Axone (Edgar & Nave, 2009) und partizipieren an Glia-Netzwerken (Giaume et al., 2010). Nachdem diese erste Welle an Entdeckungen die Astrozyten und auch andere Gliazellen in den Fokus der neurowissenschaftlichen Forschung gerückt hat, wird die Bedeutung der Gliazellen für die Funktion des

Nervensystems zunehmend anerkannt. Aktuell wird ihre Rolle bei verschiedenen Erkrankungen des Nervensystems intensiv erforscht.

Neuroanatomische Methoden und Richtungsbezeichnungen

3.3

In diesem Abschnitt werden zuerst einige der am häufigsten verwendeten neuroanatomischen Verfahren beschrieben. Anschließend wird das System der Richtungsbezeichnungen erläutert, das Neuroanatomern zur Beschreibung der Lokalisation von Strukturen im Nervensystem von Wirbeltieren verwenden.

3.3.1 Neuroanatomische Methoden

Das Hauptproblem bei der Visualisierung von Neuronen ist nicht, dass sie so klein sind. Das Hauptproblem besteht darin, dass die Neurone so eng beieinander liegen und ihre Axone und Dendriten so kompliziert verflochten sind, dass ein Blick durch ein Mikroskop auf ein unpräpariertes neuronales Gewebe so gut wie nichts von ihnen enthüllt. Der Schlüssel zur Erforschung der Neuroanatomie liegt darin, neuronales Gewebe auf verschiedene Arten so zu präparieren, dass dadurch ein klarer Blick auf jeweils einen anderen Aspekt der neuronalen Struktur ermöglicht wird, und dann das durch die verschiedenen Präparationen erlangte Wissen zu kombinieren. Dieser Punkt wird anhand der folgenden weitverbreiteten neuroanatomischen Verfahren illustriert.

Golgi-Färbung Der größte Segen, den die Neurowissenschaften in ihren Anfängen erfahren haben, bestand in

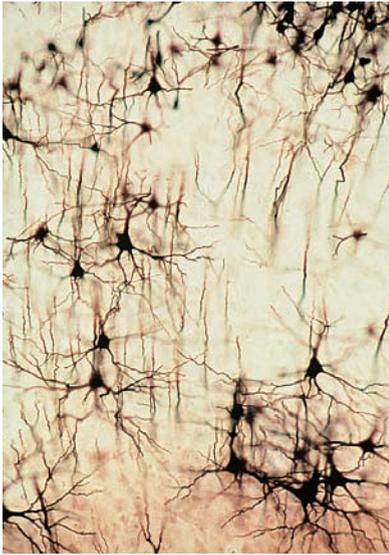


Abbildung 3.11: Neuronales Gewebe, das mit der Golgi-Methode gefärbt wurde. Da nur einige wenige Neurone den Farbstoff aufnehmen, erscheinen ihre Silhouetten äußerst detailliert. Innere Details bleiben hingegen unsichtbar. Gewöhnlich wird nur ein Teil eines Neurons in einem einzigen Schnitt erfasst. (Ed Reschke & Peter Arnold, Inc.)

der zufälligen Entdeckung der Golgi-Färbung in den frühen 70er Jahren des 19. Jahrhunderts durch Camillo Golgi, einen italienischen Arzt (siehe Rapport, 2005). Golgi machte eine erstaunliche Entdeckung, als er versuchte die Meningen zu färben, indem er ein Stück neuronales Gewebe Kaliumdichromat und Silbernitrat aussetzte. Aus einem ihm unbekanntem Grund drang das Silberchromat, das durch die chemische Reaktion der beiden von Golgi verwendeten Substanzen entstand, in nur wenige Neurone in jedem Gewebeschnitt ein und färbte diese völlig schwarz. Diese Entdeckung machte es zum ersten Mal möglich, einzelne Neurone zu sehen – wenn auch nur als Silhouette (siehe ► Abbildung 3.11). Golgi-Färbungen werden normalerweise benutzt, wenn es um die Untersuchung der Gesamtform von Neuronen geht.

Nissl-Färbung Obwohl die Golgi-Färbung einen ausgezeichneten Blick auf die Silhouette der wenigen Neurone ermöglicht, die den Farbstoff aufnehmen, liefert sie keine Hinweise auf die Zahl der Neurone in einem Gebiet oder die Art ihres inneren Aufbaus. Das erste neuronale Färbungsverfahren, das diese Einschränkungen überwand, war die **Nissl-Färbung**, die von Franz Nissl, einem deutschen Psychiater in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts entwickelt wurde. Am häufigsten wird beim Nissl-Verfahren der Farbstoff Kresylviolett verwendet. Kresylviolett und auch andere Nissl-Farbstoffe dringen in alle Zellen in einem Schnitt ein, lagern sich aber praktisch nur an Strukturen in den Zellkörpern der Neurone an. Diese Methode wird also oft eingesetzt, um die Zahl der Zellkörper in einem Gebiet durch Zählung der Nissl-gefärbten Punkte zu schätzen. ► Abbildung 3.12 zeigt die Foto-

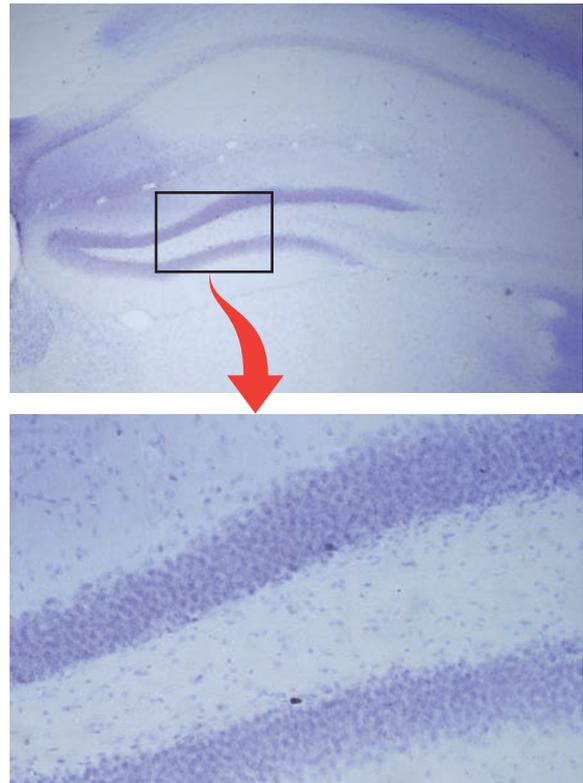


Abbildung 3.12: Die Nissl-Färbung. Abgebildet ist ein Nissl-gefärbter Koronarschnitt durch den Hippocampus einer Ratte in zwei Vergrößerungsstufen zur Veranschaulichung der Verwendungsmöglichkeiten der Nissl-Färbung. Bei einer geringen Vergrößerung (obere Abbildung) ermöglichen Nissl-Färbungen eine grobe Anzeige der Gehirnstrukturen, indem Gruppen neuronaler Zellkörper selektiv gefärbt werden – in diesem Fall die Schichten des Hippocampus. Bei einer stärkeren Vergrößerung (untere Abbildung) können einzelne neuronale Zellkörper unterschieden und somit die Zahl der Neurone in verschiedenen Gebieten gezählt werden. (Mit freundlicher Genehmigung von Carl Ernst und Brian Christie, Department of Psychology, University of British Columbia)

grafie eines Hirngewebeschnitts, der mit Kresylviolett gefärbt wurde. Beachten Sie, dass nur die Schichten, die hauptsächlich aus Zellkörpern von Neuronen bestehen, dicht gefärbt sind.

Elektronenmikroskopie Die **Elektronenmikroskopie** ist ein neuroanatomisches Verfahren, mit dem Informationen über Details der neuronalen Struktur gewonnen werden können. Aufgrund der Beschaffenheit des Lichts kann die Lichtmikroskopie nur eine ca. 1500-fache Vergrößerung erreichen. Diese Vergrößerung reicht nicht aus, um feine anatomische Details von Neuronen aufzulösen. Ein größerer Detailreichtum lässt sich erreichen, indem dünne Gewebeschnitte zuerst mit einer Elektronen absorbierenden Substanz, die von verschiedenen Teilen der Neurone in unterschiedlichem Ausmaß aufgenommen wird, beschichtet werden. Anschließend wird ein Elektronenstrahl durch das Gewebe auf einen fotografischen Film gelenkt. Das Ergebnis ist eine *elektronenmikroskopische Aufnahme*, die neuronale Strukturen mit

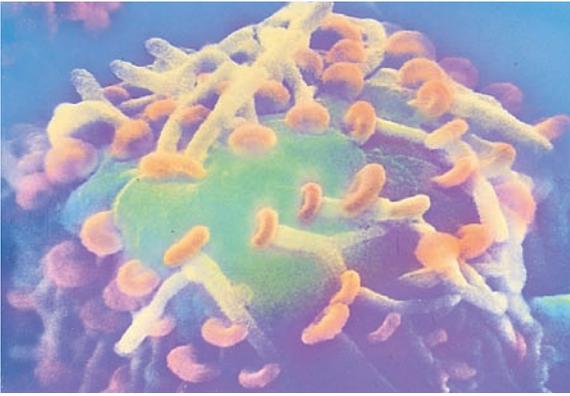


Abbildung 3.13: Eine farbverstärkte Aufnahme mittels Rasterelektronenmikroskop vom Zellkörper eines Neurons (grün), der mit Endknöpfchen (orange) besetzt ist. Jedes Neuron erhält eine Vielzahl synaptischer Kontakte. (Mit freundlicher Genehmigung von Jerold J. M. Chun, M. D., Ph. D.)

einem ausgezeichneten Detailreichtum wiedergibt (siehe ► *Abbildung 3.13*). Ein *Rasterelektronenmikroskop* liefert spektakuläre dreidimensionale elektronenmikroskopische Aufnahmen, kann allerdings nicht dieselbe Vergrößerung wie ein herkömmliches Elektronenmikroskop erreichen. Die Stärke der Elektronenmikroskopie beinhaltet aber auch einen Nachteil: Da die Bilder so detailliert sind, ist es schwer, allgemeine Aspekte der neuroanatomischen Struktur zu visualisieren.

Neuroanatomische Tracing-Techniken Es lassen sich zwei Arten neuroanatomischer Tracing-Techniken unterscheiden: anterogrades (vorwärts) und retrogrades (rückwärts) Tracing. *Anterograde Tracing-Methoden* werden verwendet, wenn ein Forscher den Weg der Axone ausgehend von den Zellkörpern in einem bestimmten Gebiet verfolgen will. Der Forscher injiziert in das Gebiet eine der verschiedenen chemischen Substanzen, die gewöhnlich als anterograde Tracer ver-

wendet werden. Diese werden von den Zellkörpern aufgenommen und dann entlang der Axone zu den Endknöpfchen transportiert. Nach einigen Tagen wird das Gehirn entnommen und in Schnitte zerlegt. Diese Schnitte werden anschließend behandelt, um die Verteilung der injizierten Substanz zu identifizieren. *Retrograde Tracing-Methoden* arbeiten umgekehrt. Sie werden verwendet, wenn ein Forscher den Verlauf der Axone verfolgen möchte, die in ein bestimmtes Gebiet projizieren. Der Forscher injiziert eine der chemischen Substanzen, die gewöhnlich als retrograde Tracer verwendet werden. Diese werden von den Endknöpfchen aufgenommen und anschließend entlang der Axone zurück zu ihren Zellkörpern transportiert. Nach einigen Tagen wird das Gehirn entnommen und in Schnitte zerlegt; diese Schnitte werden anschließend behandelt, um die Verteilung der injizierten Substanzen zu identifizieren.

3.3.2 Richtungsbezeichnungen im Nervensystem von Wirbeltieren

Der Plan einer unbekanntenen Stadt kann ohne ein System von Richtungskoordinaten, wie Norden-Süden und Osten-Westen, nur schwer erschlossen werden. Das Gleiche gilt für das Nervensystem. Daher müssen Sie, bevor Sie mehr über die Lage der wichtigsten Strukturen des Nervensystems erfahren, zuerst das dreidimensionale System von Richtungskoordinaten verstehen, das Neuroanatomen verwenden.

Richtungsangaben werden im Nervensystem von Wirbeltieren auf die Orientierung der Wirbelsäule bezogen. Für die meisten Wirbeltiere ist dieses System unkompliziert, wie ► *Abbildung 3.14* zu entnehmen ist. Das Nervensystem der Wirbeltiere hat drei Achsen: anterior-posterior, dorsal-ventral und medial-lateral. (1) **Anterior** bedeutet in Richtung der Nase (das ante-

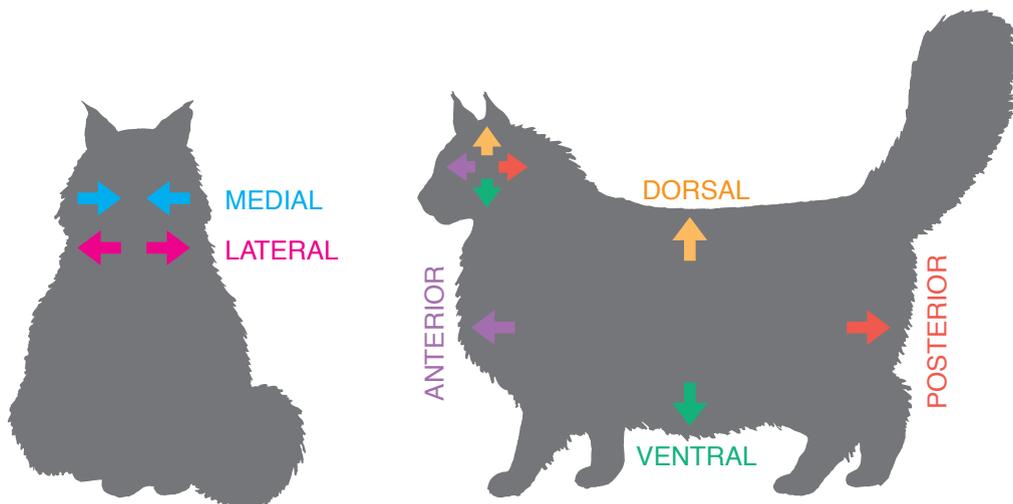


Abbildung 3.14: Anatomische Richtungsbezeichnungen bei Wirbeltieren.

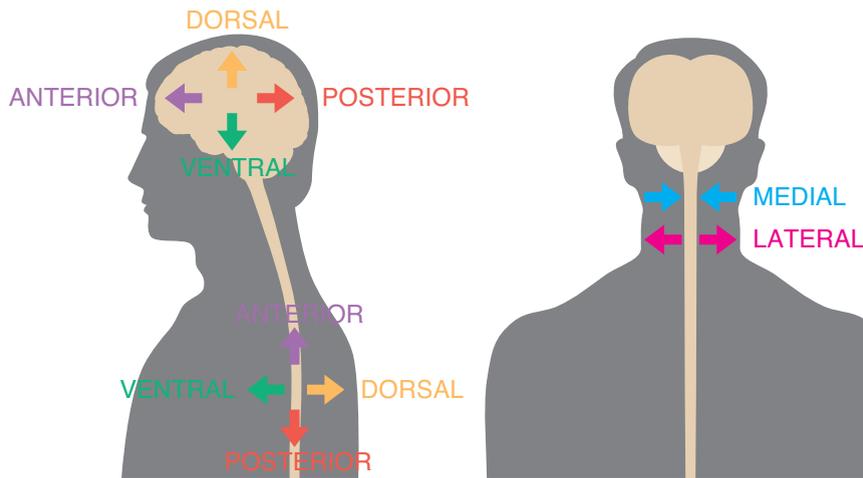


Abbildung 3.15: Anatomische Richtungsbezeichnungen beim Menschen. Beachten Sie, dass aufgrund des aufrechten Gangs die Richtungsbezeichnungen bei den zerebralen Hemisphären im Vergleich zu denjenigen bei der Wirbelsäule und beim Hirnstamm um 90° rotiert sind.

riore Ende) und **posterior** in Richtung des Schwanzes (das posteriore Ende); diese Richtungsangaben werden manchmal auch als *rostral* und *kaudal* bezeichnet. (2) **Dorsal** bedeutet in Richtung des Rückens oder der Kopfoberseite (die dorsale Seite) und **ventral** bedeutet in Richtung des Brustkorbs oder der Kopfunterseite (die ventrale Seite). (3) **Medial** bedeutet in Richtung der Mittellinie des Körpers und **lateral** weg von der Mittellinie in Richtung der seitlichen Körperoberfläche.

Wir Menschen verkomplizieren dieses einfache Drei-Achsen-System der neuroanatomischen Richtungsbezeichnungen, da wir auf unseren Hinterbeinen stehen und gehen. Dadurch wird die Orientierung unserer zerebralen Hemisphären in Bezug auf unsere Wirbelsäule und unseren Hirnstamm verändert.

Sie können Verwirrung vermeiden, wenn Sie sich merken, dass das System der neuroanatomischen Richtungsbezeichnungen bei Wirbeltieren für den Gebrauch am Menschen so angepasst wurde, dass die Begriffe zur Beschreibung der Lage verschiedener Körperoberflächen beim Menschen und bei nicht-aufrechtgehenden Wirbeltieren gleich gehalten wurden. Beachten Sie besonders, dass beim Menschen sowohl die Kopfoberseite als auch der Rücken als *dorsal* bezeichnet werden, obwohl sie in unterschiedliche Richtungen weisen. Zudem werden sowohl die Kopfunterseite als auch die Vorderseite des Körpers als *ventral* bezeichnet, obwohl sie in unterschiedliche Richtungen zeigen (siehe ► Abbildung 3.15). Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, werden häufig die Begriffe **superior** und **inferior** zur Bezeichnung der Ober- und Unterseite des Primatenkopfes verwendet.

Proximal und distal sind zwei weitere, häufig verwendete Richtungsbezeichnungen. Im Allgemeinen bedeutet *proximal* „nah“ und *distal* „entfernt“ vom Körperzentrum. Beispielsweise liegen die Schultern proximal bezogen auf die Ellbogen, und die Ellbogen

liegen proximal bezogen auf die Finger. Spezifisch bezogen auf das PNS bedeutet *proximal* näher am ZNS und *distal* weiter weg vom ZNS.

Auf den nächsten Seiten finden Sie Zeichnungen von Hirnschnitten, die in einer von drei Ebenen vorgenommen wurden: **Horizontalschnitte**, **Frontalschnitte** (auch als *Koronarschnitte* bezeichnet) und **Sagittalschnitte**. Diese drei Ebenen sind in ► Abbildung 3.16 veranschaulicht. Ein Schnitt durch die Mitte des Gehirns, also zwischen den beiden Hemisphären, ist ein *Medianschnitt* bzw. ein *Mediansagittalschnitt*. Ein Schnitt in einem rechten Winkel zu einer beliebigen langen, schmalen Struktur, wie z. B. dem Rückenmark oder einem Nerv, wird als **Querschnitt** bezeichnet.

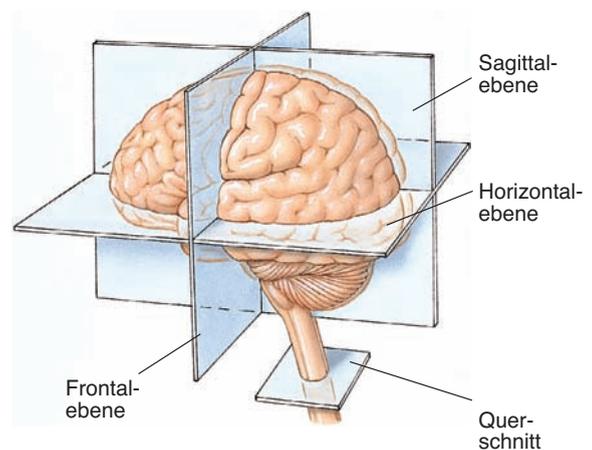


Abbildung 3.16: Horizontale, frontale (koronare) und sagittale Ebenen im menschlichen Gehirn sowie ein Querschnitt durch das Rückenmark.

Prüfen Sie Ihr Wissen...

Hier bietet sich eine gute Gelegenheit, Ihren Wissensstand zu überprüfen. Sind Sie bereit, um mit den Strukturen des Gehirns und des Rückenmarks weiterzumachen? Überprüfen Sie Ihr Wissen aus dem vorangegangenen Abschnitt, indem Sie eine Linie zwischen

1. Myelin
2. Soma
3. Axonhügel
4. Golgi-Apparat
5. Ribosomen
6. Synapse
7. Gliazellen
8. Synaptische Vesikel
9. Astrozyten
10. Ganglien
11. Oligodendrozyten
12. Golgi-Färbung
13. dorsal
14. posterior

jedem Begriff auf der linken Seite und der dazu passenden Aussage auf der rechten Seite ziehen. Die richtigen Antworten finden Sie am Seitenende. Bevor Sie weiter lesen, sollten Sie aber die zu Ihren Fehlern oder Wissenslücken gehörenden Textpassagen wiederholen.

- a. Spalt
- b. kegelförmige Region
- c. Membrane, in den Moleküle verpackt werden
- d. fetthaltige Substanz
- e. Speicher von Neurotransmitter
- f. Zellkörper
- g. Ansammlungen von Nervenzellen im PNS
- h. Proteinsynthese
- i. die vergessenen Zellen
- j. ZNS Myelinisator
- k. schwarz
- l. größten Gliazellen
- m. kaudal
- n. Kopfoberseite

Das Rückenmark

3.4

In den ersten drei Abschnitten dieses Kapitels haben Sie die Teile des Nervensystems kennengelernt, aus denen es aufgebaut ist, die Zelle und einige neuroanatomische Verfahren zu ihrer Erforschung. Der folgende Abschnitt konzentriert sich auf das Rückenmark, die beiden letzten Abschnitte auf das Gehirn.

Im Querschnitt wird deutlich, dass das Rückenmark aus zwei verschiedenen Bereichen besteht (siehe ► Abbildung 3.17): einem inneren H-förmigen Kern grauer Substanz und einem umgebenden Bereich weißer Substanz. *Graue Substanz* besteht hauptsächlich aus Zellkörpern und unmyelinisierten Interneuronen, während *weiße Substanz* hauptsächlich aus myelinisierten Axonen besteht. (Das Myelin gibt der weißen Substanz ihren glänzenden weißen Schimmer.) Die zwei dorsalen Arme der grauen Substanz des Rückenmarks werden als **Hinterhörner** oder **Dorsalhörner** und die zwei ventralen Arme als **Vorderhörner** oder **Ventralthörner** bezeichnet.

Paare von *Spinalnerven*, jeweils einer links und einer rechts, ziehen auf 31 Ebenen ins Rückenmark. Kurz vor dem Erreichen des Rückenmarks teilt sich jeder der 62 Spinalnerven, und seine Axone ziehen über die *Hinterwurzel* oder die *Vorderwurzel* ins Rückenmark.

Alle Hinterwurzelaxone, egal ob somatische oder autonome, gehören zu sensorischen (afferenten) unipolaren Neuronen, deren Zellkörper unmittelbar außerhalb des Rückenmarks gemeinsam die *Hinterwurzelganglien* bilden (siehe Abbildung 3.17). Viele ihrer synaptischen Endknöpfchen befinden sich in den Hinterhörnern der grauen Substanz des Rückenmarks (siehe ► Abbildung 3.18). Im Gegensatz dazu sind die Neurone der Vorderwurzel motorische (efferente) multipolare Neurone, deren Zellkörper in den Vorder-

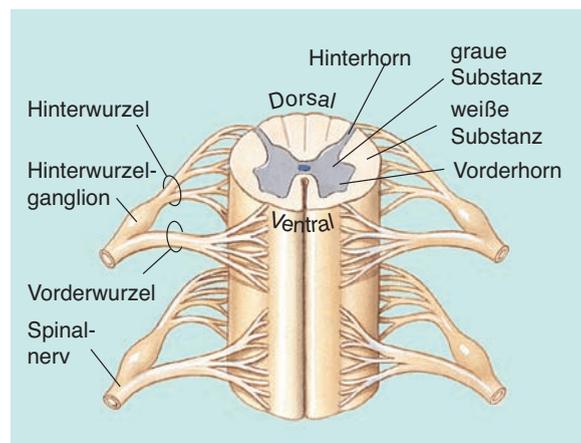


Abbildung 3.17: Die dorsalen und ventralen Wurzeln des Rückenmarks.

Lösungen

1) l, 2) f, 3) b, 4) c, 5) h, 6) a, 7) i, 8) e, 9) l, 10) g, 11) j, 12) k, 13) n, 14) m

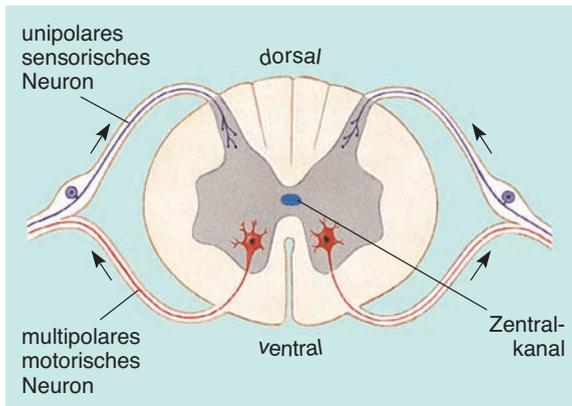


Abbildung 3.18: Ein schematischer Querschnitt durch das Rückenmark.

hörnern liegen. Diejenigen, die Teil des SNS sind, projizieren zu den Skelettmuskeln; diejenigen, die Teil des ANS sind, projizieren zu Ganglien, wo sie synaptische Verbindungen zu Neuronen haben, die wiederum zu den inneren Organen projizieren (Herz, Magen, Leber etc.); siehe Anhang I.

Die fünf Hauptabschnitte des Gehirns

3.5

Ein notwendiger Schritt beim Zurechtfinden in einer unbekanntem Stadt besteht darin, die Namen und Orte wichtiger Stadtteile oder Bezirke zu lernen. Diejenigen, die dieses Wissen besitzen, können ohne Probleme zu jedem beliebigen Ziel in der Stadt eine grobe Ortsangabe machen. In diesem Abschnitt werden Ihnen aus eben diesem Grund die fünf „Bezirke“ oder Abschnitte des Gehirns vorgestellt.

Um zu verstehen, warum man annimmt, dass das Gehirn aus fünf Abschnitten besteht, ist es notwendig,

seine frühe Entwicklung zu verstehen (siehe Holland, 2009). Beim Wirbeltier-Embryo ist das Gewebe, das sich irgendwann zum ZNS entwickelt, ein flüssigkeitsgefülltes Rohr, das **Neuralrohr** (siehe ► Abbildung 3.19). Die ersten Anzeichen des sich entwickelnden Gehirns sind drei Verdickungen, Hirnbläschen genannt, die am anterioren Ende des Rohrs entstehen. Diese drei Verdickungen entwickeln sich irgendwann zum *Proencephalon* (Vorderhirn), *Mesencephalon* (Mittelhirn) und *Rhombencephalon* (Rautenhirn).

Vor der Geburt werden aus den drei anfänglichen Verdickungen des Neuralrohrs fünf (siehe Abbildung 3.19). Dies geschieht, indem sich sowohl das Vorderhirnbläschen als auch das Hinterhirnbläschen in jeweils zwei unterschiedliche Bläschen differenzieren. Von anterior nach posterior werden die fünf Bläschen, aus denen sich das entwickelnde Gehirn zum Zeitpunkt der Geburt zusammensetzt, bezeichnet als *Telencephalon* (Endhirn), *Diencephalon* (Zwischenhirn), *Mesencephalon* (Mittelhirn), *Metencephalon* (Hinterhirn) und *Myelencephalon* (Nachhirn). Aus diesen Bläschen entwickeln sich schließlich die fünf Abschnitte des erwachsenen Gehirns. Man kann sich die Reihenfolge wie folgt merken: Das Telencephalon liegt oben, und die anderen folgen darunter in alphabetischer Reihenfolge.

In ► Abbildung 3.20 ist die Lage des Telencephalons, Diencephalons, Mesencephalons, Metencephalons und Myelencephalons im erwachsenen menschlichen Gehirn dargestellt. Beachten Sie, dass das Telencephalon (die linke und rechte *zerebrale Hemisphäre*) beim Menschen, wie auch bei anderen höheren Wirbeltieren, während der Entwicklung am stärksten wächst. Die anderen Abschnitte des Gehirns werden zusammen oft als **Hirnstamm** (Truncus encephali) bezeichnet – der Stamm, auf dem die zerebralen Hemisphären sitzen. Das Myelencephalon wird oft auch *Medulla oblongata* (verlängertes Mark) genannt.

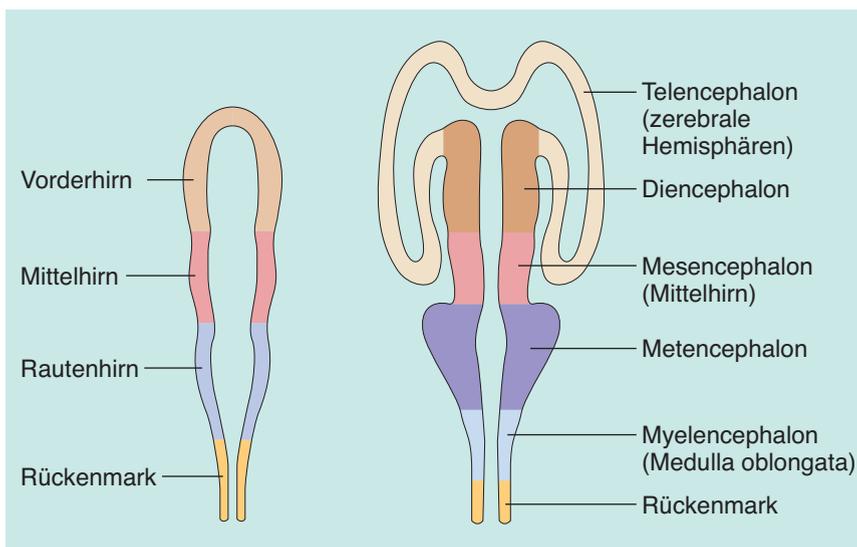


Abbildung 3.19: Die frühe Entwicklung des Säugetiergehirns, anhand schematischer Horizontalschnitte veranschaulicht. Vergleichen Sie damit bitte das erwachsene menschliche Gehirn in Abbildung 3.20.

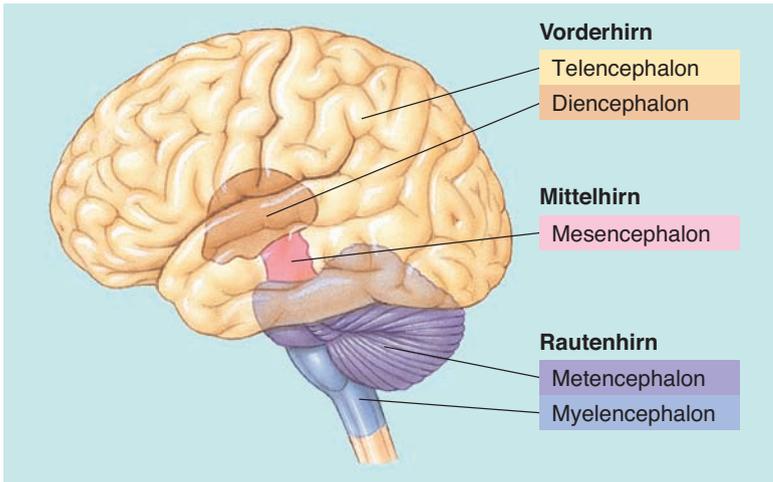


Abbildung 3.20: Die Abschnitte des erwachsenen menschlichen Gehirns.

Die Hauptstrukturen des Gehirns 3.6

Da Sie nun die fünf Hauptabschnitte des Gehirns kennengelernt haben, ist es an der Zeit, Ihnen deren wichtigste Strukturen vorzustellen. Dieser Abschnitt beginnt mit dem Myelencephalon und steigt dann über die anderen Abschnitte bis zum Telencephalon auf. Die fettgedruckten Gehirnstrukturen, die in diesem Abschnitt erwähnt und definiert werden, sind nicht in der Liste mit Schlüsselbegriffen am Ende des Kapitels enthalten. Vielmehr sind sie in Abbildung 3.30 entsprechend ihrer Lokalisation im Gehirn angeordnet.

Hier noch einmal eine Gedächtnisstütze, bevor Sie sich in die Anatomie des Gehirns vertiefen: Die Richtungsbezeichnungen für den Hirnstamm und das Rückenmark sind identisch, werden allerdings für das Vorderhirn um 90° gedreht.

3.6.1 Myelencephalon

Es ist nicht überraschend, dass das **Myelencephalon** (oder **Medulla oblongata**), der am weitesten posterior gelegene Abschnitt des Gehirns, hauptsächlich aus Faserzügen besteht, die Signale zwischen dem Rest des Gehirns und dem Körper übertragen. Aus psychologischer Perspektive ist die **Formatio reticularis** ein interessanter Teil des Myelencephalons (siehe ► Abbildung 3.21). Sie ist ein komplexes Netzwerk – bestehend aus annähernd 100 winzigen Kernen – das im Zentrum des Hirnstamms von der posterioren Grenze des Myelencephalons bis zur anterioren Grenze des Mesencephalons reicht. Ihr Name leitet sich von ihrer netzartigen Erscheinung ab (*reticulum* bedeutet „kleines Netz“). Manchmal wird die Formatio reticularis auch als *das (aufsteigende) retikuläre Aktivierungssystem* bezeichnet, da einige ihrer Teile eine Rolle bei der Aktivierung spielen. Allerdings sind die verschie-

denen Kerne der *Formatio reticularis* an einer Vielzahl von Funktionen beteiligt – einschließlich Schlaf, Aufmerksamkeit, Bewegung, der Aufrechterhaltung des Muskeltonus und verschiedener Herz-, Kreislauf- und Atmungsreflexe. Diese Ansammlung von Kernen als *ein* aktivierendes System anzusehen, ist daher irreführend.

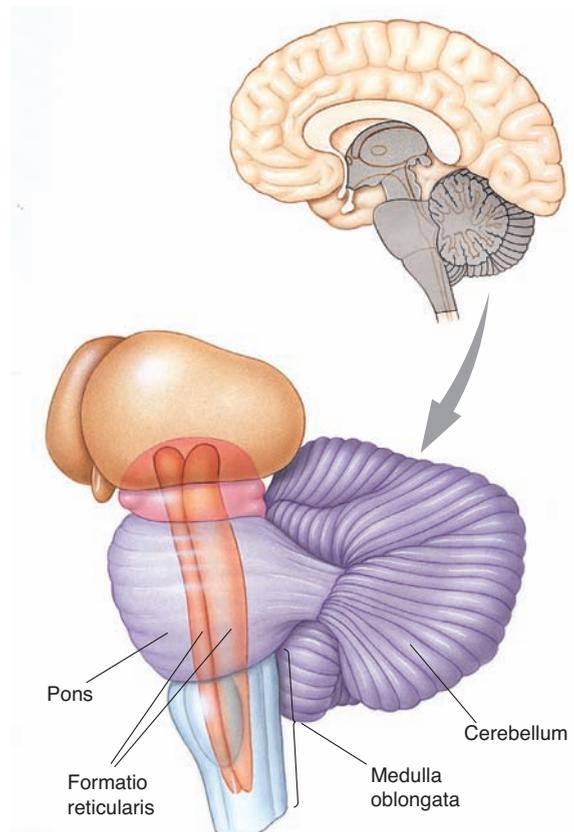


Abbildung 3.21: Strukturen des menschlichen Myelencephalons (Medulla oblongata) und Metencephalons.

3.6.2 Metencephalon

Das **Metencephalon** beinhaltet, ähnlich dem Myelencephalon, viele aufsteigende und absteigende Faserzüge und Teile der *Formatio reticularis*. Diese Strukturen bilden auf der ventralen Seite des Hirnstamms eine Auswölbung, die als **Pons** bezeichnet wird. Der Pons ist ein Hauptabschnitt des Metencephalons, der andere ist das **Cerebellum** (Kleinhirn) – siehe Abbildung 3.21. Das **Cerebellum** ist eine große, gewundene Struktur auf der dorsalen Seite des Hirnstamms. Es ist eine wichtige sensomotorische Struktur; seine Schädigung bedingt den Verlust der Fähigkeit einer präzisen Kontrolle von Bewegungen und ihrer Anpassung an sich verändernde Bedingungen. Die Funktionen des Cerebellums sind aber nicht auf die sensomotorische Kontrolle beschränkt, denn eine Schädigung bedingt auch eine Vielzahl kognitiver Defizite (z. B. Defizite bei Entscheidungs- und Sprachprozessen).

3.6.3 Mesencephalon

Das **Mesencephalon** besteht, wie das Metencephalon, aus zwei Abschnitten: **Tectum** und **Tegmentum** (siehe ► Abbildung 3.22). Das **Tectum** (Dach) bildet die dorsale Oberfläche des Mittelhirns. Bei Säugetieren besteht das Tectum aus zwei Paaren von Höckern, den

Colliculi (kleine Hügel). Das posteriore Paar, **Colliculi inferiores** genannt, hat eine auditorische Funktion; das anteriore Paar, die **Colliculi superiores**, eine visuelle Funktion. Bei niederen Wirbeltieren erfüllt das Tectum eine rein visuelle Funktion, daher wird das Tectum manchmal als *Tectum opticum* bezeichnet.

Das **Tegmentum** ist der Bereich des Mesencephalons, der ventral zum Tectum liegt. Zusätzlich zur *Formatio reticularis* und durchziehenden Faserzügen umfasst das Tegmentum drei „farbige“ Strukturen, die für Biopsychologen besonders interessant sind: das periaquäduktale Grau, die Substantia nigra (schwarze Substanz) und den Nucleus ruber (roter Kern) (siehe Abbildung 3.22). Das **periaquäduktale Grau** ist die graue Substanz um den **Aquaeductus cerebri**, der den dritten und den vierten Ventrikel verbindet; es ist interessant aufgrund seiner Rolle bei der Vermittlung der analgetischen (schmerzreduzierenden) Wirkung von Opiaten. Die **Substantia nigra** (schwarze Substanz) und der **Nucleus ruber** (roter Kern) sind beide wichtige Bestandteile des sensomotorischen Systems.

3.6.4 Diencephalon

Das **Diencephalon** besteht aus zwei Strukturen: dem Thalamus und dem Hypothalamus (siehe ► Abbildung 3.23). Der Thalamus ist die große, aus zwei Lappen bestehende Struktur, die das obere Ende des Hirn-

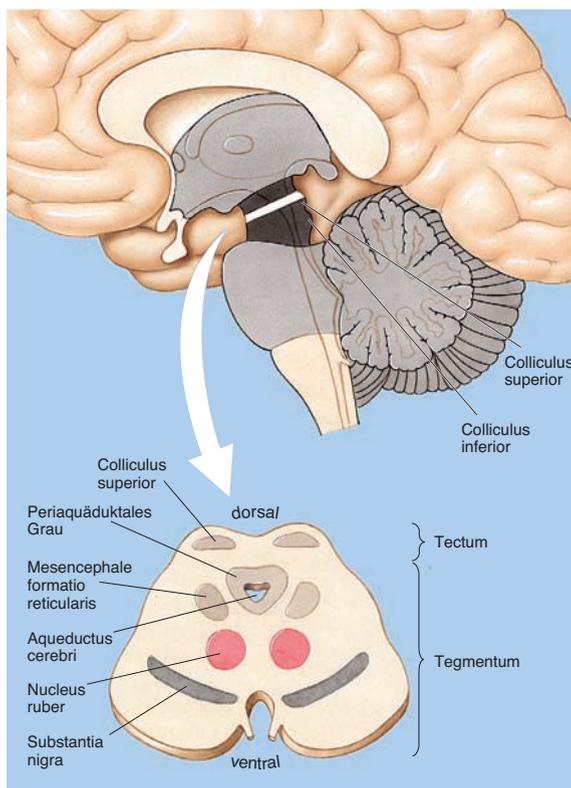


Abbildung 3.22: Das menschliche Mesencephalon (Mittelhirn).

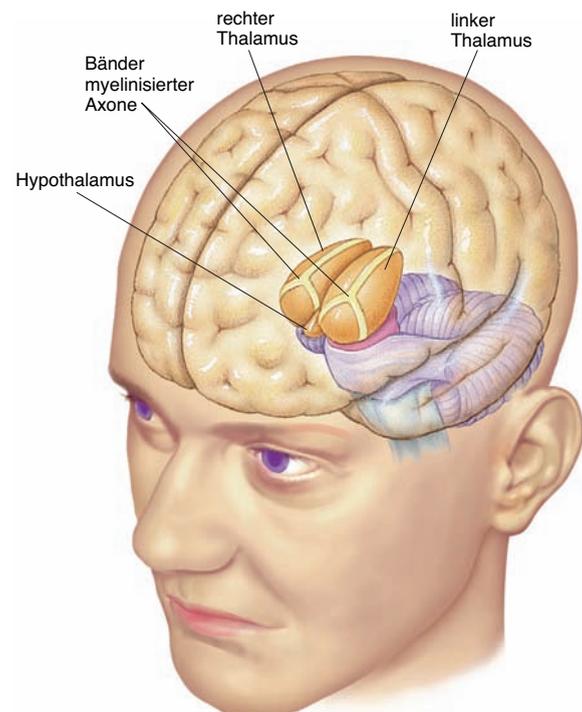


Abbildung 3.23: Das menschliche Diencephalon.

stamms bildet. Ein Lappen sitzt auf jeder Seite des dritten Ventrikels, und sie sind durch die **Adhesio interthalamica**, die durch den Ventrikel läuft, verbunden. Auf der Oberfläche des Thalamus sind weiße *Lamina* (Schichten) erkennbar, die aus myelinisierten Axonen bestehen.

Der **Thalamus** beinhaltet viele verschiedene, paarweise angeordnete Kerne, von denen die meisten zum Cortex projizieren. Der allgemeine Aufbau des Thalamus ist in Anhang V veranschaulicht. Die am besten verstandenen Thalamuskern sind die *sensorischen Relaiskerne* – Nuclei, die Signale von sensorischen Rezeptoren erhalten, sie verarbeiten und dann zu den entsprechenden Bereichen des sensorischen Cortex übertragen. So sind z. B. das **Corpus geniculatum laterale** (seitlicher Kniehöcker), das **Corpus geniculatum mediale** (mittlerer Kniehöcker) und der **Nucleus ventralis posterior** jeweils wichtige Relaisstationen des visuellen, auditorischen und somatosensorischen Systems. Sensorische Relaiskerne bilden aber keine Einbahnstraße, alle erhalten Rückmeldungen von den Cortexgebieten, in die sie projizieren (Cudeiro & Sillito, 2006). Über die anderen Kerne des Thalamus weiß man weniger, aber es ist bekannt, dass die meisten Input von Cortexarealen erhalten und zu anderen Cortexarealen projizieren (Sherman, 2007).

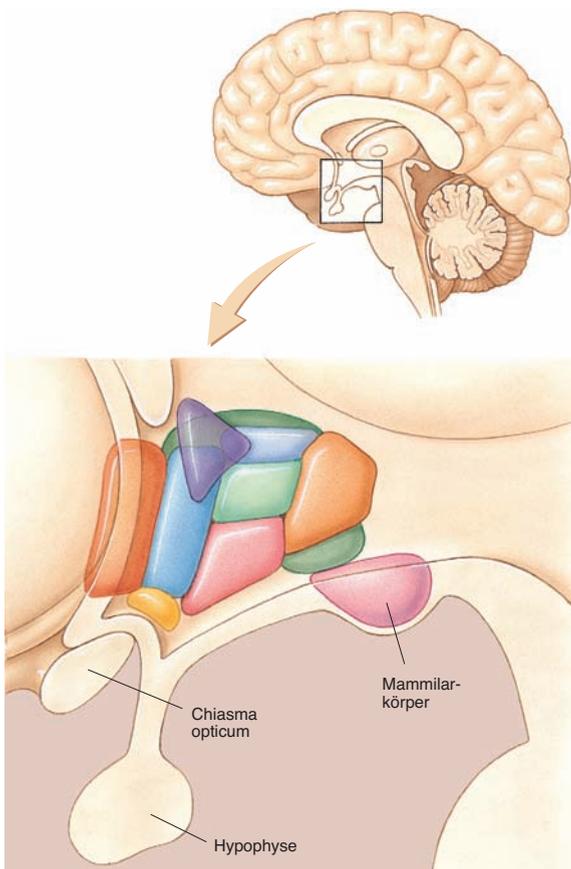


Abbildung 3.24: Der menschliche Hypothalamus (farbig) in Beziehung zum Chiasma opticum und der Hypophyse.

Der **Hypothalamus** befindet sich genau unterhalb des anterioren Thalamus (*hypo* bedeutet „unterhalb“) – siehe ► Abbildung 3.24. Er spielt eine wichtige Rolle bei der Regulation verschiedener motivationaler Verhaltensweisen (z. B. Essen, Schlaf und Sexualität), teilweise indem er die Freisetzung von Hormonen aus der **Hypophyse** (Hirnanhangdrüse) steuert, welche von ihm zur ventralen Seite des Gehirns hin herabhängt.

Zusätzlich zur Hypophyse liegen zwei weitere Strukturen an der inferioren Seite des Hypothalamus: das Chiasma opticum und die Mammillarkörper (siehe Abbildung 3.24). Das **Chiasma opticum** ist der Punkt, an dem der **Nervus opticus** aus dem rechten und der aus dem linken Auge zusammenlaufen. Die X-Form entsteht durch die Kreuzung (**Decussatio**) einiger Axone der Sehnerven (die von einer Seite des Gehirns zur anderen wechseln). Die kreuzenden Fasern werden als **kontralateral** bezeichnet (da sie von einer Körperseite zur anderen projizieren), die nicht kreuzenden Fasern als **ipsilateral** (da sie auf derselben Körperseite bleiben). Die **Mammillarkörper** (Corpora mamillaria), die oft als Teil des Hypothalamus angesehen werden, bestehen aus einem Paar kugelförmiger Kerne, die unmittelbar hinter der Hypophyse an der inferioren Seite des Hypothalamus liegen. Die Mammillarkörper und andere Nuclei des Hypothalamus sind in Anhang VI dargestellt.

3.6.5 Telencephalon

Das **Telencephalon**, der größte Abschnitt des menschlichen Gehirns, vermittelt die komplexesten Funktionen des Gehirns. Es initiiert willkürliche Bewegungen, interpretiert sensorischen Input und vermittelt komplexe kognitive Prozesse wie Lernen, Sprechen und Problemlösen.

Zerebraler Cortex Die zerebralen Hemisphären sind von einer Gewebeschicht bedeckt, die als **zerebraler Cortex** (Cortex cerebri) oder als Großhirnrinde bezeichnet wird. Da der zerebrale Cortex hauptsächlich aus kurzen, unmyelinisierten Neuronen besteht, erscheint er grau und wird daher *graue Substanz* genannt. Dagegen bestehen die darunterliegenden Schichten vorwiegend aus langen myelinisierten Axonen, die weiß erscheinen und daher *weiße Substanz* genannt werden (Fields, 2008). Beim Menschen ist der zerebrale Cortex tief gefaltet (gefurcht) – siehe ► Abbildung 3.25. Durch die Faltungen wird die Oberfläche des zerebralen Cortex vergrößert, ohne das Gesamtvolumen des Gehirns zu vergrößern.

Nicht alle Säugetiere besitzen einen gefalteten Cortex, die meisten sind *lissencephal* (haben ein glattes Gehirn). Früher ging man davon aus, dass die Zahl und Größe der kortikalen Faltungen die intellektuellen Fähigkeiten

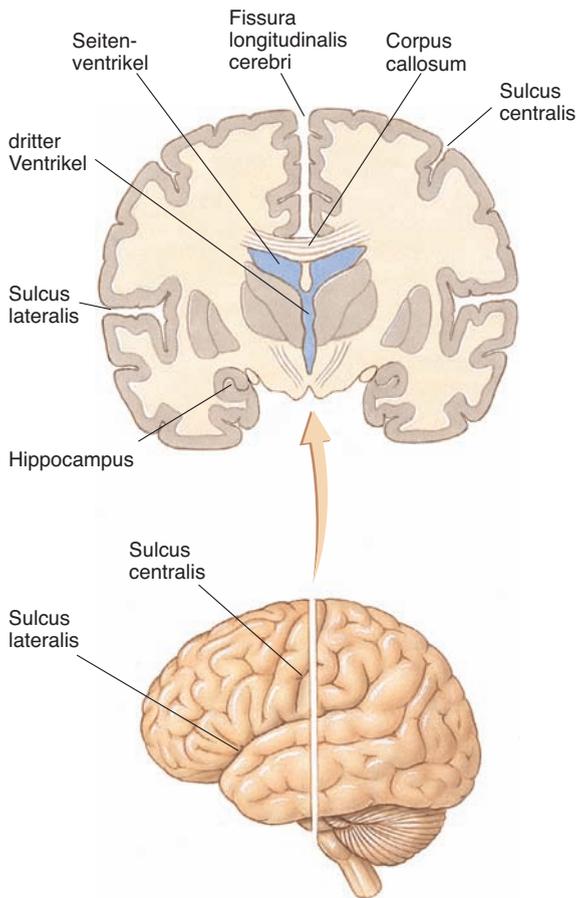


Abbildung 3.25: Die wichtigsten Fissuræ bzw. Sulci der zerebralen Hemisphären des Menschen.

einer Spezies bestimmen. Allerdings scheinen Anzahl und Größe der kortikalen Faltungen eher in Zusammenhang mit der Körpergröße zu stehen – jedes große Säugetier besitzt einen stark gefalteten Cortex.

Die großen Furchen in einem gefalteten Cortex werden als **Fissuræ** (Singular *Fissura*) bezeichnet, die kleinen als **Sulci** (Singular *Sulcus*). Die Erhebungen zwischen den Fissuren und Sulci werden **Gyri** (Singular *Gyrus*) genannt. Abbildung 3.25 zeigt deutlich, dass die zerebralen Hemisphären beinahe vollständig durch die größte der Fissuræ voneinander getrennt sind: der **Fissura longitudinalis cerebri** (Längsfurche). Die zerebralen Hemisphären sind nur durch einige wenige Faserzüge, die die Fissura longitudinalis überbrücken, direkt miteinander verbunden. Diese die Hemisphären verbindenden Faserzüge werden als **zerebrale Commissuren** bezeichnet. Die größte zerebrale Commissur, das **Corpus callosum**, ist in Abbildung 3.25 deutlich erkennbar.

Wie in ► Abbildung 3.26 dargestellt, sind der **Sulcus centralis** (Zentralfurche) und der **Sulcus lateralis** (Sylvische Furche) die beiden großen Landmarken auf den lateralen Oberflächen der beiden Hemisphären. Diese Fissuræ unterteilen jede Hemisphäre in vier Gebiete oder Lappen: **Frontallappen**, **Parietallappen**,

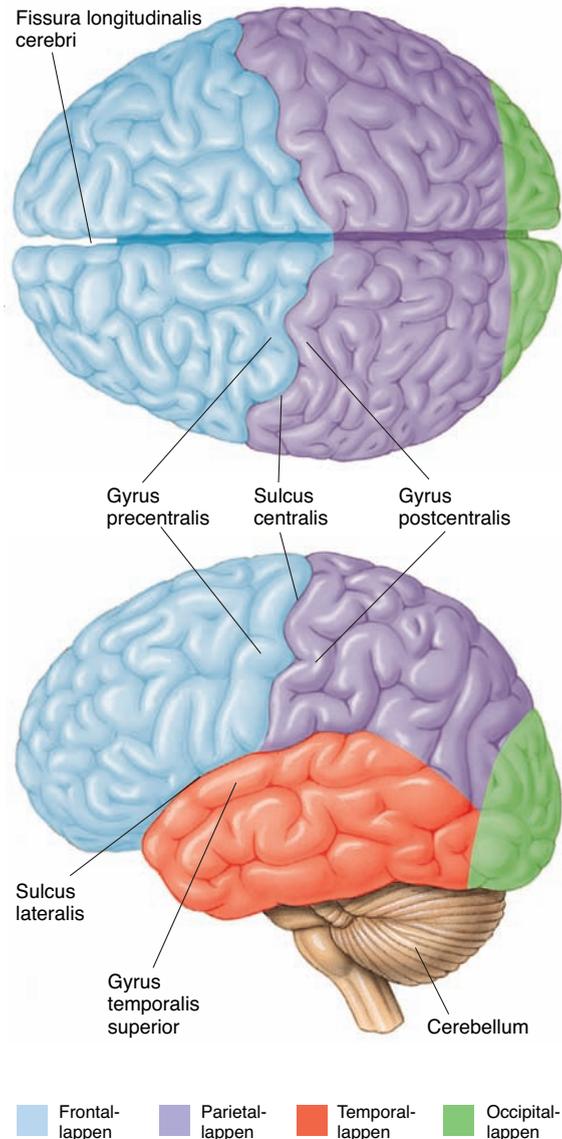


Abbildung 3.26: Die Gehirnlappen der zerebralen Hemisphären.

Temporallappen und **Occipitallappen** (auch Frontal-, Parietal-, Temporal und Occipitalcortex genannt). Zu den größten Gyri gehören der **Gyrus precentralis** im Frontallappen, der **Gyrus postcentralis** im Parietallappen und der **Gyrus temporalis superior** im Temporallappen.

Es ist wichtig zu verstehen, dass diese Cortexgebiete keine funktionalen Einheiten sind. Am besten stellt man sich den zerebralen Cortex als ein flaches Laken bestehend aus Zellen vor, das sichtbar in Lappen unterteilt ist, weil es während der Entwicklung durch Druck gezwungen ist, sich an manchen Stellen ineinanderzufalten. Daher ist es falsch anzunehmen, dass ein Gehirnlappen eine Funktionseinheit ist. Zum jetzigen frühen Zeitpunkt Ihrer Ausbildung zum Biopsychologen ist es dennoch sinnvoll, eine allgemeine Vorstellung von den verschiedenen Funktionen der Gehirnlappen zu entwickeln. Eine sorgfältigere Dis-

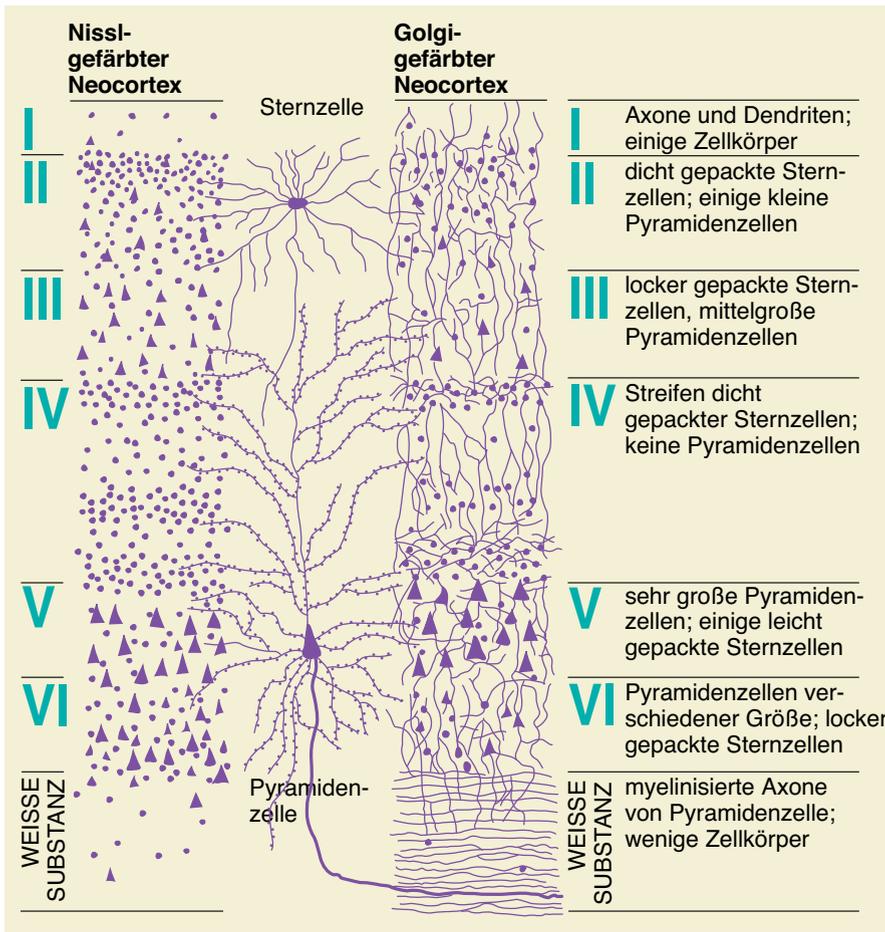


Abbildung 3.27: Die sechs Schichten des Neocortex. (Adaptiert aus Rakic, 1979)

kussion der zerebralen Lokalisation von Gehirnfunktion folgt in späteren Kapiteln.

Die Hauptfunktion des *occipitalen Cortex* ist relativ klar: Wir Menschen steuern unser Verhalten sehr stark basierend auf der Analyse visueller Information, und der occipitale Cortex sowie große Gebiete der angrenzenden Gebiete führen diese Analysen aus. Die *Parietallappen* wiederum beinhalten jeweils zwei große funktionale Areale. Der *Gyrus postcentralis* analysiert Empfindungen aus dem Körper (z.B. Tastsinn), die restlichen, mehr posterior gelegenen Gebiete des Parietallappens dagegen sind wichtig für die Wahrnehmung der Lage von Objekten sowie des eigenen Körpers und für die Steuerung unserer Aufmerksamkeit. Die Gehirnrinde des *Temporallappens* hat drei funktionale Areale: Der *Gyrus temporalis superior* ist mit Hören und Sprachfunktionen beschäftigt, der *inferiore Temporallappen* identifiziert komplexe visuelle Muster, und der mediale Teil des Temporallappens (der von der äußeren Seite nicht sichtbar ist) ist für bestimmte Gedächtnisfunktionen wichtig. Die *Frontallappen* schließlich haben zwei distinkte funktionale Areale: Der *Gyrus precentralis* und angrenzende frontale Gehirnareale dienen motorischen Funktionen, während mehr anterior liegende frontale Areale komplexe kognitive Funktionen ausführen, wie Pla-

nung von Reaktionssequenzen, Evaluation der Konsequenzen von möglichen Verhaltensmustern und Beurteilung der Bedeutung von Verhalten anderer (Huey, Krueger & Grafman, 2006; Wiee, 2008).

Beim Menschen besteht der zerebrale Cortex zu 90 % aus **Neocortex**, einer aus sechs Schichten bestehenden, evolutionär relativ jungen Struktur (siehe Douglas & Martin, 2004; Rakic, 2009). Es besteht die Konvention, die Schichten des Neocortex von I nach VI beginnend an der Oberfläche durchzunummerieren. ► **Abbildung 3.27** zeigt zwei angrenzende Schnitte des Neocortex. Einer wurde einer Nissl-Färbung unterzogen, um die Zahl und die Form der Zellkörper zu markieren, der andere wurde mittels Golgi-Färbung präpariert, um die Silhouetten einer kleinen Anzahl seiner Neurone sichtbar zu machen.

Drei wichtige Merkmale der neokortikalen Anatomie werden anhand der Schnitte in **Abbildung 3.27** deutlich (siehe Molyneaux et al., 2007). Erstens wird deutlich, dass sich viele kortikale Neurone einer von zwei Kategorien zuordnen lassen: Pyramidenzellen (pyramidenförmig) und Sternzellen (sternförmig). Die **Pyramidenzellen** sind große, multipolare Neurone mit pyramidenförmigen Zellkörpern, einem großen Dendriten, der als *apikaler Dendrit* bezeichnet wird und der vom Pyramidengipfel geradlinig zur Cortexoberfläche

verläuft, sowie einem sehr langen Axon (Spruston, 2008). Im Gegensatz dazu sind die **Sternzellen** kleine, sternförmige Interneurone (Neurone mit kurzen oder überhaupt keinen Axonen). Zweitens ist erkennbar, dass sich die sechs Schichten des Neocortex hinsichtlich der Größe und Dichte der Zellkörper und dem relativen Anteil der Pyramiden- und Sternzellkörper unterscheiden. Drittens sieht man, dass viele lange Axone und Dendriten vertikal durch den Neocortex verlaufen (d. h. in einem rechten Winkel zur Cortexschicht). Dieser vertikale Informationsfluss bildet die Grundlage für die **Säulen- bzw. Kolumnenorganisation** des Neocortex. Neurone in einer bestimmten vertikalen Kolumne des Neocortex bilden oft einen kleinen Schaltkreis, der eine einzelne Funktion erfüllt (Laughlin & Sejnowski, 2003).

Ein viertes wichtiges Merkmal der neokortikalen Anatomie ist in Abbildung 3.27 nicht erkennbar. Obwohl der Neocortex immer sechs Schichten hat, unterscheiden sich diese in den verschiedenen Gehirnbereichen hinsichtlich ihrer Dicke (siehe Zilles & Amunts, 2010). Zum Beispiel sind die Sternzellen der Schicht IV auf den Empfang sensorischer Signale aus dem Thalamus spezialisiert, und daher ist die Schicht IV im Bereich des sensorischen Cortex besonders dick. Im Gegensatz dazu ist die Schicht V im Bereich des Motorcortex besonders dick, da die Pyramidenzellen der Schicht V Signale vom Neocortex zum Hirnstamm und Rückenmark weiterleiten.

Der **Hippocampus** ist ein wichtiger Bereich des Cortex, der nicht zum Neocortex gehört – er besteht aus nur drei Schichten (siehe Förster, Ahao & Frotscher, 2006). Der Hippocampus liegt am medialen Rand des zerebralen Cortex, wo sich dieser in den medialen Temporallappen zurückfaltet (siehe Abbildung 3.25). Diese Faltung bildet eine Form, die im Querschnitt ein wenig an ein Seepferdchen erinnert (*Hippocampus* bedeutet „Seepferdchen“). Der Hippocampus spielt eine zentrale Rolle bei bestimmten Gedächtnisfunktionen, insbesondere dem Gedächtnis für räumliche Lokalisationen (siehe Kapitel 11).

Das limbische System und die Basalganglien Obwohl ein großer Teil des subkortikalen Telencephalons aus Axonen besteht, die vom und zum Neocortex projizieren, gibt es einige große subkortikale Kerngruppen. Einige werden entweder dem *limbischen System* oder dem *motorischen Basalgangliensystem* zugeordnet. Der Begriff *System* könnte in diesem Zusammenhang aber falsch verstanden werden, da er ein Ausmaß an Gewissheit impliziert, das nicht gerechtfertigt ist. Man weiß weder, was genau diese hypothetischen Systeme tun, noch welche Strukturen genau zu ihnen gehören oder ob es überhaupt angemessen ist, sie als ein einziges System zu betrachten. Wenn man es allerdings nicht zu wörtlich nimmt, sind das *limbische System* und das *motorische Basalgangliensystem* nützliche Konzepte, um die Organisation des Subcortex zu verstehen.

Das **limbische System** ist ein Schaltkreis von medial gelegenen Strukturen, die den Thalamus umgeben (*limbus* bedeutet „Saum“). Es ist an der Regulation motivationaler Verhaltensweisen beteiligt, einschließlich Kampf-, Flucht-, Ernährungs- und Sexualverhalten. (Nach einem englischsprachigen Witz handelt es sich hier um die vier F der Motivation „fighting, fleeing, feeding, and sexual behavior“). Zu den Hauptstrukturen des limbischen Systems gehören neben Mammillarkörper und Hippocampus (diese kennen Sie schon) Amygdala, Fornix, cingulärer Cortex und Septum.

Lassen Sie uns bei der Beschreibung des limbischen Systems (siehe ► Abbildung 3.28) mit der **Amygdala** beginnen – einem mandelförmigen Kern im anterioren Temporallappen (*Amygdala* bedeutet „Mandel“; siehe Swanson & Petrovich, 1998). Posterior zur Amygdala liegt der Hippocampus, der unterhalb des Thalamus im medialen Temporallappen verläuft. Als Nächstes im Ring folgen der cinguläre Cortex und der Fornix. Der **cinguläre Cortex** ist das große Gebiet des Neocortex im **Gyrus cinguli**, der auf der medialen Seite der zerebralen Hemisphären gerade über dem Corpus callosum liegt und den dorsalen Thalamus umschließt (*Cingulum* bedeutet „Gürtel“). Der **Fornix**, der wichtigste Faserzug des limbischen Systems, umschließt ebenfalls den dorsalen Thalamus. Er verlässt das dorsale Ende des Hippocampus, schwingt in einem Bogen entlang der superioren Seite des dritten Ventrikels nach vorne und endet im Septum und in den Mammillarkörpern (*Fornix* bedeutet „Bogen“). Das **Septum** ist ein medial gelegener Kern, der sich an der vorderen Spitze des cingulären Cortex befindet. Verschiedene Faserzüge verbinden das Septum und die Mammillar-

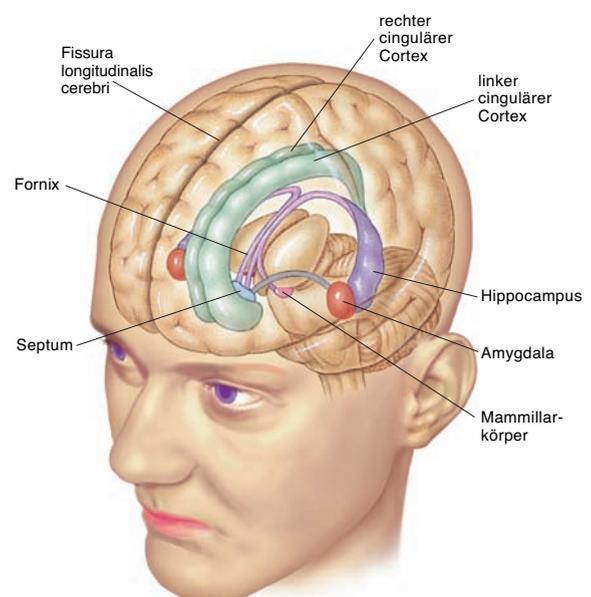


Abbildung 3.28: Die Hauptstrukturen des limbischen Systems: Amygdala, Hippocampus, cingulärer Cortex, Fornix, Septum und Mammillarkörper.

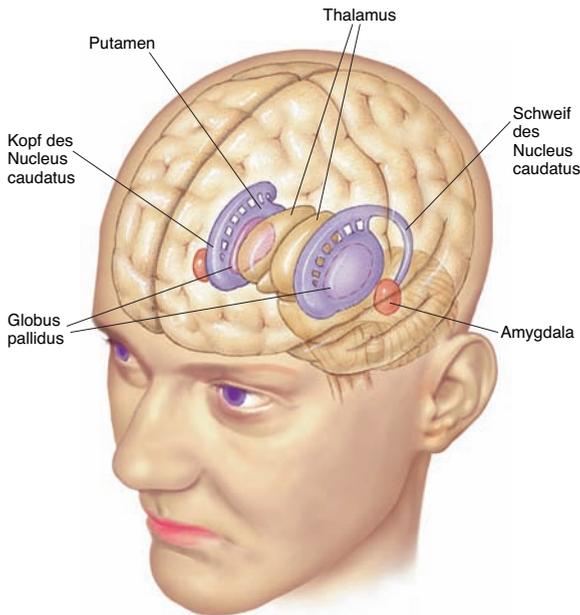


Abbildung 3.29: Die Basalganglien: Amygdala, Striatum (Putamen und Nucleus caudatus) und Globus pallidus. Beachten Sie, dass sich bei diesem Blickwinkel der rechte Globus pallidus zu einem großen Teil hinter dem rechten Thalamus befindet und der linke Globus pallidus völlig hinter dem linken Putamen verborgen ist. Der Globus pallidus wird zwar gewöhnlich als telencephale Struktur betrachtet, aber eigentlich entwickelt er sich aus diencephalem Gewebe, das im Verlauf der pränatalen Entwicklung zu seinem telencephalen Ort wandert.

körper mit der Amygdala und dem Hippocampus und schließen so den limbischen Ring.

Die Funktionen von Hypothalamus und Amygdala sind im Vergleich zu den anderen limbischen Strukturen am besten untersucht. Wie schon oben erwähnt, ist der Hypothalamus an der Regulation verschiedener motivationaler Verhaltensweisen wie Essen, Schlaf und Sexualität beteiligt. Die Amygdala wiederum ist wichtig für Emotionen, insbesondere Furcht. In den Kapiteln 12, 13, 14 und 17 werden Sie diese Strukturen genauer kennenlernen.

Die **Basalganglien** sind in ► Abbildung 3.29 dargestellt. Wir beginnen unsere Beschreibung wie beim limbischen System mit der Amygdala, die als ein Teil beider Systeme angesehen wird. Aus jeder Amygdala zieht der schweifähnliche **Nucleus caudatus** (*cauda* bedeutet „Schweif“) zuerst in eine posteriore und dann in eine anteriore Richtung. Jeder Nucleus caudatus bildet einen beinahe vollständigen Kreis, in dessen Mittelpunkt sich das **Putamen** befindet, welches mit dem Nucleus caudatus durch eine Reihe von Faserbrücken verbunden ist. Nucleus caudatus und Putamen, die beide ein gestreiftes Erscheinungsbild haben, werden zusammen **Corpus striatum** (gestreifte Struktur) genannt; oft wird auch nur die Kurzform Striatum verwendet. Zu den Basalganglien gehört schließlich noch eine blasse, kreisförmige Struktur, der **Globus pallidus** (blasse Kugel), der medial zum Putamen zwischen Putamen und Thalamus liegt.

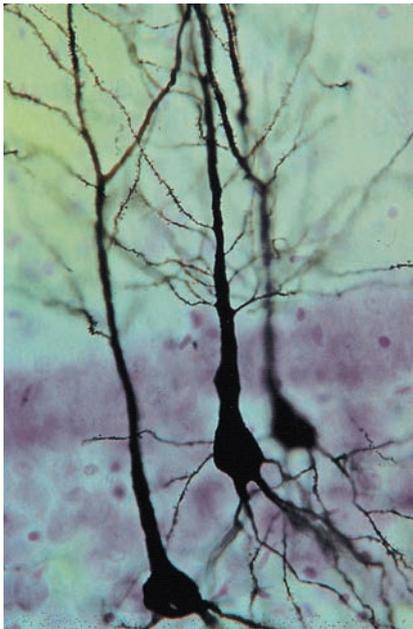
Die Basalganglien spielen bei der Ausführung von willkürlichen Bewegungen eine entscheidende Rolle. Von besonderer Bedeutung ist eine Bahn, die von der Substantia nigra des Mittelhirns zum Striatum projiziert. Die **Parkinson-Erkrankung**, die durch Steifheit (Rigor), Zittern (Tremor) und eine Verarmung willkürlicher Bewegungen (Hypokinese) charakterisiert ist, geht einher mit einer Verschlechterung der Funktionalität dieser Bahn. Ein anderer Teil der Basalganglien, der aktuell das Interesse von Biopsychologen auf sich zieht, ist der **Nucleus accumbens**, der zum medialen Teil des ventralen Striatum gehört (siehe Abbildung 3.29). Vom Nucleus accumbens wird angenommen, dass er eine wichtige Rolle für die belohnenden Eigenschaften von süchtig machenden Drogen und anderen Verstärkern spielt.

In ► Abbildung 3.30 sind die Hauptabschnitte und Strukturen des Gehirns zusammengefasst, alle Schlüsselbegriffe, die in diesem Abschnitt fett gedruckt sind.

Klinische
Implikationen

Telencephalon	Zerebraler Cortex (Großhirnrinde)	Neocortex Hippocampus
	Wichtige Fissurae oder Sulci	Sulcus centralis Sulcus lateralis Fissura longitudinalis cerebri
	Wichtige Gyri	Gyrus precentralis Gyrus postcentralis Gyrus temporalis superior Gyrus cinguli
	Vier Lappen	Frontallappen Temporallappen Parietallappen Occipitallappen
	Limbisches System	Amygdala Hippocampus Fornix Cingulärer Cortex Septum Mammillarkörper
	Basalganglien	Amygdala Nucleus caudatus } Corpus striatum Putamen } Globus pallidus
	Zerebrale Kommissuren	Corpus callosum
Diencephalon	Thalamus	Adhesio interthalamica Corpus geniculatum laterale Corpus geniculatum mediale Nucleus ventralis posterior
	Hypothalamus	Mammillarkörper
	Chiasma opticum	
	Hypophyse	
Mesencephalon	Tectum	Colliculus superior Colliculus inferior
	Tegmentum	Formatio reticularis Aqueductus cerebri Periaquäduktales Grau Substantia nigra Nucleus ruber
Metencephalon	Formatio reticularis Pons Cerebellum	
Myelencephalon oder Medulla	Formatio reticularis	

Abbildung 3.30: Zusammenfassung der Hauptstrukturen des Gehirns. Diese Darstellung enthält alle Schlüsselbegriffe der Gehirnanatomie, die in Abschnitt 3.6 fett gedruckt sind.



► Abbildung 3.31 schließt dieses Kapitel ab und soll auf etwas hinweisen, das beim alltäglichen Gebrauch von neuroanatomischen Begriffen und Techniken verloren geht: die Schönheit des Gehirns und die Kunstfertigkeit derjenigen, die seine Strukturen erforschen. Wir hoffen, dass Sie dieses Bild zum Nachdenken anregt.

Abbildung 3.31: Die Kunst der neuroanatomischen Färbung. Dieser Schnitt wurde sowohl mittels Golgi-Färbung als auch mittels Nissl-Färbung präpariert. Bei den Golgi-gefärbten Pyramidenzellen sind die pyramidenförmigen Zellkörper, die großen apikalen Dendriten und die vielen dendritischen Dornen deutlich sichtbar. Jede Pyramidenzelle besitzt ein langes, schmales Axon, welches in Richtung des unteren Endes der Abbildung projiziert. (Mit freundlicher Genehmigung von Miles Herkenham, Unit of Functional Neuroanatomy, National Institute of Mental Health, Bethesda, M.D.)

Prüfen Sie Ihr Wissen...

Falls Sie sich nicht schon früher mit der groben Anatomie des Gehirns beschäftigt haben, wird Ihr eigenes Gehirn durch die neuen Begriffe wahrscheinlich ganz schön strapaziert. Um zu prüfen, ob Sie ein neues Kapitel beginnen können, sollen Sie den folgenden Median-schnitt durch ein echtes menschliches Gehirn beschriften. Versuchen Sie, Ihr Wissen von den farbkodierten Diagrammen auf eine echte Fotografie zu übertragen.

Die richtigen Antworten finden Sie am Seitenende. Bevor Sie weiterlesen, sollten Sie die zu Ihren Fehlern oder Wissenslücken gehörenden Textpassagen wiederholen. Beachten Sie, dass in Abbildung 3.30 alle in diesem Kapitel fett gedruckten Begriffe der Gehirn-anatomie vorkommen, diese also sehr gut zur Nachbearbeitung herangezogen werden kann.



1. _____ -lappen
2. Gyrus- _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. Colliculus- _____
8. _____ -körper
9. _____
10. _____ Ventrikel
11. _____
12. _____
13. _____
14. _____

Lösungen

(1) parietal, (2) Gyrus cinguli, (3) Fornix, (4) Corpus callosum, (5) Thalamus (6) Hypothalamus, (7) superior, (8) Mam-millarkörper, (9) Tegmentum, (10) vierter, (11) Cerebellum, (12) Pons, (13) Medulla oblongata oder Myelencephalon, (14) Rückenmark

Das Wichtigste in Kürze

Dieses Kapitel trägt nur relativ wenig zu den Hauptthemen dieses Buches bei. Sie wurden vorübergehend vernachlässigt, um Sie mit den wichtigsten Gebieten und Strukturen des menschlichen Gehirns vertraut zu machen. Dieses Wissen über die grundlegende Neuroanatomie dient in den folgenden Kapiteln als Basis für die Diskussion der Gehirnfunktionen. Dennoch wurden in diesem Kapitel drei klinische Implikationen diskutiert: die Bedeutung der Hirnnerven für neurologische

Klinische
Implikationen

Diagnosen, die Rolle einer Blockade des Aquaeductus cerebri beim Hydrocephalus und der Zusammenhang zwischen der Parkinson-Erkrankung und einer Schädigung der Verbindung von der Substantia nigra zum Striatum.

Außerdem wurde die evolutionäre Perspektive evident, als Unterschiede zwischen den Arten in der kortikalen Entwicklung erörtert wurden.

Evolutionäre
Perspektive

Denkankstöße

- 1 Welche der folgenden Extrempositionen liegt Ihrer Ansicht nach näher an der Wahrheit? (a) Das Hauptziel aller psychologischen Forschung sollte darin bestehen, psychologische Phänomene mit der Anatomie neuronaler Schaltkreise in Beziehung zu setzen. (b) Psychologen sollten die Erforschung der Neuroanatomie den Neuroanatomern überlassen.
- 2 Der vielleicht berühmteste Fehler in der Geschichte der Biopsychologie wurde von Olds und Milner gemacht (siehe Kapitel 15). Sie vermasselten die Implantation einer Elektrode in das Gehirn einer Ratte, sodass die Spitze der Stimulationselektrode in einer unbekanntem Struktur endete. Als sie an-

schließend die Effekte einer elektrischen Stimulation dieser unbekanntem Struktur untersuchten, machten sie eine fantastische Entdeckung: Die Ratte schien die Gehirnstimulation als extrem angenehm zu empfinden. Tatsächlich würde die Ratte einen Hebel stundenlang und mit einer hohen Rate drücken, wenn jeder Hebeldruck eine kurze Stimulation ihres eigenen Gehirns über die Elektrode verursachen würde. Falls Sie zufällig auf dieses Phänomen der intrakraniellen Selbststimulation gestoßen wären, welche neuroanatomischen Verfahren hätten Sie verwendet, um den Stimulationsort und die beteiligten neuronalen Schaltkreise zu identifizieren?



Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: info@pearson.de

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

<http://ebooks.pearson.de>