

NEUROANATOMIE

NACHSCHLAGEN

LERNEN

VERSTEHEN

1 Aufbau des Gehirns – Einführung in die Neurohistologie 1

Nervenzellen (Neurone)	4
Der neuronale Zellkörper und das Zytoskelett	5
Das Axon und die Synapse	8
Axonaler Transport	10
Dendriten von Nervenzellen	12
Gliazellen	13
Astrozyten	14
Oligodendrozyten und Schwann-Zellen	17
Saltatorische Erregungsleitung	19
Mikrogliazellen	20
Ependymzellen	21
Zusammenfassung	22
Was das IMPP wissen möchte	23
MC-Fragen	24
Index	25
Weiterführende Literatur	26

2 Allgemeiner Aufbau des Nervensystems (unter Mitarbeit von C. Beyer) 28

Unterteilungsmöglichkeiten des Nervensystems	28
Graue und weiße Substanz des Nervensystems	28
Kerne und Ganglien: Definition	31
Peripheres und zentrales Nervensystem	32
Unterschiedliches Regenerationspotenzial von Nervenzellfortsätzen des ZNS und PNS	33
Somatisches und vegetatives Nervensystem	34
Afferenzen und Efferenzen	36
Zusammenfassendes Funktionsprinzip des Nervensystems	37
Topographische Betrachtung des Nervensystems	38
Apikale Ansicht	38
Medio-sagittale Ansicht	40
Medulla oblongata – das verlängerte Mark	41
Pons – die Brücke	42
Mesencephalon – das Mittelhirn	42
Truncus cerebri – der Hirnstamm	43
Cerebellum – das Kleinhirn	44
Diencephalon – das Zwischenhirn	45
Telencephalon – das Großhirn	47
Lobus frontalis – der Frontallappen	48
Lobus parietalis – der Scheitellappen	50
Lobus temporalis – der Schläfenlappen	51
Lobus occipitalis – der Hinterhauptlappen	52
Laterale Ansicht	52
Basale Ansicht	54
Lagebeschreibungen im Zentralnervensystem: Meynert- und Forel-Achse	56
Systematik der Verbindungen des Nervensystems	58
Assoziationsbahnen	58
Kommissurenbahnen	60
Projektionsbahnen	61

Zusammenfassung.....	62
Was das IMPP wissen möchte	62
MC-Fragen	63
Index.....	64
Weiterführende Literatur.....	66

3 Rückenmark und Spinalnerven 67

Grundlagen	68
Verbindungen des Rückenmarks zum peripheren Nervensystem	70
Aszensus des Rückenmarks.....	74
Rückenmarkshäute	75
Mikroskopischer Aufbau des Rückenmarks	77
Absteigende Bahnen	79
Aufsteigende Bahnen	81
Spinalnerven und periphere Nerven	83
Prinzipieller Aufbau eines Reflexbogens	88
Das vegetative Nervensystem im Rückenmark.....	92
Zusammenfassung.....	95
Was das IMPP wissen möchte	96
MC-Fragen	97
Index.....	98
Weiterführende Literatur.....	100

4 Hirnhäute und Liquorräume des Zentralnervensystems (unter Mitarbeit von T. Clarner) 101

Hirnhäute	102
Dura mater encephali	102
Arachnoidea mater encephali	105
Pia mater encephali	106
Sensible und arterielle Versorgung der Hirnhäute	108
Liquor- und Ventrikelsystem	108
Innere Liquorräume und deren Verbindungen.....	109
Rautengrube und Rhombencephalon	111
Liquor und Liquorproduktion.....	112
Funktion des Liquors	113
Erweiterungen der äußeren Liquorräume	114
Zusammenfassung.....	115
Was das IMPP wissen möchte	116
MC-Fragen	117
Index.....	119
Weiterführende Literatur.....	120

5 Schädelbasis und Hirnnerven 121

Der knöcherne Schädel	122
Basis cranii interna	125
Fossa cranii anterior	125
Fossa cranii media	127
Fossa cranii posterior.....	129

Basis cranii externa	129
Vorderer Abschnitt	129
Mittlerer Abschnitt	131
Hinterer Abschnitt	133
Das vegetative Nervensystem	134
Funktionen des Sympathikus und Parasympathikus	134
Aufbau des Sympathikus und Parasympathikus	135
Sympathikus	137
Parasympathikus	138
Grenzstrang und Nervi splanchnici	140
Hirnnerven	141
I. Hirnnerv: Nervus olfactorius	144
II. Hirnnerv: Nervus opticus	146
III. Hirnnerv: Nervus oculomotorius	150
IV. Hirnnerv: Nervus trochlearis	153
V. Hirnnerv: Nervus trigeminus	154
VI. Hirnnerv: Nervus abducens	164
VII. Hirnnerv: Nervus intermedio-facialis	165
VIII. Hirnnerv: Nervus vestibulocochlearis	173
IX. Hirnnerv: Nervus glossopharyngeus	173
X. Hirnnerv: Nervus vagus	176
XI. Hirnnerv: Nervus accessorius	178
XII. Hirnnerv: Nervus hypoglossus	179
Zusammenfassung	180
Was das IMPP wissen möchte	182
MC-Fragen	186
Index	189
Weiterführende Literatur	193

6 Subkortikale Strukturen und Diencephalon 195

Topographische Betrachtung	196
Funktionelle Betrachtung der Basalganglien	200
Regelkreis der Basalganglien	202
Thalamus	204
Spezifische Thalamuskern	206
Epithalamus	208
Hypophyse und Hypothalamus	209
Kerne des Hypothalamus	212
Zusammenfassung	214
Was das IMPP wissen möchte	216
MC-Fragen	218
Index	219
Weiterführende Literatur	220

7 Hirnstamm 221

Topographischer Hirnstamm	223
Graue Substanz des Hirnstamms	226
Graue Substanz der Medulla oblongata	228

Olive.....	228
Nucleus gracilis und cuneatus	228
Graue Substanz des Pons	230
Pontine Kerne.....	230
Graue Substanz des Mesencephalon.....	230
Substantia nigra	232
Nucleus ruber.....	232
Vierhügelplatte – Lamina quadrigemina	233
Formatio reticularis	234
Atemzentrum und Kreislaufzentrum.....	235
Brechzentrum.....	236
Absteigendes motorisches retikuläres System	237
ARAS (aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem)	237
Miktionszentrum	237
Monoaminerge Zellgruppen	237
Augenbewegungszentren.....	238
Wichtige Bahnsysteme des Hirnstamms	239
Zusammenfassung.....	240
Was das IMPP wissen möchte	242
MC-Fragen	244
Index.....	245
Weiterführende Literatur.....	246

8 Cerebellum 247

Makroskopischer Aufbau	249
Kleinhirnerne	255
Funktionelle Kleinhirnannteile und makroskopische Zuordnung.....	255
Funktionelle Verbindungen des Kleinhirns	258
Pontocerebellum	259
Vestibulocerebellum	261
Spinocerebellum.....	263
Zusammenspiel von Olive und Kleinhirn	266
Weitere Kleinhirnbahnen.....	266
Entwicklungsgeschichtliche Einordnung des Kleinhirns	267
Histologische Verschaltung des Kleinhirns.....	268
Zusammenfassung.....	272
Was das IMPP wissen möchte	273
MC-Fragen	274
Index.....	275
Weiterführende Literatur.....	276

9 Telencephalon 277

Prinzipieller Aufbau des Telencephalons.....	278
Topographie des Cortex cerebri	281
Lobus frontalis	281
Lobus parietalis.....	286
Lobus occipitalis	286
Lobus temporalis.....	287

Gyrus cinguli	289
Histologie des Cortex cerebri.....	289
Histologischer Aufbau des Isokortex.....	290
Histologischer Aufbau des Allokortex	292
Verschaltung der Hippocampusformation.....	296
Extrinsische Neuronenschleife.....	296
Intrinsische Neuronenschleife.....	298
Hippocampus und Gedächtnisbildung.....	298
Limbisches System und Papez-Neuronenkreis.....	299
Amygdala.....	301
Grundlagen zur Gedächtnislehre.....	302
Räumliche Trennung verschiedener Gedächtnisinhalte.....	305
Konsolidierung	305
Zusammenfassung.....	307
Was das IMPP wissen möchte	308
MC-Fragen.....	311
Index.....	312
Weiterführende Literatur.....	314

10 Blutversorgung des Gehirns 315

Grundlagen	316
Getrennter Verlauf von Arterien und Venen	316
Circulus arteriosus Willisi.....	317
Blut-Hirn-Schranke.....	318
Zirkumventrikuläre Organe	320
Arterielle Versorgung des Gehirns	322
Arteria carotis interna.....	322
Arteria vertebralis	325
Arteria cerebri anterior.....	327
Arteria cerebri media	329
Arteria cerebri posterior.....	332
Capsula interna: Topographie und Blutversorgung.....	334
Venöse Versorgung des Gehirns	337
Zusammenfassung.....	340
Was das IMPP wissen möchte	342
MC-Fragen.....	344
Index.....	345
Weiterführende Literatur.....	346

11 Motorik 347

Motorische Areale des Zentralnervensystems.....	348
Motorik des Rumpfes und der Extremitäten	348
Hierarchische Gliederung der Motorik und ihr Zusammenspiel.....	349
Primärmotorischer Kortex	351
Motorischer Homunkulus	352
Pyramidales System der Motorik.....	353
Extrapyramidales System der Motorik.....	355
Motorik des Kopf-Hals-Bereiches	356

Tractus corticonuclearis.....	357
Frontales Augenfeld	357
Sprache.....	357
Weitere Besonderheiten	360
Basalganglien	361
Aufbau und Verschaltung der Basalganglien.....	362
Motivation und Belohnung als Elemente motorischen Lernens	363
Direkter und indirekter Weg der Basalganglien	363
Heterogenität der medium-sized spiny neurons	364
Projektionen der Substantia nigra in die Basalganglien	365
Kleinhirnschleife	367
Steuerungsmechanismen des Kleinhirns	368
Zusammenfassung.....	371
Was das IMPP wissen möchte	373
MC-Fragen.....	374
Index.....	375
Weiterführende Literatur.....	377

12 Sensibilität 379

Rezeptoren der Sensibilität.....	380
Einteilung der Sinnesmodalitäten	380
Rezeptoren der Exterozeption.....	381
Rezeptoren der Propriozeption	382
Weitere Rezeptortypen.....	384
Periphere und zentrale Bahnen der Sensibilität	384
Lemniskales System	385
Extralemniskales System.....	387
Mechanismen der Schmerztransduktion	389
Übertragener Schmerz	390
Inhibition der Schmerzweiterleitung.....	390
Aufsteigendes propriozeptives System	392
Sensible Kerngebiete des Rückenmarks	392
Kortikale Verarbeitung der Sensibilität	393
Zusammenfassung.....	395
Fallstudien zur topographischen Diagnostik.....	396
Was das IMPP wissen möchte	398
MC-Fragen.....	400
Lösungen zu den Fallstudien	401
Index.....	403
Weiterführende Literatur.....	404

13 Gleichgewicht, Sehen und Hören 405

Gleichgewicht.....	406
Vestibularorgan	406
Funktionsprinzip der Makulaorgane	408
Funktionsprinzip der Bogengänge.....	409
Zentrales vestibuläres System	409
Funktionelle Verbindungen der Vestibulariskerne	410

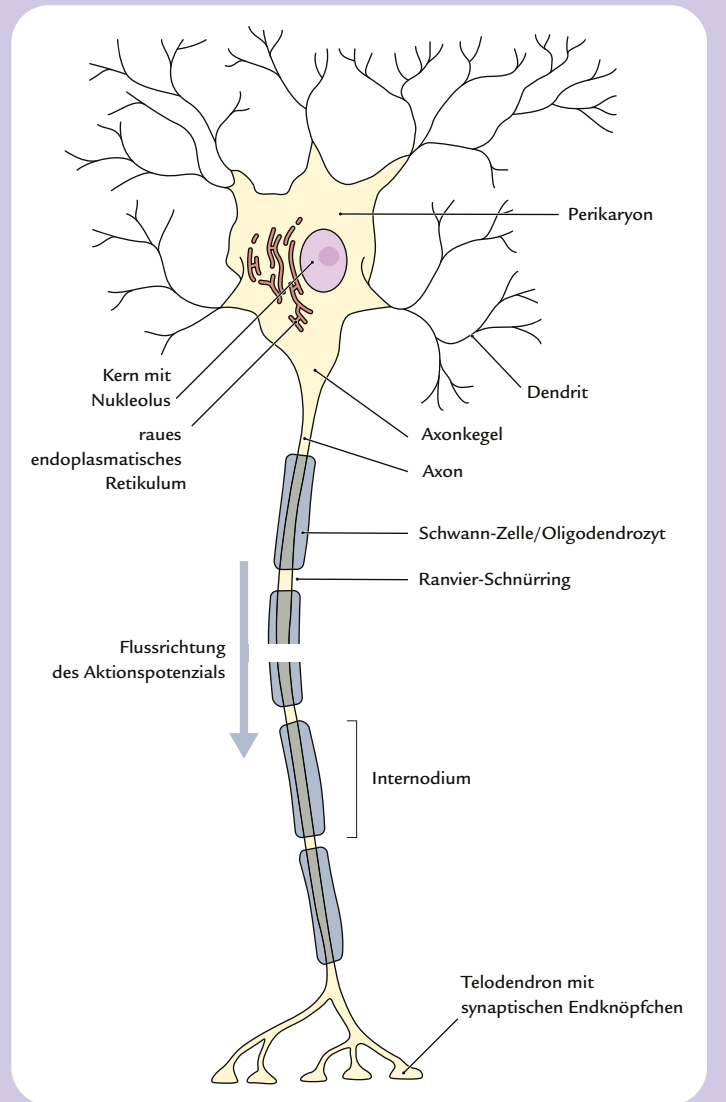
Sehen.....	412
Allgemeiner Aufbau des Auges.....	413
Strukturen des Bulbus.....	415
Histologischer Aufbau der Retina	417
Schaltplan der Retina.....	418
Rezeptive Felder der Retina	419
Zellen der Retina	420
Fovea centralis	423
Papilla nervi optici.....	424
Zentrale Sehbahn	424
Visueller Kortex.....	427
Hören	429
Ductus cochlearis und Corti-Organ	431
Hörvorgang.....	432
Zentrale Hörbahn	434
Zusammenfassung.....	438
Was das IMPP wissen möchte	440
MC-Fragen	442
Index.....	443
Weiterführende Literatur.....	446
 14 Bildgebende Verfahren (unter Mitarbeit von O. Nikoubashman)	 447
Computertomographie (CT).....	449
Magnetresonanztomographie (MRT).....	452
Positronen-Emissions-Tomographie (PET)	457
Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)	458
Zusammenfassung.....	460
MC-Fragen	461
Index.....	462
Weiterführende Literatur.....	463
 15 Anhang	 465
Klinische Verweise.....	466
MC-Lösungen.....	467
Weiterführende Literatur.....	468
Index.....	473
Abbildungsquellen.....	489

Nervenzellen (Neurone)

Neurone bestehen aus mindestens zwei unterscheidbaren Teilen: einem Zellkörper, der den Zellkern enthält, und zahlreichen dünnen Fortsätzen, die vom Zellkörper abgehen (Abb. 1.1).

Abb. 1.1

Eine Nervenzelle besteht aus einem Nervenzellkörper (Soma/ Perikaryon) mit zwei Arten von Fortsätzen (Neuriten): Dendriten, welche die Information aufnehmen und Axone, welche die Information an die nächste Zelle weiterleiten. Ein ankommendes Aktionspotenzial wird an den Dornfortsätzen von einer Nervenzelle registriert. Am Axonhügel, der frei von rauem endoplasmatischem Retikulum (rER) ist, entsteht bei Überschreitung eines Schwellenwertes ein neues Aktionspotenzial. Dieses wird rasch über das myelinisierte Axon an die nächste Zelle weitergeleitet. Viele Axone sind von einer Myelinscheide umgeben; diese isoliert das Axon und beschleunigt somit die Fortleitung des Aktionspotenzials (saltatorische Erregungsleitung). An den Ranvier-Schnürringen ist die Myelinscheide regelmäßig unterbrochen. Dieser Bereich wird als Nodus bezeichnet, der Abschnitt zwischen zwei Ranvier-Schnürringen als Internodium. Zur besseren Orientierung ist die Flussrichtung des Aktionspotenzials als Pfeil illustriert. An den Axonterminalen (synaptische Endköpfchen; Boutons) wird das Aktionspotenzial an die nächste Nervenzelle übergeben.



Für den Zellkörper gibt es zwei verschiedene Bezeichnungen, die gleichbedeutend verwendet werden können: **Soma** (Plural: Somata) und **Perikaryon** (Plural: Perikarya). Perikaryon bedeutet so viel wie „Bereich um den Zellkern“ (griech. περί – „um, herum“ sowie κάρυον – „Kern“). Die Fortsätze, die vom Soma ausgehen, bezeichnet man als **Dendriten** und **Axone**, die oft unter dem Oberbegriff „**Neuriten**“ zusammengefasst werden. Wie bereits erwähnt, kommunizieren Neurone untereinander durch elektrische Impulse, durch Aktionspotenziale. Dendriten nehmen die Aktionspotenziale auf, Axone leiten sie weiter. Der Fluss eines

Aktionspotenzials, bezogen auf die Fortsätze der Nervenzelle, verläuft also von Dendrit über das Perikaryon zum Axon.

Eine Nervenzelle kann mehrere Dendriten, aber nur ein Axon haben. Das Axon besitzt auf seiner gesamten Länge einen einheitlichen Durchmesser und verzweigt sich an seinem Ende in mehrere Fortsätze, die Telodendra (Telodendron in der Einzahl) genannt werden. Diese enden in einer Vielzahl von Endknöpfchen (auch als Axonterminale, Synapsenendknöpfchen oder Boutons bezeichnet), die den präsynaptischen Teil der Synapse bilden (Abb. 1.2).

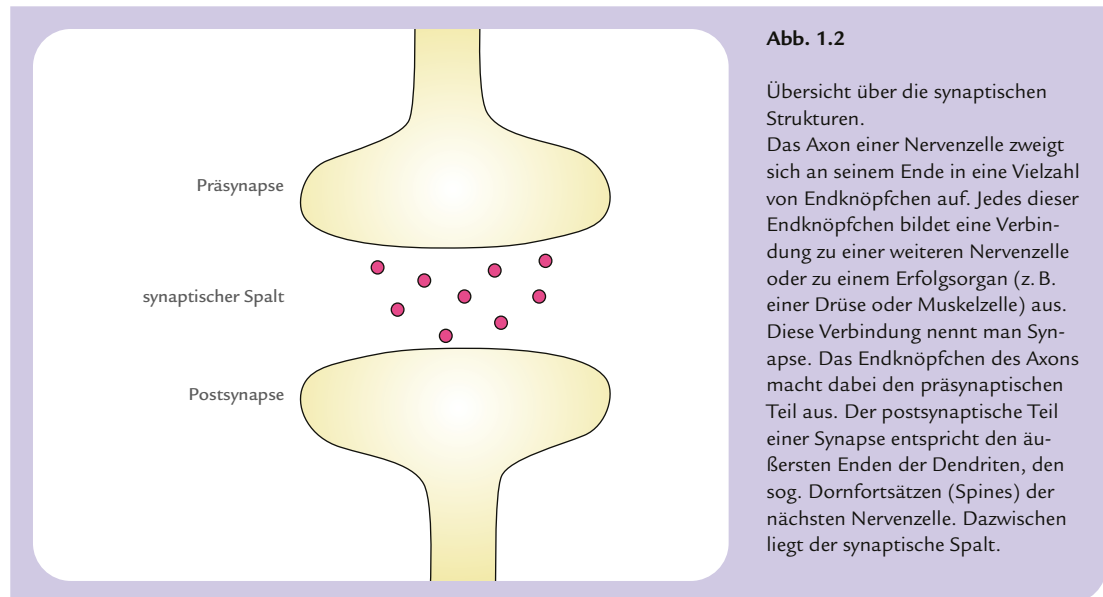


Abb. 1.2

Übersicht über die synaptischen Strukturen.

Das Axon einer Nervenzelle verzweigt sich an seinem Ende in eine Vielzahl von Endknöpfchen auf. Jedes dieser Endknöpfchen bildet eine Verbindung zu einer weiteren Nervenzelle oder zu einem Erfolgsorgan (z. B. einer Drüse oder Muskelzelle) aus. Diese Verbindung nennt man Synapse. Das Endknöpfchen des Axons macht dabei den präsynaptischen Teil aus. Der postsynaptische Teil einer Synapse entspricht den äußersten Enden der Dendriten, den sog. Dornfortsätzen (Spines) der nächsten Nervenzelle. Dazwischen liegt der synaptische Spalt.

Den zweiten Teil einer Synapse bilden die Endsegmente von Dendriten, sogenannte Dornfortsätze (Spines). Dendriten stehen in Kontakt mit vielen Axonen anderer Nervenzellen. Axone wiederum stehen über ihre Axonterminalen im Kontakt mit vielen Dendriten.

Eine Nervenzelle besteht also aus Dendriten, Zellkörper und einem Axon. Im Folgenden sollen die einzelnen Anteile einer Nervenzelle genauer betrachtet werden.

Der neuronale Zellkörper und das Zytoskelett

Der Zellkörper eines typischen Neurons hat einen Durchmesser von circa 20 µm. Die wässrige Flüssigkeit im Inneren der Zelle, das **Zytosol**, ist eine salzige, kaliumhaltige Lösung, die von der Umgebung durch die Neuronenmembran getrennt ist. Der Zellkörper einer Nervenzelle enthält die gleichen Organellen, die in allen Tierzellen vorkommen. Funktionell am wichtigsten sind der Zellkern, das **raue endoplasmatische Retikulum (rER)**, das glatte endoplasmatische Retikulum, der Golgi-Apparat und die Mitochondrien. Alles, was sich innerhalb der Grenzen der Zellmembran befindet, einschließlich der Organellen, aber ohne den Zellkern, bezeichnet man in seiner Gesamtheit als das **Zytoplasma**. Das ausgeprägte Vorhandensein von rER (Synonym: Ergastoplasma) in Nervenzellen ist Ausdruck ihrer ausgeprägten Proteinbiosynthese. Das rER

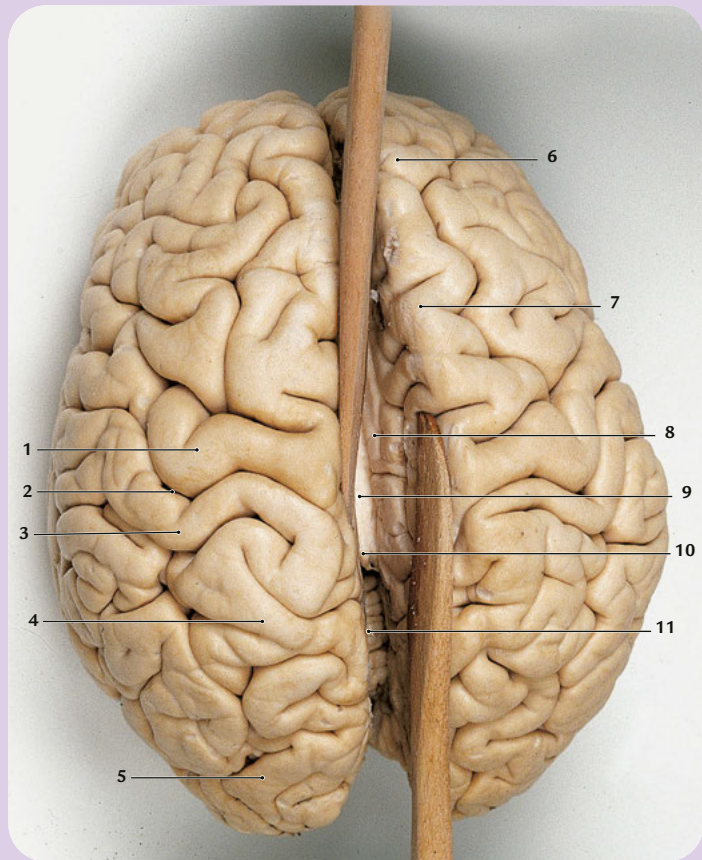
tensiv miteinander kommunizieren und interagieren. Das vordere Ende des Telencephalons nennt man Frontalpol (Polus frontalis), das entgegengesetzte hintere Ende nennt man Okzipitalpol (Polus occipitalis). Seitlich liegt der sogenannte Temporalpol (Polus temporalis).

Abb. 2.5

Gehirn von oben

Hirnhäute vollständig entfernt;
beide Hemisphären des Telencephalons sind auseinander gespreizt, um die Strukturen in der Fissura longitudinalis cerebri zu zeigen

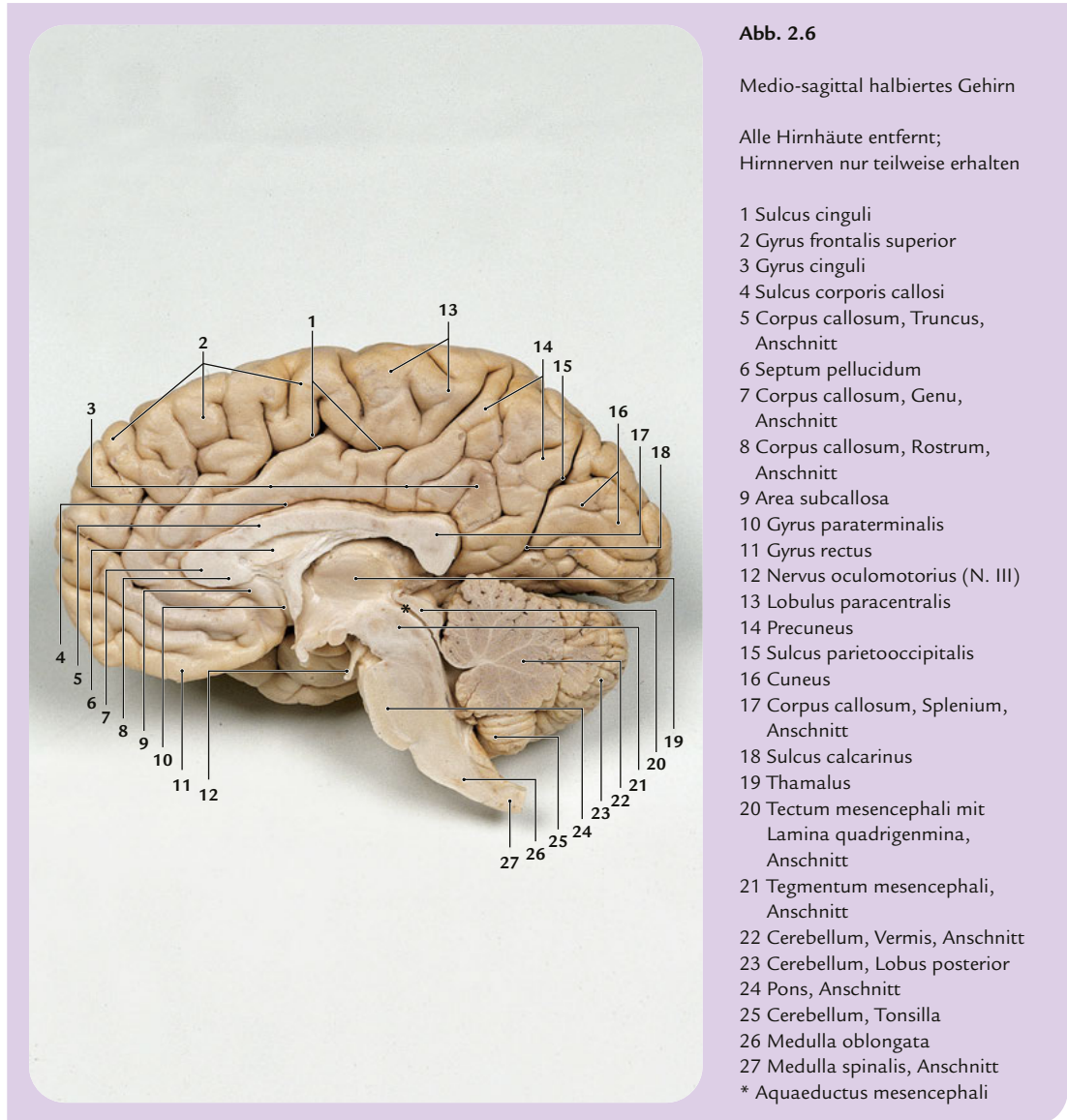
- 1 Gyrus praecentralis
- 2 Sulcus centralis
- 3 Gyrus postcentralis
- 4 Lobus parietalis
- 5 Lobus occipitalis
- 6 Lobus frontalis
- 7 Mantelkante
- 8 Gyrus cinguli
- 9 Corpus callosum, Truncus
- 10 Corpus callosum, Splenium
- 11 Cerebellum



Medio-sagittale Ansicht

Führt man ein scharfes Messer zwischen die beiden Hemisphären des Gehirns, zerteilt es und betrachtet es an der Schnittkante, so schaut man von medio-sagittal auf das Gehirn (Abb. 2.6).

Als Sagittalebene (lat. sagitta – „Pfeil“) wird in der Anatomie eine sich vom Kopf zum Becken und vom Rücken zum Bauch erstreckende Ebene bezeichnet. Beim senkrechten Blick auf eine Sagittalebene sieht man demnach eine seitliche Ansicht des Körpers. Das dazugehörige Adjektiv heißt sagittal und entspricht der Bedeutung „von vorne nach hinten verlaufend“. In der Radiologie und besonders der tomographischen Bildgebung spielen Sagittalschnitte eine äußerst wichtige Rolle. In Abb. 2.6 wurde das Messer exakt mittig geführt, man spricht deswegen von einer medio-sagittalen Ansicht auf das Gehirn. In eben dieser medio-sagittalen Ansicht kann man die verschiedenen Anteile des Gehirns recht gut gegeneinander abgrenzen. Folgende Etagen können unterschieden werden (vergleiche auch mit Abb. 2.3): Medulla oblongata, Pons, Mesen-



cephalon, Diencephalon und Telencephalon. Dorsal, unter dem Telencephalon liegt das Cerebellum. Auf die einzelnen Abschnitte wollen wir hier kurz eingehen, und so eine Grundlage für weitere neuroanatomische Betrachtungen legen.

Medulla oblongata – das verlängerte Mark

Dem Rückenmark (Medulla spinalis) schließt sich nach oben das verlängerte Mark (**Medulla oblongata**) an. Die Medulla oblongata ist somit der am weitesten kaudal gelegene Teil des Gehirns, der Übergang zum Rückenmark ist fließend. Gemeinhin wird zur Abgrenzung die Austrittsstelle des obersten Spinalnervenpaares herangezogen. Die kraniale (obere) Begrenzung der Medulla oblongata bildet die Brücke (lat. der Pons). In der Medulla oblongata befinden sich wichtige neuronale Zentren für die

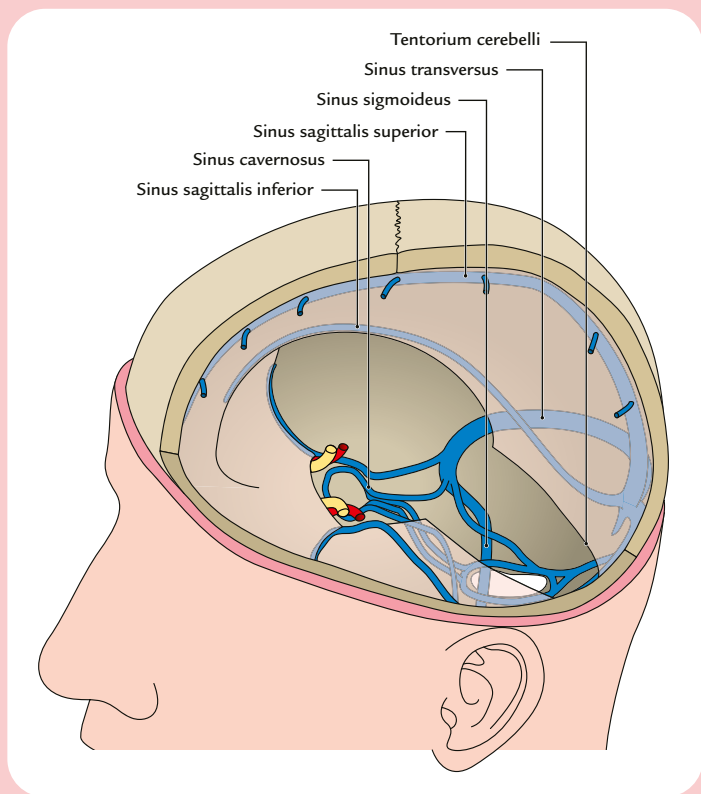
Abb. 4.2

In dieser Abbildung sind die venösen Blutleiter des Gehirns schematisch dargestellt.

Die Dura mater encephali bildet starre, inkompressible Duplikaturen aus, in denen das venöse Blut aus dem Gehirn abfließt.

Die wichtigsten Sinus durae matris sind:

- Sinus transversus
- Sinus sigmoideus
- Sinus sagittalis superior
- Sinus sagittalis inferior
- Sinus cavernosus



Im Bereich des Schädels verwächst die Dura mater mit ihrem periostalen Anteil teils sehr fest am Schädelknochen. Ein Raum oberhalb der Dura mater (**Epiduralraum** von griech. ἐπί – „auf, darüber“), also zwischen Dura mater und Schädelkalotte ist unter normalen Umständen nicht existent.



Klinik

Diesen Epiduralraum durchziehen Gefäße zur Versorgung der Meningen. Sie sind relativ fest im Epiduralraum verankert. Daher ist es möglich, dass sie bei mechanischen Belastungen, wie sie im Rahmen eines Schädeltraumas auftreten können, bersten. Besonders oft ist hiervon das mittlere die Dura mater versorgende Gefäß, die Arteria meningea media, betroffen. Im Rahmen von Blutungen aus ihr kann es zur Ausbildung eines pathologischen Epiduralraums kommen. Das klinische Bild wird **Epiduralblutung** genannt.

Im Gegensatz zur Dura mater encephali befindet sich im Bereich der Dura mater spinalis (kaudal des Foramen magnum im Bereich des Rückenmarks) sehr wohl ein physiologischer Epiduralraum zwischen Dura mater und dem Periost der Wirbelkörper. Dieser ist vor allem mit Fettgewebe und Venen gefüllt und besitzt große klinische Relevanz für

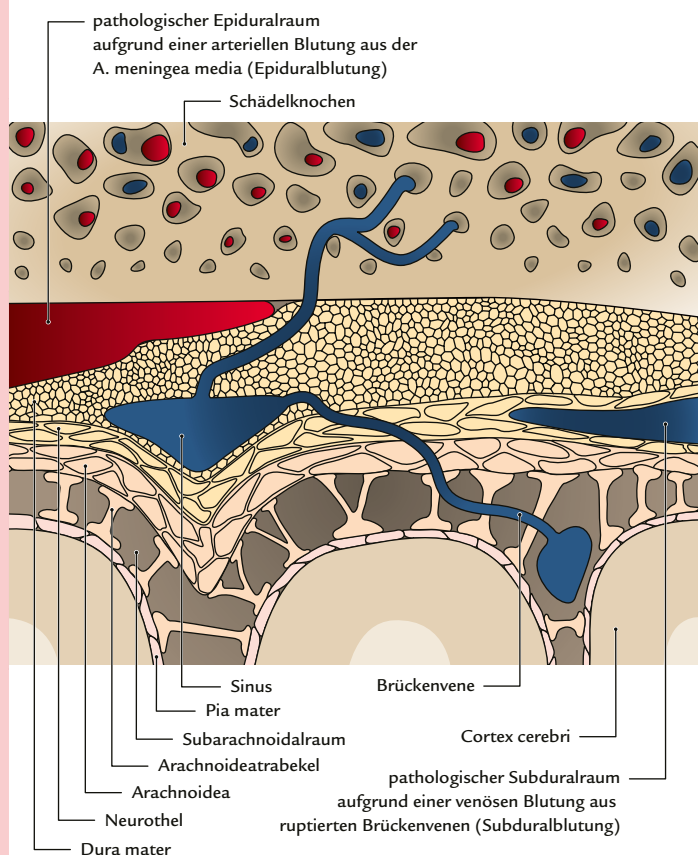


Abb. 4.3

Schematischer Aufbau der Hirnhäute

Das Gehirn ist, ebenso wie das Rückenmark von bindegewebigen Hüllen, den Hirnhäuten (Meningen) umgeben.

Die derbe äußere Hülle, welche der inneren knöchernen Schädelfläche anliegt und mit dem Periost verschmolzen ist, dient dem Gehirn als schützende Kapsel und wird als Pachymeninx oder Dura mater encephali bezeichnet. An der weichen Hirnhaut wird die Arachnoidea von der Pia mater unterschieden; dazwischen befindet sich der Subarachnoidalraum (Cavum subarachnoidale), der den äußeren Liquorraum bildet und mit Liquor cerebrospinalis gefüllt ist.

Die Pia mater liegt dem Hirngewebe direkt auf und folgt allen Gyri und Sulci der Hirnoberfläche. Im Gegensatz dazu ziehen die Arachnoidea und Dura mater über alle Unebenheiten hinweg.

Das Neurothel stellt eine Verbindung zwischen Dura mater und Arachnoidea mater her.

die Durchführung einer Periduralanästhesie, wie sie häufig bei orthopädischen, gynäkologischen oder urologischen Eingriffen zum Einsatz kommt.

Arachnoidea mater encephali

Die Arachnoidea mater ist von der Dura mater durch einen makroskopisch nicht erkennbaren Spaltraum, das Spatium subdurale, getrennt. Durch diesen Spaltraum ziehen sogenannte **Brückenvenen**, welche das Blut oberflächlicher Gehirnvenen den Sinus durae matris zuleiten.

Klinik

Im Rahmen eines Traumas können die Brückenvenen reißen und das Spatium subdurale pathologisch erweitern: Man spricht von einer **Subduralblutung**. Da die Brückenvenen fest mit der Dura mater an ihrer Mündungsstelle am Sinus verwachsen sind, sind sie dort nur wenig beweglich. Dies ist der Grund, weshalb sie bei einem Trauma vor allem dort einreißen.



Schädelbasis und Hirnnerven

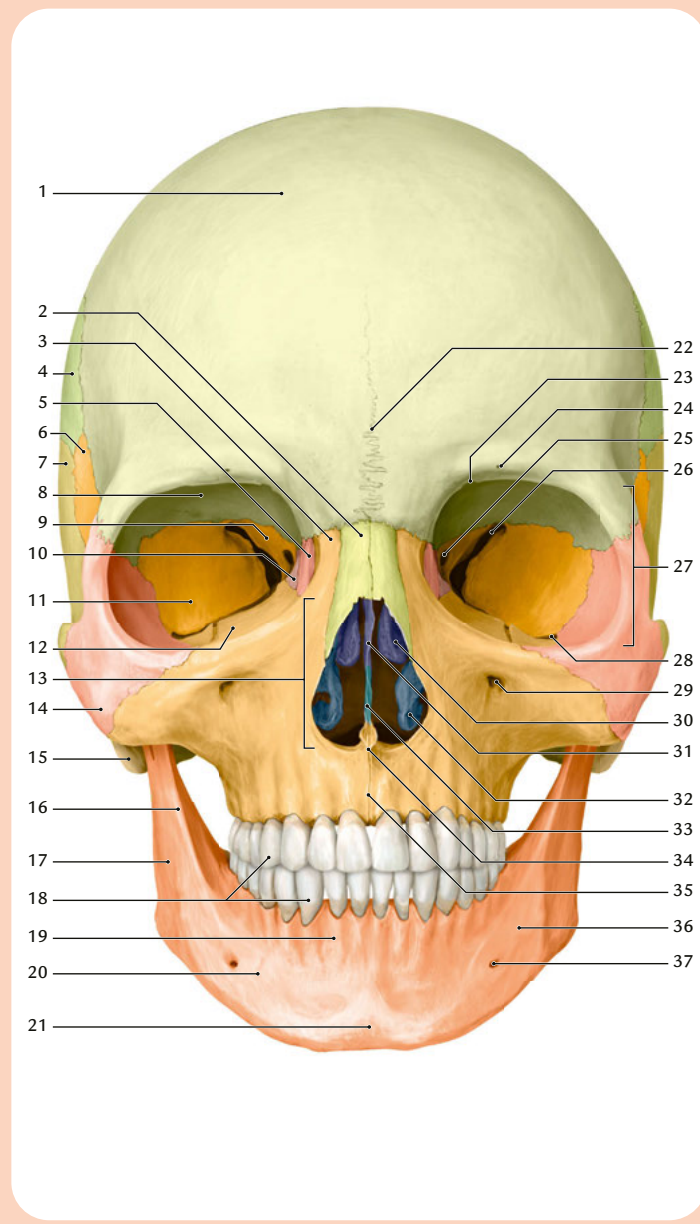
Der knöcherne Schädel

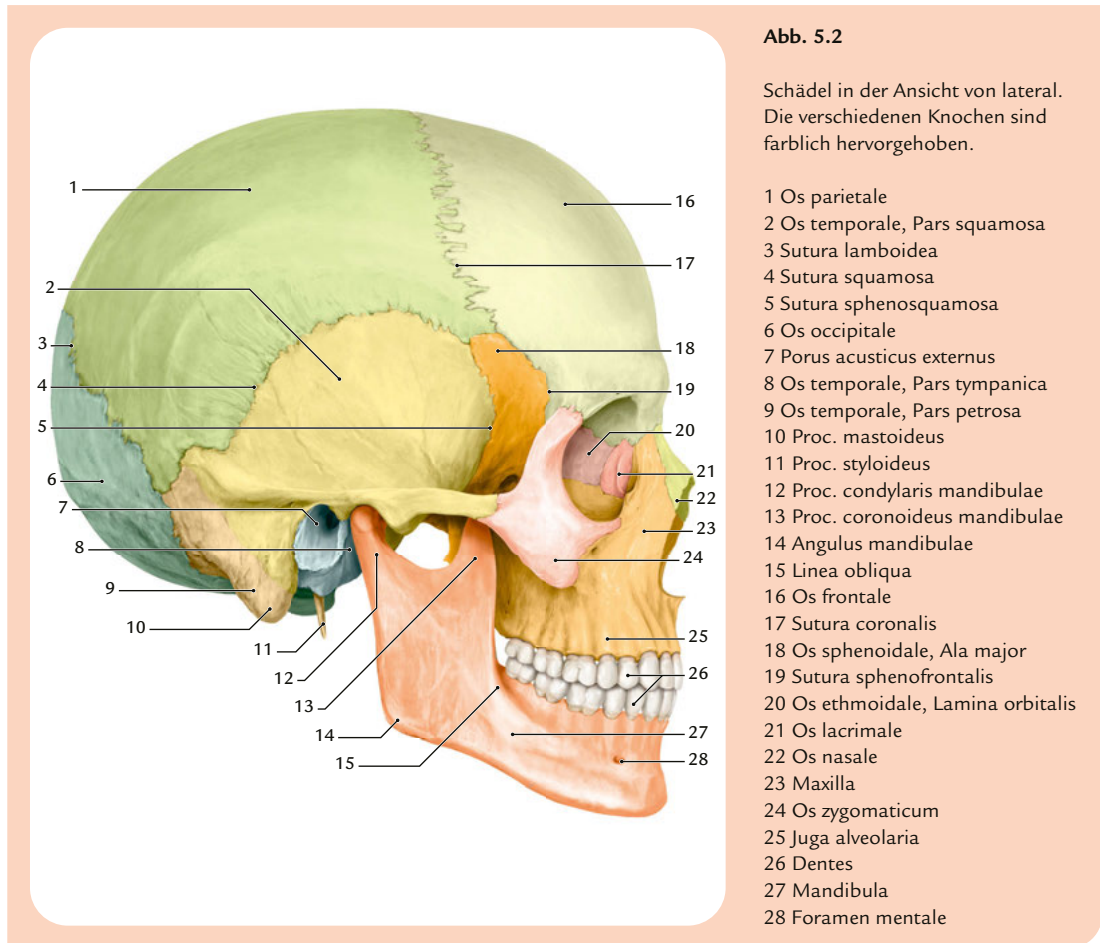
Der Schädel des Menschen besteht aus mehreren, miteinander über Knochennähte verbundenen Knochen. Anatomisch unterscheidet man den Hirnschädel (**Neurocranium**), der eine stabile Hülle um das Gehirn bildet, vom Gesichtsschädel (**Viscerocranium**), der die Grundlage für das Gesicht darstellt. Das Neurocranium wird weiter in das Schädeldach (auch Schädelkalotte oder Calvaria) und die Schädelbasis unterteilt.

Abb. 5.1

Schädel in der Ansicht von anterior.
Die verschiedenen Knochen sind farblich hervorgehoben.

- 1 Os frontale
- 2 Os nasale
- 3 Maxilla, Proc. frontalis
- 4 Os parietale
- 5 Os lacrimale
- 6 Os sphenoidale, Ala major
- 7 Os temporale
- 8 Os frontale, Pars orbitalis
- 9 Os sphenoidale, Ala minor
- 10 Os ethmoidale, Lamina orbitalis
- 11 Os sphenoidale, Ala major, Facies orbitalis
- 12 Maxilla, Facies orbitalis
- 13 Apertura piriformis
- 14 Os zygomaticum, Arcus zygomaticus
- 15 Os temporale, Proc. mastoideus
- 16 Linea obliqua (Mandibula)
- 17 Ramus mandibulae
- 18 Dentes
- 19 Jugalveolaria
- 20 Corpus mandibulae
- 21 Protuberantia mentalis
- 22 Sutura frontalis
- 23 Incisura frontalis
- 24 Foramen supraorbitale
- 25 Canalis opticus
- 26 Fissura orbitalis superior
- 27 Orbita
- 28 Fissura orbitalis inferior
- 29 Foramen infraorbitale
- 30 Concha nasalis media
- 31 Os ethmoidale, Lamina perpendicularis
- 32 Concha nasalis inferior
- 33 Vomer
- 34 Spina nasalis anterior
- 35 Sutura intermaxillaris
- 36 Mandibula
- 37 Foramen mentale





Am Aufbau des Schädels sind mehrere Knochen beteiligt, deren Lage zueinander nicht ganz einfach nachzuvollziehen ist. In den Abb. 5.1–5.4 sind die einzelnen Anteile aus vier verschiedenen Blickwinkeln dargestellt, die einzelnen Knochen sind dabei farblich hervorgehoben.

Am Aufbau des Neurocraniums beteiligen sich das Hinterhauptbein (Os occipitale), das Scheitelbein (Os parietale), das Schläfenbein (Os temporale), das Keilbein (Os sphenoidale), das Stirnbein (Os frontale) sowie das Siebbein (Os ethmoidale).

Am Aufbau des Viscerocraniums beteiligen sich das Stirnbein (Os frontale), das Jochbein (Os zygomaticum), der Oberkiefer (Maxilla) und Unterkiefer (Mandibula), das Nasenbein (Os nasale), das Tränenbein (Os lacrimale), das Gaumenbein (Os palatinum), das Pflugscharbein (Vomer) und das Siebbein (Os ethmoidale). Maxilla und Mandibula stehen über das Kiefergelenk miteinander in beweglicher Verbindung.

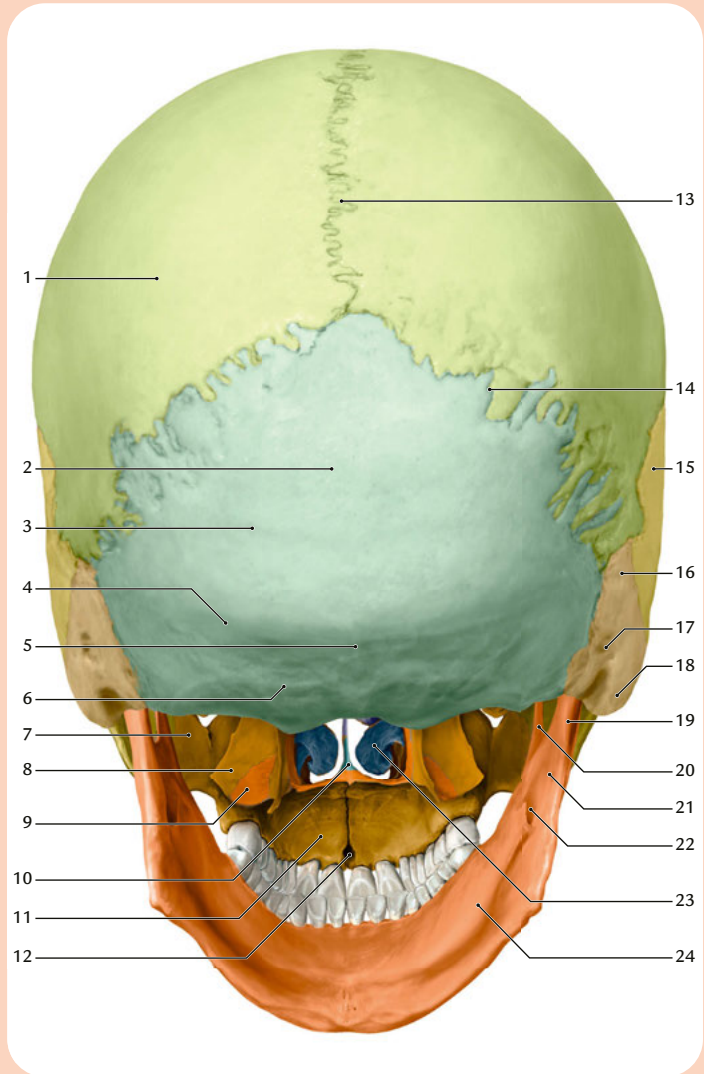
Um das Innenrelief des Neurocraniums studieren zu können, muss die Schädelkalotte entfernt werden. Bei den meisten Demonstrationsmodellen kann die Schädelkalotte vom Rest des Präparates abgenommen werden, woraufhin man Einblick in die (innere) Schädelbasis erhält. Unter dem Begriff Schädelbasis (Basis cranii) versteht man also den unteren Teil des Neurocraniums. Es wird eine innere (Basis cranii interna;

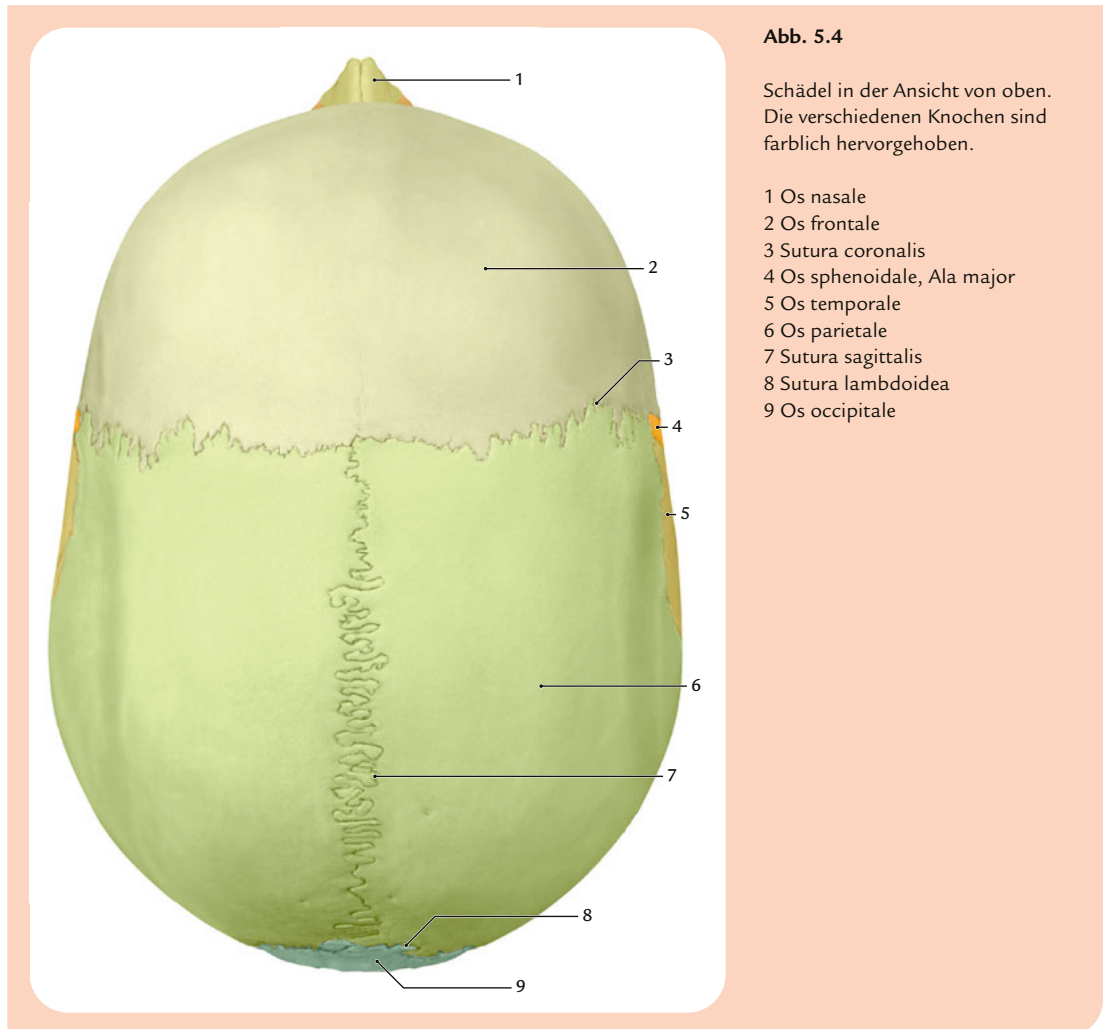
Abb. 5.5) von einer äußeren (Basis cranii externa; Abb. 5.6) Schädelbasis abgegrenzt. Beide Flächen sind durch zahlreiche Öffnungen miteinander verbunden, durch welche eine große Schar an Gefäßen und Nerven in das Schädelinnere hinein oder aus ihm heraus ziehen. Ein Grundverständnis über den allgemeinen Aufbau der Schädelbasis und ihrer Öffnungen ist für das Studium der Hirnnerven besonders wichtig. Deswegen soll im folgenden Kapitel kurz auf die wichtigsten Strukturen der inneren und äußeren Schädelbasis eingegangen werden.

Abb. 5.3

Schädel in der Ansicht von posterior. Die verschiedenen Knochen sind farblich hervorgehoben.

- 1 Os parietale
- 2 Os occipitale
- 3 Linea nuchae suprema
- 4 Linea nuchae superior
- 5 Protuberantia occipitalis externa
- 6 Linea nuchae inferior
- 7 Maxilla
- 8 Os sphenoidale, Proc. pterygoideus
- 9 Os palatinum, Proc. pyramidalis
- 10 Vomer
- 11 Maxilla
- 12 Foramen incisivum
- 13 Sutura sagittalis
- 14 Sutura lambdoidea
- 15 Os temporale, Pars squamosa
- 16 Os temporale, Pars petrosa
- 17 Foramen mastoideum
- 18 Os temporale, Proc. mastoideus
- 19 Mandibula, Proc. condylaris
- 20 Mandibula, Proc. coronoideus
- 21 Ramus mandibulae
- 22 Foramen mandibulae
- 23 Concha nasalis inferior
- 24 Corpus mandibulae





Basis cranii interna

Die innere Schädelbasis wird in eine vordere, mittlere und hintere Schädelgrube (Fossa cranii anterior, media und posterior) unterteilt, die stufenförmig von vorn nach hinten abfallend angeordnet sind. In einem ersten Schritt empfiehlt es sich, die wichtigsten Landmarken der drei Schädelgruben kennenzulernen, um sich dann gezielt die einzelnen Löcher und Fissuren, durch welche die Hirnnerven und Gefäße im Einzelnen ziehen, einzuprägen.

Fossa cranii anterior

Die vordere Schädelgrube bildet das Dach der Orbita und der Nasenhöhle. Die Knochen der vorderen Schädelgrube tragen jeweils den Frontallappen des Gehirns. Das Relief der Gyri und Sulci des Frontallappens zeichnet sich auf ihnen in Form von Impressionen individuell ab. Am Aufbau der vorderen Schädelgrube beteiligen sich das **Os frontale**, **Os ethmoidale** und **Os sphenoidale**. Als markante Struktur des Os eth-

1. Hirnnerv: Nervus olfactorius

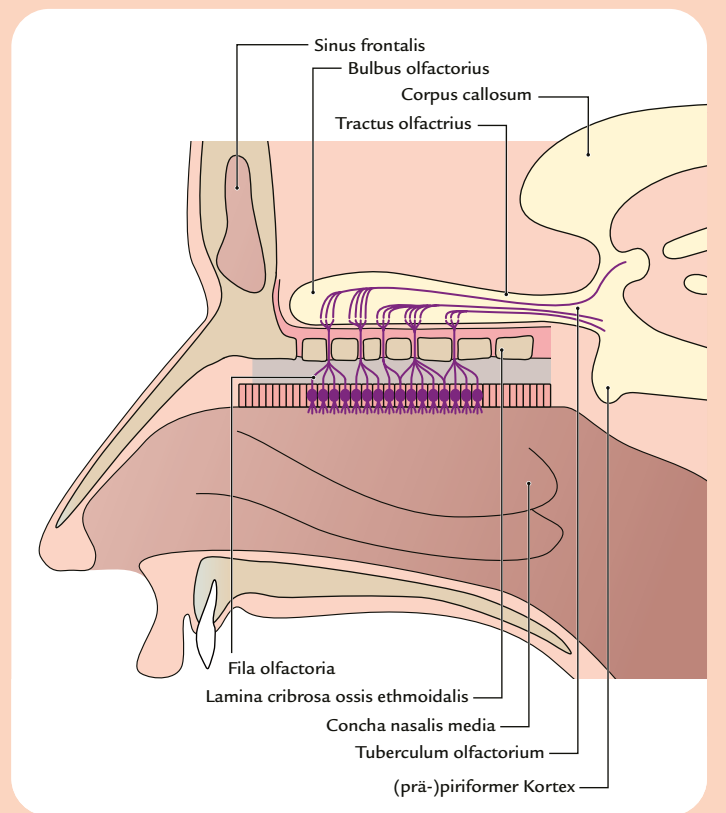
Der erste Hirnnerv ist an der Weiterleitung von Riecheindrücken aus der Riechschleimhaut der Nase zur primären Riechrinde des Telencephalons beteiligt. Im Bereich der Riechschleimhaut lassen sich histologisch Sinneszellen von Stützzellen und undifferenzierten Basalzellen abgrenzen. Basalzellen sind dazu in der Lage, Sinneszellen zu ersetzen. Bei den Sinneszellen handelt es sich um primäre Sinneszellen, d. h. sie selbst generieren Aktionspotenziale. Die Axone dieser primären Sinneszellen bilden den Riechnerv. Der Riechnerv war in embryonaler Zeit ein einheitlicher Nervenstamm, ein echter Nervus olfactorius, der später mit der Ausbildung der **Lamina cribrosa** des Siebbeins (Os ethmoidale) in 15-20 kleine Bündel, die sogenannten Riechfäden (Nn. olfactorii, **Fila olfactoria**), zerlegt wurde. Die feinen Fasern des Nervus olfactorius entsprechen also den Axonen der Zellen der Riechschleimhaut der oberen Nasenmuschel (Concha nasalis superior).

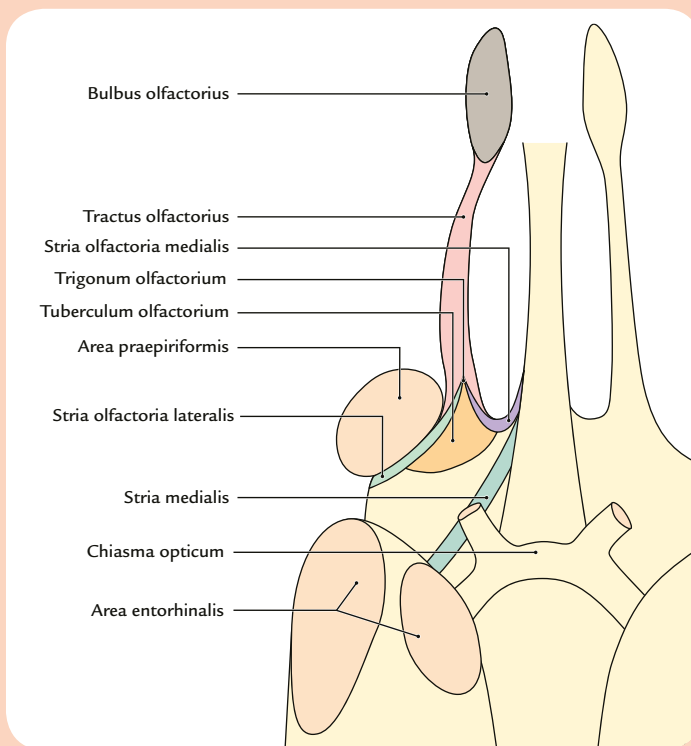
Im **Bulbus olfactorius**, einer Auftreibung im Bereich des basalen Vorderhirns, erfolgt die Umschaltung auf das zweite sensorische Neuron (Mitralzellen und Pinselzellen). Die Riechbahn setzt sich von dort als **Tractus olfactorius** nach hinten fort. Er teilt sich auf Höhe der Arteria cerebri anterior am Trigonum olfactorium in zwei Stränge, in die **Stria olfactoria medialis et lateralis**. Die verbreiterte Basis dieser Teilungsstelle wird Trigonum olfactorium genannt. Vermutlich leiten beide Striae

Abb. 5.12

Olfaktorisches System

Die Sinneszellen des olfaktorischen Systems besitzen an ihrer Oberfläche lange Ausläufer (Zilien), die in einem sogenannten Riechschleim liegen. Auf der Membran dieser Zilien befinden sich etwa 350 verschiedene Rezeptoren, die jeweils spezifisch einen bestimmten Geruchsstoff (Odorant) binden. Als Folge bilden die Zellen als primäre Sinneszellen ein Aktionspotenzial aus, das über ihre Axone in Richtung ZNS geleitet wird. Mehrere Axone werden dabei zu ca. 20 Fila olfactoria zusammengefasst, die die Lamina cribrosa des Os ethmoidale durchstoßen und im Bulbus olfactorius auf das zweite Neuron verschaltet werden. Von dort zieht die Riechinformation im Tractus olfactorius zum Riechhirn.



**Abb. 5.13****Olfaktorische Zentren des Gehirns**

Im Bulbus olfactorius erfolgt die erste Verschaltung der Riechinformation. Von dort ziehen die Riechimpulse über den Tractus olfactorius und das Trigonum olfactorium, bevor sie sich aufspalten und entweder in der Stria olfactoria medialis oder lateralis weiterlaufen. Von dort gelangen sie zu höheren olfaktorischen Zentren, beispielsweise zur Inselrinde, Area piriformis oder Amygdala. Der Thalamus wird dabei interessanterweise nicht passiert.

Riechimpulse zu höheren olfaktorischen Zentren wie zur Inselrinde, zur Area (prae-)piriformis, zu Teilen des Corpus amygdaloideum (Mandelkörper) und zu Teilen des Hippocampus.¹

Interessanterweise passieren diese Riechimpulse nicht den Thalamus, bevor sie den Cortex cerebri erreichen. Alle anderen Sinnesmodalitäten tun dies.

**Abb. 5.14****Basalansicht auf das Frontalhirn**

- 1 Fissura longitudinalis cerebri
- 2 Bulbus olfactorius
- 3 Gyrus rectus
- 4 Polus temporalis
- 5 Stria olfactoria medialis
- 6 Stria olfactoria lateralis
- 7 Substantia perforata anterior
- 8 Corpora mammillaria
- 9 Polus frontalis
- 10 Tractus olfactorius
- 11 A. cerebri anterior
- 12 Trigonum olfactorium
- 13 A. cerebri media
- 14 A. carotis interna



Klinik

Die Unfähigkeit zu Riechen wird **Anosmie**, eine Riechminderung **Hyposmie** genannt. Differenzialdiagnostisch kommen vor allem ein Schädel-Hirn-Trauma, tumoröse Prozesse (z. B. Olfaktoriusmeningiom), aber auch eine banale Grippe in Betracht. Raumforderungen im Bereich der Sella turcica, wie etwa ein Hypophysenadenom, können ebenfalls zur Anosmie oder Hyposmie führen. Aufgrund der topographischen Lagebeziehung zum Nervus opticus sind oft begleitende Sehstörungen zu erwarten.

In den letzten Jahren wurden in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde einfache und zuverlässige Methoden zur Untersuchung des Riechvermögens etabliert. Speziell im Bereich der Neurologie haben Riechtests einen neuen Stellenwert erlangt, vor allem wegen des häufigen und frühen Auftretens von Riechstörungen bei Patienten mit neurodegenerativen Erkrankungen (beispielsweise Morbus Parkinson und Morbus Alzheimer). Besondere Bedeutung erlangt dieses Symptom aktuell in der Frühdiagnose solcher neurodegenerativer Erkrankungen, da es den typischen motorischen Symptomen der Parkinson-Erkrankung und den kognitiven Einschränkungen bei Morbus Alzheimer um viele Jahre vorausgehen kann.²

II. Hirnnerv: Nervus opticus

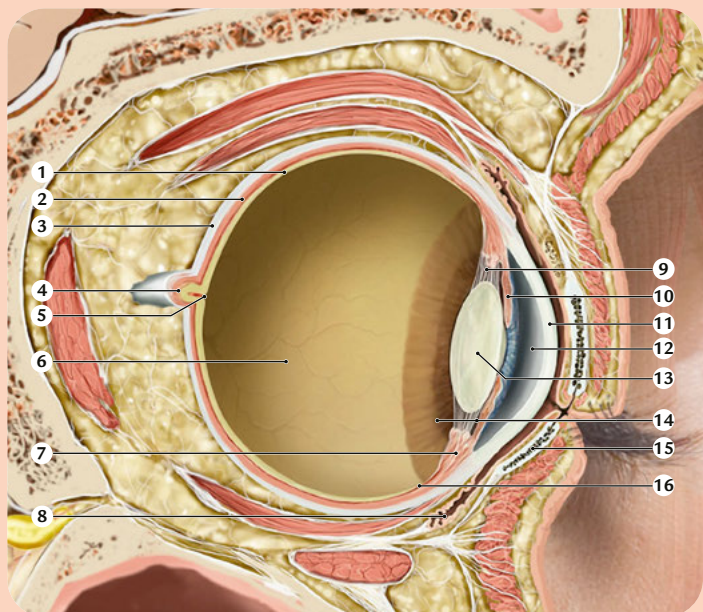
Das visuelle System beginnt mit den Stäbchenzellen und Zapfenzellen in der Retina. Bei diesen Sinneszellen handelt es sich, im Gegensatz zu den Sinneszellen der Riechschleimhaut, um **sekundäre Sinneszellen**, d. h. sie bilden selbst keine Aktionspotenziale aus, die in das Zentralnervensystem weitergeleitet würden. **Stäbchenzellen** sind auf die Lichtwahr-

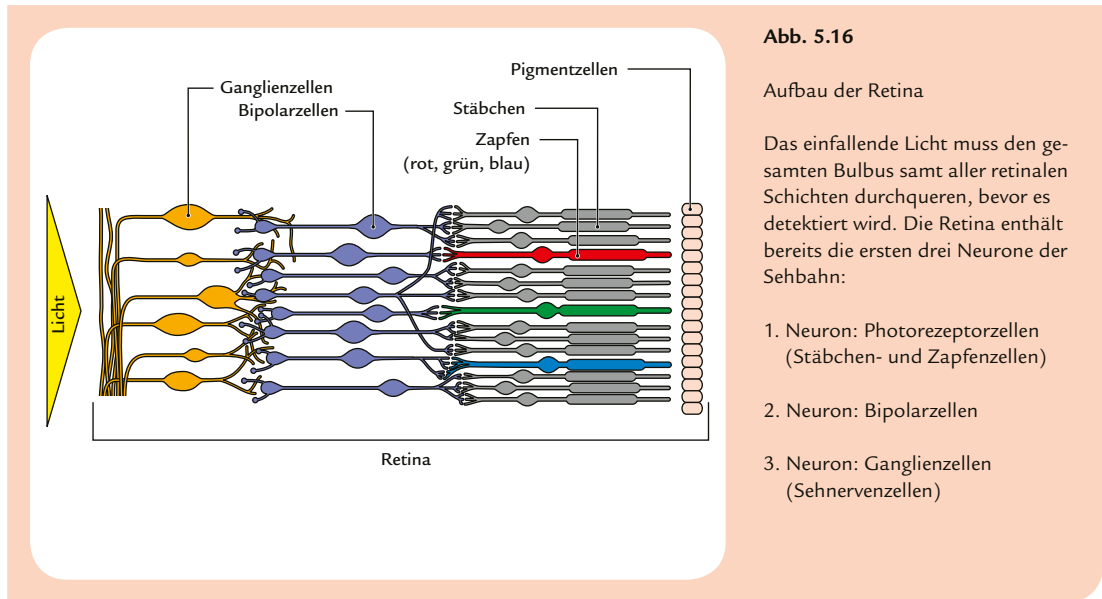
Abb. 5.15

Aufbau des Auges

Sagittaler Schnitt etwas medial von der Mitte der Augenregion.

- 1 Retina
- 2 Choroidea
- 3 Sklera
- 4 N. opticus (N. II)
- 5 Blinder Fleck
- 6 Corpus vitreum
- 7 Corpus ciliare
- 8 Fornix conjunctivae inferior
- 9 Fibrae zonulares
- 10 Iris
- 11 Kornea
- 12 Camera anterior bulbi
- 13 Linse
- 14 Camera posterior bulbi
- 15 Tarsus inferior
- 16 Ora serrata





nehmung spezialisierte Sinneszellen und dienen dabei vornehmlich der Hell-Dunkel-Wahrnehmung. **Zapfenzellen** sind hingegen für das chromatische (Farbwahrnehmung) und das scharfe Sehen besonders wichtig. Einfallende Lichtsignale werden von den Stäbchenzellen und Zapfenzellen auf **bipolare Zellen** und dann auf **Ganglienzellen** weitergegeben. Beide Zelltypen sitzen mit ihrem Zellkörper innerhalb der Retina (siehe Lehrbücher der Histologie). Die Axone der Ganglienzellen verlassen den Augapfel gebündelt in der Sehnervpapille (**Papilla nervi optici** = blinder Fleck) und bilden ab dort den **Nervus opticus**. Dieser zieht durch den Canalis opticus (zusammen mit der Arteria ophthalmica) in die mittlere Schädelhöhle ein. Dort vereinigt sich der Nervus opticus im Bereich des Türkensattels (Sella turcica) vor der Hypophyse mit dem der anderen Seite zur Sehnervenkreuzung (**Chiasma opticum**). Im Chiasma opticum kreuzen die medialen Fasern beider Nervi optici, die lateralen passieren die Sehnervenkreuzung ungekreuzt. Nach hinten schließt sich dem Chiasma opticum der **Tractus opticus** an, in dem nun visuelle Informationen aus beiden Augen verlaufen. Der rechte Tractus opticus leitet Signale des linken Gesichtsfeldes, für den linken Tractus gilt entsprechendes für die gegenüberliegende Seite. Der Tractus opticus zieht von der Sehnervenkreuzung seitlich um den Hypophysenstiel, umgreift dann den vorderen Abschnitt der Hirnschenkel (Crura cerebri) und zieht okzipitalwärts, zum **Corpus geniculatum laterale** des Thalamus.

Dort werden die optischen Signale noch einmal verschaltet, bevor sie als **Radiatio optica** (Gratiolet-Sehstrahlung) zur primären Sehrinde des Okzipitallappens (**Area striata**) ziehen.

Nicht alle Fasern des Tractus opticus ziehen zum Corpus geniculatum laterale. Einige ziehen zum **Hypothalamus** (wichtig für Tag-Nacht-Rhythmus), zu den **Colliculi superiores** der Lamina quadrigemina des Mittelhirns oder zur **Area praetectalis** am Übergang des Mittelhirns zum Zwischenhirn (wichtig für den Pupillenreflex).

jedoch auch relativ locker im Hirnstamm verstreut. Diese graue Substanz fasst man als *Formatio reticularis* zusammen.

Graue Substanz der Medulla oblongata

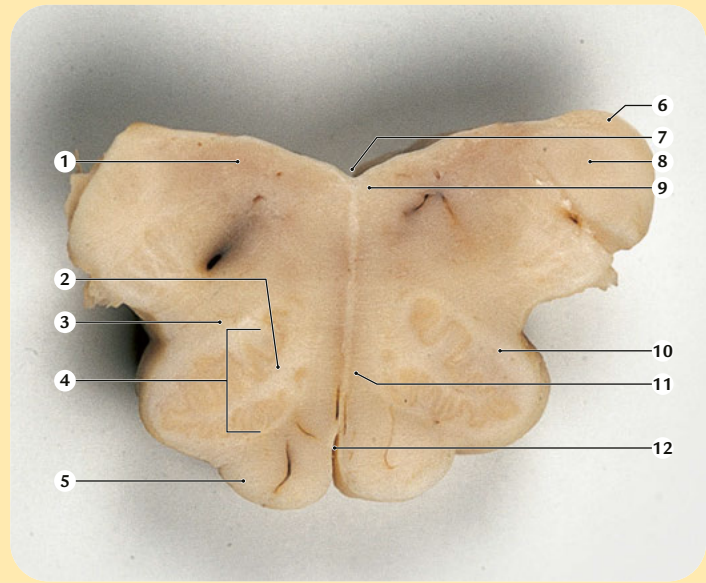
Abgrenzbare Kerngebiete der Medulla oblongata sind die Oliven sowie der Nucleus gracilis und der Nucleus cuneatus.

Abb. 7.5

Myelencephalon, Querschnitt

Schnitt durch die Olive unmittelbar unterhalb des Pons; von oben.

- 1 Bereich der Ncll. vestibulares
- 2 Hilum des unteren Olivenkernkomplexes
- 3 Tractus tegmentalis centralis
- 4 Ncll. olivares inferiores
- 5 Pyramis
- 6 Ncl. cochlearis posterior
- 7 Sulcus medianus
- 8 Pedunculus cerebellaris inferior
- 9 Fasciculus longitudinalis medialis
- 10 Tractus spinocerebellaris anterior
- 11 Lemniscus medialis
- 12 Fissura mediana anterior



Olive

Diese Vorwölbung entsteht durch den unteren Olivenkernkomplex (**Nuclei olivares inferiores**), der für die Koordination von Bewegung große Bedeutung hat. Im Horizontalschnitt (Abb. 7.5) ist er an seiner charakteristischen Morphologie gut zu erkennen. Er bildet eine Art offenen Sack, dessen Öffnung (Hilum) nach medial zeigt. Weiterhin liegt direkt kranial zum unteren Olivenkernkomplex der obere Olivenkernkomplex. Seine Kerne haben aber mit dem unteren funktionell nichts gemein, denn sie sind eine Umschaltstation der Hörbahn. Der obere Olivenkernkomplex hat eine wichtige Bedeutung für das Richtungshören.

Nucleus gracilis und cuneatus

Auf der entgegengesetzten (dorsalen) Seite sehen wir unmittelbar seitlich des Obex, dem kranialen Eingang in den Zentralkanal des Rückenmarks, beidseits je ein **Tuberculum gracile**, und weiter lateral je ein **Tuberculum cuneatum** (siehe Abb. 7.4; in Abb. 7.5 nicht angeschnitten). Diese beiden Unebenheiten werden durch die gleichnamigen **Nuclei gracilis et cuneatus** aufgeworfen. In beiden Kerngebieten werden sensible Impulse der epikritischen Sensibilität verschaltet und ziehen von dort als Lemniscus medialis zum sensiblen Teil des Thalamus. Der Nucleus gracilis verschaltet hierbei epikritische Impulse der unteren Extremität, der Nucleus cuneatus epikritische Impulse der oberen Extremität und des Rumpfes.

Wenngleich der Verlauf der sensiblen Bahnen später noch genauer besprochen wird, sollen wichtige Grundlagen an dieser Stelle schon einmal aufgegriffen werden. Im Wesentlichen können drei verschiedene Qualitäten von Sensibilität unterschieden werden: epikritische (Feinwahrnehmung), protopathische (Grobwahrnehmung) und propriozeptive Sensibilität (Wahrnehmung der Körperlage). Alle drei Fasersysteme erreichen das Rückenmark über die Hinterwurzeln, verlaufen dann aber getrennt voneinander.

Die **epikritischen** Fasern ziehen nicht in das sensible Hinterhorn hinein, werden also nicht auf Segmentebene verschaltet, sondern steigen in den Hintersträngen (Fasciculus cuneatus und gracilis) auf. Erst im Nucleus cuneatus bzw. gracilis wird die Information auf das zweite sensible Neuron verschaltet, kreuzt zur Gegenseite und steigt als **Lemniscus medialis** durch den Hirnstamm auf zum Thalamus (dort ist der Sitz der dritten sensiblen Neurone).

Die **protopathischen** Informationen werden dem Rückenmark ebenfalls über das Spinalganglion zugeleitet. Die Verschaltung auf das zweite sensible Neuron geschieht hier jedoch direkt auf Segmentebene im sensiblen Hinterhorn. Nach Verschaltung kreuzt die Bahn, um dann als Tractus spinothalamicus durch das Rückenmark und durch den Hirnstamm zum Thalamus zu gelangen. Da diese Bahn nicht im Lemniscus medialis durch den Hirnstamm zieht, spricht man bei der protopathischen Sensibilität auch vom **extralemniskalen System**. Bei den Nuclei gracilis und cuneatus handelt es sich demnach um einen Teil des Hinterhorns des Rückenmarks, welches in den Hirnstamm verlagert worden ist.

Weitere wichtige Gebiete grauer Substanz in der Medulla oblongata sind die verschiedenen Kerne der Hirnnerven, die jedoch hier nicht weiter besprochen werden sollen (siehe Kapitel 5).

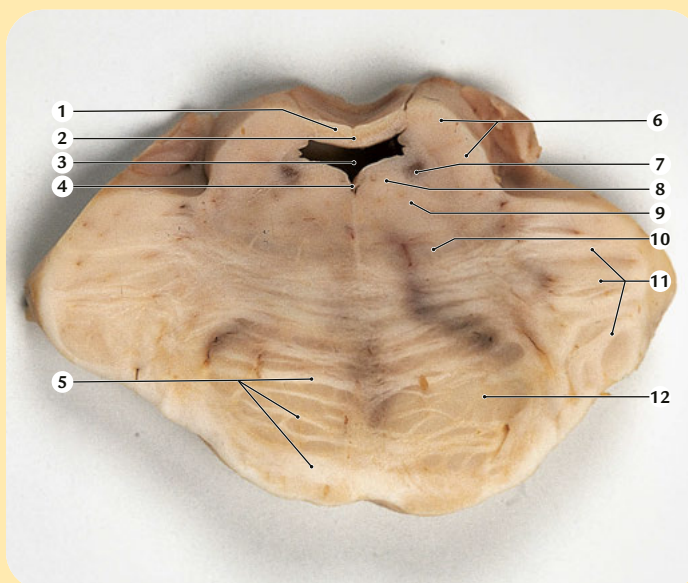


Abb. 7.6

Myelencephalon, Querschnitt

Schnitt durch den hinteren Pons im Bereich der vorderen Rautengrube; von oben.

- 1 Lingula cerebelli
- 2 Velum medullare superius
- 3 Ventriculus quartus, Lumen
- 4 Sulcus medianus
- 5 Fibrae pontocerebellares
- 6 Pedunculus cerebellaris superior
- 7 Locus caeruleus
- 8 Fasciculus longitudinalis medialis
- 9 Tractus tegmentalis centralis
- 10 Lemniscus medialis
- 11 Pedunculus cerebellaris medius
- 12 Tractus pyramidalis

Cerebellum

Vorbemerkung

Das Kleinhirn oder Cerebellum ist das wichtigste Integrationszentrum für das Erlernen, die Koordination und die Feinabstimmung von Bewegungen. Es sitzt der Medulla oblongata und dem Pons von hinten auf und bildet zusammen mit ihnen das Rautenhirn (Rhombencephalon). Makroskopisch ähnelt es in vielerlei Hinsicht seinem großen Bruder, dem Großhirn: Auch das Kleinhirn besteht aus zwei Hemisphären und auch seine Oberfläche ist durch „Hügel“ und „Täler“ vergrößert.

Das Funktionsprinzip des Kleinhirns ist schnell erklärt. Es empfängt eine Vielzahl unterschiedlicher sensibler bzw. sensorischer Impulse, verrechnet diese und moduliert daraufhin motorische Impulse. Wie genau diese Modulationen aussehen, hängt jedoch von einer recht komplizierten neuronalen Prozessierung (Verschaltung) im Inneren des Kleinhirns ab. Es fungiert eher als Überwacher und Modulator von Bewegung, nicht als Initiator. Wir werden in diesem Kapitel sowohl die verschiedenen sensiblen/sensorischen Afferenzen des Kleinhirns, als auch die Zelltypen, die an der neuronalen Prozessierung beteiligt sind, kennenlernen.

Erkrankungen des Kleinhirns manifestieren sich klinisch durch diverse Bewegungsstörungen. Hierbei kann es sich um Gleichgewichtsstörungen, Ataxien, Koordinationsstörungen oder eine Muskelhypotonie handeln. Größere Mengen an Alkohol beeinträchtigen die Funktion des Kleinhirns. Daher gleichen die Symptome eines kleinhirnerkrankten Menschen manchmal denen eines Betrunkenen: Der Betrunkene „leidet“ unter Gleichgewichtsstörungen, geht breitbeinig und torkelnd, seine Sprache ist schwer zu verstehen, er hat eine Schwindelsymptomatik. Letzteres wird besonders deutlich, wenn man schlafen geht und die Augen schließt: Alles um einen herum dreht sich und es wird einem übel, eventuell muss man sich übergeben.

Neben dem Kleinhirn sind auch die Basalganglien ein wichtiger Teil der Koordination von Motorik. Das Zusammenspiel beider Kompartimente im Rahmen der Motorik werden wir in einem gesonderten Kapitel besprechen (Kapitel 11). Hier wollen wir uns auf das Kleinhirn konzentrieren.

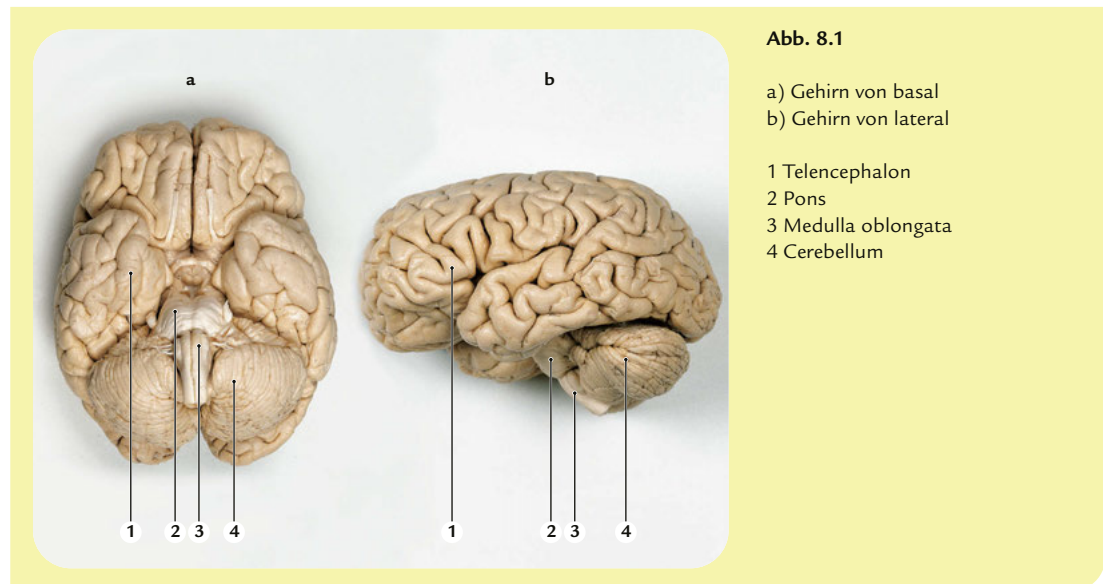
In diesem Kapitel werden wir das Kleinhirn in einem ersten Schritt makroskopisch kennenlernen. In einem zweiten Schritt wollen wir den makroskopischen Anteilen des Kleinhirns Funktionen zuordnen. Wie wir sehen werden, interagiert ein Teil des Kleinhirns überwiegend mit dem motorischen Kortex, der zweite Teil überwiegend mit dem Vestibularorgan und der dritte Teil überwiegend mit dem Rückenmark. Entsprechend kann ein Cerebrocerebellum (Pontocerebellum), Vestibulocerebellum und ein Spinocerebellum definiert werden. Als nächsten Schritt betrachten wir die Afferenzen und Efferenzen des Kleinhirns, bevor wir

dann den mikroskopischen Aufbau sowie den „Schaltplan“ des Kleinhirns unter die Lupe nehmen wollen.

Makroskopischer Aufbau

Das Kleinhirn wird beinahe vollständig von den Großhirnhemisphären überlagert und bedeckt selbst die Medulla oblongata und einen Teil des Pons. Es befindet sich infratentoriell in der hinteren Schädelgrube. Infratentoriell bedeutet „unterhalb des Tentorium cerebelli“, einer Duplikatur der Dura mater, die als horizontal aufgespanntes Duraseptum die mittlere von der hinteren Schädelgrube trennt. Der Aufbau des Kleinhirns ist recht komplex und lässt sich am besten am Präparat bzw. am Gehirnmodell genau studieren.

8



Bei der Betrachtung des Kleinhirns fallen zuerst die beiden halbkugelförmigen Seitenteile, die Kleinhirnhemisphären auf, die durch ein Mittelstück, den Wurm (**Vermis cerebelli**) miteinander verbunden sind. Den Anteil der Hemisphären, der direkt an den Wurm grenzt, nennt man Pars intermedia bzw. paravermale Zone.

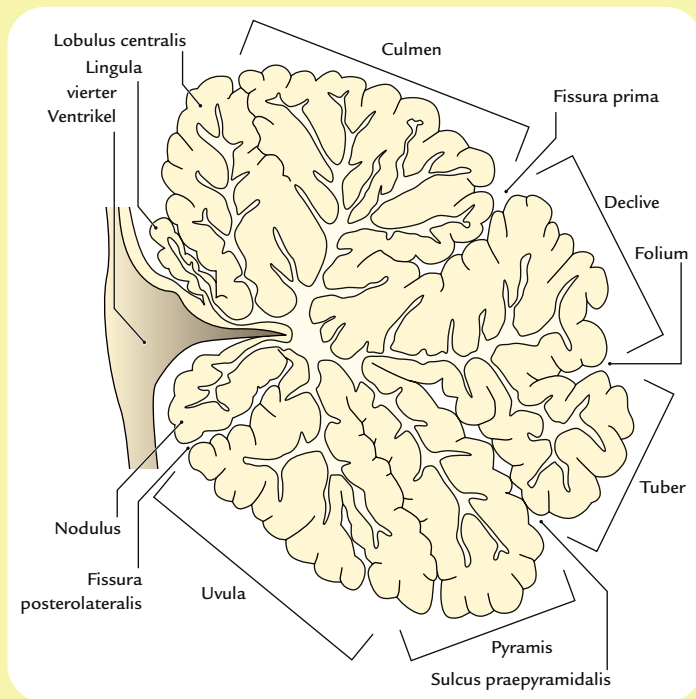
Der Vermis zieht in der Sagittalebene fast einmal rund um das Kleinhirn. In der medio-sagittalen Ansicht bekommt man einen recht guten Überblick über seine einzelnen Anteile (siehe nächste Seite). Von oben-vorne (Velum medullare superius) nach unten-vorne (Velum medullare inferius) besteht der Wurm aus Lingula (Kleinhirnzunge), Lobulus centralis (Zentralläppchen), Culmen (Gipfel), Declive (Abhang), Folium (Blatt), Tuber (Höcker), Pyramis (Pyramide) und Uvula (Zäpfchen). Das Folium ist hierbei etwas in die Tiefe abgesunken. Der Vermis liegt also wie ein echter Wurm eingerollt zwischen den beiden Kleinhirnhemisphären.

Abb. 8.2 a)**Vermis cerebelli**

Bei einem medio-sagittalen Schnitt durch das Kleinhirn wird der zwischen den beiden Hemisphären gelegene Vermis genau mittig durchtrennt. Dieses Schema zeigt eine Aufsicht von links.

Die Vorwölbungen des Kleinhirnwurms tragen Eigennamen: Lingula, Lobulus centralis, Culmen, Declive, Folium (meist etwas eingesunken und daher von außen nicht erkennbar), Tuber, Pyramis und Uvula. Der Nodus, der am kaudalen Ende des Kleinhirns zu sehen ist, gehört nicht zum Kleinhirnwurm.

Die prominentesten Furchen sind die Fissura prima, der Sulcus praepyramidalis und die Fissura posterolateralis.

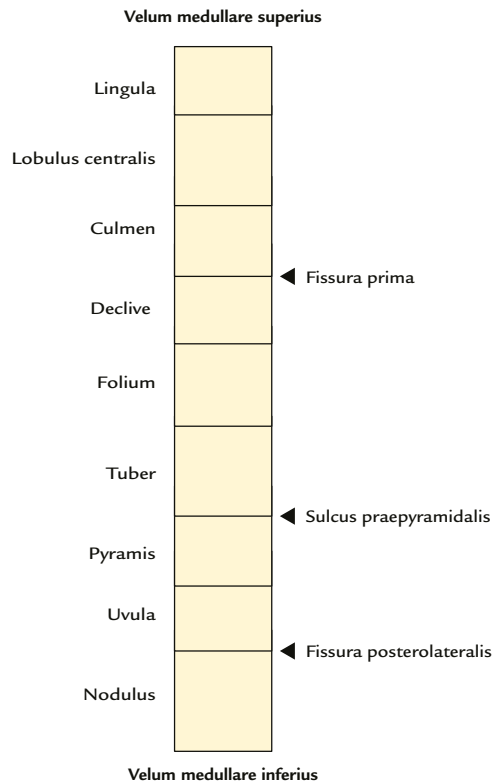
**Abb. 8.2 b)****Vermis cerebelli**

Dieses Schema zeigt den Kleinhirnwurm, wie er „auseinandergerollt“ aussehen würde. So wird deutlich, dass die einzelnen Abschnitte fließend ineinander übergehen.

Zudem ist erkennbar, wo Fissura prima, Sulcus praepyramidalis und Fissura posterolateralis Grenzstrukturen ausbilden.

Der Nodus ist eigentlich kein Teil des Vermis, ist hier aber zur Orientierung mit abgebildet.

Vergleichen Sie diese beiden Abbildungen auch mit Abb. 8.6.



Wenn man den Wurm „entrollt“ und ihn gerade zieht, liegen die einzelnen Abschnitte des Kleinhirnwurms aufgereiht hintereinander (siehe Abb. 8.2 b). Der Nodus (Knötchen) schließt sich der Uvula an, stellt jedoch einen eigenständigen Teil des Kleinhirns dar und wird somit nicht dem Vermis zugerechnet. Die einzelnen Abschnitte des Vermis werden durch Fissuren voneinander getrennt, die wichtigsten sollte man kennen. Die **Fissura prima** liegt hierbei zwischen Culmen und Declive, der **Sulcus praepyramidalis** markiert den Übergang vom Tuber vermis zur Pyramis vermis. Ferner markiert die **Fissura posterolateralis** den Übergang von der Uvula zum Nodus. In der medio-sagittalen Ansicht wird außerdem deutlich, dass die nach oben gerichtete Fläche des Kleinhirns schwach, die untere wesentlich stärker gewölbt ist.

Betrachten wir in einem nächsten Schritt das Kleinhirn von unten (Abb. 8.3), hinten (Abb. 8.4) und von vorn (Abb. 8.5). Die schmalen Windungen des Kleinhirns, die **Folia cerebelli** (Kleinhirnblätter) werden durch **Fissurae cerebelli** (Kleinhirnfurchen) voneinander getrennt. Sie entsprechen den Gyri und Sulci der beiden Großhirnhemisphären. Nicht alle sind benannt, denn sie spielen für den klinischen Alltag keine wesentliche Rolle. Nur auf die wichtigsten Strukturen wollen wir hier eingehen. Der obere-vordere Teil der Kleinhirnhemisphären bildet den Lobus anterior. Dieser wird vom darunterliegenden, größeren Lobus posterior durch die seichte Fissura prima getrennt. Sie ist am Medianschnitt am deutlichsten zu erkennen und trennt hier Culmen und Declive des Wurms voneinander (Abb. 8.6).

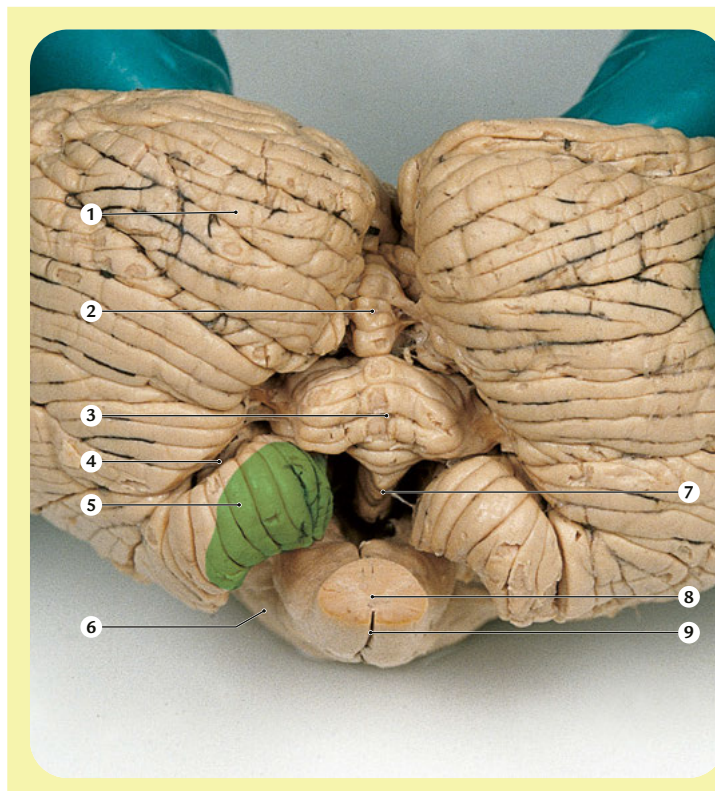


Abb. 8.3

Cerebellum mit Pons und Myelencephalon

Alle Hirnhäute und Nerven entfernt; Hemisphären des Cerebellum etwas auseinander gedrückt; von unten.

Ein direkter Vergleich mit Abb. 8.2 b) verdeutlicht die Lage von Tuber, Pyramis und Uvula als Anteile des Vermis zueinander.

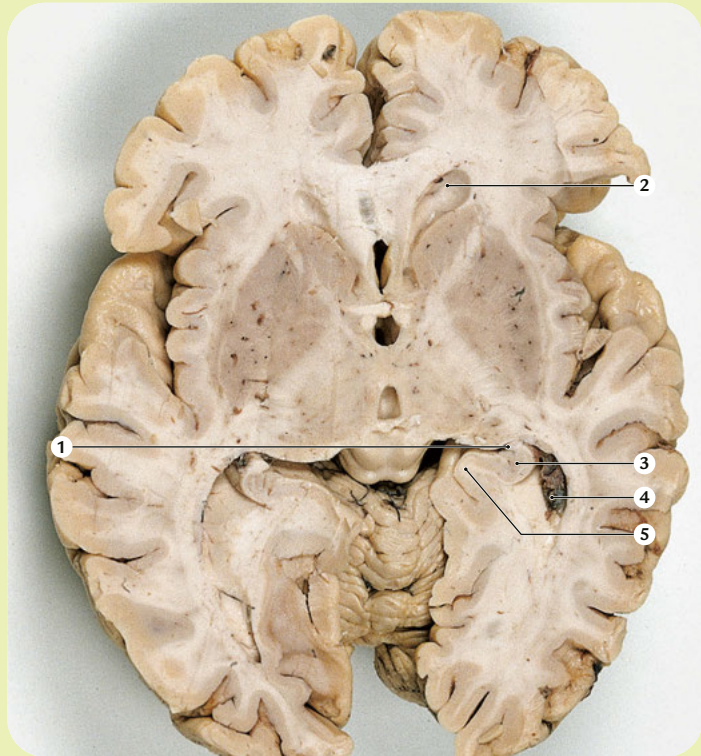
- 1 Cerebellum, Lobus posterior
- 2 Cerebellum, Lobus posterior, Tuber vermis
- 3 Cerebellum, Lobus posterior, Pyramis vermis
- 4 Cerebellum, Fissura secunda
- 5 Cerebellum, Lobus posterior, Tonsilla (grün eingefärbt)
- 6 Pons
- 7 Cerebellum, Lobus posterior, Uvula vermis
- 8 Medulla spinalis
- 9 Medulla spinalis, Fissura mediana anterior

Abb. 9.6 b)

Lage des Hippocampus im
Temporallappen

Horizontalschnitt im Bereich der
Commissura anterior und der
Colliculi superiores; Blickrichtung
von oben nach unten.

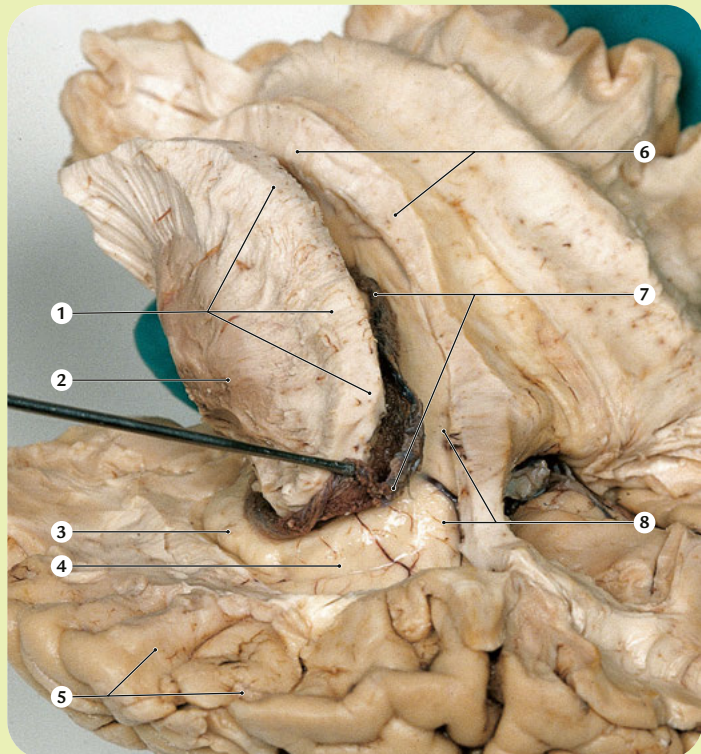
- 1 Fimbria hippocampi
- 2 Ventriculus lateralis,
Cornu frontale
- 3 Hippocampus
- 4 Ventriculus lateralis, Cornu
temporale mit Plexus choroideus
- 5 Gyrus parahippocampalis

**Abb. 9.6 c)**

Lage des Hippocampus im
Temporallappen

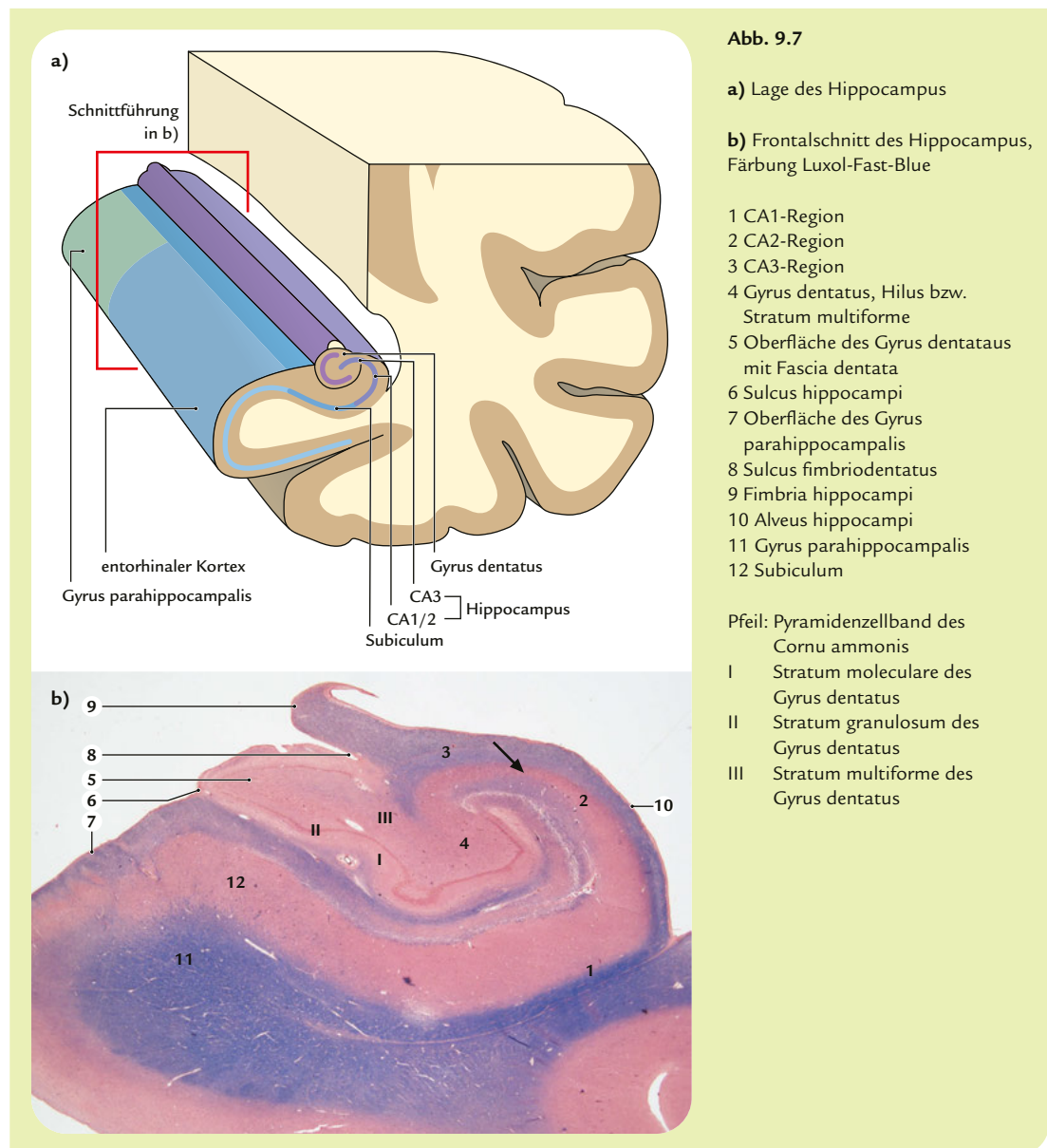
Linker Seitenventrikel, Cornua tem-
porale und occipitale; alle Opercula
und Inselrinde abgetragen;
Seitenventrikel vollständig eröffnet;
Plexus choroideus angehoben;
Blickrichtung von oben und hinten.

- 1 Corona radiata, Schnittkante
- 2 Putamen, außen bedeckt von der
Capsula externa
- 3 Pes hippocampi
- 4 Hippocampus
- 5 Gyri temporales transversi
- 6 Corpus callosum
- 7 Ventriculus lateralis,
Plexus choroideus
- 8 Fornix, Crus



aussehende Hirnwindung lagert sich von medial der **Gyrus parahippocampalis** (Abb. 9.6 b-5 und Abb. 9.7 b-7) an. Beide werden durch den Sulcus hippocampi (Abb. 9.7 b-6) voneinander getrennt. Der Sulcus fimbriodentatus (Abb. 9.7 b-8) trennt seinerseits Fimbria hippocampi vom Gyrus dentatus.

Beim Frontalschnitt durch den Hippocampus lässt sich sein histologischer Aufbau verstehen. Zentral, erkennbar durch ein breites Band kleiner runder Zellen liegt der Gyrus dentatus. Deutlich ist eine Dreischichtung mit Molekularschicht (Stratum moleculare; Abb. 9.7 b-I), Körnerzellschicht (Stratum granulosum; Abb. 9.7 b-II) und polymorphe Schicht (Stratum multiforme; Abb. 9.7 b-III) zu erkennen. Das Stratum multiforme wird auch als Hilus des Gyrus dentatus bezeichnet.





Klinik

Die lokale Verstärkung des Schalls durch die äußeren Haarzellen generiert selber Schall, der gemessen werden kann. Man spricht von **otoakustischen Emissionen**. Mithilfe der otoakustischen Emissionen lässt sich schnell und zuverlässig prüfen, ob das Gehör eines Menschen funktioniert. Da sich der Untersuchte an dem Hörtest nicht aktiv beteiligen muss (objektive Hörprüfung), kann er auch schon bei Säuglingen (Neugeborenen-Hörscreening) durchgeführt werden.

Zentrale Hörbahn

Die Hörbahn führt von den peripheren Fortsätzen des **Nervus cochlearis** (N. VIII) durch den Hirnstamm bis zur **primären Hörrinde**, den Gyri temporales transversi (Synonyme: auditiver Kortex, Heschl'sche Querwindungen, Brodmann-Areal 41). Auf dem Weg dorthin liegen in direkter Linie eine Reihe von auditorischen Neuronen, die über Axone miteinander verbunden sind. Dies sind das Ganglion spirale, der Nucleus cochlearis, die obere Olive, Nucleus corporis trapezoidei, Nucleus lemnisci lateralis, der Colliculus inferior des Mittelhirns, das Corpus

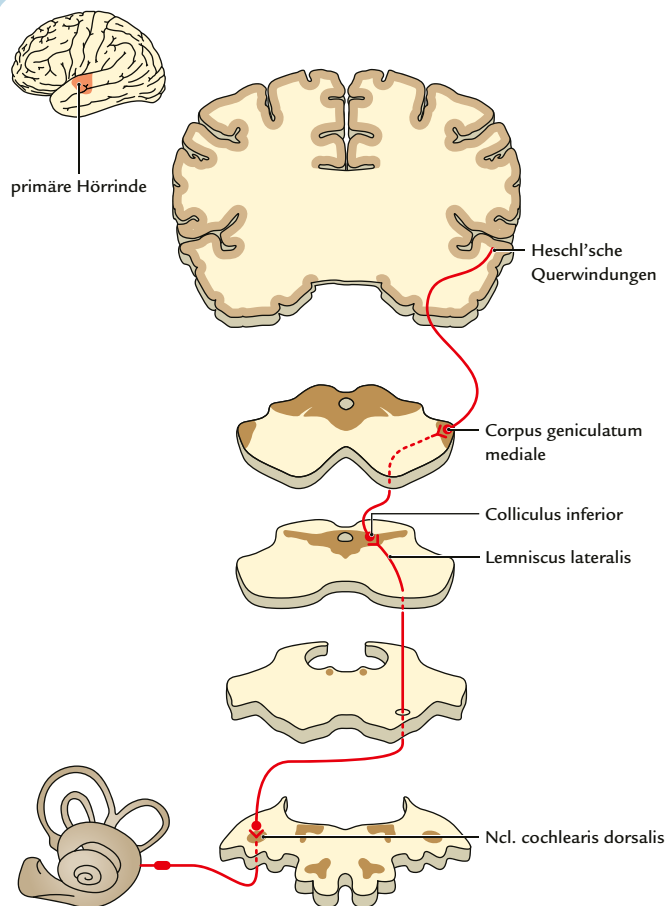
13

Abb. 13.13 a)

Schnelle Hörbahn

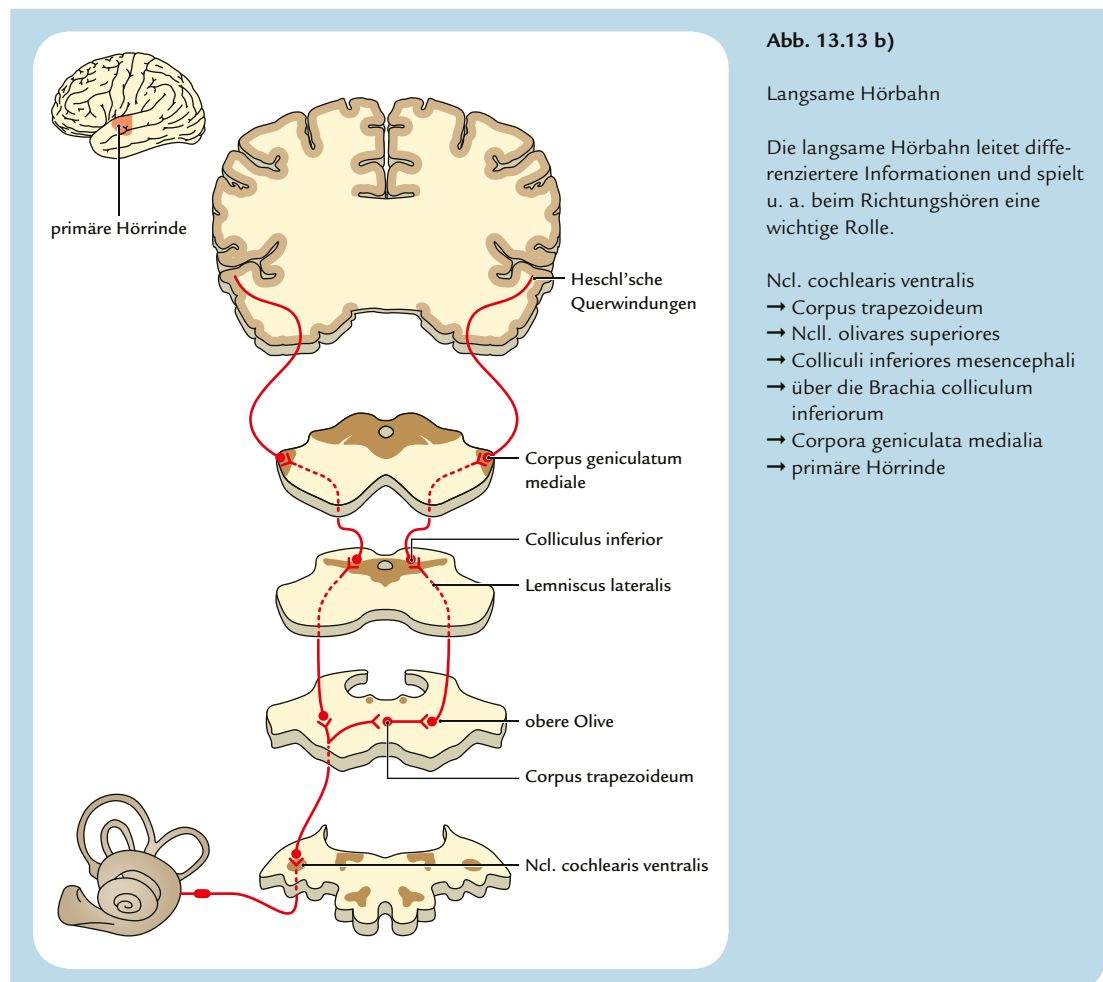
Die schnelle Hörbahn hat vor allem die Funktion eines Warnsystems inne.

- Ncl. cochlearis dorsalis
- Lemniscus lateralis
- Colliculus inferior mesencephali
- über das Brachium colliculi inferioris
- Corpus geniculatum mediale
- primäre Hörrinde



geniculatum mediale und letztlich der auditorische Kortex. Jeder dieser Hirnkerne der aufsteigenden Hörbahn bildet eine Umschaltstation von einem Neuron auf ein anderes, und jede dieser Umschaltungen entspricht einem Schritt bei der Verarbeitung auditorischer Sinnesreize. Ab dem Colliculus inferior bestehen zwischen den einzelnen Kerngebieten beider Seiten reichlich Querverbindungen um Richtungshören (Stereo-hören) zu ermöglichen.

Bei der zentralen Hörbahn können zwei verschiedene Systeme unterschieden werden, ein schnell leitendes und ein langsam leitendes. Das **schnell leitende System** (siehe Abb. 13.13 a) dient vor allem als Warnsystem, führt über den hinteren Schneckenkern (Nucleus cochlearis dorsalis/posterior), kreuzt von dort zur Gegenseite und steigt dann als Lemniscus lateralis zu den unteren Hügeln des Mittelhirns. Von dort gelangt die auditive Information über das Corpus geniculatum mediale des Thalamus zur Hörrinde. Die Verbindung zwischen Colliculi inferiores mesencephali und Corpus geniculatum mediale wird Brachium colliculi inferioris genannt (Abb. 13.14) und ist eine markante neuroanatomische Struktur.



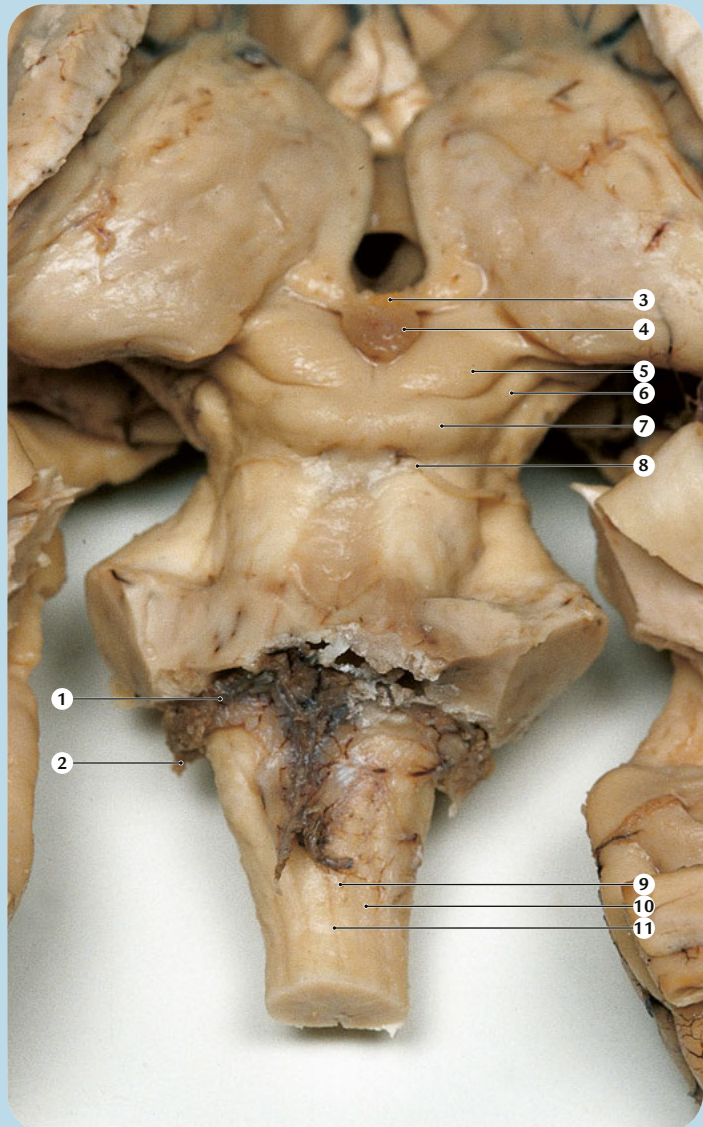
Das **langsam leitende System** hat mehrere Zwischenstationen und führt differenziertere auditorische Informationen wie die Lokalisation von Geräuschen und Tönen. Dieser Teil der Hörbahn nimmt seinen Ursprung von den vorderen Schneckenkernen (Nucleus cochlearis ventralis) und zieht von dort zu den ipsi- und kontralateralen oberen Olivenkerngebieten. Die kreuzenden Fasern verlaufen im Corpus trapezoideum. In das Faserbündel sind ebenfalls Kerne eingebettet, in denen die Hörimpulse teilweise verschaltet werden. Wie in Abb. 13.13 b) dargestellt, ist die obere Olive der erste Ort der Hörbahn, der auditorische Informationen beider Ohren zugeleitet bekommt. Damit ist die Grundlage für Richtungshören geschaffen. Ab dort verlaufen der Weg des langsamen und des schnellen Systems gemeinsam, nämlich über die unteren Hügel und das Corpus geniculatum mediale zur primären Hörrinde.

Abb. 13.14

Umschaltstationen der Hörbahn
in situ

Cerebellum an den Pedunculi
abgetrennt; von hinten.

- 1 Plexus choroideus über dem
Recessus lateralis des vierten
Ventrikels
- 2 Bochdalek'sches Blumenkorbchen
- 3 Commissura habenularum
- 4 Glandula pinealis
- 5 Colliculus superior mit
Brachium colliculi superioris
- 6 Brachium colliculi inferioris
- 7 Colliculus inferior
- 8 Mesencephalon, Austritt des
N. trochlearis (N. IV)
- 9 Fasciculus gracilis
- 10 Fasciculus cuneatus
- 11 Medulla spinalis,
Sulcus medianus posterior



In der primären Hörrinde enden die auditorischen Fasern in **tonotopischer Anordnung**. Tiefe Töne, die aus der Spitze der Cochlea stammen, enden eher anterolateral, hohe Töne eher posteromedial. In der primären Hörrinde werden auditorische Impulse bewusst, jedoch noch nicht interpretiert. Die sinnvolle Verknüpfung der Laute zu Wörtern oder Melodien erfolgt erst in **sekundären Zentren**. In der dominanten Hemisphäre werden auditorische Impulse eher mit rationalen Inhalten abgeglichen. Ein Beispiel hierfür ist die Sprache. Dort nennt man die sekundäre Hörrinde Wernicke-Sprachzentrum. In der nicht dominanten Seite werden an gleicher Stelle nicht rationale Inhalte wie die Musik erkannt.

Merke

Die primäre Hörrinde erhält akustische Informationen aus beiden Cochleae. Somit kommt es bei einer einseitigen Schädigung der primären Hörrinde stets zu einer Schwerhörigkeit auf beiden Ohren und nie zu einer absoluten Taubheit auf einem Ohr.



Forschung

Neueren Schätzungen zufolge verfügen vier Prozent der Menschen über eine besondere Form der Wahrnehmung: Sie sind in der Lage, einen Reiz in mindestens zwei sensorischen Zentren gleichzeitig zu verarbeiten. Diese spezielle Wahrnehmungsform nennt man **Synästhesie**. Eine häufige Form der Synästhesie ist das Farbensehen beim Hören von bestimmten Tonhöhen, Intervallen oder einem Timbre. Diese Wahrnehmung ist nicht unterdrückbar und „schon immer da gewesen“, also für den Synästheten ganz normal. Seltener Synästhesieformen koppeln Bewegungen, Gerüche oder Berührungen. Prinzipiell sind bei sechs Sinnen (man zählt die Motorik/Bewegungen als auslösenden Reiz zu den fünf Hauptsinnen hinzu) 30 Kombinationen von Synästhesien möglich. Über die Ursache dieser speziellen Form der Wahrnehmung weiß man noch relativ wenig. Mehrere Studien deuten darauf hin, dass dem Phänomen eine starke genetische, wahrscheinlich X-chromosomal dominante Komponente zugrunde liegt. Interessanterweise scheinen wir alle von Geburt an über ein ausgeprägtes Netz an Nervenverbindungen zwischen den verschiedenen reizinterpretierenden Zentren zu verfügen und sind somit in unseren ersten Lebensmonaten in der Lage, Reize synästhetisch wahrzunehmen. Im Lauf des Lebens verkümmert das Netz immer mehr, ist jedoch selbst bei nicht zur Synästhesie fähigen Erwachsenen noch rudimentär anzutreffen. Diese Erkenntnisse sind auch unabhängig von der Synästhesieforschung spannend für das Verständnis frühkindlicher Entwicklung und Wahrnehmung.^{7,8}



weitert, eingebaut wird. Durch die Entwicklung dieser Methoden ist die Neuroradiologie heutzutage kein reines Fach der Diagnostik, sondern ebenfalls durch invasive Eingriffe mit heilendem Ansatz gekennzeichnet.

Zusammenfassung

Bildgebende Verfahren ermöglichen uns Einblicke in die inneren Strukturen des Gehirns, ohne den knöchernen Schädel eröffnen zu müssen. In der medizinischen Diagnostik haben sie einen festen Stellenwert. Die am häufigsten verwandten Verfahren sind die Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT), die davon abgeleitete funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und die Positronen-Emissions-Tomographie (PET). Gemeinsam haben diese bildgebenden Verfahren, dass mitunter sehr präzise festgestellt werden kann, wie genau bestimmte Hirnareale geformt sind oder wo im Gehirn eine Funktion stattfindet. Letzteres wird vor allem in der Forschung eingesetzt.

Die **CT** ist ein wichtiges Verfahren in der Akut-Diagnostik. Als grobe Faustregel kann man sich merken, dass die CT bei akuten Krankheitsverläufen oder auch immer dann zum Einsatz kommt, wenn eine schnelle Diagnosesicherung wichtig ist. Das CT-Gerät arbeitet mit Röntgenstrahlen und kann so als ein weiterentwickeltes Röntgengerät aufgefasst werden.

Die **MRT** basiert auf sehr starken Magnetfeldern sowie elektromagnetischen Wechselfeldern im Radiofrequenzbereich, mit denen bestimmte Atomkerne (meistens die Wasserstoffkerne/Protonen) im Körper angeregt werden. Im Gerät wird keine Röntgenstrahlung bzw. andere ionisierende Strahlung erzeugt oder genutzt. Die MRT eignet sich vor allem zur Darstellung von Gewebeveränderungen innerhalb des Gehirns und Rückenmarks. Durch Variation der Untersuchungsparameter kann eine sehr hohe Detailerkennbarkeit erreicht werden. Diese übertrifft die Darstellbarkeit der Computertomographie. In T1-gewichteten Bildern ist die graue Substanz grau, die weiße Substanz weiß und Liquor sowie andere Flüssigkeiten stellen sich dunkel dar. Bei der T2-Wichtung erscheint der Liquor hingegen hell, die graue Substanz weiß und die weiße Substanz grau.

Die **PET** wird in der Medizin eingesetzt, um unter anderem Stoffwechselvorgänge im Körper sichtbar zu machen. Von der Methode her ähnelt die PET der Szintigraphie: Auch hier werden Veränderungen im Körper durch radioaktive Marker sichtbar gemacht. Die PET nutzt radioaktiv markierte Substanzen, sogenannte „Tracer“. Eine Messeinheit im PET-Gerät registriert die Strahlung, die von der radioaktiven Substanz im Körper abgegeben wird, und ein angeschlossener Computer berechnet aus diesen Daten Bilder.

MC-Fragen



1. Welche Aussage trifft zu?

- (A) In der T1-Wichtung stellt sich Liquor hell dar.
- (B) In der T1-Wichtung stellt sich Liquor dunkel dar.
- (C) In der T2-Wichtung stellt sich Liquor dunkel dar.
- (D) In der T1-Wichtung ist der Kortex heller als die Substantia alba.
- (E) In der T1-Wichtung ist die Capsula interna dunkel.

2. Welche der folgenden Methoden benutzt radioaktiv-markierte Tracer?

- (A) MRT in der T1-Wichtung
- (B) MRT in der T2-Wichtung
- (C) PET
- (D) CT
- (E) Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

3. Dem Morbus Parkinson liegt ein nigrostriataler Mangel an einem bestimmten Neurotransmitter zugrunde, der u. a. eine wichtige Rolle beim Aufbau von Bereitschaftspotenzialen für die Initiierung einer Handlung spielt. Da er beim Morbus Parkinson eine zu geringe Konzentration in den Basalganglien aufweist, gelingt es Parkinson-Patienten nur schwer, Bewegungen zu initiieren. Welche Methode ist am ehesten dazu geeignet, den gestörten Dopamin-Stoffwechsel darzustellen?

- (A) MRT in der T1-Wichtung
- (B) MRT in der T2-Wichtung
- (C) PET
- (D) CT
- (E) Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

4. Welche Aussage zum Wasserstoff trifft zu?

- (A) Der Atomkern des häufigsten Wasserstoff-Isotops enthält ein Proton und ein Neutron.
- (B) Elementarer Wasserstoff liegt unter Normbedingungen überwiegend atomar vor.
- (C) Wasserstoff ist ein chemisches Element mit dem Symbol N.
- (D) Wasserstoff ist das chemische Element mit der höchsten Atommasse.
- (E) Wasserstoffatomkerne spielen eine wichtige Rolle bei der Magnetresonanztomographie.

5. Bei welchem der Verfahren kommt ionisierende Strahlung zum Einsatz?

- (A) CT (Computertomographie)
- (B) EKG (Elektrokardiographie)
- (C) Stoßwellentherapie
- (D) MRT (Magnetresonanztomographie)
- (E) funktionelle MRT