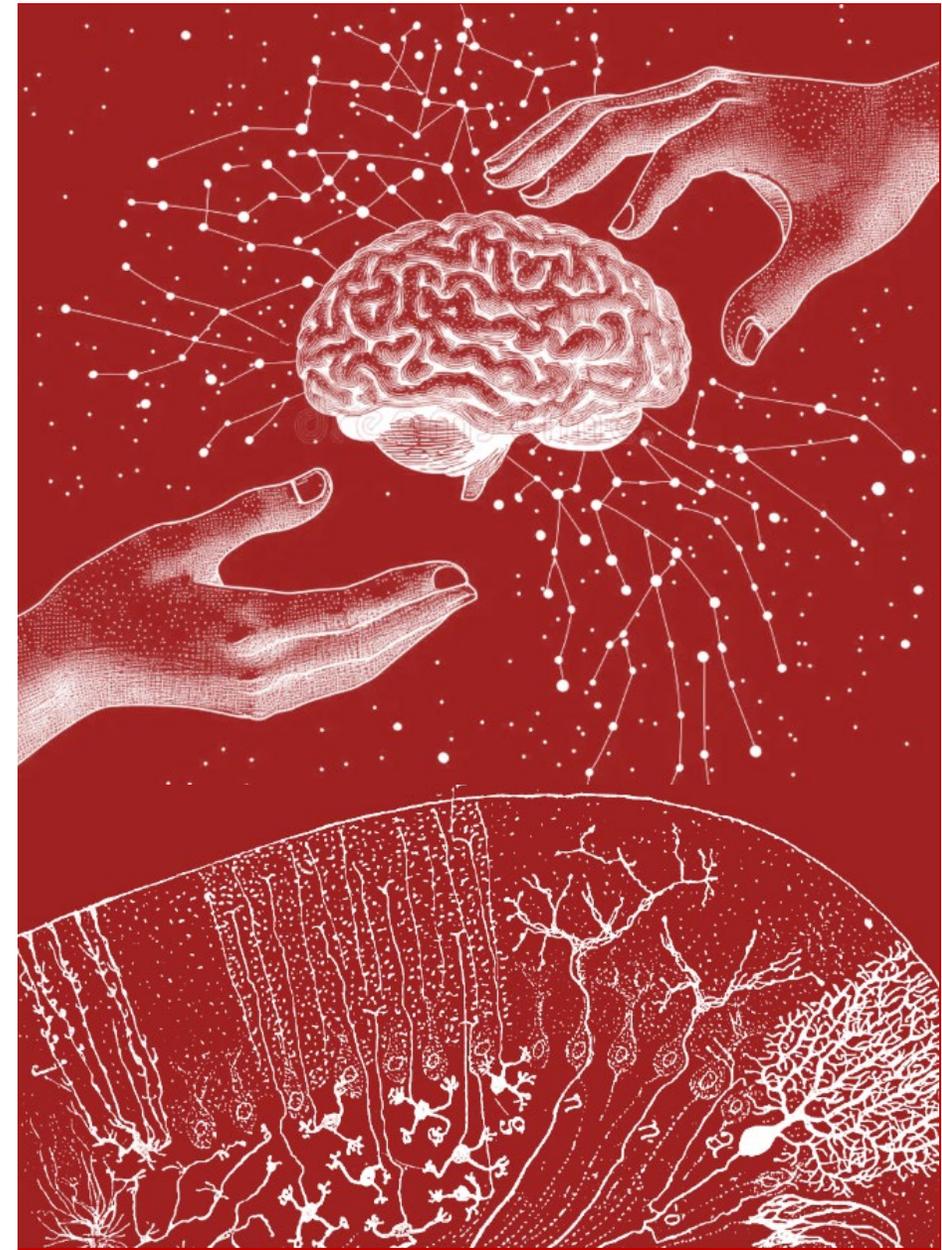


Kleinhirn

Dr. Franco Corvace

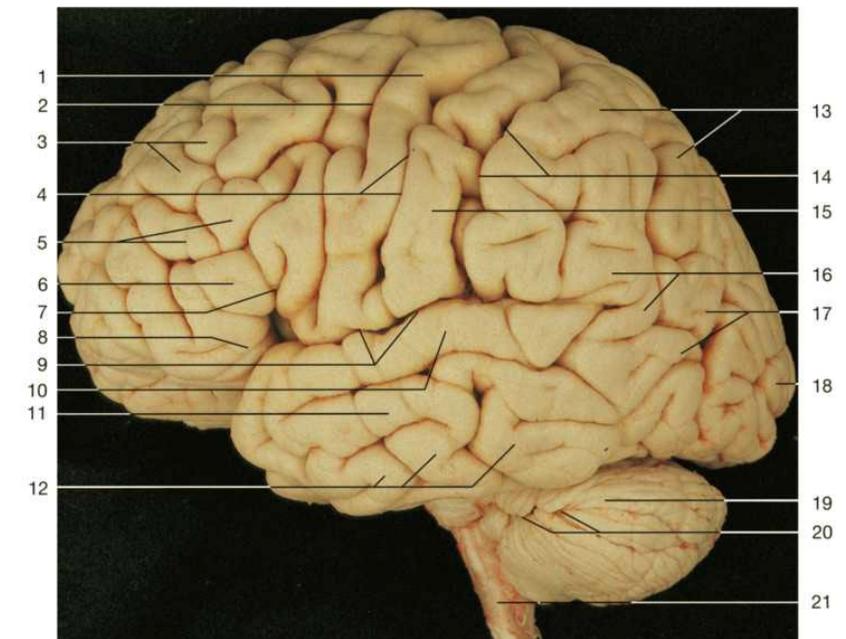


Einführung Kleinhirn

Das Kleinhirn (Cerebellum) ist wichtig für die Feinabstimmung von Bewegungen und für die Aufrechterhaltung von Gleichgewicht und Muskeltonus.

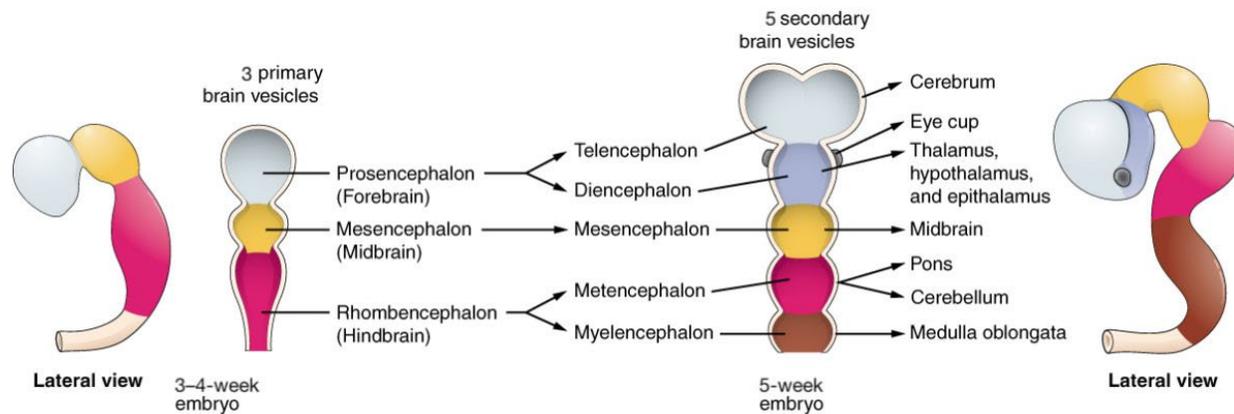


Wikipedia.de

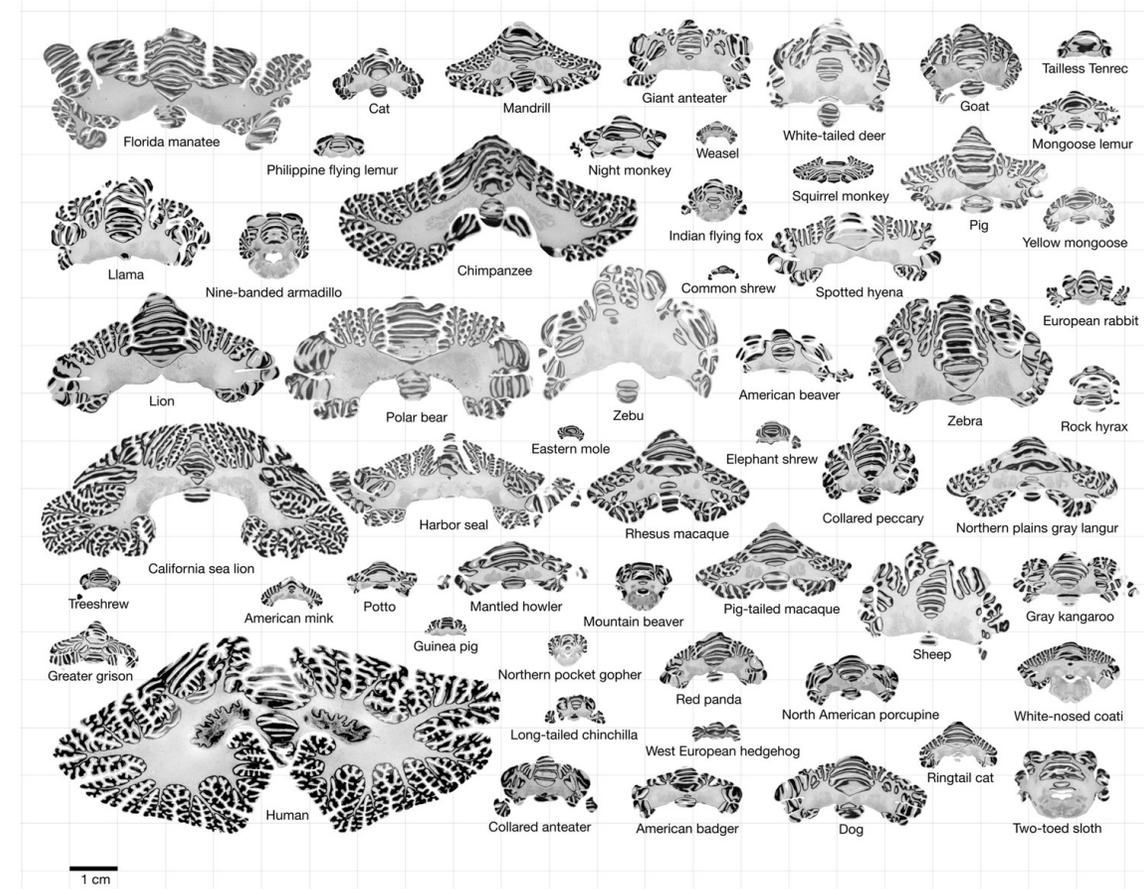


Rohen & Yokochi: Anatomie des Menschen

Einführung Kleinhirn



<https://www.lecturio.de/artikel/medizin/kleinhirn-cerebellum/>

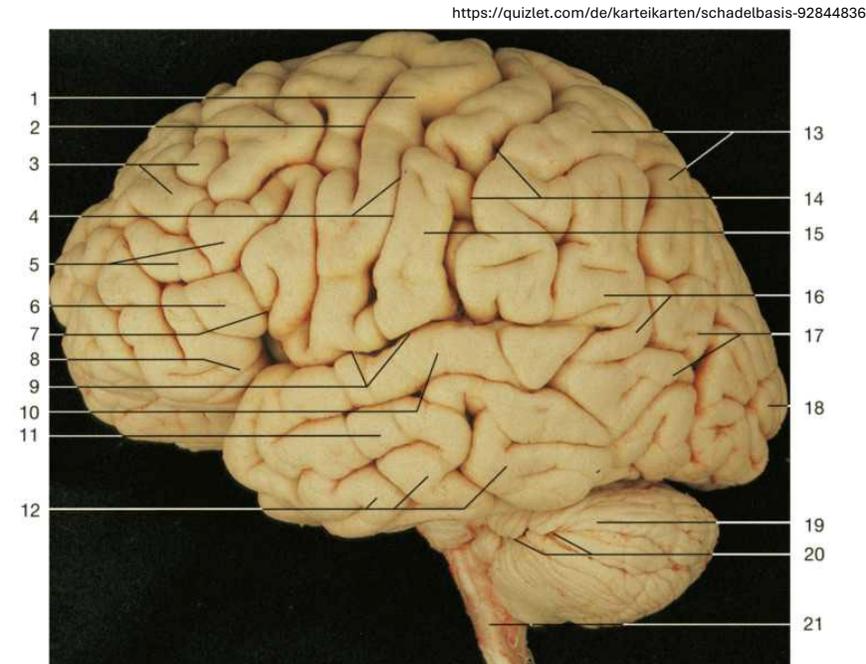
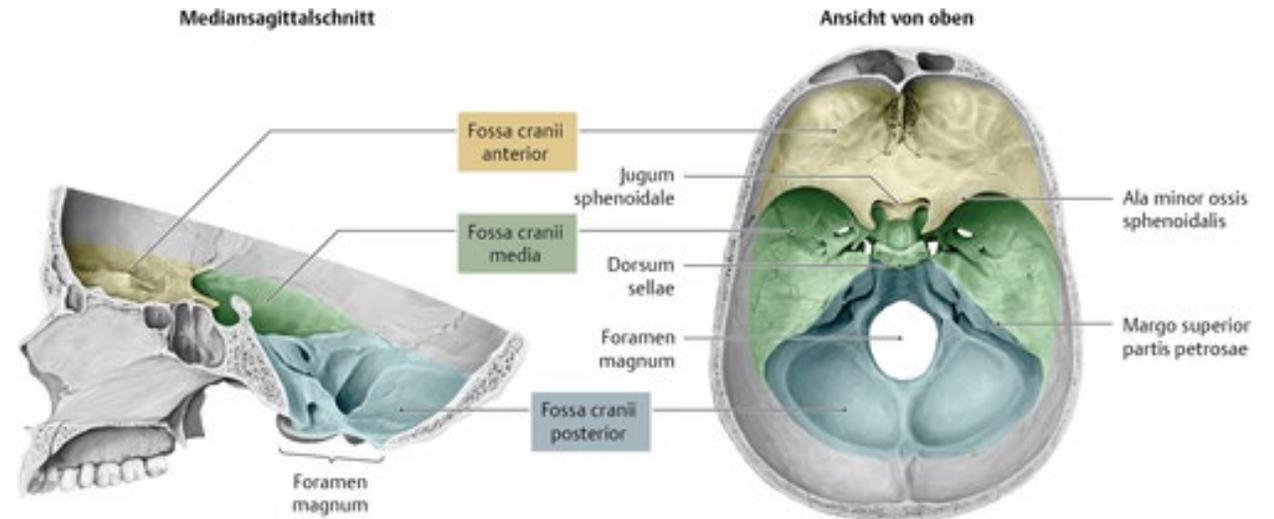


Heuer et al. (2023): Diversity and evolution of cerebellar folding in mammals

Lage und Abschnitte

Das Kleinhirn – lateinisch Cerebellum, wörtlich „das kleine Gehirn“ – liegt **im hinteren Schädelgrubenbereich** (Fossa cranii posterior)

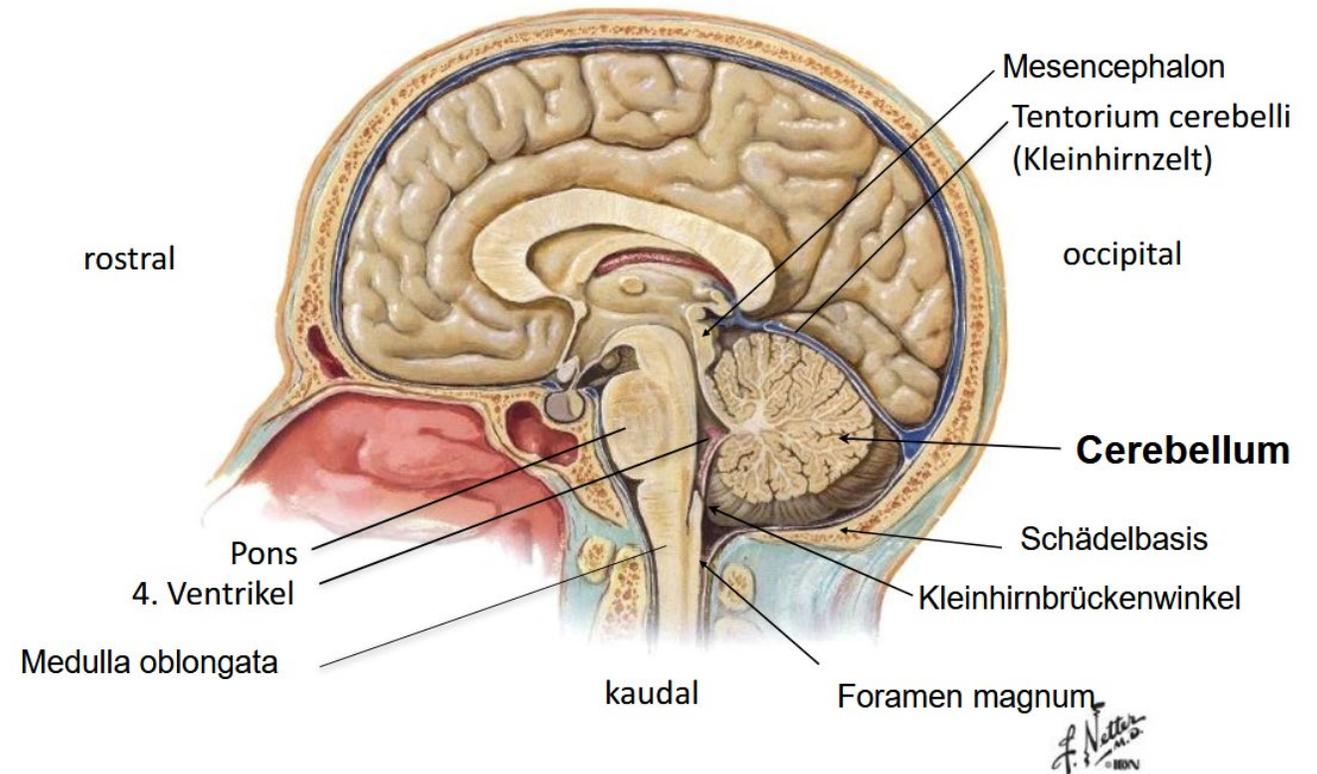
Das Kleinhirn bildet große Teile des Dachs vom IV. Ventrikel.



Lage und Abschnitte

Das Kleinhirn – lateinisch Cerebellum, wörtlich „das kleine Gehirn“ – liegt **im hinteren Schädelgrubenbereich** (Fossa cranii posterior)

Das Kleinhirn bildet große Teile des Dachs vom IV. Ventrikel.

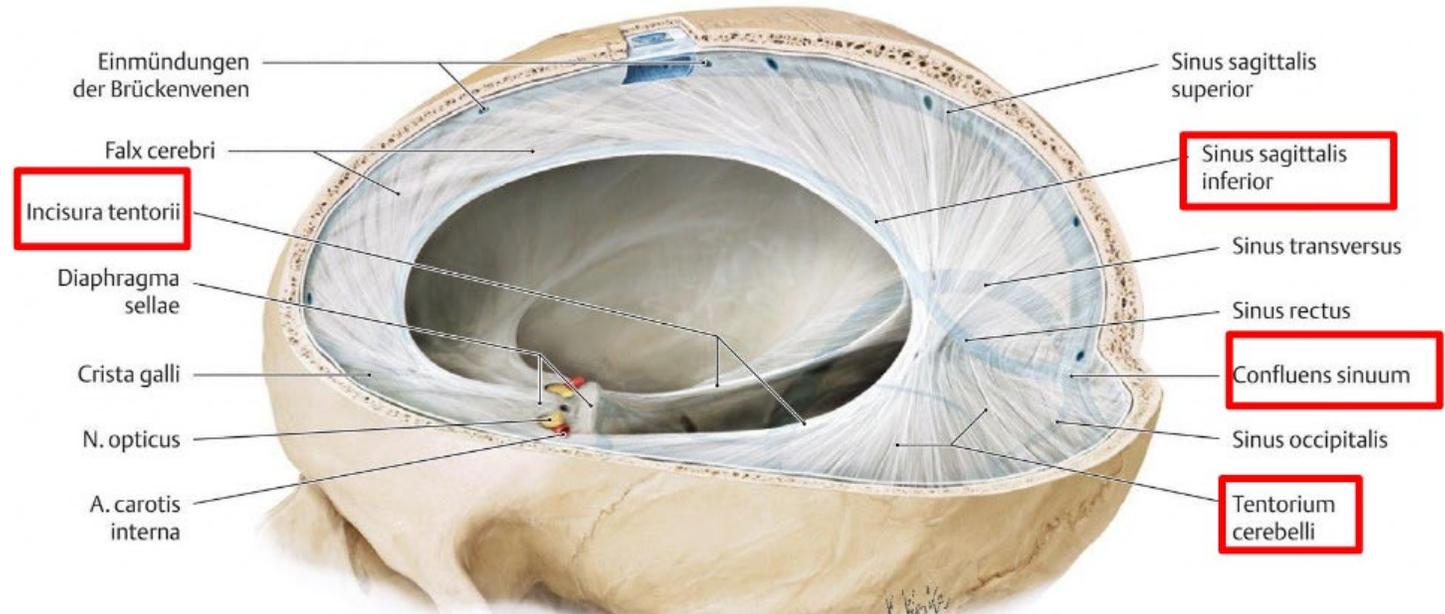


Lage und Abschnitte

Tentorium cerebelli - bildet einen separaten Raum für das Kleinhirn in der Schädelkalotte

Vorteil: Großhirn „lastet“ nicht auf Kleinhirn

Nachteil: Kritische Engstelle

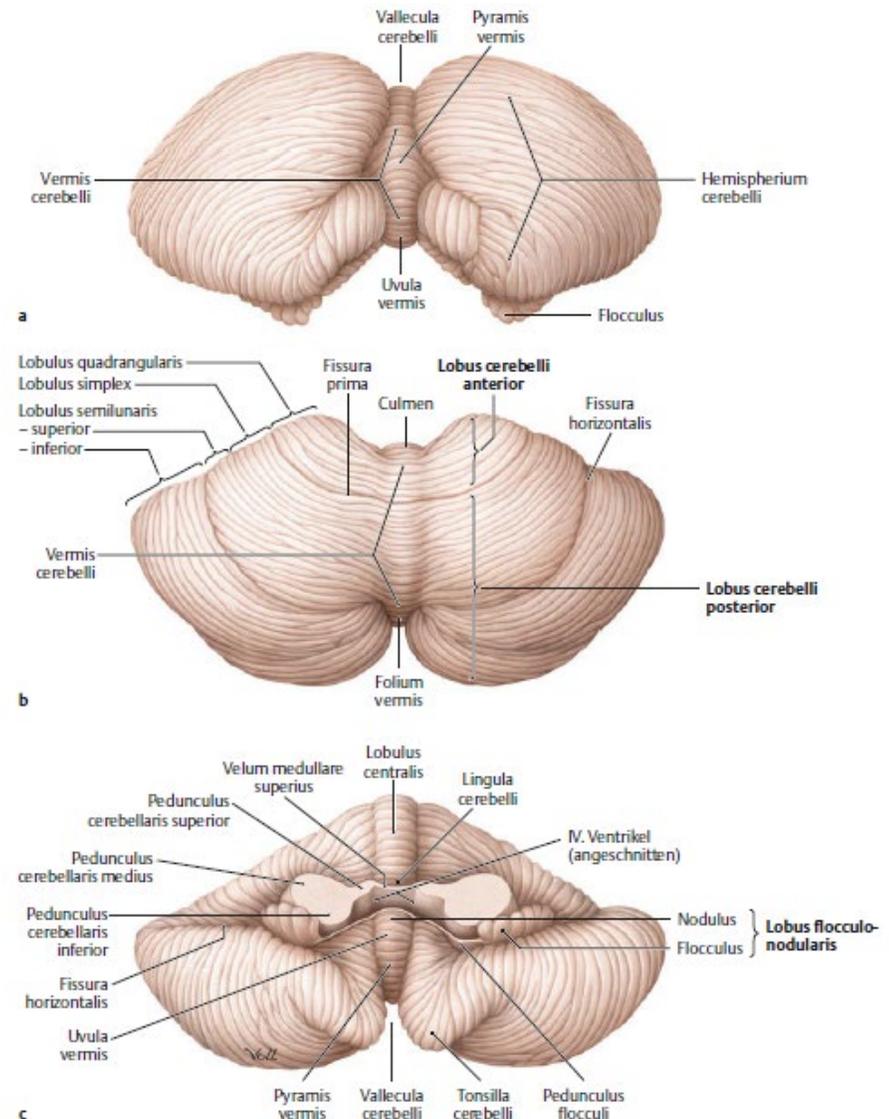


Lage und Abschnitte

Die Gliederung erfolgt in 2 Hemisphären und den dazwischenliegenden Wurm (Die Oberfläche ist durch schmale Blätter (sog. Folia cerebelli) horizontal strukturiert).

Die deutlichste Furche ist die Fissura horizontalis. Die Fissura prima trennt den Lobus anterior vom Lobus posterior, dessen kaudalster Teil Kleinhirntonsille genannt wird.

Der Lobus flocculonodularis ist nur von ventral nach Abtrennung des Kleinhirns vom Hirnstamm sichtbar



(Prometheus LemAtlas
Thieme, 4. Aufl.)
a Ansicht des vom
Hirnstamm abge-
trennten Kleinhirn-
von kaudal,
b rostral
c und ventral.

Lage und Abschnitte

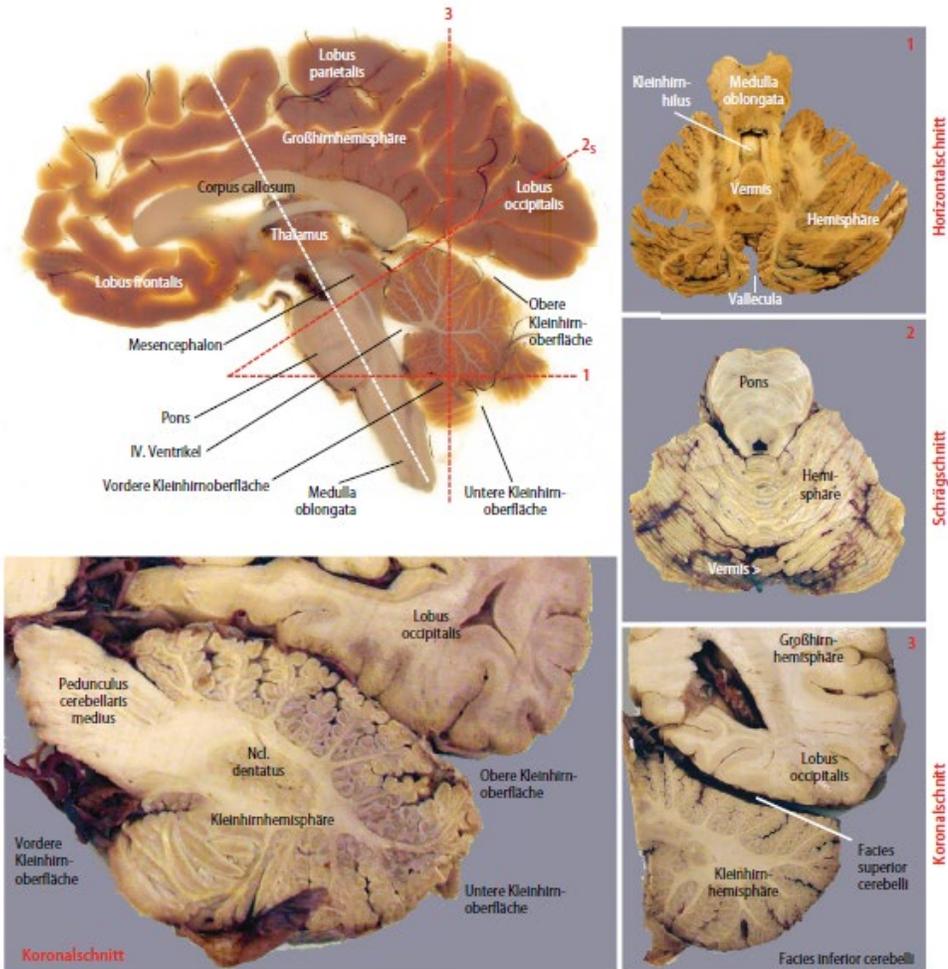


Abb. 8.1 Das menschliche Cerebellum in verschiedenen Schnittrichtungen. Die Schnitte auf der linken Seite der Abbildung zeigen zwei paramedian-sagittale Schnitte (Plastinat oben, konventionell fixiertes Präparat unten). In der plastinierten Scheibe sind unterschiedliche Schnittführungen mit 1 bis 3 bezeichnet (gestrichelte rote Linien). Die zugehörigen Schnittbilder (1-3) sind im rechten Teil der Abbildung zu sehen. Die Beziehungen des Kleinhirns zu anderen Hirn-

teilen, seine Oberflächen und die Unterteilung in Vermis cerebelli (Wurm) und Hemisphären (Hemispherium/-ia cerebelli) sind deutlich zu erkennen. Ferner sind die graue und die weiße Substanz (Substantia grisea/alba) des Cerebellums sowie die charakteristischen Verzweigungen der weißen Substanz in Form des Arbor vitae zu sehen. Die gestrichelte weiße Linie im Bild links oben entspricht der Hauptachse des Hirnstamms (Meynert-Achse)

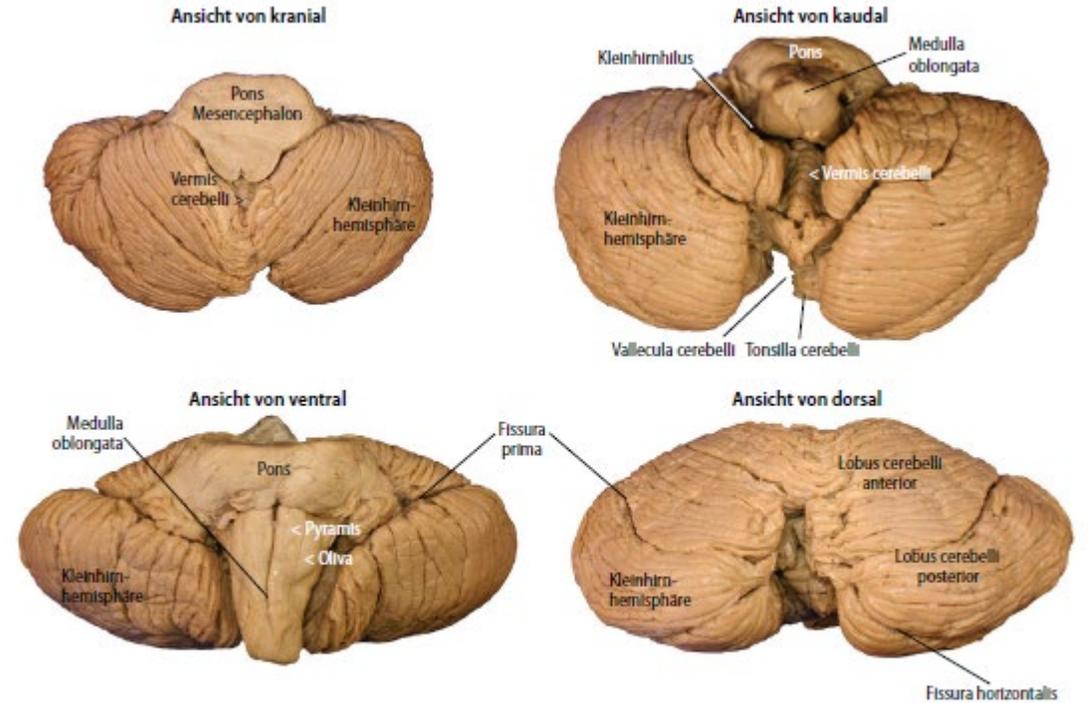


Abb. 8.2 Makroskopische Aufnahmen des isolierten menschlichen Kleinhirns mit einem Teil des Hirnstamms. Die verschiedenen Ansichten zeigen deutlich die Oberflächen des Cerebellums, die Sulci auf der äußeren Oberfläche und die Unterteilung in Kleinhirnwurm und -hemisphären. In der ventralen Ansicht sind die Kleinhirnstiele

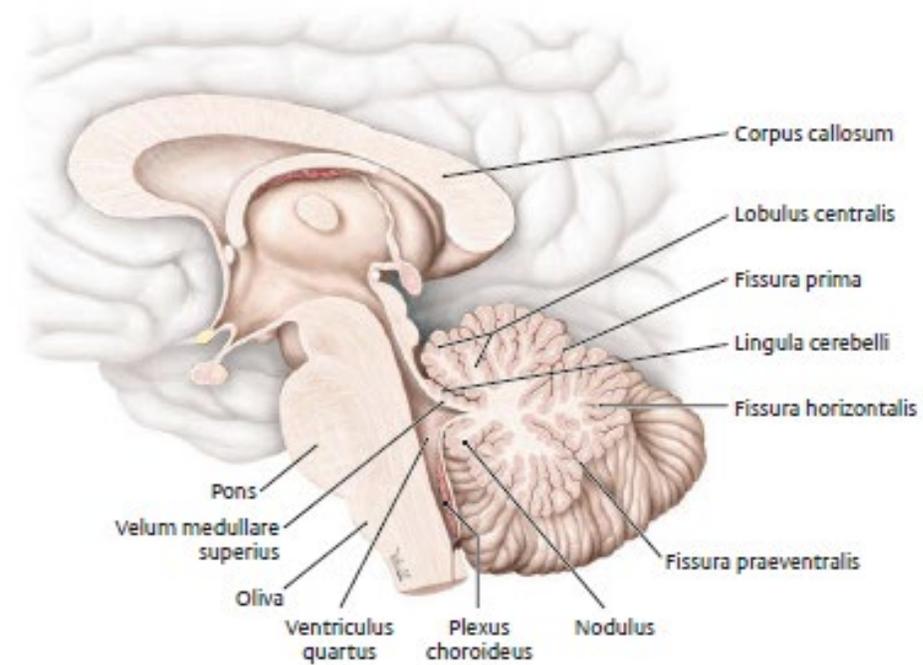
(Pedunculi cerebellares) nicht zu sehen, da sie durch die Brücke (Pons) und die Medulla oblongata verdeckt sind. Der Farbunterschied zwischen weißer und grauer Substanz ist wegen der Formalin-Fixierung des Materials schwierig zu erkennen

Innere Aufbau

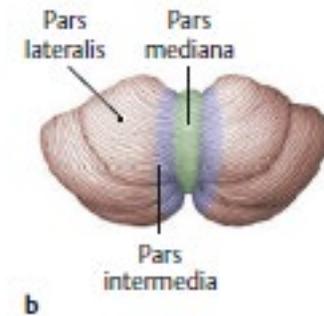
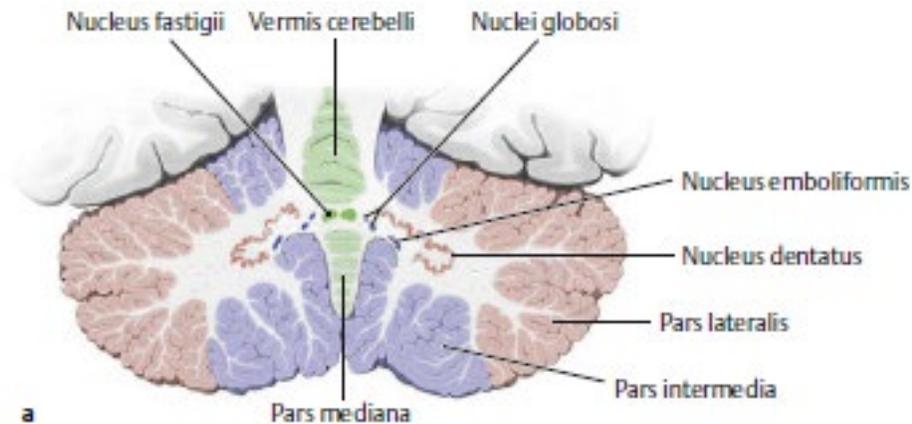
Das Marklager ist gegenüber der Rinde nur gering ausgeprägt Innerhalb des Marklagers liegen die Kleinhirnerkerne

Der Kleinhirnkortex besitzt 3 Schichten:

- Stratum moleculare
- Stratum ganglionare
- Stratum granulosum



Sagittalschnitt durch das Kleinhirn, das hier zusammen mit dem Hirnstamm, Zwischenhirn und angrenzenden Teilen des Großhirns dargestellt ist.
(Prometheus LernAtlas, Thieme, 4. Aufl.)



Innere Aufbau

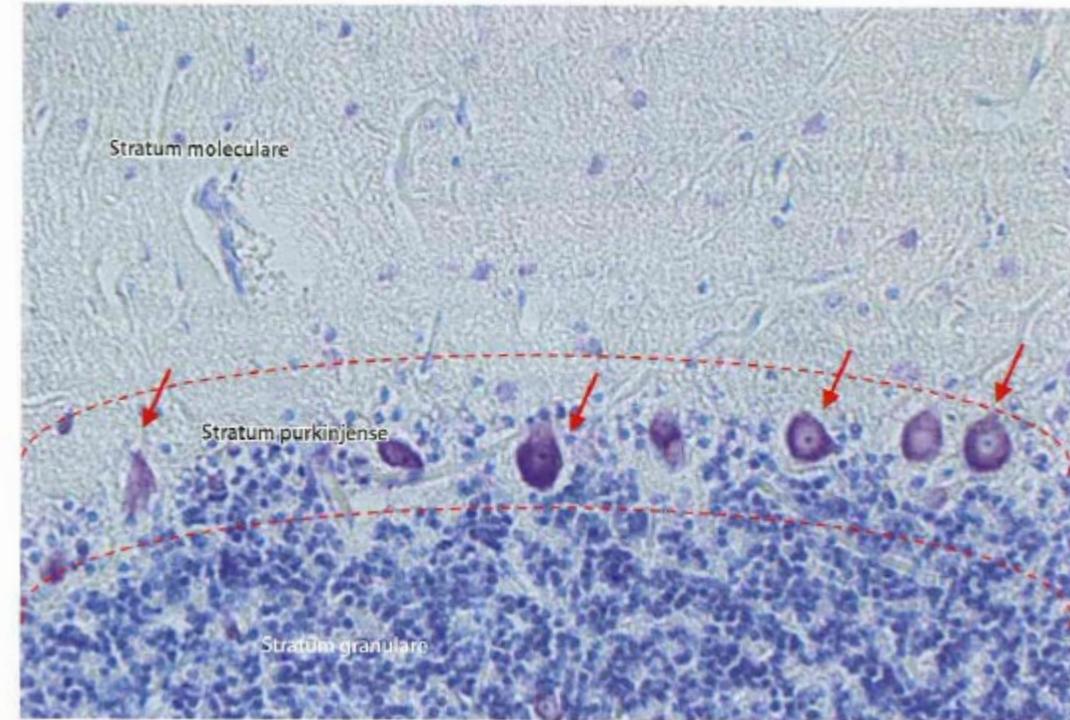
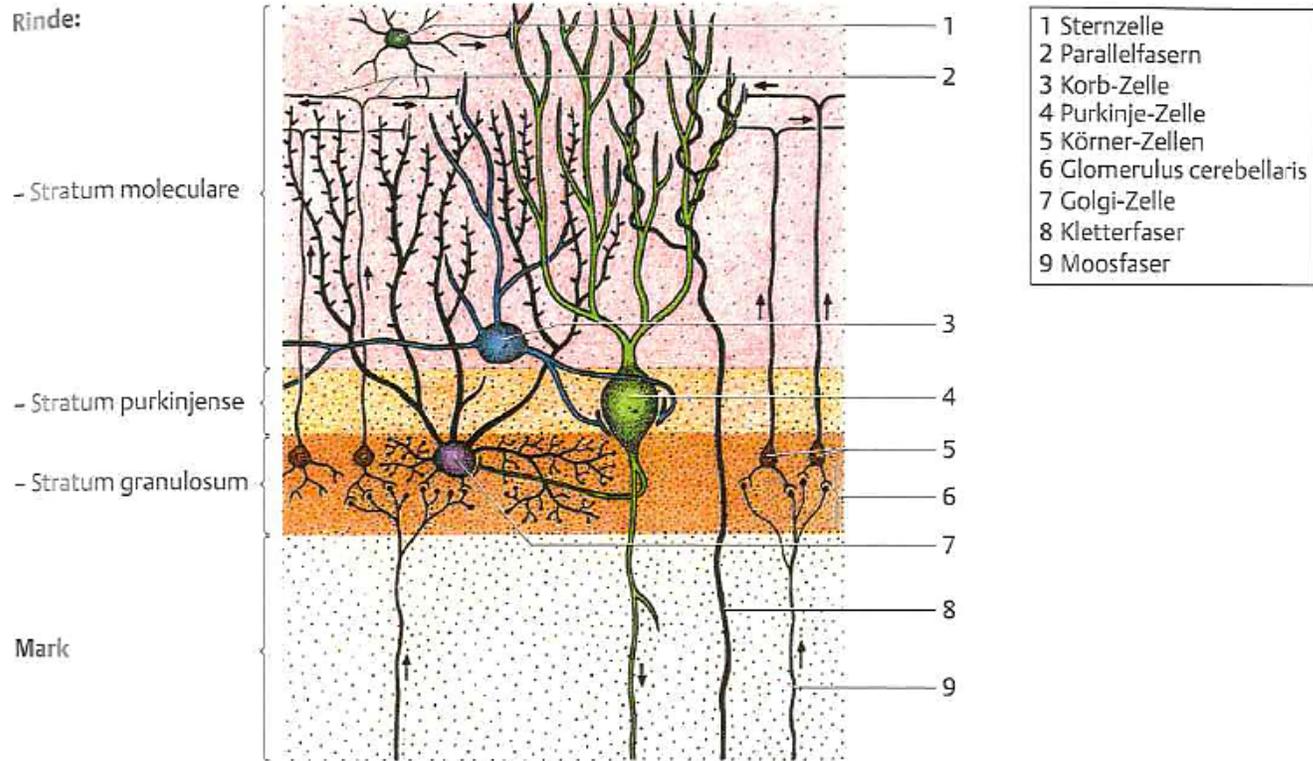


Abb. 6.3 Verschaltungen in der Kleinhirnrinde

Innere Aufbau

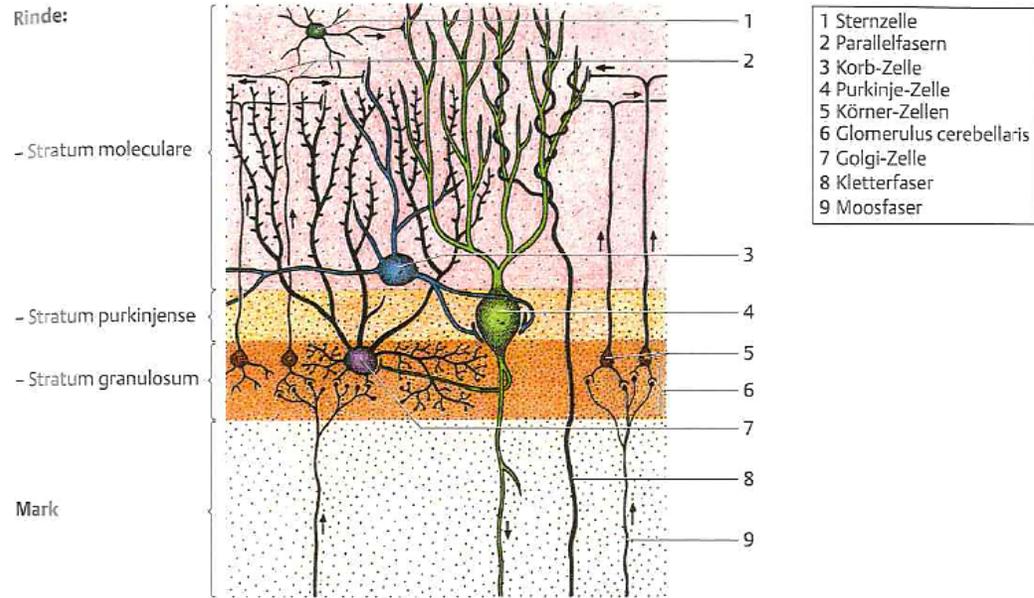
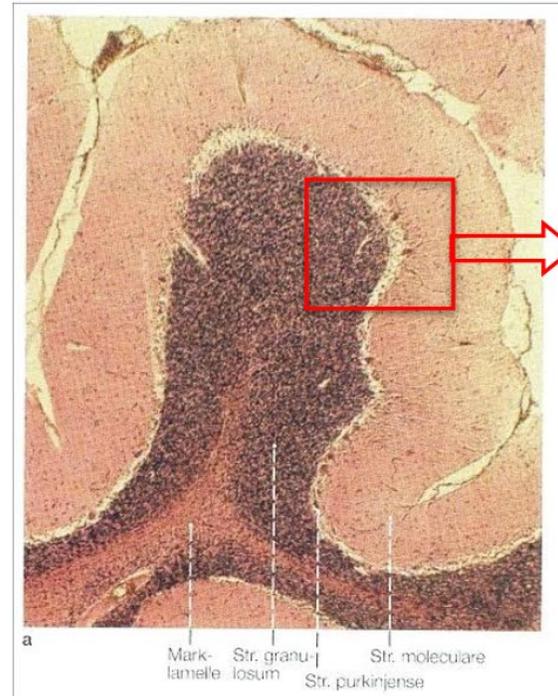
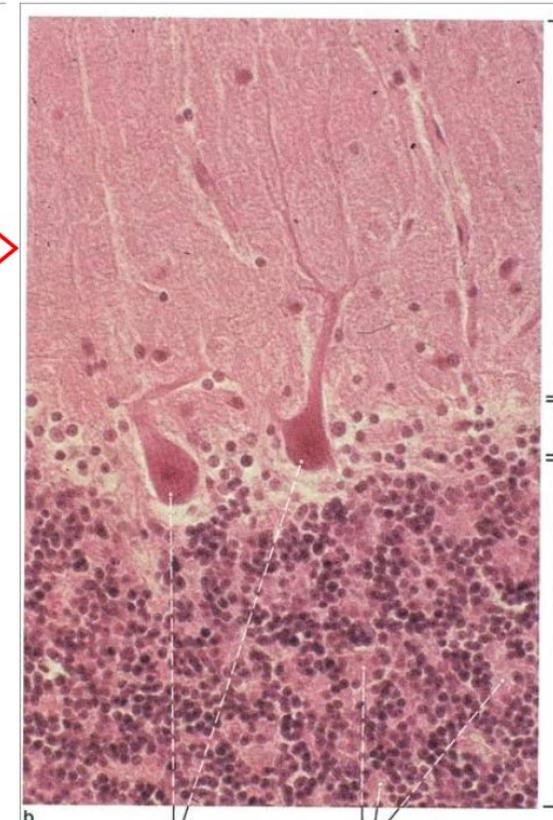


Abb. 6.3 Verschaltungen in der Kleinhirnrinde



- 1. Molekularschicht
- 2. Purkinjenzellschicht
- 3. Körnerzellschicht
- Mark



Molekularschicht

Purkinjenzellschicht

Körnerzellschicht

Innere Aufbau

Stratum moleculare

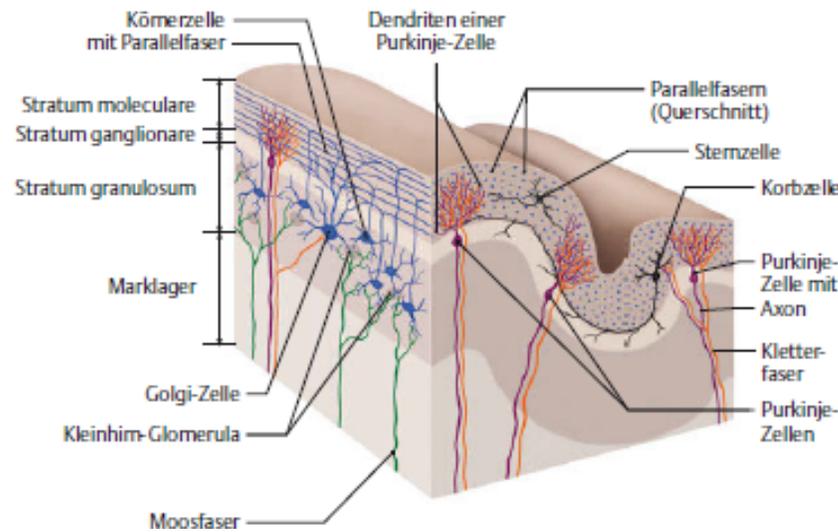
- (außen) mit Korb und Sternzellen, Dendriten von Purkinje- (P-) Zellen und Axonen von Körnerzellen die Parallelfasern bilden

Stratum ganglionare

- mit den P-Zellen (einschichtig), deren Axone den einzigen Ausgang des Kleinhirnkortex darstellen

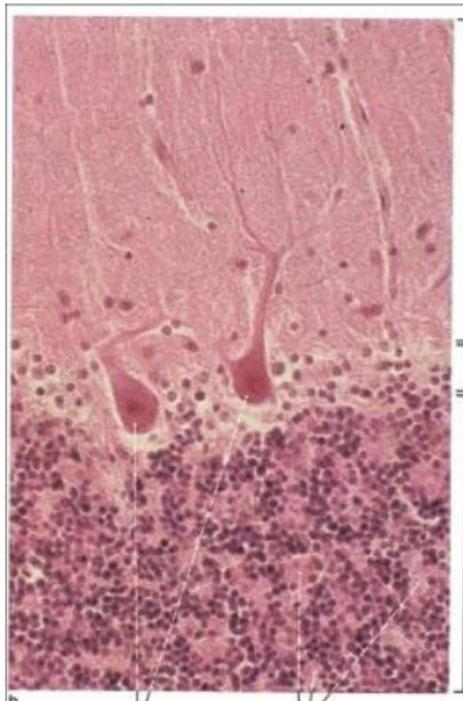
Stratum granulosum

- (an das Marklager grenzend) mit einer massiven Schicht von Körnerzellen.



Schematische Darstellung der drei Schichten innerhalb der Kleinhirnrinde mit angrenzendem Marklager. Die in unterschiedlichen Rindenschichten endenden Kletter- und Moosfasern sind im Kap. Afferenzen und Efferenzen des Kleinhirns (S. 1121) im funktionellen Zusammenhang beschrieben.
(nach Prometheus LernAtlas Thieme, 4. Aufl.)

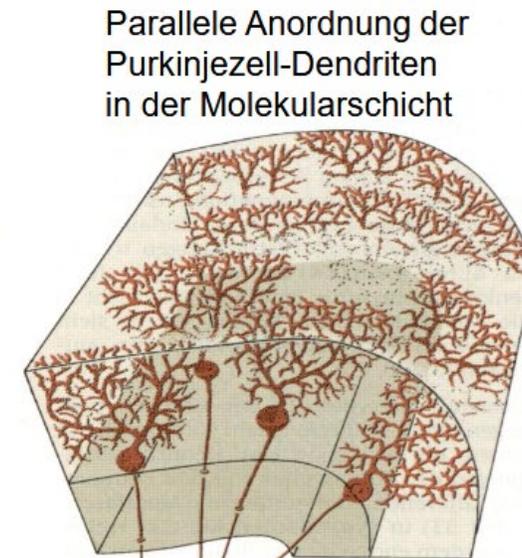
Innere Aufbau



Stratum moleculare

Stratum purkinjense

Stratum granulosum



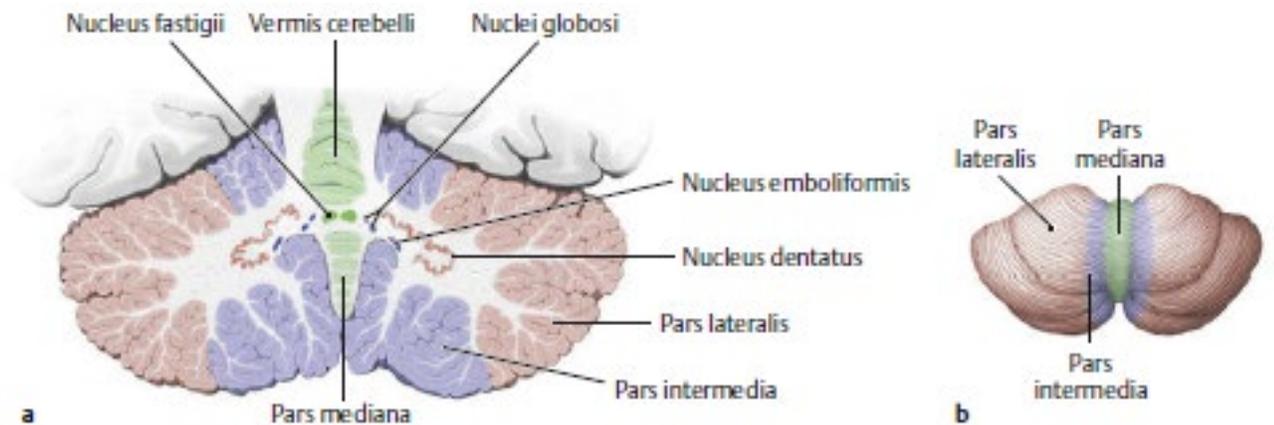
D Anordnung der Pukinje-Zellen in einem Folium

Innere Aufbau

Kleinhirnkerne

Die Kleinhirnkerne sind

- Ncl. Dentatus
- Ncl. interpositus mit 2 Anteilen (Ncl. emboliformis und globosi)
- Ncl. fastigii.

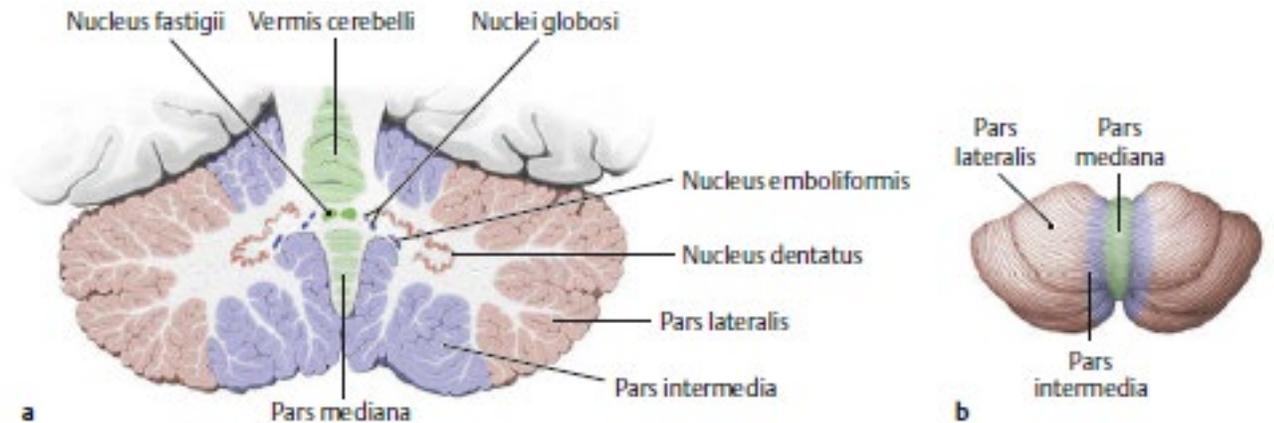


Innere Aufbau

Verbindungen des Kleinhirns

Seine Funktion erfordert vielfache sensorische und motorische Verbindungen mit anderen Teilen des ZNS. Am besten macht man sich die Verbindungen über die drei funktionellen Abschnitte des Kleinhirns klar:

- Cerebrocerebellum (oder Pontocerebellum) mit Verbindungen zum motorischen Kortex
- Spinocerebellum mit motorischen Verbindungen zum Rückenmark
- Vestibulocerebellum mit Verbindungen zum Innenohr und den Ncll. vestibulares.

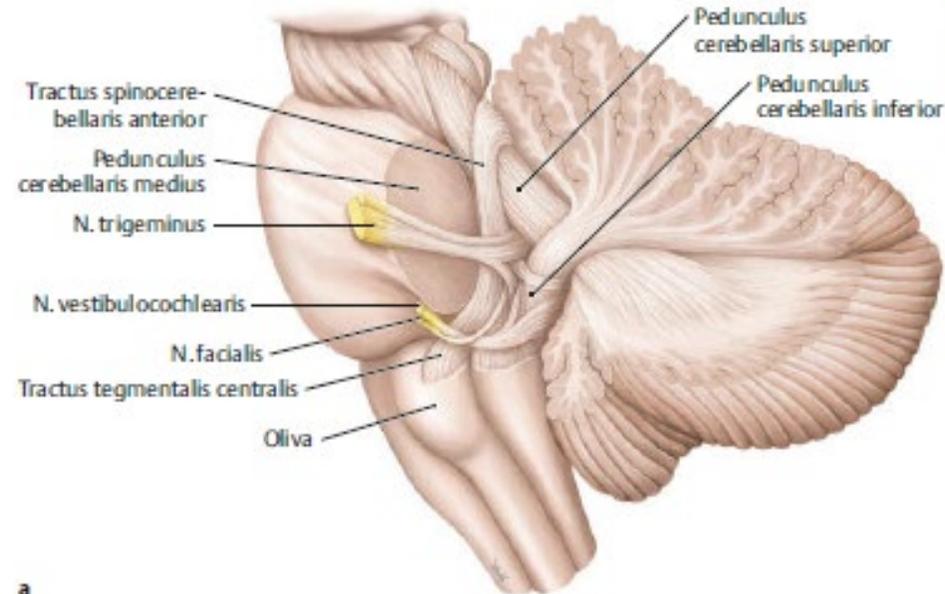


Innere Aufbau

Kleinhirnstiele

Es sind drei Pedunculi cerebellares (Kleinhirnstiele) vorhanden:

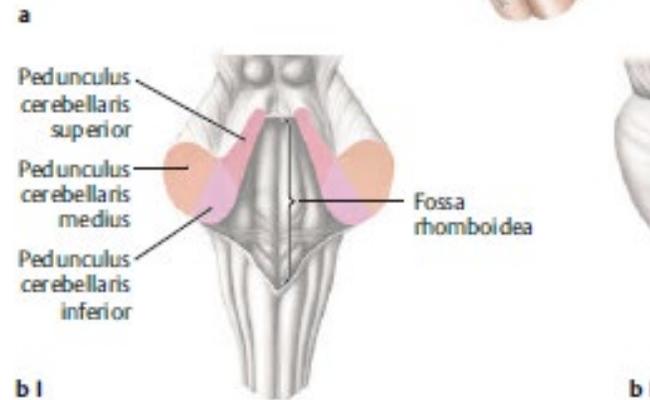
- Der Pedunculus superior verbindet das Kleinhirn mit dem Ncl. ruber und Thalamus und enthält hauptsächlich Efferenzen (Ausnahme: Afferenzen aus dem Tr. spinocerebellaris ant.).
- Der Pedunculus medius enthält nur Afferenzen, und zwar von den Ncll. pontis.
- Der Pedunculus inferior leitet v. a. Afferenzen aus dem Tractus spinocerebellaris post. und cuneocerebellaris sowie aus der unteren Olive und den Vestibulariskernen.



Die im Bereich des Hirnstamms austretenden Hirnnerven sind hier der Übersichtlichkeit halber nicht alle dargestellt.

(Prometheus LernAtlas, Thieme, 4. Aufl.)

- a** In dieser Darstellung, bei der Teile des rostralen Kleinhirns sowie laterale Teile der Brücke entfernt sind, wird der Faserverlauf in den Pedunculi cerebellares deutlich. Der Tractus tegmentalis centralis (zentrale Haubenbahn) verläuft longitudinal durch den Hirnstamm und ist hier freigelegt.
- b** Nach Abtrennung des Kleinhirns sind in der Ansicht von dorsal (I) bzw. von links (II) die komplementären Schnittflächen der Kleinhirnstiele am Hirnstamm (hier farblich hervorgehoben) sichtbar.



Innere Aufbau

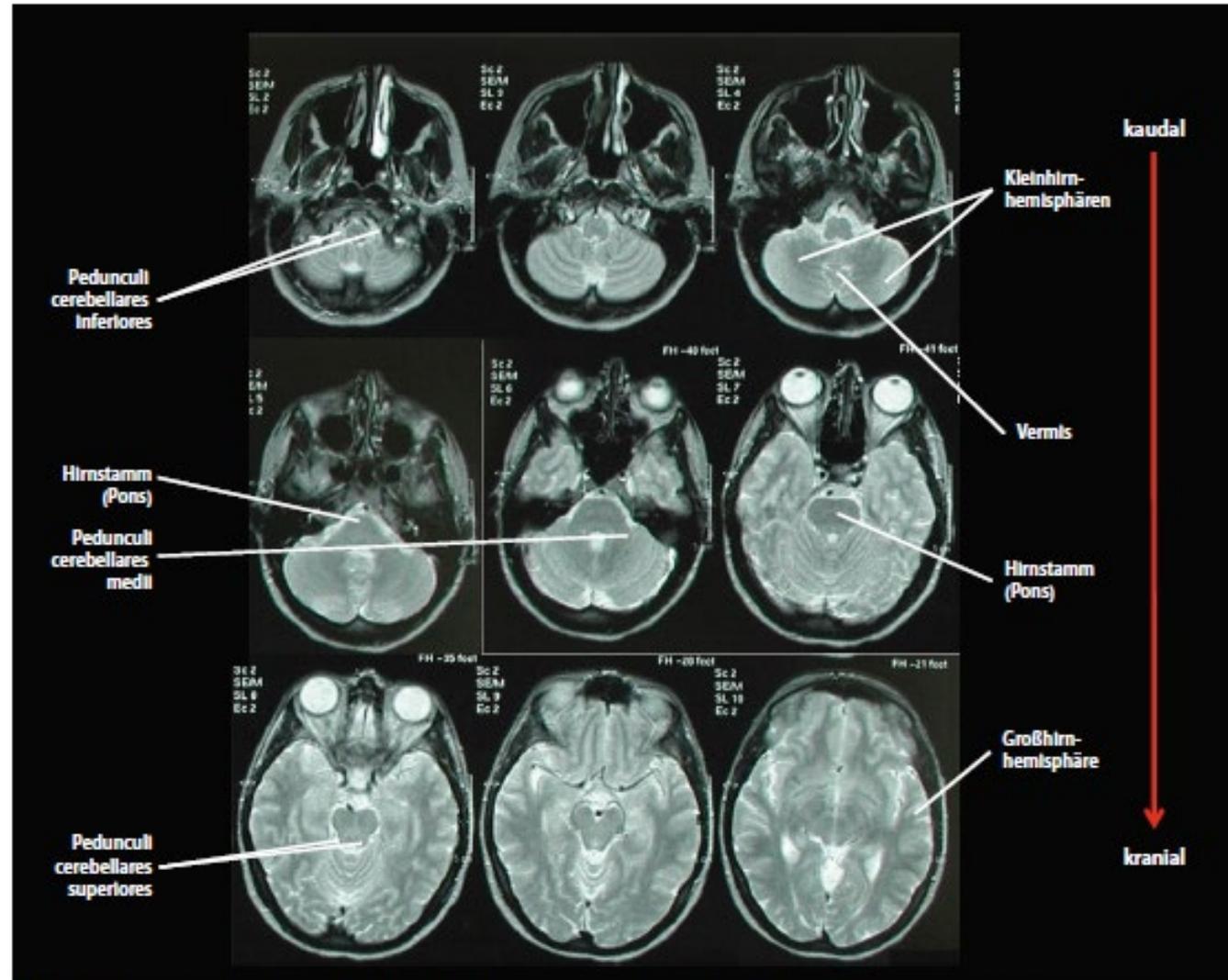


Abb. 8.6 Magnetresonanztomographische (MRT) Aufnahmen des menschlichen Gehirns in der Horizontalebene, T2-Gewichtung. Die drei Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellares) sind gut erkennbar.

Der rote Pfeil rechts gibt die Richtung der Darstellungsebenen von kaudal nach kranial an

Innere Aufbau

Afferenzen und Efferenzen des Kleinhirns

Afferenzen

Oberer Kleinhirnstiel:

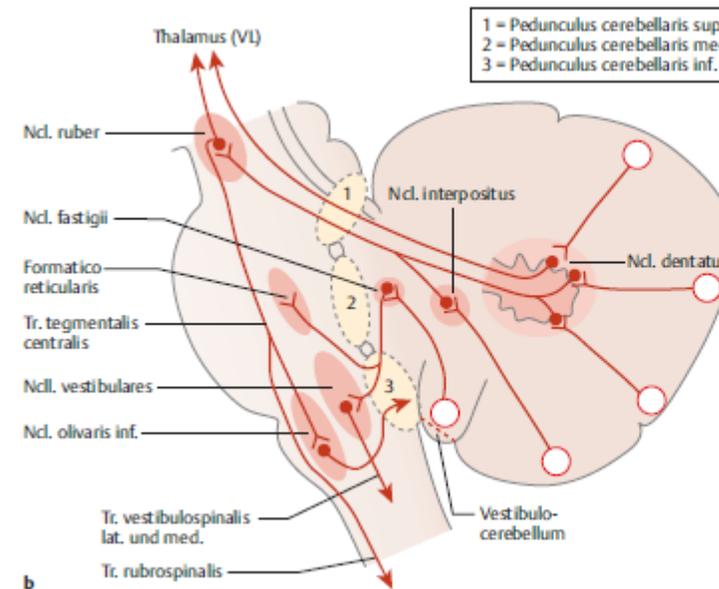
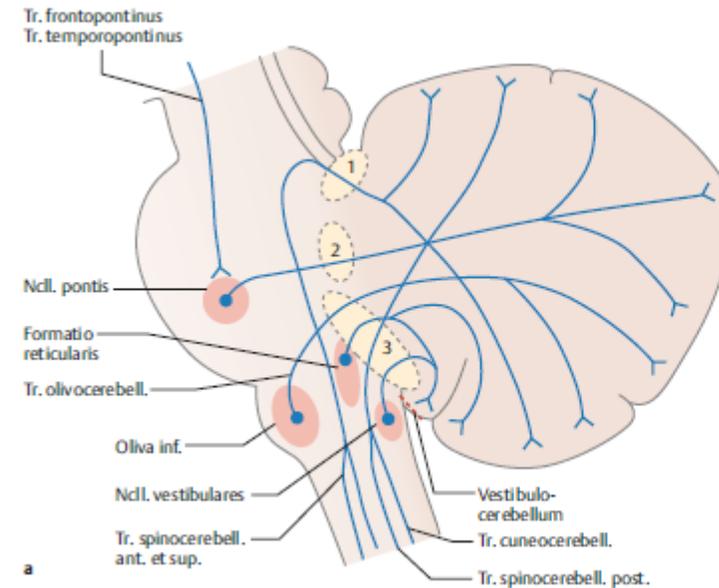
- Tr. spinocerebellaris anterior & superior
- Unbewusste Propriozeption (untere + obere Körperhälfte)

Mittlerer Kleinhirnstiel:

- Nur Afferenzen aus den Ncll. pontis
- Fortsetzung der corticopontinen Bahnen

Unterer Kleinhirnstiel:

- Tr. spinocerebellaris posterior (untere Körperhälfte)
- Tr. cuneocerebellaris (obere Körperhälfte)
- Tr. vestibulocerebellaris (vestibuläre Infos)
- Tr. olivocerebellaris (Kletterfasern aus unterer Olive)
- Moosfasern = alle anderen Afferenzen
- Zusätzlich: Tr. trigeminocerebellaris (Gesichtssensibilität)



a Afferenzen des Kleinhirns und ihr Verlauf in den Hirnstielen. Oberer Kleinhirnstiel (1): Tr. spinocerebellaris ant. und sup. mit propriozeptiven Afferenzen (unbewusste Propriozeption aus unterer und oberer Körperhälfte). Mittlerer Kleinhirnstiel (2): Enthält nur Afferenzen. Durch ihn ziehen Fasern von den Ncll. pontis als Fortsetzung der Tr. corticopontini. Unterer Kleinhirnstiel (3): Tr. spinocerebellaris post. (unbewusste Propriozeption aus unterer Körperhälfte), Tr. cuneocerebellaris (unbewusste Propriozeption aus oberer Körperhälfte), Tr. vestibulocerebellaris mit direkten Afferenzen vom vestibulären Innenohr und Tr. olivocerebellaris mit Afferenzen aus unterer Olive, die Kletterfasern heißen. Alle anderen Afferenzen werden Moosfasern genannt. Nicht dargestellt ist der Tr. trigeminocerebellaris von den taktilen Rezeptoren des Gesichts.

b Efferenzen des Kleinhirns. Die Fasern vom Ncl. dentatus verlassen das Kleinhirn über den Pedunculus cerebellaris sup. und enden entweder direkt im Ncl. ventralis lateralis (VL) des Thalamus oder nach Umschaltung im Ncl. ruber. Vom Ncl. interpositus zieht eine wichtige Efferenz ebenfalls über den oberen Kleinhirnstiel zum Ncl. ruber. Hier besteht eine Verbindung zum Tr. rubrospinalis und damit zum unwillkürlichen extrapyramidalen motorischen System (EPMS). Der Ncl. fastigii schickt Efferenzen zu den Vestibulariskernen, in denen über die Tr. vestibulospinalis ebenfalls eine Verbindung zum EPMS besteht. Die Efferenz zur Formatio reticularis kann reflektorisch motorische Ausgleichsreaktionen bei plötzlicher Lageveränderung des Körpers einleiten (über die Tr. reticulospinalis, nicht gezeigt). Bitte beachten: Der Tr. tegmentalis centralis (die zentrale Haubenbahn) als Verbindung zwischen Ncl. ruber und unterer Olive ist die Basis für den folgenden Rückkopplungskreis: Ncl. ruber – Ncl. olivaris inf. – Cortex cerebelli – Kleinhirnerne (Ncl. dentatus und Ncl. interpositus) – Ncl. ruber. Über diesen Kreis kann die motorische Aktivität des zerebralen Cortex (über den Thalamus) und die des Rückenmarks (Tr. rubrospinalis) kontrolliert werden.

Innere Aufbau

Afferenzen und Efferenzen des Kleinhirns

Efferenzen

Nucleus dentatus:

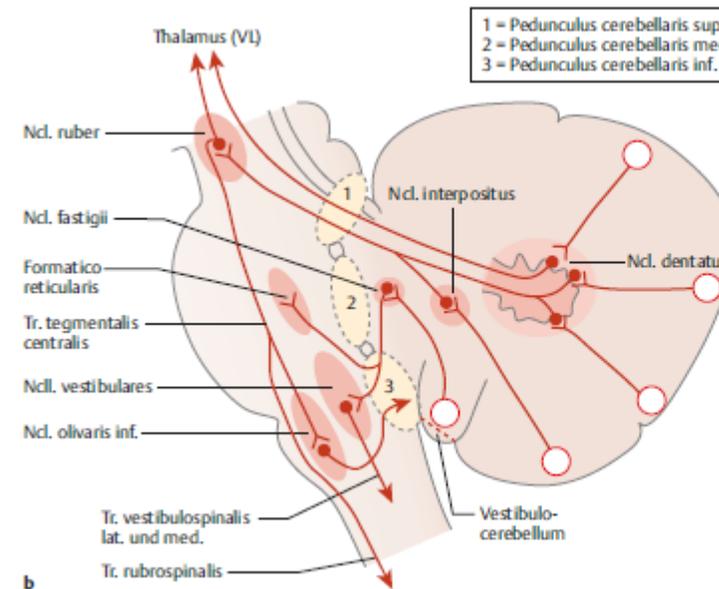
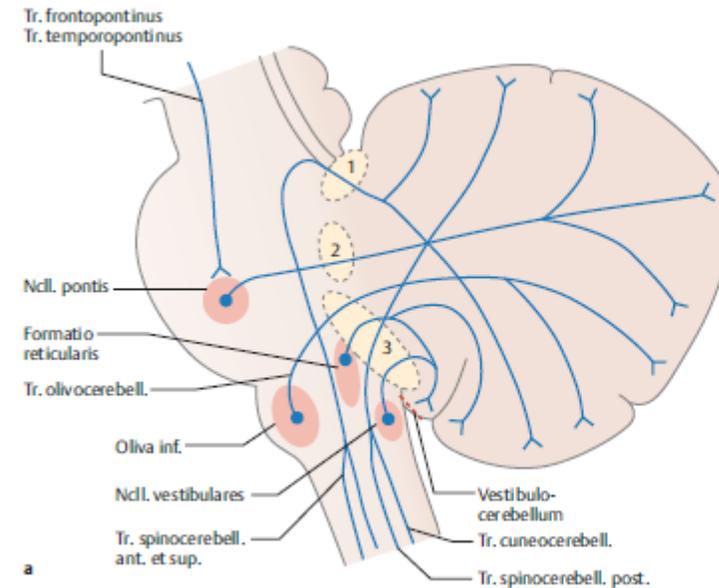
- Pedunculus cerebellaris sup. → Thalamus (motorisch) oder Ncl. ruber
- Beeinflusst Willkürmotorik & extrapyramidales System

•Nucleus interpositus:

- Pedunculus cerebellaris sup. → Ncl. ruber
- Verbindung zu Tr. rubrospinalis (EPMS)

•Nucleus fastigii:

- Vestibulariskerne → Tr. vestibulospinalis (Haltungsregulation)
- Formatio reticularis → Tr. reticulospinalis (reflektorische Ausgleichsbewegungen)



a Afferenzen des Kleinhirns und ihr Verlauf in den Hirnstielen. Oberer Kleinhirnstiel (1): Tr. spinocerebellaris ant. und sup. mit propriozeptiven Afferenzen (unbewusste Propriozeption aus unterer und oberer Körperhälfte). Mittlerer Kleinhirnstiel (2): Enthält nur Afferenzen. Durch ihn ziehen Fasern von den Ncll. pontis als Fortsetzung der Tr. corticopontini. Unterer Kleinhirnstiel (3): Tr. spinocerebellaris post. (unbewusste Propriozeption aus unterer Körperhälfte), Tr. cuneocerebellaris (unbewusste Propriozeption aus oberer Körperhälfte), Tr. vestibulocerebellaris mit direkten Afferenzen vom vestibulären Innenohr und Tr. olivocerebellaris mit Afferenzen aus unterer Olive, die Kletterfasern heißen. Alle anderen Afferenzen werden Moosfasern genannt. Nicht dargestellt ist der Tr. trigeminocerebellaris von den taktilen Rezeptoren des Gesichts.

b Efferenzen des Kleinhirns. Die Fasern vom Ncl. dentatus verlassen das Kleinhirn über den Pedunculus cerebellaris sup. und enden entweder direkt im Ncl. ventralis lateralis (VL) des Thalamus oder nach Umschaltung im Ncl. ruber. Vom Ncl. interpositus zieht eine wichtige Efferenz ebenfalls über den oberen Kleinhirnstiel zum Ncl. ruber. Hier besteht eine Verbindung zum Tr. rubrospinalis und damit zum unwillkürlichen extrapyramidalen motorischen System (EPMS). Der Ncl. fastigii schickt Efferenzen zu den Vestibulariskernen, in denen über die Tr. vestibulospinalis ebenfalls eine Verbindung zum EPMS besteht. Die Efferenz zur Formatio reticularis kann reflektorisch motorische Ausgleichsreaktionen bei plötzlicher Lageveränderung des Körpers einleiten (über die Tr. reticulospinalis, nicht gezeigt). Bitte beachten: Der Tr. tegmentalis centralis (die zentrale Haubenbahn) als Verbindung zwischen Ncl. ruber und unterer Olive ist die Basis für den folgenden Rückkopplungskreis: Ncl. ruber – Ncl. olivaris inf. – Cortex cerebelli – Kleinhirnerne (Ncl. dentatus und Ncl. interpositus) – Ncl. ruber. Über diesen Kreis kann die motorische Aktivität des zerebralen Kortex (über den Thalamus) und die des Rückenmarks (Tr. rubrospinalis) kontrolliert werden.

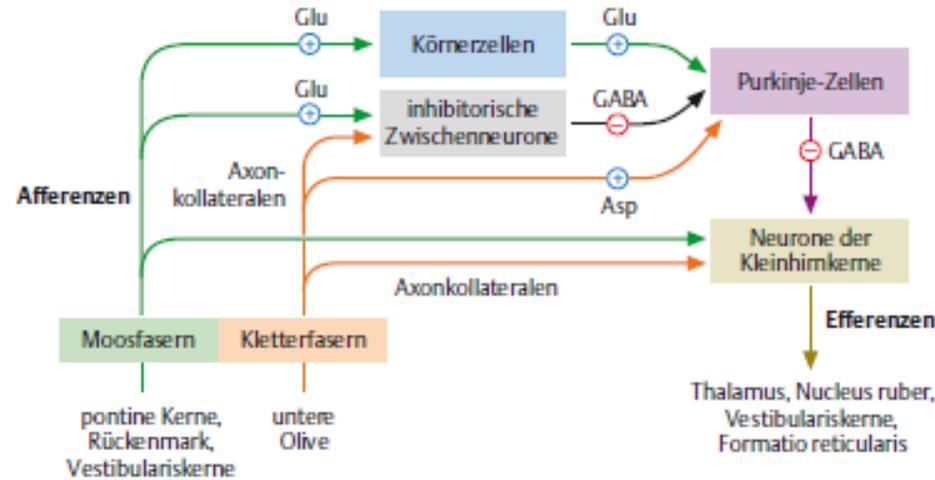
Innere Aufbau

Der Kleinhirnkortex bildet – stark vereinfacht – eine hemmende Schleife für die Kleinhirnkerne

Die Hauptfunktionen

des Zerebellums sind die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts und die Beteiligung an der Planung und Durchführung von Bewegungen. Um diese Aufgaben erfüllen zu können, benötigt das Kleinhirn Informationen von drei Quellen:

- Vestibularapparat
- Muskel- und Gelenkrezeptoren
- Zerebraler Kortex



(Prometheus LemAtlas, Thieme, 4. Aufl.)

Ein- (links) und Ausgänge (rechts) des Kleinhirns mit schematischer Darstellung ihrer komplexen Verschaltungen. Die erregenden und hemmenden Wirkungen werden durch exzitatorische (Glu = Glutamat, Asp = Aspartat) oder inhibitorische (GABA = Gamma-Amino-Butter-Säure) Transmitter (S. 1181) erreicht. Während die Afferenzen (aus anderen Teilen des ZNS) und Efferenzen (aus den Kleinhirnernen) erregende Transmitter freisetzen, wirkt das von den Purkinje-Zellen der Kleinhirnrinde freigesetzte GABA hemmend. Ihre Wirkung auf die Kleinhirnkerne wird jedoch wiederum durch andere Zellen der Kleinhirnrinde, von denen nur die Körnerzellen erregend sind, moduliert. Die Axonkollateralen von den Moos- und Kletterfasern erregen ebenfalls die Kleinhirnkerne und können so die Hemmung durch die P-Zellen dämpfen.

Eingänge	Kletterfasern		
			← kontralateraler Ncl. olivaris inferior (propriozeptiver und kortikaler Antrieb)
	Moosfasern (alle Eingänge außer den Kletterfasern)		← Vestibulariskerne ← Rückenmark (kutane und propriozeptive Information) ← Motorkortex über Tr. corticopontini
Ausgänge	Axone der Purkinje-Zellen	Ncl. dentatus	→ Ncl. ruber → Thalamus - hauptsächlich Ncl. ventralis lateralis (VL) → prämotorischer Kortex
		Ncl. fastigii	→ Tractus vestibulospinalis lateralis → Tractus corticospinalis anterior (ungekreuzter Teil der Pyramidenbahn)
			} (mediales System)
			→ Mesencephalon → untere Olive
		Ncl. interpositus	→ Tractus corticospinalis lateralis (gekreuzter Teil der Pyramidenbahn) → Tractus rubrospinalis
			} (laterales System)

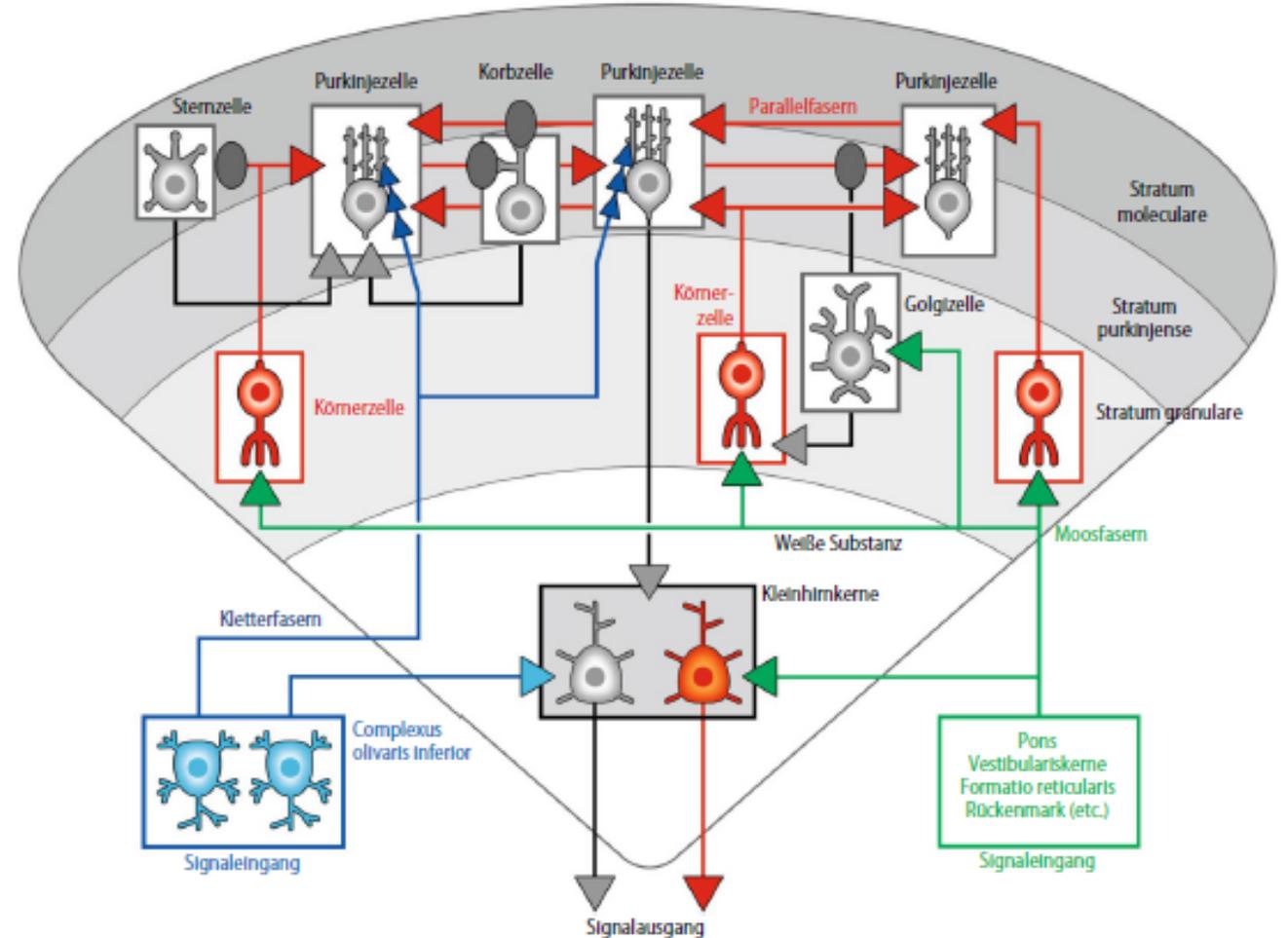
Innere Aufbau

Der Kleinhirnkortex bildet – stark vereinfacht – eine hemmende Schleife für die Kleinhirnkerne

Die Hauptfunktionen

des Zerebellums sind die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts und die Beteiligung an der Planung und Durchführung von Bewegungen. Um diese Aufgaben erfüllen zu können, benötigt das Kleinhirn Informationen von drei Quellen:

- Vestibularapparat
- Muskel- und Gelenkrezeptoren
- Zerebraler Kortex



■ **Abb. 8.9 Schematische Darstellung der Kleinhirnkonnektivität.** Die Kleinhirnrinde ist in grau wiedergegeben, die Kleinhirnkerne durch das Rechteck auf grauem Grund. Die glutamatergen, exzitatorischen Kleinhirnneurone sind rot markiert, die inhibitorischen GABAergen Neurone grauschwarz. Die Kletterfasern sind blau markiert, die Moos-

fasern grün. Die Axone der Purkinjezellen stellen die einzigen Efferenzen der Kleinhirnrinde zu den Neuronen der Kleinhirnkerne dar (zur vereinfachten Darstellung ist nur ein Purkinjezellaxon in der Mitte der Abbildung eingezeichnet). Axone sind an ihrem terminalen Ende mit einem Pfeilkopf markiert

Kleinhirnstörungen

- **Nucleus dentatus / Pontozerebellum:**

- **Symptom:** Adiadochokinese (Unfähigkeit zu schnellen, abwechselnden Bewegungen, z. B. Pro-/Supination der Hand)
- **Test:** Patient soll schnelle Glühbirneneindrehen-Bewegung imitieren

- **Nucleus interpositus / Spinozerebellum:**

- **Symptom:** Ataxie (abgehackter, unkoordinierter Gang)

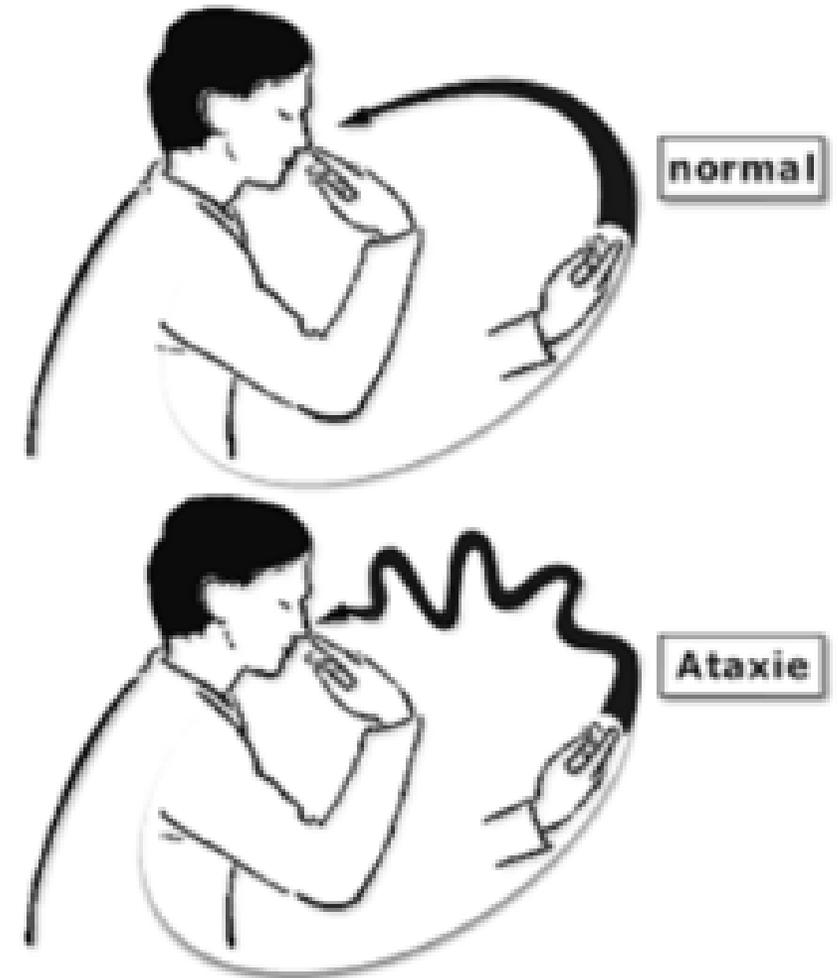
- **Nucleus fastigii / Vestibulozerebellum:**

- **Symptome:**

- Fallneigung (Störung der Stützmotorik)
- Vestibulärer Nystagmus (schnelle, unwillkürliche Augenbewegungen)
- Ursache: gestörte Verbindung zwischen Ncl. fastigii, Vestibulariskernen und Augenmuskelkernen

- **Allgemeines Zeichen bei Kleinhirnstörung:**

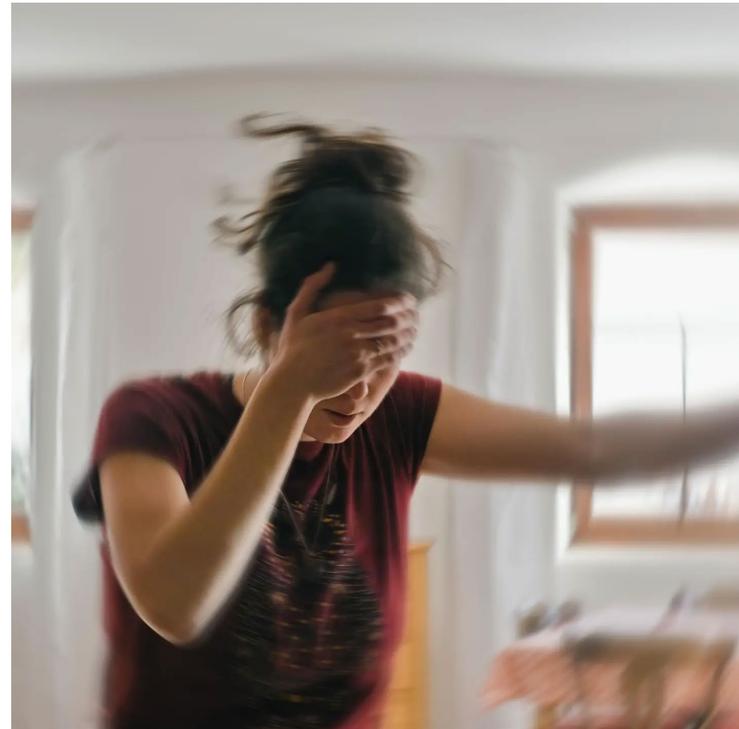
- **Intentionstremor:** Zittern in der Endphase einer Zielbewegung (z. B. Finger-Nase-Versuch)
- **Abgrenzung:** Im Gegensatz zum **Ruhetremor** bei Parkinson (Zittern in Ruhe, hört bei Bewegung auf)



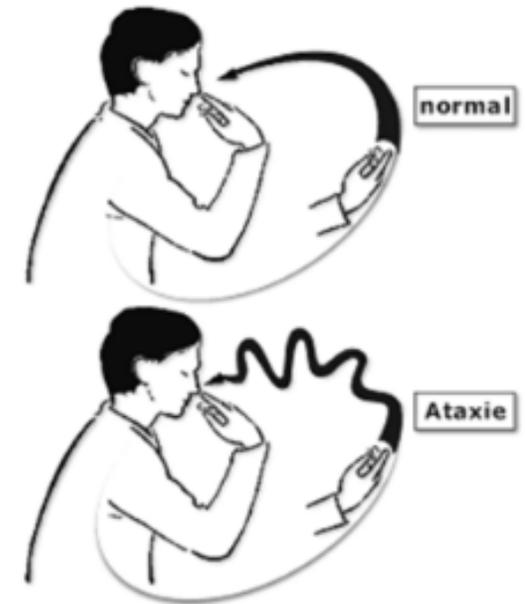
Kleinhirnstörungen

Merksatz: „Ein Patient, der nicht gehen kann, gehört ins MRT – nicht zum HNO.“

Merkmal	Zentral (Kleinhirn)	Peripher (z.B. Vestibularorgan)
Nystagmus	vertikal oder richtungswechselnd	horizontal, konstant
Gangunsicherheit	stark ausgeprägt	meist gut kompensiert
Übelkeit/Erbrechen	oft milder	häufig heftig
Hörminderung	selten	evtl. vorhanden
Besserung bei Fixation	keine	ja



Kleinhirnstörungen



Zusammenfassung

- **Anatomisch:** Unterteilt in Hemisphären, Vermis, Kleinhirnerne (Fastigii, Interpositus, Dentatus)

- **Eingänge (Afferenzen):**
 - Moosfasern (z. B. aus Rückenmark, Hirnstamm)
 - Kletterfasern (aus der Olive)

- **Verarbeitung:**
 - In funktionellen Einheiten: Vestibulo-, Spino- und Pontozerebellum
 - Über hemmende Schleife via Purkinje-Zellen

- **Ausgänge (Efferenzen):**
 - Über die Kleinhirnerne → Motorische Systeme im ZNS
 - Einfluss auf Rumpfmotorik, Feinmotorik und Bewegungsplanung

- **Funktion:**
 - Gleichgewicht, Koordination, Muskeltonus
 - Feinabstimmung geplanter Bewegungen
 - Beteiligung an Lernprozessen (motorisches Lernen)
 - Mitwirkung an Sprache und Kognition (in Teilen)

- **Klinisch relevant bei:** Ataxien, Schlaganfall, MS, Kleinhirntumoren, genetischen Störungen