



Abb. 6.2 Rebound-Phänomen bei Kleinhirnläsion im Vergleich zum Gesunden: **a** und **b** normale Reaktion; **a** und **c** Reaktion bei Läsion

- Dysdiadochokinese: das schnelle Zusammenwirken von antagonistischen Muskeln ist beeinträchtigt; rasche Pro- und Supinationsbewegungen (wie z. B. beim Schraubendrehen) sind nicht möglich
- Intentionstremor: Auftreten von Zittern bei Annäherung einer Bewegung auf ein Ziel (z. B. beim Versuch, mit dem Finger die Nasenspitze zu treffen = Finger-Nase-Versuch)
- Makrographie: verwackelte große Schrift
- skandierende Sprache: undeutlich, schleppend, monoton, abgehackt, stockend, z. T. explosiv
- Rebound-Phänomen: plötzliches Abbremsen einer Bewegung gelingt nicht (**Abb. 6.2**)
- grobschlägiger Nystagmus: langsame und entgegengerichtete schnelle Augenbewegungen.
- Muskelhypotonie: Abschwächung des Muskeltonus
- Rumpf- und Standaixie: Schwanken beim Sitzen oder Stehen
- Gangataxie: unsicherer, torkelnder, breitbeiniger Gang.

Bei einer Schädigung der Pars lateralis der Hemisphären überwiegen die ersten sechs der genannten Symptome während die letzten vier bevorzugt bei Läsionen von Vestibulo- und Spinocerebellum auftreten.



Check-up

- ✓ **Vergegenwärtigen Sie sich, woher die drei funktionellen Kleinhirnantile (Vestibulo-, Spino- und Pontocerebellum) Afferenzen erhalten, um ihre Aufgaben erfüllen zu können.**
- ✓ **Machen Sie sich klar, aus welchen morphologischen Kleinhirnstrukturen jeder dieser drei funktionellen Anteile besteht.**

6.3 Der Aufbau



Lerncoach

Das Kleinhirn muss eine Vielzahl an Informationen aus anderen Zentren des ZNS erhalten und aufeinander abstimmen, um eine koordinierende Wirkung auf die Motorik ausüben zu können. Achten Sie beim Lernen der dafür erforderlichen zahlreichen Verbindungen und Verschaltungen insbesondere auf:

- die komplexen Verschaltungen in der Kleinhirnrinde
- die besondere Stellung der Kleinhirnerne
- die Fasersysteme, die in den Kleinhirnstielen verlaufen.

An Kleinhirnschnitten wird der Aufbau sichtbar:

- Graue Substanz findet sich – wie auch im Großhirn – in Form der Kleinhirnrinde (**Cortex cerebelli**) und den Kleinhirnkernen (**Nuclei cerebelli**).
- Weiße Substanz bildet als Verbindung zum Hirnstamm die Kleinhirnstiele (**Pedunculi cerebelli**), umgibt die Kerne als **Corpus medullare cerebelli** und dringt in die Windungen der Rinde ein. Daraus ergibt sich das typische Bild des Lebensbaumes (**Arbor vitae**).

6.3.1 Die Kleinhirnrinde

Die Kleinhirnrinde ist in drei Schichten unterschiedlicher Breite gegliedert (**Abb. 6.3**).

Diese Dreischichtigkeit kommt durch die charakteristische Verteilung verschiedener Zellen und ihrer Zellfortsätze zustande. Zusätzlich enden in der Kleinhirnrinde Afferenzen aus anderen Teilen des

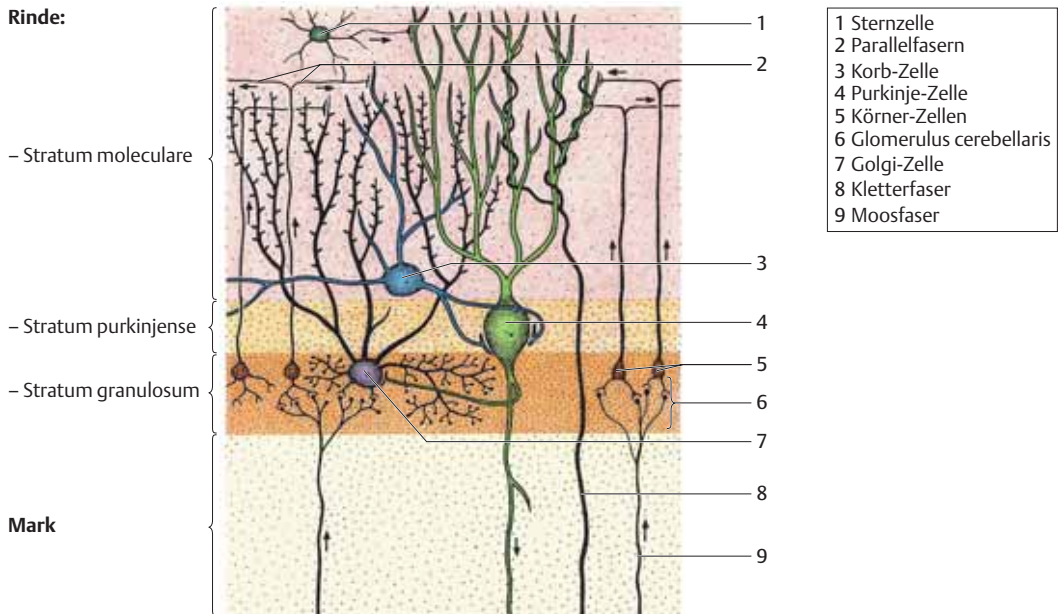


Abb. 6.3 Verschaltungen in der Kleinhirnrinde

ZNS. Die einzelnen für das Verständnis der Kleinhirnrinde wichtigen Neurone und Faserarten sind in Tab. 6.1 zusammengefasst und bilden von außen nach innen folgende Schichten:

- **Stratum moleculare** (Molekularschicht): Dies ist die dickste der drei Schichten. Sie enthält zahlreiche Fasern und viele Synapsen, aber nur wenige Nervenzellkörper.
- **Stratum purkinjense** (früher: Stratum ganglionare; Purkinje-Zellschicht) als schmale Schicht in der Mitte.
- **Stratum granulosum** (Körnerschicht): Diese breite Schicht grenzt innen an das Marklager.

Von den verschiedenen in der Kleinhirnrinde vorkommenden Nervenzelltypen entsenden nur Purkinje-Zellen Axone, die die Rinde verlassen. Alle anderen (Golgi-, Stern- und Korbzellen) sind inhibitorische Interneurone. Sie hemmen bestimmte Purkinje-Zellen (vgl. Umfeldhemmung, laterale Hemmung S. 82) und dienen dadurch der räumlichen Kontrastverstärkung.



Machen Sie sich mit Hilfe von Tabelle 6.1 und Abbildung 6.3 klar, welche Strukturen in welcher der drei Schichten liegen und welche Verschaltungen zwischen den Zellen bestehen.

MERKE

- Im Stratum moleculare stehen die Dendritenbäume der Purkinje-Zellen senkrecht zur Längsachse der Folia cerebelli, die Parallelfasern der Körnerzellen hingegen in Längsrichtung.
- Die Axone der Purkinje-Zellen sind die einzigen efferenten Fasern der Kleinhirnrinde und wirken
 - wie fast alle anderen Zellen der Kleinhirnrinde
 - inhibitorisch.
- Die Körnerzellen sind die einzigen Zellen der Kleinhirnrinde mit exzitatorischer Wirkung.
- Die ebenfalls exzitatorischen Moos- und Kletterfasern sind Affenzen aus anderen Gebieten des ZNS.

Tabelle 6.1

Zellen und Faserarten der Kleinhirnrinde	
neuronale Struktur	Charakteristika
Zellen	
Purkinje-Zellen	– inhibitorisch (GABAerg) – Perikarya: – groß, rundlich oder birnenförmig – im Str. purkinjense in einer Reihe mit definierten Abständen zueinander – Dendritenbäume: – meist 2 (1–4) Dendriten – stark verzweigt – spalterbaumartig angeordnet (Lage in einer Ebene, die quer zur Längsachse der Kleinhirnwindungen steht) – in der Molekularschicht (ganze Höhe) – Axone: – einzige Efferenzen der Kleinhirnrinde – ziehen zu den Kleinhirnkernen – Kollateralen zu Korb- und Golgi-Zellen
Sternzellen	– inhibitorische Interneurone – Molekularschicht, obere Hälfte – Axone bilden Synapsen mit Dendritenbäumen der Purkinje-Zellen im Str. purkinjense
Korbzellen	– inhibitorische Interneurone – Perikarya: Molekularschicht (untere Hälfte) – Axone: umfassen im Str. purkinjense korbartig die Somata der Purkinje-Zellen und enden an deren Axoninitialsegmenten
Golgi-Zellen	– inhibitorische Interneurone – Perikarya: – größer als die der Körnerzellen – im Stratum granulosum – Dendriten: – ziehen durch das Str. purkinjense – verzweigen sich dreidimensional im Str. moleculare – Axone bilden in den Glomeruli cerebellares (s. u.) synaptische Kontakte an Dendriten der Körnerzellen
Körnerzellen	– einzige exzitatorische Zellen der Kleinhirnrinde – Perikarya: – sehr klein und rund – dicht gepackt im Stratum granulosum – Axone bilden Parallelfasern in der Molekularschicht (s. u.)
Bergmann-Gliazellen	– Sondertyp der Astroglia – Perikarya im Str. purkinjense – radiäre Fortsätze bilden mit Endfüßen Gliagrenzmembranen um Gefäße und unter der Pia mater (Membrana limitans gliae vascularis und superficialis)
afferente Fasern	
Parallelfasern	– Axone der Körnerzellen (also aus der Kleinhirnrinde selbst) – verzweigen sich T-förmig – verlaufen parallel zur Längsachse der Kleinhirnwindungen und damit senkrecht zur Ebene der Dendritenbäume der Purkinje-Zellen – bilden eine große Anzahl von Synapsen an – Dendriten vieler Purkinje-Zellen – Korb- und Sternzellen – Dendriten der Golgi-Zellen
Kletterfasern	– Axone aus dem Nucleus olivaris inferior – ziehen durch Str. granulosum und Str. purkinjense hindurch – steigen an Dendritenbäumen der Purkinje-Zellen auf und bilden mit ihnen synaptische Kontakte im Str. moleculare – exzitatorische Wirkung
Moosfasern	– Axone aus verschiedenen Gebieten des ZNS: – Pons (Tractus pontocerebellaris) – Nuclei vestibulares (Tractus vestibulocerebellaris) – Formatio reticularis (Tractus reticulocerebellaris) – Tectum (Tractus tectocerebellaris) – Nucleus cuneatus accessorius (Fibrae cuneocerebellares, s. S. 84) – Rückenmark (Tractus spinocerebellaris anterior und posterior) – enden im Str. granulosum und bilden dort synaptische Kontakte mit – Dendriten benachbarter Körnerzellen – Axonen und Dendriten der Golgi-Zellen. Diese Synapsenfelder (lichtmikroskopisch frei von Zellkernen) werden als Glomeruli cerebellares bezeichnet.

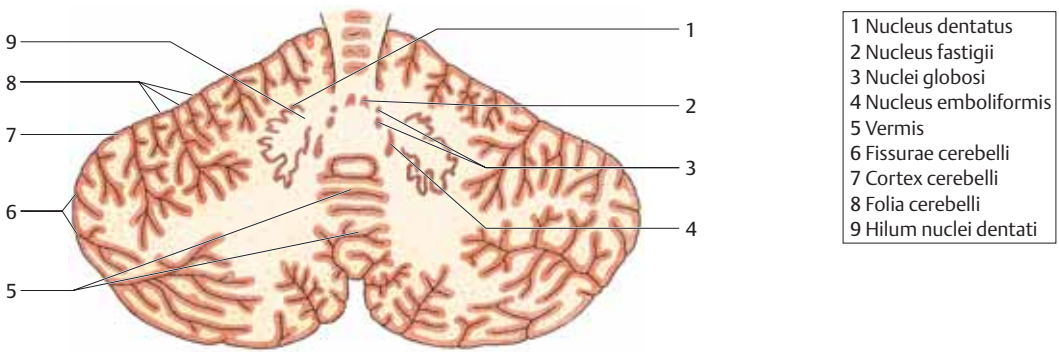


Abb. 6.4 Schrägschnitt (aus der Horizontalebene gedreht) durch das Cerebellum mit Kleinhirnkernen.

6.3.2 Die Kleinhirnkern

6.3.2.1 Die Lage und die Form der Kleinhirnkern

Eingelagert in die weiße Substanz des Kleinhirns sieht man auf Horizontalschnitten die Kleinhirnkern (Abb. 6.4):

- **Nucleus dentatus** (Zahnkern): Dieser größte Kleinhirnkern liegt am weitesten lateral und ähnelt einem Beutel mit anteromedialer Öffnung (Hilum nuclei dentati), dessen Oberfläche stark gefaltet (gezähnt) ist.
- **Nucleus fastigii** (First- oder Giebelkern): Seinen Namen hat dieser mediale Kern von seiner Lage im Dach des IV. Ventrikels.
- **Nuclei globosi** (Kugelkerne): Die beiden kleineren Kerne lateral vom Nucleus fastigii und medial vom Nucleus dentatus sind rundlich.
- **Nucleus emboliformis** (Pfropfkern): Er liegt vor dem Hilum des Nucleus dentatus.

Die Nuclei globosi und emboliformis werden auch als Nucleus interpositus zusammengefasst.

6.3.2.2 Die Verschaltungen der Kleinhirnkern

Die Kleinhirnkern erhalten ihre Afferenzen von Kollateralen der Bahnen, die zur Kleinhirnrinde projizieren. Eine weitere Afferenz der Kerne kommt von den Purkinje-Zellen des Kleinhirns, über die eine inhibitorische Kontrolle der Kerne stattfindet. Von den Kleinhirnkernen gehen fast *alle* Efferenzen aus, die das Kleinhirn verlassen (z.B. zum Thalamus, Nucleus ruber, Ncll. vestibulares, Formatio re-

ticularis). Lediglich einige Purkinje-Zellen projizieren ohne Umschaltung in den Kleinhirnkernen auf den Ncl. vestibularis lateralis.

Der **Nucleus dentatus** erhält seine Zuflüsse aus der Rinde (Purkinje-Zellen) der Kleinhirnhemisphären (Pontocerebellum, vor allem Pars lateralis, d.h. laterale Zone der Hemisphäre). Er projiziert über den Pedunculus cerebellaris superior (s.u.) zum Nucleus ruber (Pars parvocellularis) und zum Thalamus (Nucleus ventralis lateralis) der Gegenseite.

Die **Nuclei globosi und emboliformis** erhalten ihre Afferenzen aus der intermediären Längszone (auch paramediane oder paravermale Zone der Hemisphäre, Spinocerebellum). Die Efferenzen ziehen über den oberen Kleinhirnstiel zum Nucleus ruber (Pars magnocellularis) und zum Thalamus (Nucleus posterior ventrolateralis) der Gegenseite.

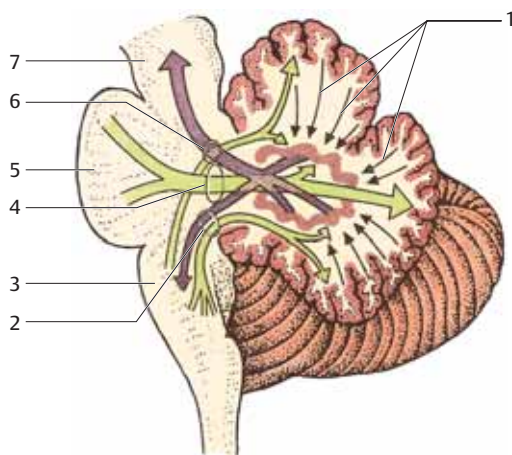
Der **Nucleus fastigii** erhält seine Afferenzen vor allem von den Purkinje-Zellen des Wurms (mediale Längszone, Vestibulocerebellum). Seine Efferenzen verlaufen zu den Vestibulariskernen (Nuclei vestibulares medialis und inferior) und zur Formatio reticularis beider Seiten. Die zur Gegenseite ziehenden Fasern kreuzen als Fasciculus uncinatus innerhalb des Kleinhirns und ziehen dann durch den Pedunculus cerebellaris inferior (Corpus juxta-restiforme) zu ihren Zielgebieten.

Einige Axone der Purkinje-Zellen des Vermis projizieren direkt (ohne Umschaltung im Nucleus fastigii) auf den Nucleus vestibularis lateralis, der somit die Position eines Kleinhirnkerns einnimmt.

MERKE

Die Purkinjezellen der Kleinhirnrinde projizieren größtenteils zu den Kleinhirnkernen, deren Axone dann das Cerebellum verlassen; d. h. (fast) alle Efferenzen des Kleinhirns haben ihre Ursprungsneurone in einem der Kleinhirnkerne.

6



- 1 kortikonukleäre Fasern
- 2 Pedunculus cerebellaris inferior
- 3 Medulla oblongata
- 4 Pedunculus cerebellaris medius
- 5 Pons
- 6 Pedunculus cerebellaris superior
- 7 Mesencephalon

Abb. 6.5 Kleinhirnstiele mit ihren Verbindungen zum Hirnstamm (vgl. **Tab. 6.2**)

– exzitatorische Wirkung

6.3.3 Die Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellares)

Die zahlreichen Afferenzen und Efferenzen des Kleinhirns, die seine modulierende Funktion innerhalb eines Bewegungsablaufs ermöglichen, verlaufen beidseits in den drei Kleinhirnstielen (**Abb. 6.5** und **Tab. 6.2**). Diese sind auf der anterioren Seite des Kleinhirns eine Fortsetzung seiner weißen Substanz und verbinden das Kleinhirn mit dem Hirnstamm:

- **Pedunculus cerebellaris superior:** Verbindung zum Mesencephalon
- **Pedunculus cerebellaris medius:** am weitesten lateral gelegene kräftige Verbindung zum Pons
- **Pedunculus cerebellaris inferior:** Verbindung zur Medulla oblongata.



An der Höhenlokalisation der mit dem Kleinhirn verbundenen Hirnstammstrukturen können Sie sich ableiten, durch welchen Kleinhirnstiel die jeweilige Faserverbindung zieht. Die einzige Ausnahme von dieser Faustregel ist der Tractus spinocerebellaris anterior, der über den oberen Kleinhirnstiel zieht, obwohl er von kaudal aus dem Rückenmark kommt.

Machen Sie sich zu den in **Tab. 6.2** aufgeführten Afferenzen klar, dass sie die Kleinhirnrinde erreichen

- als Kletterfasern (aus der unteren Olive über den Tractus olivocerebellaris) oder
- als Moosfasern (über die anderen in **Tab. 6.2** genannten Faserbündel).

MERKE

- Der Hauptteil der zerebellären Efferenzen verläuft im Pedunculus cerebellaris *superior* und kreuzt im Mittelhirn zur Gegenseite.
- Der Pedunculus cerebellaris *medius* führt nur zerebelläre Afferenzen aus dem *Pons*.
- Der Pedunculus cerebellaris *inferior* enthält verschiedene afferente und efferente Bahnen als Verbindung zu den Vestibulariskernen und kaudal des *Pons* gelegenen Strukturen (z. B. Tractus spinocerebellaris posterior, Tractus olivocerebellaris).
- Nur der ebenfalls von kaudal aus dem Rückenmark kommende Tractus spinocerebellaris anterior zieht nicht über den unteren, sondern den oberen Kleinhirnstiel.

Wie aus dem Namen der jeweiligen Bahnen in **Tab. 6.2** ersichtlich, verlaufen die Efferenzen des Kleinhirns u. a. über die *Formatio reticularis*, den *Nucleus ruber* und den *Nucleus vestibularis lateralis* zum Rückenmark.

**Check-up**

- ✓ Besonders beliebte Prüfungsthemen sind die Kleinhirnrinde und die Kleinhirnstiele. Rekapitulieren Sie hierzu insbesondere
 - wo die zerebellären Afferenzen (*Moos- und Kletterfasern*) jeweils enden
 - welche Interneurone und Fasern auf die *Purkinje-Zellen* wirken
 - welche Bahnen über welchen Kleinhirnstiel das *Cerebellum* erreichen bzw. verlassen.
- ✓ Machen Sie sich klar, über welche extrazerebellären Kerne die Efferenzen des Kleinhirns zum Rückenmark gelangen.
- ✓ Überlegen Sie, warum der Tractus spinocerebellaris anterior (nicht aber posterior) durch den *Pons* verläuft.