

Wie halten Sie es mit der Neuroanatomie? Eine Einführung in Aufbau und Funktionen des Nervensystems

► Die Nerven (4/06) ► Das Rückenmark (5/06) ► Der Hirnstamm (6/06) ► Thalamus und Zwischenhirn (7-8/06) ► Das limbische System (9/06) ► Die Basalganglien (10/06) ► Das Kleinhirn (11/06) ► Die Großhirnlappen (12/06)

HIRNFORSCHUNG ANATOMIE

Schön – schöner – Cerebellum!

Das Kleinhirn koordiniert Bewegungen – so weit ist die Sache klar. Wie es das anstellt, wissen Forscher allerdings immer noch nicht genau. An seiner Schönheit und dem geordneten Aufbau können wir uns trotzdem erfreuen.

VON HELMUT WICHT

Neuroanatomen beschäftigen sich mit allen möglichen Teilen des Nervensystems, vom Rückenmark bis zum Frontallappen. Doch ihre heimliche Liebe gehört dem Kleinhirn. Denn das Cerebellum, so die lateinische Bezeichnung, ist unstrittig einer der wohlgeformtesten Teile unseres Denkapparats. So waren auch nur die blumigsten Begriffe gerade gut genug, als es darum ging, seine einzelnen Strukturen zu bezeichnen.

Zunächst ein Überblick, bevor wir in die wundersamen Details einsteigen: Wie das Großhirn lässt auch das Cerebellum zwei Hemisphären erkennen – halbkugelige Gebilde, die in der Mitte verbunden sind (siehe Bild S. 58). Die Kontaktstelle sieht mit ein wenig Fantasie aus wie ein geringelter Regenwurm, weshalb man sie den Kleinhirnwurm – Vermis cerebelli – nennt. Auf der Oberseite des Cerebellums

lugt der Wurm zwischen den Hemisphären hervor, auf der Rück- und Unterseite aber liegt er tief zwischen ihnen. Und so bezeichnen Anatomen den oberen Teil als »Oberwurm« oder »Berg des Kleinhirns«, den unteren als »Unterswurm« oder »Tal des Kleinhirns«.

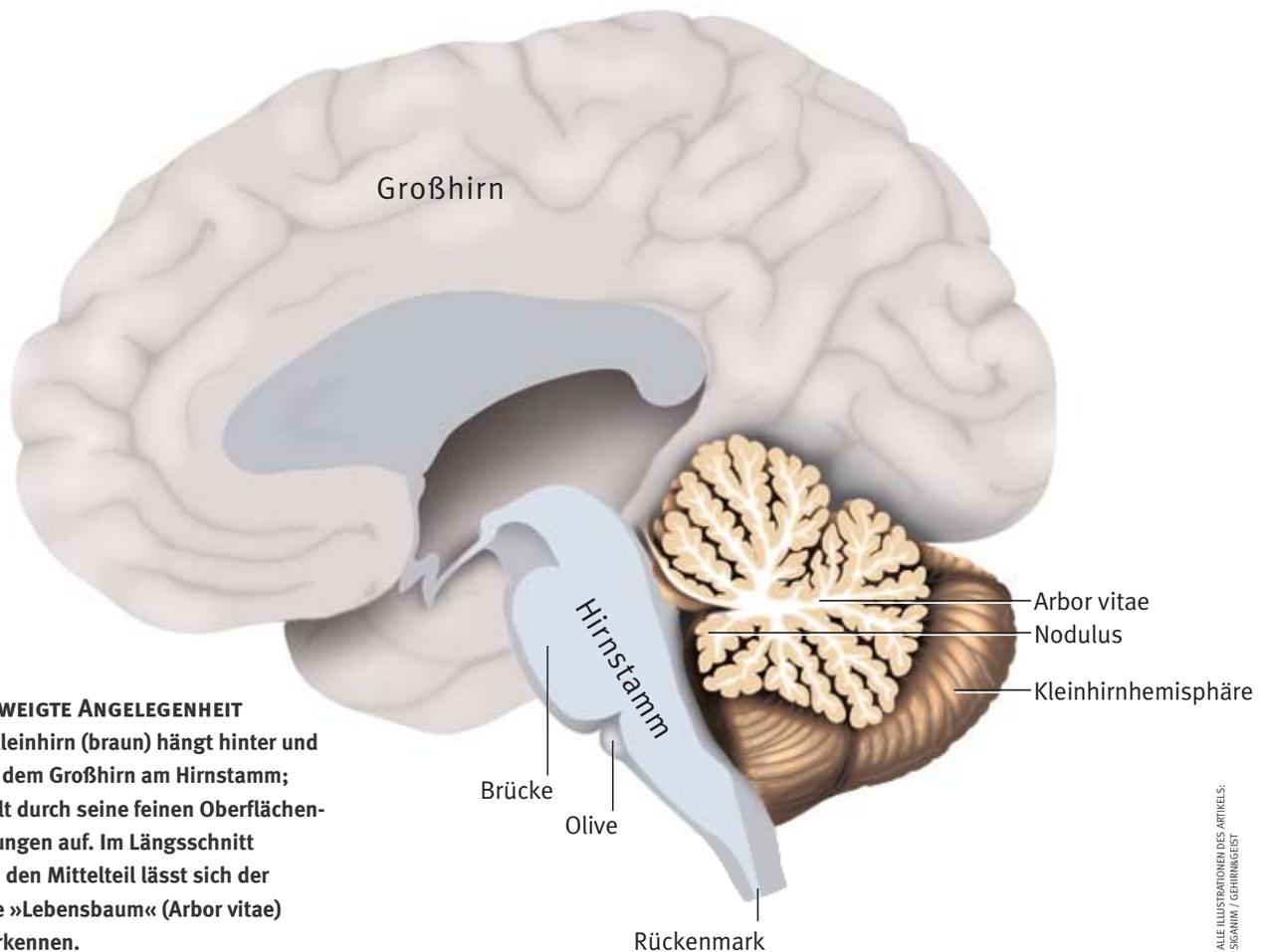
Halbkugeln und Würmer – was soll daran hübsch sein? Doch kaum sieht man sich das Kleinhirn etwas näher an, wird seine Schönheit offenbar. Bereits die Oberfläche erscheint plissiert wie ein edles Kleidungsstück. Um wie viel grobschlächtiger wirken da doch die zerknautschten Wülste des Großhirns! Die feinen, regelmäßigen Fältchen des Cerebellums werden als seine Blätter, lateinisch Folia, bezeichnet. Wer das Kleinhirn der Länge nach durchschneidet, erkennt, warum – sie scheinen wie bei einem Baum an Zweigen zu hängen. Die weiße Struktur auf der Schnittfläche heißt daher auch Arbor vitae – Lebensbaum (siehe Bild rechts oben).

In seinem Innern, sozusagen im Stamm nahe den Wurzeln, liegen Flecken grauer Substanz, sprich: die dicht gepackten Zellkörper von Neuronen. Das sind die »tiefen Kleinhirnkerne«, und der größte von ihnen wird wegen seiner Erscheinung treffend als gezählter Kern bezeichnet – Nucleus dentatus.

FLÖCKCHEN UND KNÖTCHEN

Auch die plissierte Oberfläche erscheint nach außen hin gräulich; dort bilden die Nervenzellkörper wie beim Großhirn eine Rinde. Tatsache, das Cerebellum besitzt ebenfalls einen Cortex!

Bis hierher dürften also die Tier- und Pflanzenliebhaber unter Ihnen – ebenso wie die Freunde von Bergen und Tälern – ihre Freude an den Namen der Kleinhirnbestandteile gehabt haben. Doch auch Wintersportfans wird etwas geboten: Weiter unten, dort, wo das Cerebellum an den Hirnstamm grenzt, liegen die beiden (Schnee-)Flöckchen, la-



VERZWEIGTE ANGELEGENHEIT

Das Kleinhirn (braun) hängt hinter und unter dem Großhirn am Hirnstamm; es fällt durch seine feinen Oberflächenwindungen auf. Im Längsschnitt durch den Mittelteil lässt sich der weiße »Lebensbaum« (Arbor vitae) gut erkennen.

ALLE ILLUSTRATIONEN DES ARTIKELS:
S64NIM / GEHIRN&GEIST

reinisch Flocculi. Diese sind über kleine Stiele mit dem Kopf des Wurms tief unten im »Wurmtal« verbunden. Der »Wurmkopf« heißt Knötchen (Nodus), und weil Flöckchen und Knötchen eng kooperieren, bezeichnet man sie zusammen als »Pars nodulofloccularis cerebelli«. Womit auch Sammler von Zungenbrechern auf ihre Kosten kommen!

Man könnte lange so weitermachen – es gibt da noch Segel, Zungen, Pyramiden, Halbmonde, Mandeln, Doppelbäuche und so fort, aber für einen ersten Eindruck soll das einmal genügen. Wie immer stellt sich nun unweigerlich die Frage, wozu das Ganze denn gut ist. Betrachten wir hierfür zunächst die Verbindungen des Kleinhirns mit dem übrigen Nervensystem.

Nachrichten aus anderen Hirnbereichen erreichen das Cerebellum über die »Wurzeln« des Lebensbaums, die dicken Kleinhirnstiele. So informiert das Rückenmark permanent über den Status

quo unseres Bewegungsapparats: Muskelspannung, Gelenkstellung, Sehnenspannung – all das wird sorgfältig registriert. Die für diese Signale zuständigen Nervenbahnen enden im Wurm sowie in zwei knapp fingerbreiten, direkt angrenzenden Streifen. Entsprechend wird diese Region Spinocerebellum genannt – das Rückenmarkskleinhirn. Ist es infolge eines Unfalls oder einer Krankheit beschädigt, treten große Probleme beim Gehen und Stehen auf.

SCHWINDEL? NEIN DANKE!

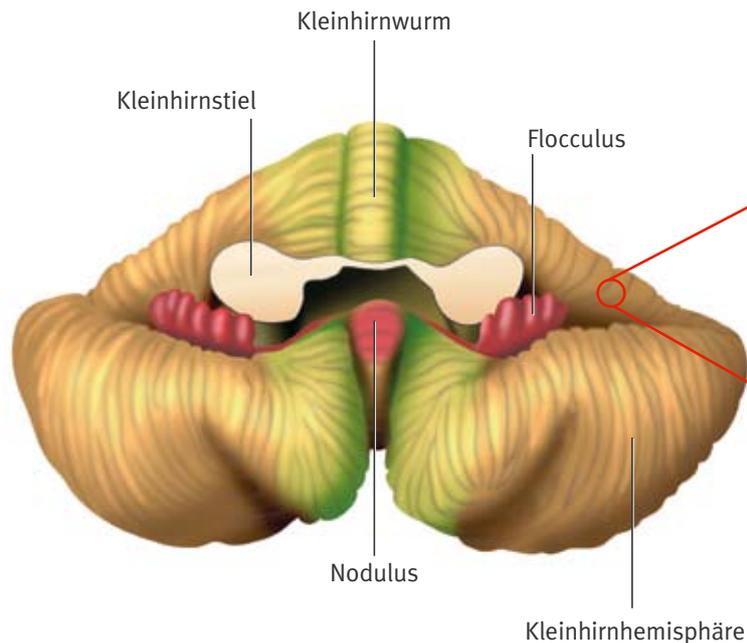
Flocculi und Nodus hingegen sind aufs Engste mit dem VIII. Hirnnerv verbunden, der unter anderem aus dem Gleichgewichtsorgan in unserem Innenohr – dem Vestibularorgan – hierherzieht. Deswegen heißt dieser Anteil Vestibulocerebellum. Ohne es wäre uns ständig schwindlig; und wir könnten weder stehen noch gehen, ohne andauernd umzufallen.

Der gesamte Rest des Kleinhirns, also die großen seitlichen Teile der Hemisphären, steht unter dem Kommando der Großhirnrinde. Die schickt Nervenfasern bis zur Brücke (lateinisch Pons; siehe Gehirn&Geist 6/2006, S. 58), wo diese auf Neurone umschalten, deren Fortsätze in die Kleinhirnhemisphären eindringen. Ergo heißt dieser Teil des Kleinhirns Ponto- oder Cerebrocerebellum. Er ist an der Ausführung fein abgestimmter Willkürbewegungen beteiligt: etwa am Fassen und Manipulieren von Gegenständen oder an der optimalen Koordination der Kehlkopfmuskeln beim Sprechen.

Und damit die drei Teile nicht aneinander vorbeiwerkeln, sondern wissen, was die jeweils anderen tun, gibt es noch einen vierten Input. Er stammt aus der Olive (auch hierzu siehe Gehirn&Geist 6/2006, S. 58). Deren Neurone sammeln Informationen aus ganz verschiedenen Quellen, etwa dem Hirnstamm, ▷

DER TRAUM EINES JEDEN ORDNUNGSFANATIKERS

Im linken Bild ist das Kleinhirn von vorn zu sehen; man erkennt die hellen Schnittflächen der Kleinhirnstiele, die das Cerebellum mit dem restlichen Gehirn verbinden. Rote Bereiche kennzeichnen das Vestibulocerebellum, das Signale aus dem Gleichgewichtsorgan erhält; grün gefärbt ist das Spinocerebellum, dem das Rückenmark Informationen zuschickt. Der Rest, das Cerebro- oder Pontocerebellum (braun), wird vom Großhirn via Brücke versorgt. Die Kleinhirnrinde (Ausschnittvergrößerung Bild rechts) besteht aus mehreren Schichten, für die jeweils ein Zelltyp charakteristisch ist. Hierbei fällt besonders der streng geordnete Aufbau auf.



▷ dem Großhirn, ja sogar aus dem Cerebellum selbst, und leiten diese zu sämtlichen bereits genannten Abschnitten des Kleinhirns weiter.

Die einzelnen Abteilungen des Cerebellums mögen schon recht sauber sortiert sein – doch der mikroskopische Aufbau der Kleinhirnrinde ist wahrhaft ein Eldorado für Ordnungsfanatiker (siehe Bild oben rechts)! Wo man auch hinschaut, überall sieht es gleich aus – und zwar völlig aufgeräumt: In der untersten Schicht des Cortex liegen dicht an dicht

tale T-Balken parallel zur Richtung des »Blättchens« steht. Deshalb sprechen Anatomen hier auch von Parallelfasern.

Noch einen drauf in puncto Ordnung setzen die Purkinje-Zellen, die nach dem tschechischen Physiologen Johannes Evangelista Purkinje (1787–1869) benannt wurden. Hier bekommt man geradezu den Eindruck, ein Oberfeldweibel hätte »Kompanieeee stillgestanden!!« gebrüllt. Ihre großen Zellkörper liegen wie in Reih und Glied in regelmäßigen Abständen zwischen den Kör-

nern, wobei sie mit diesen synaptische Kontakte bilden.

Außerdem gibt es noch die Kletterfasern, die aus der Olive kommen; sie hängen sich an den Dendriten der Purkinje-Zellen hoch und bilden dort ebenfalls Synapsen. Die Axone der Purkinje-Zellen schließlich bilden die einzigen Ausgänge des Kleinhirns: Sie steigen zunächst hinab zu den tiefen Kleinhirnkernen – und die wiederum schicken Nervenfasern über die Kleinhirnstiele zu verschiedenen supraspinalen motorischen Zentren des Gehirns. Sie erinnern sich doch noch an diesen sperrigen Begriff aus der letzten Folge über die Basalganglien (siehe Gehirn&Geist 10/2006, S. 68)?

Daneben gibt es noch die Stern-, Korb- und Golgi-Zellen – aber die helfen uns auch nicht dabei, das eigentliche Problem zu lösen: Wir wissen zwar haargenau, wie all die Zellen im Kleinhirn aussehen und wo sie sitzen, mit welchen anderen Zellen sie Kontakte bilden, welche Neurotransmitter dabei verwendet werden – aber wir verstehen nicht wirklich, wie das Cerebellum letztlich funktioniert!

Das Geheimnis der Kleinhirnfunktion scheint im Zusammenspiel aller Bestandteile verborgen zu liegen

die Zellkörper kleiner Neurone, der Körnerzellen. An ihnen enden die Nervenfasern aus dem Rückenmark, dem Gleichgewichtssystem und der Brücke.

Die Körnerzellen ihrerseits senden einen Fortsatz in die oberste Cortexschicht, der sich dort T-förmig verzweigt. Und zwar immer so, dass der horizon-

nerzellen und der Schicht der Parallelfasern.

Die auffälligen Dendritenbäume der Purkinje-Zellen ähneln Spalierobstbäumen. Sie ragen nach oben in die Parallelfaserschicht hinein, sind jedoch völlig plattgedrückt: Sie verzweigen sich ausschließlich senkrecht zu den Parallelf-

Neuro2006:

Neuroökonomie – Entscheidungs- prozesse sichtbar gemacht

- individuelle Entscheidungsfindung
- Sonderfall: altruistische Bestrafung
- Moderne Bildgebung – Was bringt der Blick ins Gehirn?

**28. November 2006, 19 Uhr,
Düsseldorf**

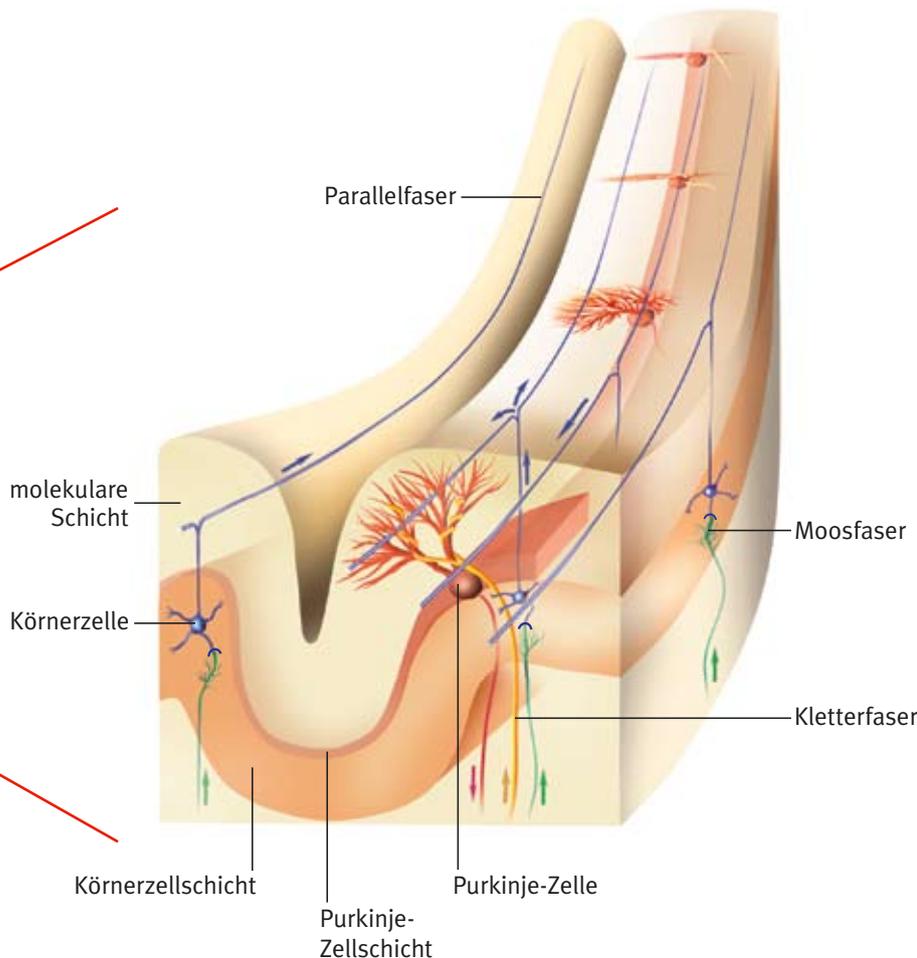
öffentliche Vortragsveranstaltung,
Diskussion,
kostenfreie Teilnahme

Informationen und Anmeldung
unter: www.neuro.nrw.de
oder Tel. 0211 896 4043

Ministerium für Innovation,
Wissenschaft, Forschung
und Technologie des Landes
Nordrhein-Westfalen

NRW.

NeuroNRW



Was es oberflächlich betrachtet macht, wissen wir freilich sehr wohl, und zwar schon seit Längerem: Es koordiniert unsere Bewegungen. Moderne bildgebende Verfahren haben inzwischen gezeigt, dass das Cerebellum sogar noch mehr leistet. So ist es wohl auch an verschiedenen kognitiven Prozessen beteiligt, etwa dem Lernen von Bewegungsabläufen sowie deren mentaler Vorstellung. Aber wie es das schafft, bleibt bis heute ein Rätsel.

Diese Unwissenheit ist zunächst einmal bedauerlich, denn wir können den faszinierenden Koordinationskünstler leider nicht einfach so nachbauen. Dabei wären alle Robotik-Ingenieure begeistert, wenn sie endlich einen Roboter konstruieren könnten, der sich so geschickt bewegt wie ein Mensch.

Davon mal abgesehen ist die Ahnungslosigkeit der Neurowissenschaftler regelrecht blamabel – denn sie beweist das schmachvolle Scheitern eines ihrer zentralen Vorhaben. Durch immer feinere Analysen der einzelnen Neurone, ihrer Gestalt, Verbindungen, Synapsen, Aktivitäten und Botenstoffe hofften Hirnforscher zu verstehen, wie die Sache

funktioniert – bislang ohne Erfolg. Offenbar lässt sich das Rätsel der Kleinhirnfunktion mit einem solchen reduktionistischen Vorgehen nicht entschlüsseln; es scheint vielmehr im Zusammenspiel aller Bestandteile verborgen zu liegen.

Womit das Cerebellum nicht nur die Ästheten, sondern auch die ganzheitlich Denkenden unter Ihnen mit der Neuroanatomie versöhnen sollte: Hier ist eindeutig einmal das Ganze viel mehr als die Summe seiner Teile! ◀



HELMUT WICHT ist promovierter Biologe und Privatdozent für Anatomie an der Dr. Senckenbergischen Anatomie der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.

Literaturtipp

Kahl, W., Frotscher, M.: Taschenatlas der Anatomie, Bd. 3: Nervensystem und Sinnesorgane. Stuttgart: Thieme 2005 (9. Aufl.).

