

NEUROBIOLOGIE

Großhirn an Leber!

Es gibt sie als Bindfäden oder Drahtseile. Dem einen flattern sie, beim anderen sind sie zum Zerreißen gespannt. Und wer gute hat, verliert sie nicht so leicht. Doch was sind eigentlich – Nerven? Keine Angst! Alles gar nicht so kompliziert.

VON HELMUT WICHT

Neuroanatomen können einem ganz schön auf die Nerven gehen – im übertragenen wie im wörtlichen Sinn. Ihren Kollegen, die sich mit anderen Aspekten des menschlichen Körpers beschäftigen, gelten sie nicht selten als Erbsen zählende Spökenkieker, die mitunter Probleme damit haben, Wunsch und Realität auseinander zu halten. Beispiel gefällig? Bitte sehr: Bis noch vor etwa 60 Jahren tobte in der Zunft ein erbitterter Streit darüber, wie das Nervensystem denn nun eigentlich aufgebaut sei. Die »Retikularisten« propagierten ein lückenloses Leitungsnetz, ähnlich den elektrischen Stromleitungen in einem Haus. Schließlich war schon damals bekannt, dass die

Informationsleitung auch im Nervensystem etwas mit elektrischen Strömen zu tun hat; da lag der Analogieschluss nahe.

Dagegen stellten sich die »Neuronalen« eher eine Art Baukastensystem vor: lauter einzelne Zellen, wie Eisenbahnwagons hintereinander gehängt, aber dabei doch klar voneinander getrennt. Und siehe da – die Verfechter des Baukastenmodells hatten Recht. Das Nervensystem besteht in der Tat aus vielen einzelnen Zellen, den Neuronen, die zum Teil sehr lange Fortsätze bilden: die Axone oder Neuriten. Rekordhalter sind jene des Ischiasnervs, der vom Rückenmark bis zur Fußsohle reicht – seine Neuriten erreichen also eine Länge von weit über einem Meter. Eindrucksvoll, wenn man bedenkt, dass die Zellkörper, aus denen sie entspringen, nur ungefähr vier

Hundertstel Millimeter Durchmesser aufweisen!

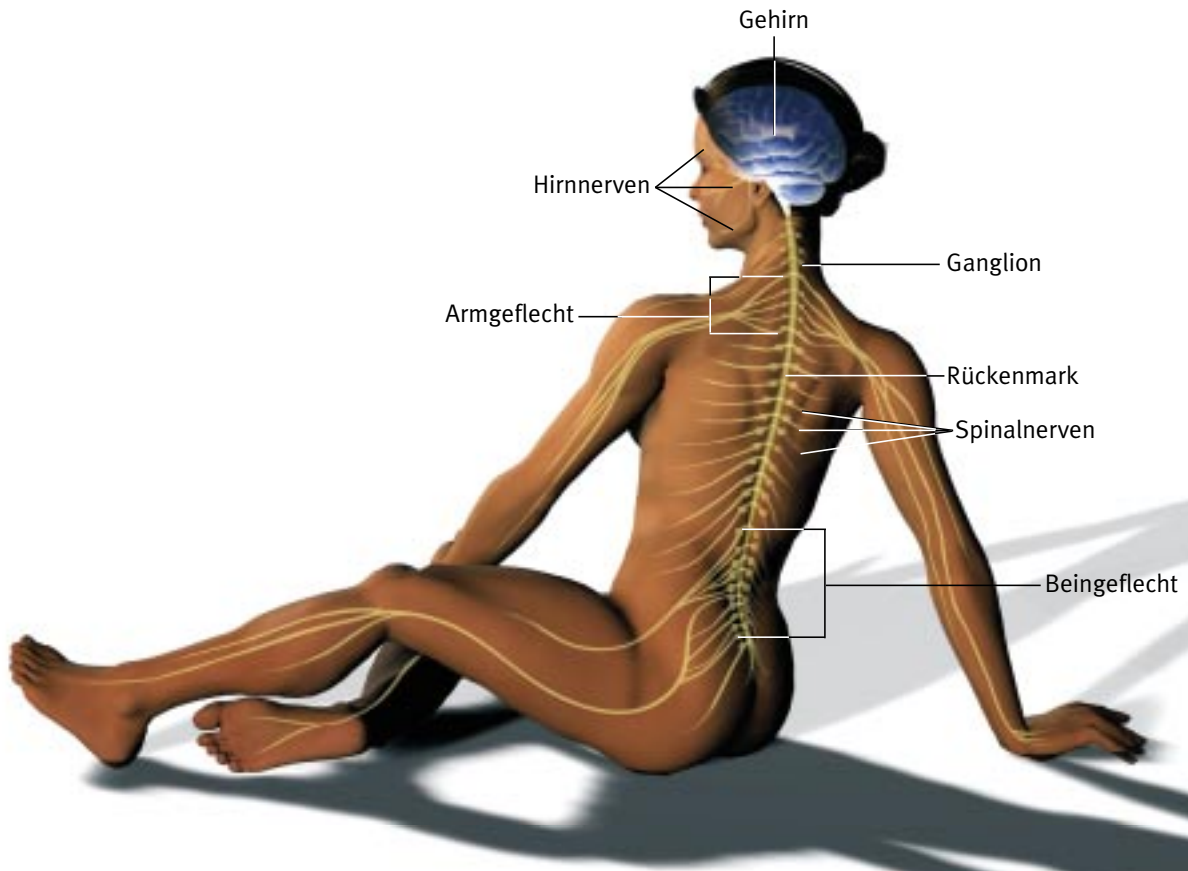
In der Regel besitzt eine Nervenzelle nur ein einziges Axon, und das endet in einem kleinen, verzweigten Bäumchen. Auf den Astspitzen sitzen kleine Anschwellungen – Endknöpfchen, die ganz nahe an andere Nervenzellen herantreten, um dort Kontakte zu knüpfen: die »Synapsen«. Dort trennt nur noch ein Spalt von rund 20 Nanometern die einzelnen Neurone. Bleibt die Frage: Wie schaffen es die elektrischen Signale, diesen Abgrund zu überwinden? Jetzt wird's chemisch! Die Endknöpfchen geben bei Bedarf bestimmte Stoffe frei, die Neurotransmitter. Diese Botensubstanzen verändern den elektrischen Zustand der nachgeschalteten Zelle – und die Information kann weiterreisen.

Die allermeisten Nervenzellen haben zusätzlich zum Axon noch andere, kürzere und plumpere, dafür aber viel stärker verzweigte Fortsätze – die Dendriten. Ebenso wie der Zellkörper dienen sie als Empfangsstationen, denn hier sitzen oft tausende Endknöpfchen anderer Neurone. Schütten diese vor allem erregende Neurotransmitter aus, entsteht in der

SERIE NEUROANATOMIE FÜR EINSTEIGER: TEIL I

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)



nachgeschalteten Zelle ein elektrischer Puls, der über das Axon zu den nächsten Neuronen oder zu Muskeln gelangt. Hemmende Botenstoffe verhindern diese Reaktion.

ZERLAUFENDER PUDDING

So weit zu den Neuronen. Doch das Nervensystem weist noch andere Bestandteile auf. So sorgen Blutgefäße dafür, dass unser Denkkorgan immer genug Sauerstoff und Nahrung zugeführt bekommt. Was es allerdings in Gehirn und Rückenmark nicht gibt, ist Bindegewebe. Das Material also, das unseren Körper zusammenhält und ihm eine gewisse Festigkeit verleiht. Daher besitzt das Gehirn auch die Konsistenz von deutlich zu weich geratenem Pudding, der seine Form verliert, sobald man ihn aus der Schüssel stürzt. Statt des Bindegewebes kann das Nervensystem einen ganz besonderen Zelltyp vorweisen: die so genannte Glia.

Ach, was haben die Anatomen schon darüber diskutiert, wozu diese seltsamen Gliazellen wohl dienen! Für manche sind sie bloß ein Klebstoff, der höchst unzureichend versucht, die Rolle des fehlen-

den Bindegewebes zu übernehmen. Passend dazu bedeutet der Ausdruck »Glia« ganz einfach »Nervenkleister«. Andere schreiben dem neuronalen Leim eine zentrale Rolle bei der Signalweiterleitung zu und halten ihn gar für wichtiger als die Neurone. Einigkeit besteht lediglich darin, dass es drei große Gruppen von Gliazellen gibt.

Erstens solche, die Axone elektrisch gegen ihre Umgebung isolieren. Diese sind nämlich nur in den seltensten Fällen »nackt«, sondern werden einzeln oder zu mehreren von den Ausläufern der Gliazellen umhüllt. Das Ganze zusammen nennt man dann eine Nervenfasern. Im zentralen Nervensystem kann sich eine Gliazelle (oder: ein Oligodendrozyt) an vielen Nervenfasern beteiligen, im peripheren Nervensystem produziert eine Zelle (hier heißt sie dann Schwann-Zelle) immer nur eine einzige Hülle.

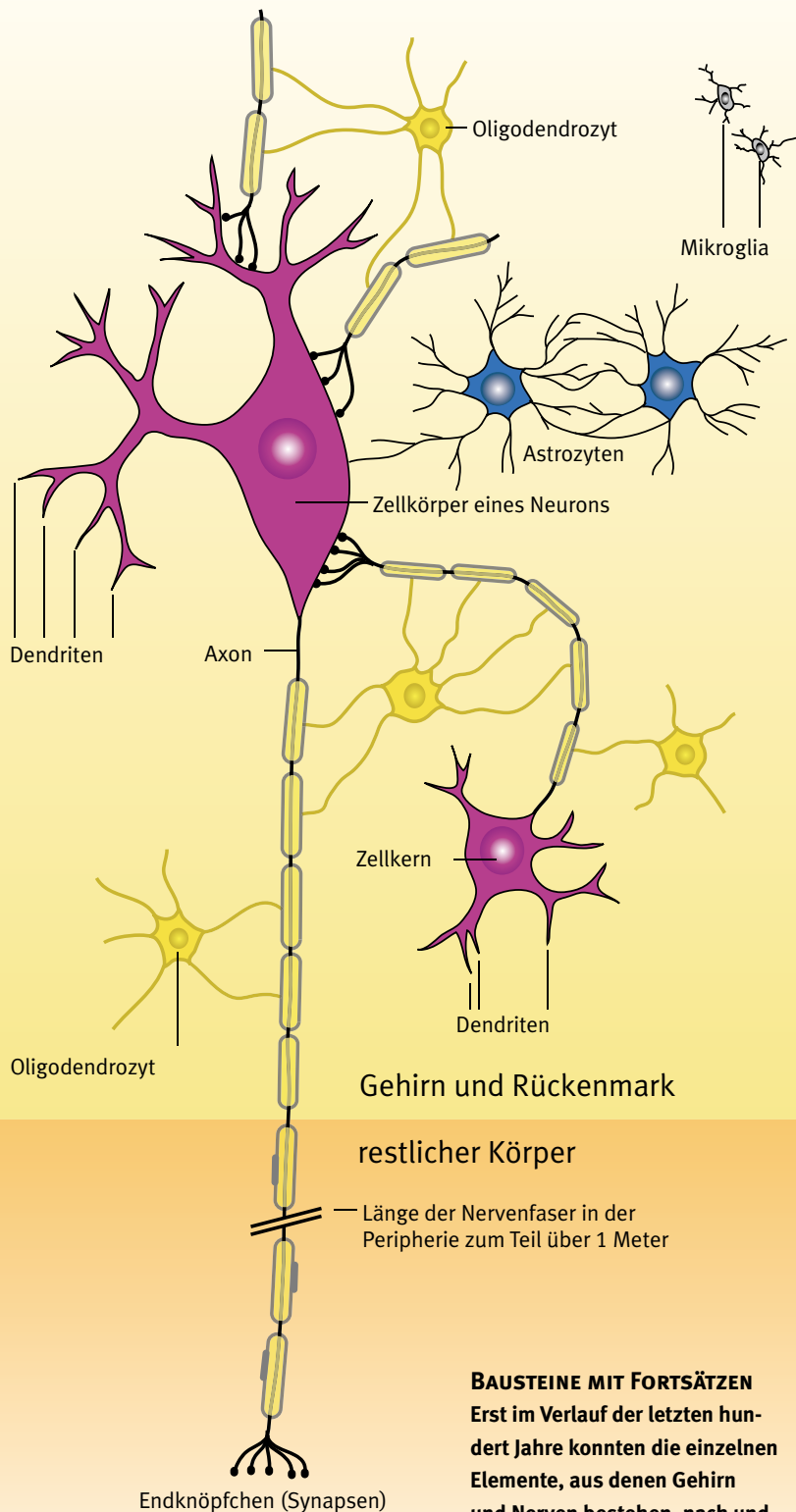
Daneben gibt es Gliazellen, die rundherum ziemlich stark verzweigt sind. Ungefähr so, wie eine Nervenzelle mit lauter Dendriten, aber ohne Axon aussähe. Nach ihrer sternförmigen Erscheinung taufte man sie Astrozyten. Diese Zellen transportieren Nährstoffe von den

KÖRPEREIGENE DATENAUTOBAHN

Die wichtigsten Nerven sind die vom Gehirn ausgehenden Hirnnerven sowie die dem Rückenmark entspringenden Spinalnerven. Letztere bilden Geflechte aus, etwa das Armgeflecht im Schulterbereich und das Beinge flecht im Lendenbereich. Nach Austritt aus dem Rückenmark sind ferner Ansammlungen von Nervenzellkörpern (Ganglien) in die Leitungsbahnen zwischengeschaltet.

Blutgefäßen zu den Neuronen und erhalten die ausgefeilte Balance von geladenen Teilchen (Ionen), ohne die die Neurone nicht funktionieren könnten. Manche von ihnen räumen auch die »gebrauchten« Neurotransmitter ab, auf dass die Neurone nicht in ihren eigenen Signalmolekülen ersaufen.

Außerdem sind Astrozyten selbst nicht nur elektrisch aktiv, sondern auch untereinander direkt elektrisch gekoppelt, wobei sich Erregungen zwar relativ langsam, dafür aber über große Distan-



BAUSTEINE MIT FORTSÄTZEN
 Erst im Verlauf der letzten hundert Jahre konnten die einzelnen Elemente, aus denen Gehirn und Nerven bestehen, nach und nach identifiziert und detailliert beschrieben werden.

▷ zen hinweg ausbreiten können. Damit verhalten sie sich so, wie es die eingangs erwähnten Retikularisten von den Neuronen annahmen: Sie bilden ein lückenlos durchgehendes elektrisches Netz. Was das für die Funktionsweise des Gehirns bedeutet, ist noch unklar – ein weiterer schöner Streitpunkt für die Experten. Womöglich können die Astrozyten auf diese Art und Weise die neuronale Aktivität großer Gebiete im Gehirn beeinflussen, lautet eine Spekulation.

KLEIN? GROSS? ANSICHTSSACHE!

Und schließlich gibt es da noch die Mikroglia. Ein unglücklich gewählter Name, denn im übrigen Körper heißen die gleichen Zellen Makrophagen. Moment mal, mag da mancher denken – sind die jetzt groß (makro) oder klein (mikro)? Alles eine Frage des Verhältnisses: Anderswo im Körper erscheinen die Makrophagen im Vergleich zu den sie umgebenden Zellen recht umfangreich, neben den noch viel größeren Neuronen wirken sie jedoch eher mickrig. Nach der weiblichen Eizelle sind Neurone nämlich die größten Zellen des menschlichen Organismus; manche lassen sich fast mit bloßem Auge, zumindest aber mit einer einfachen Lupe erkennen. Mikroglia-Zellen tun im Gehirn das, was Makrophagen ansonsten auch tun: Sie sammeln ein, was nicht mehr gebraucht wird oder verdächtig wirkt, und bringen es zur Polizei (den Lymphozyten) – denn Mikroglia-Zellen sind Teil des Immunsystems.

Verlassen wir an dieser Stelle die Welt der Zellen und wenden uns der makroskopischen Struktur des Nervensystems zu. Diese besitzt zwar den Vorteil, mit bloßem Auge erkennbar zu sein; das hat die Neuroanatomen aber nicht davon abgehalten, sich auch über dieses Thema mit Hingabe in den Haaren zu liegen und ausufernde Begriffsirrgärten anzulegen.

Gerade noch einig ist man sich darüber, dass das Nervensystem aus einem zentralen Teil – Gehirn und Rückenmark – und einem peripheren Teil besteht. Letzterer umfasst sämtliches Nervengewebe, das nicht in Schädel oder Wirbelsäule eingeschlossen ist: In erster Linie handelt es sich dabei also um viele lange Kabelstränge – die Nerven.

SIGMUND / GEHIRN&GEIST

Als sich die ersten Naturforscher daran machten herauszufinden, wozu die Kabel eigentlich gut sind, suchten sie erst einmal, wo diese überhaupt anfangen. Aristoteles (384–322 v. Chr.) hielt das Herz für das Zentrum der Empfindungen und des Wollens, und damit mussten für ihn wohl oder übel auch die Nerven dort entspringen. Tja, auch da war offenbar der Wunsch Vater des Gedankens gewesen. Dabei hatte Aristoteles selbst schon Tiere seziiert und dort hoffentlich auch mit eigenen Augen gesehen, dass die Nerven aus Gehirn und Rückenmark herauskommen. Wie dem auch sei – jedenfalls blieb es Herophil von Chalkedon (330–250 v. Chr.) überlassen, den korrekten Ursprungsort der Nerven als Erster festzustellen. Was moderne Anatomen ein wenig verlegen macht, denn sie verschweigen gerne, dass ihr großes Vorbild dazu Menschen seziierte. Lebende.

Gehen wir über solche unschönen historischen Details hinweg und halten fest: Es gibt zwei Sätze von Nerven – ein Dutzend Hirnnerven sowie 32 Rückenmarks- oder Spinalnerven. Jeder dieser Nerven kommt doppelt vor, einmal in der linken und einmal in der rechten Körperhälfte. Wie behalten Anatomen dabei noch den Überblick?

Das Einfachste ist, sie von vorne nach hinten durchzunummerieren. Und genau das tun Mediziner auch: Hirnnerven I–XII, Rückenmarksnerven I–XXXII. Wenn damit die Sache nur erledigt wäre! Aber nein, ganz so einfach geht es nicht. Denn erstens tragen die Hirnnerven noch eigene Namen, je nachdem, welche Organe des Kopfes sie versorgen – beispielsweise Riechnerv (I), Sehnerv (II), Hörnerv (VIII). Und zweitens entdeckten Anatomen nachträglich noch neue Nerven. So etwa den beim Menschen stark zurückgebildeten Nervus terminalis, der noch vor dem Riechnerv liegt. Daher sollte er eigentlich von diesem die Nummer I übernehmen, was aber das gesamte System durcheinander gebracht hätte. In ihrer Verzweiflung taufte die Anatomen ihn dann den »nullten Hirnnerv«. Was man nicht alles tut, um eine althergebrachte Ordnung zu bewahren ...

Drittens haben vor allem die Rückenmarksnerven im Bereich der Extremitäten die verwirrende Eigenschaft, sich gleich nach dem Heraustreten aus der Wirbelsäule wieder zu vereinigen und Geflechte zu bilden – so genannte Plexus. Diese kann man sich grob wie das komplizierte Weichensystem bei einem großen Bahnhof vorstellen. Diejenigen Rückenmarksnerven, die in die Geflechte eintauchen, tragen Nummern; jene,

dauert, bis die Funktion der Ganglien enträtselt war – denn es gibt zwei Sorten davon, die ganz und gar verschiedene Aufgaben haben, obwohl sie sich äußerlich zum Verwechseln ähneln.

Die eine Klasse von Ganglien findet sich bei einigen Hirnnerven, gleich dort, wo diese den Schädel verlassen, sowie an allen Rückenmarksnerven – und zwar noch innerhalb der Wirbelsäule. Diese Nervenknotten stehen im Dienst der

Wie behalten Anatomen bei so vielen Nerven noch den Überblick?

Ganz einfach – sie nummerieren sie durch

die dort herauskommen, so schöne Namen wie »Nervus ischiadicus«.

Doch überlassen wir das Studium all dieser Namen lieber den Medizinerinnen und wenden uns stattdessen der zentralen Frage zu: Was ist das überhaupt – ein Nerv? Nun, im Wesentlichen handelt es sich dabei um ein Bündel von Glia umhüllter Nervenfasern. Sie erinnern sich: Das sind die Fortsätze von Neuronen. Es handelt sich dabei entweder um »sensorische« Fasern, die Gehirn und Rückenmark mit Informationen aus dem übrigen Körper versorgen, oder um »motorische«, die Muskeln oder Drüsen in Betrieb setzen.

RANGIEREN IM NERVENBAHNHOF

Diesen Fasern dienen die Plexus tatsächlich als Weichensysteme. Motorische Fasern, deren Nervenzellkörper im Rückenmark sitzen, können zum Beispiel mit einem Rückenmarksnerven der Lendenregion recht weit oben in den Plexus des Beins eindringen und ziemlich weit unten mit dem Nervus ischiadicus wieder aus dem Plexus herauskommen. Weswegen beim Vorfall einer Bandscheibe oben an der Lendenwirbelsäule, die auf diese Fasern drückt, die Muskeln unten am Bein nicht mehr mitspielen.

Neben den Nervenengeflechten finden sich im peripheren Nervensystem gelegentlich auch Knötchen, so genannte Ganglien, die in den Verlauf von Nerven eingeschaltet sind. Sie beherbergen Gruppen von Nervenzellkörpern einschließlich der Zellkerne. Es hat sehr lange ge-

Weiterleitung von Sinnesimpulsen an das Zentralnervensystem. Die Ganglien des anderen Typs gehören zum autonomen Nervensystem, das all jene Muskeln und Drüsen steuert, die nicht unserer Willkür unterworfen sind: die Muskeln des Darms und der Blutgefäßwände; Muskeln, die uns die Haare zu Berge stehen lassen; Drüsen, die uns das Wasser im Mund zusammenlaufen lassen. Diese werden zwar allesamt auch vom Zentralnervensystem gesteuert, aber nicht direkt wie bei den willkürlichen Muskeln etwa der Arme und Beine, sondern über zwischengeschaltete Neurone in eben diesen Ganglien.

Wozu dieser seltsame Umweg? Niemand weiß das ganz genau. Das heißt – alle Anatomen glauben es zu wissen, aber jeder glaubt etwas anderes. Weshalb das Streiten unter den Neuroanatomen auch heute noch munter weitergeht. ◀



HELMUT WICHT ist promovierter Biologe und Privatdozent für Anatomie an der Universität Frankfurt. 2004 wurde er für seine unorthodoxe Lehre in der Anatomie ausgezeichnet.

Literaturtipp

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