

Henning Beck

Biologie des Geistesblitzes

Speed up your mind!

SACHBUCH



Springer Spektrum

Biologie des Geistesblitzes – Speed up your mind!

Anmerkung zum Titelbild:

Na, haben Sie dieses Buch vielleicht aufgeschlagen, weil Sie denken, auf der Vorderseite ist ein „kreatives Gehirn“ gezeigt, so schön bunt und künstlerisch? Ha – reingefallen! Das farbige Gehirn auf dem Buchtitel stellt etwas ganz anderes dar. Schlagen Sie in Kapitel 4 nach und Sie werden verstehen ...

Henning Beck

Biologie des Geistesblitzes – Speed up your mind!

 Springer Spektrum

Henning Beck
Bensheim
Deutschland

ISBN 978-3-642-36532-4
DOI 10.1007/978-3-642-36533-1

ISBN 978-3-642-36533-1 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Planung und Lektorat: Dr. Ulrich G. Moltmann, Dr. Meike Barth

Redaktion: Annette Heß

Zeichnungen: Autor

Einbandabbildung: Michael Bach, DKFZ, Heidelberg

Einbandentwurf: deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-spektrum.de

Inhalt

Die Einleitung	VII
1 Das Gehirn	1
1.1 Web 3.0: das Nervensystem	3
1.2 Wir basteln uns ein Gehirn	9
1.3 Kabel, Versorgungsleitungen, Sicherungskästen: Willkommen im Hirnstamm	12
1.4 Ohne Kleinhirn lägen wir dumm rum	16
1.5 Mittendrin, statt nur dabei: das Zwischenhirn	20
1.6 Im limbischen System geht's richtig rund	22
1.7 Total zerknautscht und doch geordnet: der Cortex	27
2 Die Zellen	39
2.1 Alles fängt klein an: die Nervenzelle	41
2.2 Die Helferzellen	73
3 Der Nervenimpuls	89
3.1 Die Biologie des Geistesblitzes	91
3.2 Warum sind Geistesblitze so schnell?	102
3.3 An der Synapse springt der Funke über	109
3.4 Die <i>Hall of Fame</i> der Neurotransmitter	116
3.5 Die rechnende Zelle	135
4 Der Geistesblitz	145
4.1 Das Gehirn bei der Arbeit	146
4.2 Was ist Kreativität?	165
4.3 Schau mir auf die Zellen, Kleines!	174
4.4 Was lernen wir daraus?	194
4.5 Noch ein Fazit	212
Der Schluss	215
Glossar	219
Literatur	237
Sachverzeichnis	241

Die Einleitung

Verehrte Leserschaft!

Gleich zu Beginn lege ich alle Bescheidenheit ab und verspreche: Dieses Buch wird Sie an die Grenze des menschlichen Verstandes führen! Nicht irgendeine Grenze, nein, ich spreche von der ultimativen, der biologischen Grenze. Denn die Basis aller Vorgänge in unserem Gehirn, das sind die Nervenzellen. Sie zu verstehen, zu erkennen, wie sie biochemische Botenstoffe austauschen und wie die komplizierte Anatomie unseres Nervensystems alles zu einem funktionierenden Netzwerk zusammenfügt, das ist alles nicht nur wunderschön, sondern auch enorm hilfreich, wenn man verstehen möchte, wie so ein Gehirn prinzipiell funktioniert. Wenn Sie dieses Buch lesen, werden Sie daher eintauchen in die faszinierende Welt des Gehirns. Erleben, was passiert, wenn wir denken. Verstehen, wie Geistesblitze entstehen. Und daraus lernen, wie Sie Ihr eigenes Denken verbessern können.

Nun gibt es schon so viele schlaue Sachbücher, wissenschaftliche Veröffentlichungen, Zeitschriften, Filme, Fernsehsendungen und was weiß ich noch alles, um etwas über unser Gehirn zu lernen. Neurowissenschaften sind hip! Und wenn man etwas Altbackenes neu verkaufen möchte, setzt man die „Neuro“-Silbe davor, und schon hat man etwas Cooles geschaffen, was aber keiner so wirklich versteht (wer kann sich schon etwas Konkretes unter „Neuromarketing“, „Neuroökonomie“ oder „Neurokommunikation“ vorstellen?). Die Hirnforschung ist überall, man glaubt sich schon kurz vor dem Verständnis der letzten Geheimnisse unseres Gehirns – und all das können Sie in tollen Büchern und Ratgebern nachlesen.

Doch dieses Buch ist anders. Im eigentlichen Sinne ist es nämlich gar kein Buch.

Ich bin Biochemiker und – ja ich gebe es zu – „Neuro“ wissenschaftler. Ich denke, als Wissenschaftler macht man Forschung für die Menschen, also sollte man sie auch so erklären können, dass sie jeder versteht. So bin ich zum Science Slam gekommen. Bei einem Science Slam treten Forscher vor Publikum gegeneinander an und erklären in zehn Minuten, woran sie gerade forschen. Und wer das am verständlichsten, mitreißendsten und witzigsten macht, gewinnt. Das ist eine tolle Möglichkeit, die doch bisweilen recht abgeschlossene

Welt der Wissenschaft zu verlassen und mal auf einer Bühne ungezwungen über sein Fachgebiet zu berichten. So habe auch ich an vielen solchen Vortragswettbewerben teilgenommen, und es entstand die Idee, die Präsentation meiner Forschung in einem Buch festzuhalten. Bei der Lektüre werden Sie daher merken, dass es kein normales Sachbuch ist, das Sie hier gerade lesen. Was Sie hier in den Händen halten, ist nämlich eigentlich ein wissenschaftlicher Vortrag, ein Science Slam, der sich als Buch verkleidet hat (und ich halte die Tarnung für perfekt). Deswegen wird auch immer mal wieder dazwischen gerufen, denn wie bei einem Science Slam beteiligt sich das Publikum am Geschehen. Davon darf man sich nicht aus dem Konzept bringen lassen, und ich werde versuchen, auf alle Fragen gebührend einzugehen. Nach diesem kurzen Geleitwort werde ich also nochmal neu beginnen:

Verehrtes Publikum!

Man nennt mich Henning Beck. In Ulm beschäftigte ich mich in meiner Doktorarbeit mit dem Thema „Biologie der Nervenzellen“ und – Überraschung! – nun möchte ich auch darüber berichten, wie in unserem Gehirn Nervenimpulse mit geradezu geistesblitzartiger Geschwindigkeit weitergeleitet werden.

Der Geistesblitz – das ist ein schöner, ein bildhafter Begriff für eigentlich etwas sehr Banales, nämlich die Übermittlung von elektrischen Impulsen in unserem Körper. Und wie jeder weiß: Solche Nervenimpulse steuern wichtige Körperfunktionen, man denke nur an die Empfindung von Schmerz, die Kontrolle von Bewegung oder das Empfinden von Gefühlen. Ein jeder, der an einem übernächtigen Morgen in unachtsamer Weise barfuß auf eine Reißzwecke tritt, stellt sicher fest: Nervenimpulse sind extrem schnell. Da kann man sich fragen: Wie schnell genau? Was ist überhaupt ein Nervenimpuls? Und wie läuft er Strecken von über einem Meter entlang (von den Zehenspitzen bis ins Gehirn), ohne schwächer zu werden? Hinzu kommt: Das Nervensystem ist unglaublich kompliziert mit Milliarden von Zellen, Hunderttausenden Kilometern Nervenfasern in komplexester Verknüpfung (und mit unaussprechlichen Namen), und dennoch finden alle Nervenimpulse ihr Ziel und werden von den Zentren im Gehirn bis zu den Muskeln fehlerfrei weitergeleitet.

Die Kontrolle der Impulsweiterleitung kommt somit einer biologischen Meisterleistung gleich, die das ausgeklügelte Zusammenspiel von verschiedenen Zelltypen erfordert. So gibt es die eigentlichen Nervenzellen, die Nervenimpulse aufnehmen, verarbeiten und anschließend einen eigenen Nervenimpuls erzeugen. Man denkt üblicherweise, dass das Gehirn und das gesamte Nervensystem hauptsächlich aus diesen Nervenzellen bestehen. Völlig falsch!

Es ist wie im wirklichen Leben: Auf eine Person, die die Leistung bringt, kommt häufig ein ganzes Team aus Unterstützern, Helfern und Organisatoren, die die eigentliche Arbeit erst möglich machen. Ganz genauso ist es auch im Gehirn. Jede Nervenzelle wird von Helferzellen unterstützt. Wir Wissenschaftler haben ja für alles ganz tolle und unverständliche Namen, deswegen nennen wir sie natürlich nicht Helferzellen, sondern Gliazellen (vom griechischen Wort für Glibber oder Kleber) – und ohne diese Helfer könnte ein Gehirn gar nicht funktionieren.

Der Geistesblitz – da denkt man natürlich nicht sofort an die Weiterleitung von elektrischen Impulsen in unserem Gehirn und das Wechselspiel von Nerven- und Helferzellen. Denn natürlich ist ein Geistesblitz mehr als ein bloßer Nervenimpuls, nämlich ein lustiges Bild für einen kreativen Gedanken, eine zündende Idee, einen neuen, unerwarteten Einfall. Und genau das ist es auch, was das Gehirn so besonders macht: Die bloße Weitergabe der Nervenimpulse von Nervenzelle zu Nervenzelle macht die Menschen nicht zu kreativen Genies (und von denen soll es ja tatsächlich einige wenige geben). Das wäre auch reichlich mathematisch, geradezu vorhersehbar: Ein bestimmter Gedanke würde immer dieselbe Folge haben, das Gehirn wäre gleichsam eine Rechenmaschine. Das Besondere aber ist: Das Gehirn arbeitet anders. Ohne mathematische Zwänge, ohne das Diktat einer analytischen Logik. Im Gegensatz zu Computern, die Informationen nach vorgegebenen Rechenanweisungen (den Algorithmen) umsetzen, denkt das Gehirn geradezu völlig verrückt: Es macht Fehler – und das macht es so besonders. Denn erst die Fähigkeit, falsch zu denken, Informationen scheinbar sinnlos zu kombinieren, gibt dem Menschen Kreativität und unterscheidet ihn von der rechnenden Maschine.

Dabei ist es äußerst spannend, die Grundlagen dafür zu verstehen, gleichsam die „Biologie des Geistesblitzes“. Denn obwohl das Gehirn so interessante Ideen wie da Vincis *Mona Lisa*, Apples iPhone oder Stefan Raabs „Wok-WM“ hervorbringt, gründen alle diese „kreativen Geistesblitze“ letztendlich auf biologischen Funktionen von Zellen im Nervensystem. Wenn man versteht, wie diese Zellen funktionieren, kann man daraus lernen und kreative Geistesblitze bei sich selbst provozieren.

Am Ende dieser Lektüre wird der interessierte Leser daher nicht nur verstehen, welche Prozesse in den Nerven- und Helferzellen ablaufen und wie ein Nervenimpuls entsteht. Sondern im günstigen Fall wird dieses Buch Ihnen dabei helfen zu erkennen, wie das Gehirn grundsätzlich arbeitet, nach welchen Regeln es Gedanken erzeugt, diese neu verknüpft und somit den „echten“, den kreativen Geistesblitz erzeugt. Aus diesem Verständnis heraus werden am Ende dieses Buches ein paar kleine Tricks gezeigt, damit man die Biologie seines Gehirns besser nutzen kann.

Erwarten Sie jedoch bloß nicht, dass ich Ihnen zum Schluss erkläre, dass Sie in Ihrem Büro ausgefallene Bilder aufhängen müssen oder Ihre Notizen mit bunten Farben schreiben sollen, um kreativ zu sein. Das überlasse ich den ungezählten „Ratgebern“ auf diesem Gebiet. Dort können Sie gerne lesen, was einen kreativen Menschen genau ausmacht und dass es Hirnhälften gibt, die angeblich besonders kreativ sind. Das ist häufig ganz schön zu lesen und manchmal sogar recht verständlich – aber besonders wissenschaftlich ist es nicht. Das wird in diesem Buch anders! Hier erwartet sie die volle Dröhnung Neurobiologie! Sagen Sie später nicht, ich hätte Sie nicht gewarnt! Machen Sie sich daher darauf gefasst, dass Sie wirklich *verstehen*, wie die Zellen im Gehirn funktionieren und kreative Ideen hervorbringen können. Dieses Wissen wird sie deutlich weiter bringen als ein paar billige Kreativitätstipps, denn es wird in Ihnen wirken und Sie dauerhaft auf neue Gedanken bringen. Was Sie damit machen, hängt dann ganz von Ihnen ab. Seien Sie einfach kreativ!

1

Das Gehirn

Wenn ich gefragt werde, was am Nervensystem so besonders toll ist, dann könnte ich unheimlich spektakuläre Sachen sagen: Nichts auf der Welt ist komplizierter als das Gehirn. Seit Jahrtausenden machen sich Menschen Gedanken über das Denken und doch hat noch keiner den „neuronalen Code“ geknackt. Ich könnte dick auftragen und behaupten: Nach all den Philosophen und Psychologen machen wir Neurowissenschaftler uns nun daran, eines der letzten großen Geheimnisse der Menschheit, das „Gehirn-Enigma“ zu lösen.

Ich könnte auch mit tollen Zahlen um mich werfen, die zeigen sollen, wie unfassbar komplex so ein Gehirn ist: In einem würfelgroßen Stück Hirngewebe befinden sich etwa 100.000 Nervenzellen, deren Nervenfasern insgesamt fast 5 km lang sind und dabei eine Milliarde Verknüpfungen ausbilden können! All das klingt super kompliziert und mag beeindrucken. Aber ich bin Neurowissenschaftler aus einem anderen, viel wichtigeren Grund geworden: Nervenzellen sind einfach total hübsch! Alle anderen Zellen im Körper sind irgendwie unförmig, rund und optisch wirklich langweilig, das hat mich nie so vom Hocker gerissen. Da haben die Nervenzellen ganz andere Ansprüche: Ihre Form ist unfassbar variabel, sie bilden lange Ausläufer und kurze „Empfangsantennen“ – und ihre Netzwerke sehen wirklich spektakulär aus, wie man schon in der ersten Abbildung dieses Buches sieht (Abb. 1.1).

In diesem Buch soll es ja darum gehen, wie in unserem Gehirn neue Ideen (allenthalben als „Geistesblitz“ verbildlicht) entstehen. Nun ist das mit der Kreativität so eine Sache, sie ist nicht so leicht zu greifen oder zu messen, wie wir noch sehen werden. Die Kreativitätsforschung steht immer noch am Anfang, obwohl es heute doch überall so wichtig ist, kreativ und innovativ zu sein. Was sagt also die Biologie zu diesem Thema?

Die große Überraschung gleich vorweg: Eine kreative Idee entsteht im Gehirn! Potz Blitz, das klingt schon mal gut, denn so kann man wenigstens den Ort eingrenzen, wo wir nach den kreativen Geistesblitzen suchen müssen.

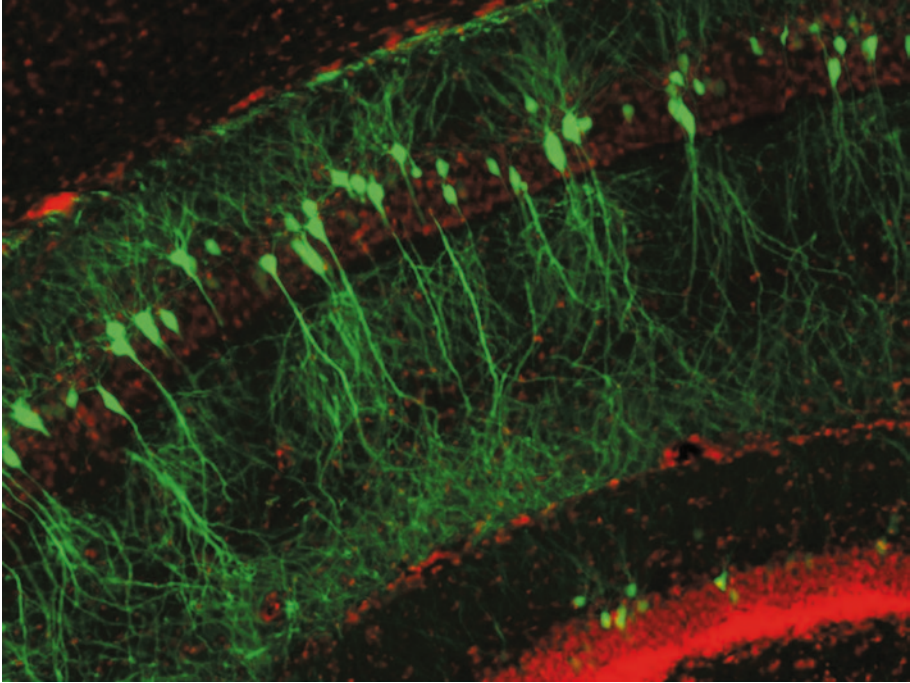


Abb. 1.1 Das Gehirn ist einfach wunderschön. Hier sieht man, dass auch ganz komplizierte Hirnstrukturen nicht einfach mit Nervenzellen vollgestopft, sondern immer schön geordnet sind. In *Grün* sieht man einige von diesen Nervenzellen, die ihre Ausläufer in andere Nervenzellschichten (*rot*) ausbilden. Wer es genauer wissen will: Es handelt sich um eine Aufnahme einer Hippocampus-Region im Gehirn der Maus. Wofür der Hippocampus so wichtig ist, steht in einem späteren Abschnitt. (Abbildung zur Verfügung gestellt von Dr. Christine Stritt vom Interfakultären Institut für Zellbiologie, Tübingen)

Aber schnell stellt man fest, dass das nicht so wirklich weiterhilft, denn schon das Gehirn selbst ist eine komplizierte Sache. Bevor wir uns also der Kreativität als Krönung menschlicher Geisteskraft widmen, müssen wir erst einmal verstehen, wie so ein Gehirn überhaupt aufgebaut ist und wie die ganzen Nervenzellen funktionieren.

Für viele Menschen stellt das Gehirn ja immer noch ein großes Mysterium dar. Die meisten denken, das Gehirn wäre eines der letzten großen Rätsel der Menschheit – nur unvollständig entschlüsselt enthält es noch viele Geheimnisse, die wir noch nicht verstanden haben. Nun bin ich Neurowissenschaftler und kann deswegen sagen: Das ist vollkommen richtig! Auch als Hirnforscher weiß man nicht genau, was im Gehirn los ist, und Gedanken lesen kann auch keiner von ihnen. Dabei scheint das Gehirn eigentlich recht übersichtlich zu sein. Es wiegt noch nicht einmal so viel wie zwei Tüten Milch, ist etwa so groß wie eine Kokosnuss und enthält knapp 80 % Wasser. Zieht man das Wasser ab,

besteht das Gehirn zu mehr als der Hälfte aus reinem Fett. In der Zusammensetzung erinnert das sehr stark an einen halbfesten Schnittkäse aus dem Supermarkt. Nun übersteigt der Intellekt der meisten Menschen jedoch denjenigen eines durchschnittlichen Milchproduktes, deswegen muss es mit dem Gehirn und den Nervenzellen schon etwas Besonderes auf sich haben. Und tatsächlich, wer hätte es gedacht: Das Geheimnis liegt in der Struktur des Nervensystems.

Schauen wir uns also als Erstes genauer an, wie so ein Nervensystem im Allgemeinen und ein Gehirn im Besonderen aufgebaut sind.

1.1 Web 3.0: das Nervensystem

Heutzutage ist ein Thema ja ganz besonders angesagt: die Vernetzung. Alles in unserem Leben wird vernetzt: Informationen in Computersystemen, Menschen bei „Netzwerktreffen“ von Berufsverbänden, wissenschaftlichen Vereinigungen oder künstlerischen Zirkeln. Egal wo man hinkommt, überall muss man es beherrschen, das *Networking* und *Socializing*, wenn man beruflich oder privat oder sonst wie erfolgreich sein will. Daher macht jeder mit bei diesen ganzen sozialen Netzwerken und *social media*, die dieses wirklich famose Internet nutzen und unter dem Begriff Web 2.0 zusammengefasst werden. Damit will man ausdrücken, dass sich auf einmal alle Menschen an einem Netzwerk beteiligen und es selbst aktiv mitgestalten.

Das ist alles schön und gut – aber doch verblasst es im Angesicht des wahren Meisters aller Vernetzungen. Die Krönung, der Urahn sämtlicher Netzwerke, das Beste, was bisher in der Evolution hervorgebracht wurde, das Web 3.0 gewissermaßen: das menschliche Nervensystem, das als Netzwerk immer noch den meisten (wenn nicht allen) von Menschenhand geschaffenen Netzen bei Weitem überlegen ist.

Zwischenruf Nun mal langsam! Keine vorschnellen Lobeshymnen! Erst einmal bitte erklären, wie so ein Nervensystem überhaupt funktioniert!

Ohne Nervensystem, hätten moderne Lebewesen nicht viel zu melden. Amöben- oder bakteriengleich könnte man sich vielleicht halbwegs über die Runden retten, aber mehr ist nicht drin. Eigentlich alle schnellen und komplexen Steuerungen von Körperfunktionen klappen nur deswegen, weil es ein funktionierendes Nervensystem gibt.

Wenn das Gehirn, quasi als Großmeister des Nervensystems, alle diese Vorgänge überwachen wollte, hätte es ein Problem. Denn obwohl das Gehirn zu ganz außergewöhnlichen Leistungen in der Lage ist, wäre es einfach viel zu

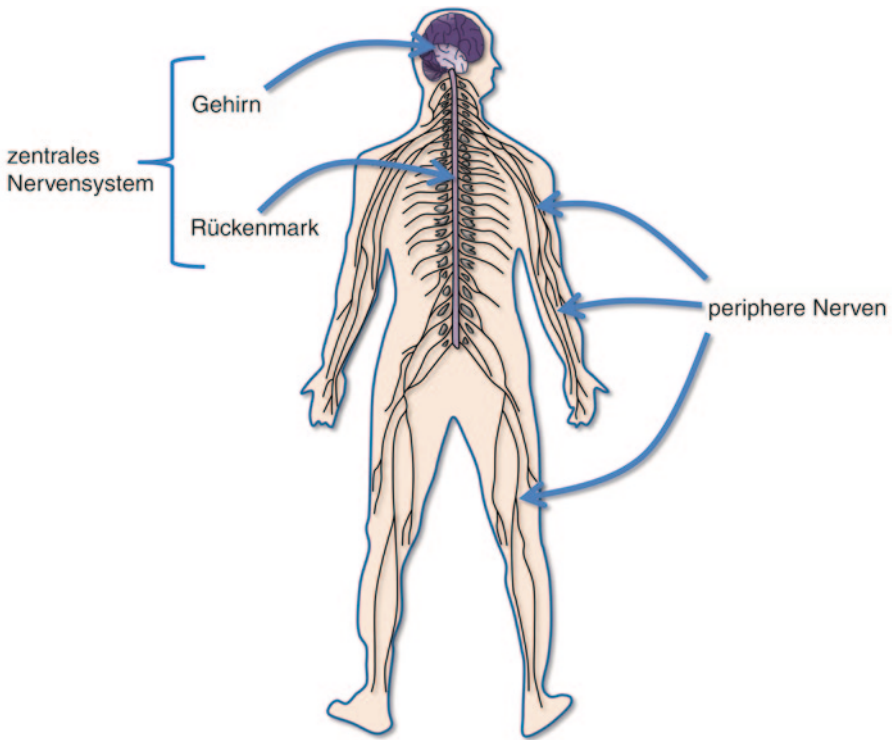


Abb. 1.2 Das Nervensystem (recht vereinfacht dargestellt). Das Nervensystem besteht aus einem zentralen Teil (Gehirn und Rückenmark). Von diesem ausgehend verzweigen sich die peripheren Nerven in Arme, Beine und den ganzen Rest des Körpers

aufwendig, alle Körperprozesse *direkt* zu regulieren. Ein Gehirn ist jedoch recht faul und hat deshalb einen Teil seiner Arbeit abgegeben. So hat es genügend Zeit für die wirklich wichtigen Dinge im Leben wie die Verarbeitung von Sinneseindrücken, die Kontrolle von Bewegung oder den musikalischen Genuss eines neuen Justin-Bieber-Hits.

Damit im Körper nichts durcheinanderkommt, ist das Nervensystem aufgeteilt in einen zentralen Teil (der aus dem Gehirn und dem Rückenmark besteht) und einen peripheren Bereich, das sind alle Nervenfasern und deren Verschaltungen in den Armen, Beinen und Organen (Abb. 1.2). Das heißt natürlich nicht, dass es zwei verschiedene Nervensysteme gibt, denn sowohl das zentrale als auch das periphere Nervensystem arbeiten immer gemeinsam. Überhaupt muss man sagen: Eine richtige Trennung von verschiedenen Bereichen gibt es eigentlich nie im Nervensystem – alle Teile vertragen sich prima und arbeiten voller Freude und immer gerne zusammen. Wo findet man so was noch heutzutage?

Das zentrale und das periphere Nervensystem haben sich jedoch auf unterschiedliche Aufgaben konzentriert. Das Gehirn ist so etwas wie die Rechen-einheit im Nervensystem, es verarbeitet alle wichtigen Informationen und bildet komplizierte Netzwerke aus, die sich permanent verändern, je nachdem, welche Informationen im Gehirn eintreffen. Das Rückenmark ist im Prinzip die Datenautobahn im Körper, ein langes Bündel aus Nervenfasern, das aus dem Gehirn entspringt und sich bis in den unteren Bereich der Wirbelsäule zieht. Über das Rückenmark ist das Gehirn daher mit dem ganzen Körper verbunden, empfängt Sinnesinformationen und entsendet Bewegungsimpulse an die Muskeln.

Sobald die Nervenfasern jedoch das Rückenmark verlassen, beginnt das periphere Nervensystem. Im Gegensatz zum zentralen ist das periphere Nervensystem nicht so selbstverliebt: Während fast alle Nervenzellen im Gehirn nur mit anderen Nervenzellen im Gehirn in Kontakt treten, wagen sie sich im peripheren Nervensystem „an die Front“. Sie docken an Muskeln an und lösen deren Zusammenziehen aus. Oder sie werden von Sinneszellen aktiviert und senden diese Informationen wieder zurück ans Gehirn. Und nicht zu vergessen: die ganzen Organe, die durch das periphere Nervensystem gesteuert werden. Von der Lunge bis zur Harnblase – alles wird durch das Nervensystem kontrolliert, und es sind immer periphere Nerven, die direkt die „Zielorgane“ regulieren.

Zwischenruf Aber das ist doch total unübersichtlich! Woher weiß denn das zentrale Nervensystem, wie die ganzen Körperprozesse gesteuert werden müssen?

Wohl wahr: Es gibt so viele verschiedene Prozesse, die im Körper gleichzeitig ablaufen und gesteuert werden müssen, da wendet das Nervensystem einen Trick an. Es teilt sich wieder die Arbeit auf: Ein Teil des peripheren Nervensystems konzentriert sich darauf, Muskeln zu steuern oder Sinnesinformationen (zum Beispiel aus der Haut) zurück zum Rückenmark und ins Gehirn zu leiten. Das ist der somatische Teil des peripheren Nervensystems, was so viel wie „körperliches Nervensystem“ bedeutet (eine recht schwammige Formulierung, ich weiß). Von der Arbeit des somatischen Nervensystems kriegen wir meistens etwas mit. Wir können nun mal ganz bewusst unsere Muskeln anspannen und loslaufen und spüren auch den Schmerz, wenn wir dann in unachtsamer Weise an einem Laternenpfahl enden.

Nun gibt es aber auch den großen Teil der unwillkürlichen Körperfunktionen (Puls, Verdauung, Ausschüttung von Hormonen und allerlei mehr). Jeder weiß zwar, dass diese Prozesse gerade in einem ablaufen (ich hoffe zumindest, dass Sie noch einen fühlbaren Puls haben und noch nicht schon jetzt von

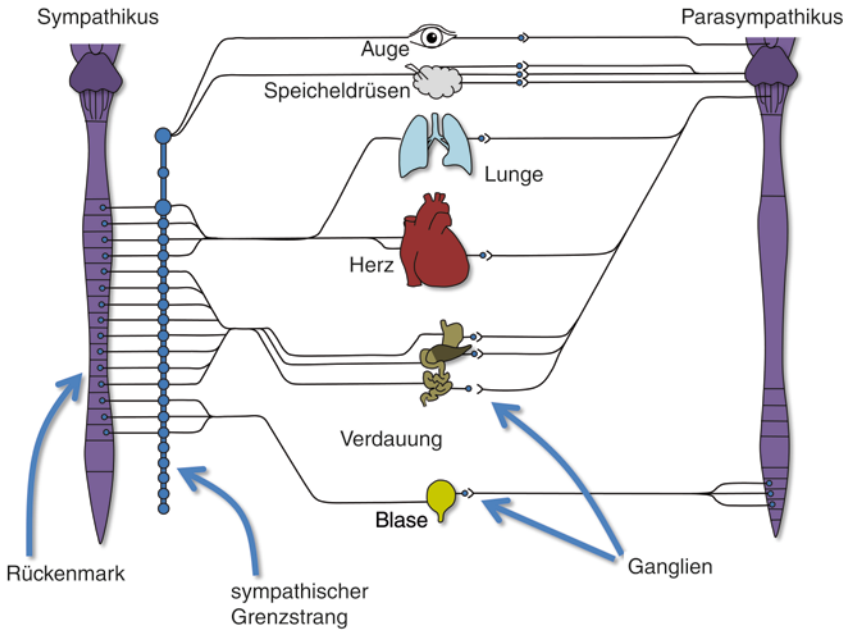


Abb. 1.3 Das vegetative Nervensystem hat alle Organe im Griff. Sympathikus und Parasympathikus regulieren die Organfunktionen. *Links:* Der Sympathikus bildet einen Grenzstrang aus Nervenknäueln aus, die anschließend die Organe ansteuern und sie so regulieren, dass der Körper leistungsbereit wird. *Rechts:* Der Parasympathikus hat keinen Grenzstrang, dafür aber Nervenknäuel direkt bei den Organen, an denen die Fasern neu verschaltet werden. Der Parasympathikus ist dann aktiv, wenn die körperliche Leistungsfähigkeit sinken soll. (Adaptiert nach Kandel et al. 1995, Abb. 32.2)

der geballten Macht wissenschaftlicher Fachbegriffe erschlagen wurden). Aber man kann diese Körperprozesse eben nicht bewusst steuern. Dieser Teil des peripheren Nervensystems arbeitet quasi selbstständig, deswegen nennt man ihn auch autonomes oder vegetatives Nervensystem. Wieder macht es sich der Körper recht einfach und teilt die Arbeit auf: Ein Bereich des vegetativen Nervensystems (der Sympathikus) aktiviert viele Körperfunktionen, während sein Gegenspieler (der Parasympathikus) die körperliche Leistungsfähigkeit drosselt. Interessanterweise sind Sympathikus und Parasympathikus unterschiedlich aufgebaut, wie man in Abb. 1.3 sieht.

Links erkennt man, wie der Sympathikus arbeitet: Aus dem Rückenmark entspringen Nervenfasern, die in einen Umschaltbereich laufen, den Grenzstrang. Ganz egal wie unfreundlich auch manche Menschen sein mögen, ein jeder hat einen solchen „sympathischen Grenzstrang“, in dem die Nervenfasern neu verschaltet werden. Das ist wichtig, denn durch diese Neuverschal-

tung gewinnt das Nervensystem zusätzlich an Kapazität, um die ganzen Körperfunktionen zu regulieren. Die Verschaltungen liegen auch nicht irgendwie verstreut im Körper herum, denn Nervenzellen sind ziemlich soziale Wesen: Sie sammeln sich in kleinen Knubbeln, den Ganglien, die aneinandergereiht eben genau diesen sympathischen Grenzstrang bilden. Sobald die Nervenfasern in den Ganglien neu verschaltet wurden, machen sie sich auf zu den Zielorganen, zum Beispiel dem Herz. Der Sympathikus hat die Aufgabe, den Körper leistungsbereit zu machen, also sorgen die sympathischen Nerven für eine Aktivierung des Herzens, und der Puls wird erhöht. Andere Organe werden jedoch in ihrer Funktion gehemmt. Wer möchte schon unter körperlichem Stress (zum Beispiel einem Marathonlauf) ein fettiges Schnitzel essen? Wohl nur die wenigsten, weil zu diesem Zeitpunkt der Sympathikus die Verdauung so heruntergefahren hat, dass kaum noch Blut im Magen-Darm-Bereich ist. Haben Sie sich schon mal gefragt, warum Fußballer so häufig auf den Platz spucken? Auch das liegt am Sympathikus: Er sorgt dafür, dass der Speichel unter Stress sehr zähflüssig wird – im Extremfall ist er gar nicht mehr zu schlucken und muss extern „entsorgt“ werden, was einige Sportler geradezu künstlerisch zu zelebrieren wissen.

Der Gegenspieler, der Parasympathikus, macht das etwas anders. Er hat keinen Grenzstrang, bei dem die Ganglien schön aneinandergereiht wie an einer Perlenkette die Signale neu verschalten. Mit so etwas hält sich der Parasympathikus nicht lange auf, er kontaktiert die Zielorgane direkt vor Ort. Einige der parasympathischen Nerven entstammen auch nicht dem Rückenmark, sondern direkt dem Gehirn, das dafür extra Hirnnerven zur Verfügung stellt. Natürlich müssen auch diese Nervenfasern noch einmal verschaltet werden, bevor sie letztendlich das Zielorgan ansteuern können, doch in diesem Fall liegen die Ganglien direkt am Organ selbst. Eine Aktivierung des Parasympathikus drosselt die Leistungsfähigkeit des Körpers. Deswegen ist er in Entspannungsphasen zum Beispiel kurz vor dem Einschlafen aktiv. Er sorgt unter anderem dafür, dass die Augen tränen, der Speichel dünnflüssig wird, sodass dieser Ihnen ab und an aus dem Mund sabbert, wenn Sie schlafen.

Neben dem Sympathikus und dem Parasympathikus gibt es noch ein weiteres wichtiges autonomes Nervensystem, das weitgehend unbeachtet und unterschätzt seinen Dienst verrichtet: das Nervensystem des Darms (auch enterisches Nervensystem genannt). Dieses Nervensystem ist außerordentlich groß: Etwa 100 Mio. Nervenzellen kontrollieren die Aktivität des Verdauungssystems. Das sind in etwa so viele wie im gesamten Rückenmark und viel mehr als beispielsweise im Sympathikus (der hat nur einige Tausend Nervenfasern). Das Nervensystem des Darms kontrolliert die Durchblutung oder die Ausschüttung von Verdauungssäften – aber auch, wie sich so ein Darm zu bewegen hat (in Ruhe gluckst ein Dünndarm etwa alle 7 s, achten Sie das nächste Mal darauf,

wenn Sie frisch genährt mit vollem Bauch im Bett liegen). Das Gehirn muss kaum noch von außen eingreifen, so selbstständig kann sich der Verdauungstrakt organisieren. Manche Wissenschaftler sprechen daher sogar von einem „zweiten Gehirn“ im Darm, und bei manchen Zeitgenossen könnte man meinen, dieses sei sogar größer und leistungsfähiger als ihr eigentliches im Kopf.

Man erkennt an dieser Stelle: Das Nervensystem ist schon etwas kompliziert, doch die grundlegenden Prinzipien sind immer die gleichen, egal ob man von spezialisierten Hirnbereichen oder recht primitiven Schaltkreisen im Dünndarm spricht:

1. *Immer alles verschalten!*

Ganz wichtig im Nervensystem: Die Nervenzellen müssen miteinander verknüpft werden. Das hört sich banal an, ist aber extrem wichtig, damit Informationen verarbeitet werden können. Überall gibt es deswegen Schaltstationen (die Ganglien im vegetativen System oder den Thalamus im Gehirn), die über ihre Eingänge Informationen erhalten, diese neu verknüpfen, dadurch eine neue Information erzeugen und diese weiterleiten. Dieses Prinzip des Neuverschaltens von Informationen ist eigentlich auch schon das ganze Geheimnis des Gehirns (und seiner Kreativität). Eigentlich können Sie jetzt das Buch aus der Hand legen – etwas großartig anderes wird nicht mehr kommen. Sie dürfen natürlich trotzdem gerne weiterlesen. Ich habe extra auf den nächsten Seiten noch die eine oder andere Neuigkeit für Sie in petto.

2. *Arbeite parallel!*

Die grundlegenden Verschaltungen und Nervenbahnen arbeiten simultan. So gibt es beispielsweise bei den Sinnesorganen verschiedene Bahnen, die gleichzeitig Informationen an das Gehirn schicken (zum Beispiel Berührung und Schmerz). So bleiben Informationen erst einmal getrennt und werden dann später im Gehirn zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Erst dadurch ist es auch möglich, dass sich diese vielen verschiedenen Bereiche des Nervensystems (zentral, peripher, somatisch, vegetativ) ausbilden und sich die Arbeit teilen können.

3. *Verliere nicht den Überblick!*

Damit im Nervensystem nichts durcheinandergerät, arbeitet das Gehirn mit Karten. Das ist eine tolle Sache, denn auf diese Weise schlägt das Gehirn gleich zwei Fliegen mit einer Klappe: Die Verarbeitung ist sehr simpel, aber dennoch äußerst wirkungsvoll. Wenn zum Beispiel die Informationen von der Netzhaut des Auges an das Gehirn geleitet werden, so bleiben die Informationen immer zusammen. Benachbarte Gruppen von Sehzellen sind mit benachbarten Gruppen im Thalamus (der zentralen Umschaltstelle im Gehirn) verknüpft und diese wiederum mit benachbarten Ner-

venzellen im Sehbereich des Großhirns. So entsteht im Gehirn eine Karte der Sinneseindrücke, die vom Auge kommen – und das gleiche Prinzip gilt auch für die meisten anderen Sinne. Auch die Bewegungszentren sind nach solchen „Körperkarten“ aufgebaut, die Nervenzellen arbeiten immer in Gruppen nebeneinander.

4. *Denke symmetrisch!*

Vielleicht ist es schon aufgefallen: Das Nervensystem ist symmetrisch aufgebaut. So gibt es eine rechte und linke Gehirnhälfte und die meisten Nerven treten paarweise auf. Interessant ist jedoch, dass sich fast alle Nervenfasern irgendwann im Nervensystem einmal überkreuzen. So steuern wir mit unserer rechten Gehirnhälfte die linke Körperseite oder nehmen Schmerzen von der rechten Körperseite mit der linken Gehirnhälfte wahr. Das hat bestimmt einen guten Grund. Nur leider kennt den noch keiner.

Diese Grundprinzipien liegen sämtlichen Vorgängen im Nervensystem zugrunde. Nun soll sich dieses Buch ja nicht mit den Prozessen im peripheren Nervensystem an den Muskeln oder im Darm beschäftigen. Das ist zwar auch ganz toll und interessant, aber ich habe ja versprochen, dass es hier um Geistesblitze gehen soll, die im Gehirn erzeugt werden. Bevor wir uns also genauer anschauen, wie so ein Gehirn arbeitet und es neue kreative Ideen erzeugt, müssen wir erst einmal klären, was das überhaupt ist, dieses „Gehirn“.

1.2 Wir basteln uns ein Gehirn

Ist es nicht wunderschön, so ein Gehirn? So seltsam zerfurcht und gewunden passt es problemlos in zwei Hände. Heutzutage wird dem Gehirn ja die gesamte Organisation unserer geistigen Zustände (Bewusstsein, Aufmerksamkeit, Gedächtnis – auch Kreativität, wie wir noch sehen werden) zugesprochen. Völlig zu Recht, aber das war nicht immer so. Eine äußerst zwiespältige Vorstellung vom Gehirn hatten die antiken Griechen. Während Hippokrates, ein recht bekannter Arzt zu seiner Zeit (im 5. Jahrhundert v. Chr.), dem Gehirn den Sitz aller Emotionen und Gedanken zusprach, meinte der Arzt und Anatom Galen etwa 600 Jahre später, das Gehirn sei nichts weiter als eine Drüse zur Ausscheidung von Flüssigkeiten, die die Körperfunktionen steuern. Schon hier sieht man, wie widersprüchlich die Ärztezunft in ihrer naturwissenschaftlichen Beschreibung sein kann. Ganz toll auch der Beitrag der Philosophen zu diesem Thema: Platon mag wohl ein kluger Mann gewesen sein, aber seine Vorstellung, das Gehirn diene lediglich dazu, das Blut abzukühlen, ist doch ein wenig weit hergeholt. Obwohl ...

Ich gebe zu, auf den ersten Blick mag ein Gehirn recht eklig erscheinen, so glitschig und matschig. Doch seine ganze Raffinesse offenbart es auf den zweiten Blick. Es hat so komplizierte und verschlungene Strukturen, dass den Anatomen irgendwann keine passenden Namen mehr einfelen und sie viele Regionen einfach und lieblos durchnummerierten. Viele denken ja, das Gehirn sei so etwas wie eine perfekte Rechenmaschine. Den heutigen Computern noch immer weit überlegen, kann es blitzschnell Gesichter erkennen, Gefühle auslösen oder hochkomplexe Bewegungen planen. Allenthalben mag man glauben: Das Gehirn ist perfekt.

Doch das ist Quatsch! Kein Gehirn, weder Ihres noch meines, ist in irgendeiner Form perfekt. Im Gegenteil: Welche Verschaltungen und Verknüpfungen sich während eines Lebens ausbilden, keiner weiß es – und es ist niemals fertig. Ein Computer, heute gekauft, ist spätestens nach einem Jahr veraltet. Aber ein Gehirn veraltet nie. Natürlich, irgendwann beginnen im Laufe des Lebens Hirnstrukturen zu zerfallen. Aber das ändert nichts daran, dass das „System Gehirn“ Zeit seines Lebens immer den bestmöglichen Zustand innehatte. Es passt sich immer den eintreffenden Informationen an und optimiert sich immer mehr, ohne jemals fertig oder perfekt zu werden.

Zwischenruf Toll, toll! Doch es gibt doch im Gehirn bestimmte Strukturen, die bei allen Menschen mehr oder weniger gleich sind, oder?

Das mag stimmen, doch die Verschaltungen im Detail sind immer individuell. Aber es kann natürlich helfen, wenn man das Gehirn anatomisch nach irgendwelchen Kriterien einteilt. Man muss ja irgendwie einen Überblick gewinnen über die vielen verschiedenen Strukturen und Regionen, die doch recht unübersichtlich beieinanderliegen (Abb. 1.4).

Was braucht man also, wenn man sich ein Gehirn basteln will? Nun, so verwirrend ein Gehirn auf den ersten Blick aussehen mag, eigentlich hat es seine Aufgaben klar verteilt. Alles, was im Gehirn verarbeitet wird, muss irgendwie in den Körper geleitet werden, damit sich etwas tut. Ein Bewegungsimpuls im Gehirn ist recht nutzlos, der Muskel muss auch etwas davon mitbekommen. Deswegen gibt es einen „Verkehrsknotenpunkt“, an dem die wichtigsten Hirnnerven (es gibt zwölf Stück) und das Rückenmark zusammenlaufen: den Hirnstamm. Der Hirnstamm ist quasi der Stecker, über den das Rückenmark an das Gehirn gekoppelt ist.

Das Gehirn soll ja etwas im Körper steuern – und recht wichtig in diesem Zusammenhang ist die Steuerung von Bewegungen. Das ist gar nicht so leicht, wie es sich anhört. Einfache Bewegungsmuster von Insekten oder Robotern beruhen in der Regel auch auf einfachen Schaltkreisen. Wie hinlänglich be-

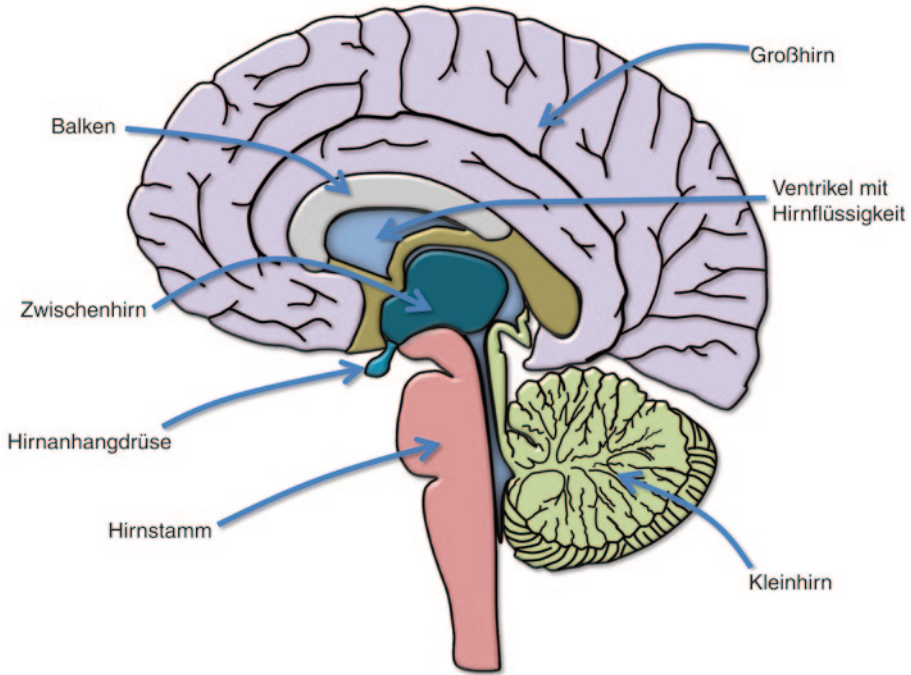


Abb. 1.4 Das Gehirn hat viele tolle Strukturen. Hier sind mal die wichtigsten Bereiche des (quer geschnittenen) Gehirns gezeigt. Das Großhirn ist der dominierende Teil, der die anderen Hirnstrukturen umschließt. Die beiden Gehirnhälften (*rechts* und *links*, hier ist nur die rechte Hälfte gezeigt) sind durch einen Balken (ein Bündel aus Nervenfasern) miteinander verbunden. In der Mitte liegt das Zwischenhirn, das Sinnesinformationen neu verschaltet, aber auch die Hirnanhangdrüse (die Master-Hormondrüse des Körpers) steuert. Hinter dem Großhirn liegt das Kleinhirn, das für die Bewegungssteuerung wichtig ist. Über den Hirnstamm ist es mit dem Rest des Nervensystems verknüpft. Über diesen Hirnstamm ist das Rückenmark quasi wie ein Kabel an das Gehirn drangesteckt. Das Gehirn hat darüber hinaus viele Hohlräume, die Ventrikel, die mit der Hirnflüssigkeit, dem Liquor, gefüllt sind

kannt sein dürfte, überschreitet der Mensch jedoch die Bewegungskompetenz von Insekten und Robotern ganz außerordentlich. Ich habe zum Beispiel noch nie einen Roboter gesehen, der mit der Präzision eines deutschen Elfmeterschützen eine beliebige Nationalmannschaft nach Hause schickt. Dabei gibt es schon seit vielen Jahren Roboter-Fußballturniere, bei denen die besten Konstrukteure der Welt ihre mechanischen Kunstwerke gegeneinander antreten lassen – und wer dominiert seit mehreren Jahren diese Roboter-Fußballturniere? Richtig, die Deutschen! Doch trotz aller Ingenieurskunst bewegt sich ein menschlicher Körper noch deutlich geschmeidiger als ein humanoider Roboter. Ein Grund dafür: Der Mensch hat ein Kleinhirn. Und anders,

als es der Name vermuten lässt, ist dieser Teil des Gehirns äußerst wichtig und sorgt für die Kontrolle der Bewegungen.

Bewegungen ausführen und kontrollieren ist ja schön und gut, aber irgendwie müssen Informationen und Sinneseindrücke auch von außen ins Gehirn gelangen und dort verarbeitet werden. Das übernimmt der Thalamus, der im Zwischenhirn sitzt. Ein Zwischenhirn, der Name lässt es vermuten, sitzt genau in der Mitte aller Hirnregionen und eignet sich daher prima, um die verschiedensten Sinnesempfindungen aus der Umwelt aufzunehmen und zu verschalten. Darüber hinaus sitzen im Zwischenhirn auch noch der Hypothalamus und die Hypophyse (die Hirnanhangdrüse). Über diese Strukturen kontrolliert das Gehirn Großteile des Hormonhaushaltes im Körper. Denn so ein Gehirn ist ein Ordnungsfanatiker und kann natürlich nicht die restlichen Körperteile einfach so vor sich hin arbeiten lassen. Das muss alles schön kontrolliert werden – und genau dafür gibt es die „Steuerhormone“ aus der Hypophyse.

Was wäre das Gehirn ohne seine Großhirnrinde! Tatsächlich, wenn man das erste Mal auf ein Gehirn schaut, scheint es nur aus dieser Rinde zu bestehen. Wie ein großer Mantel mit vielen Falten und Furchen umstülpt die Großhirnrinde fast den gesamten Rest des Gehirns. Bei keinem Lebewesen ist sie so ausgeprägt wie beim Menschen, und hier finden auch die ganzen außergewöhnlichen Dinge statt, für die wir uns so rühmen: tolle Ideen, Sprache, Wissen, Bewusstsein – dabei ist das Großhirn eigentlich recht simpel gebaut, wie wir gleich sehen werden.

Und dann gibt es noch diesen dubiosen, mysteriösen Bereich der Gefühle und der niederen Triebe. Sie liegen in einem seltsamen Bereich im Gehirn, von dem keiner so genau weiß, was alles dazu gehört. Deshalb hat man ihn auch „limbisches System“ genannt. So macht man erst mal nichts falsch, aber woraus genau sich dieses „System“ zusammensetzt, das ist ein wenig umstritten. Auf jeden Fall liegt es zwischen dem Groß- und dem Zwischenhirn, mitendrin, so ist es immer dabei, wenn es etwas Interessantes im Gehirn gibt.

Alle diese Hirnstrukturen funktionieren nur, wenn sie gut untereinander vernetzt sind. Im Gehirn muss sich jeder auf den anderen verlassen können, und in der Regel klappt das ganz prima. Schauen wir uns nun nacheinander an, wie diese verschiedenen Bereiche im Gehirn genau arbeiten.

1.3 Kabel, Versorgungsleitungen, Sicherungskästen: Willkommen im Hirnstamm

Das Gehirn ist eigentlich ein sehr eitles Organ. Während Herz, Lunge oder Leber mehr oder weniger mitten im Körper liegen, umgeben von allerlei Bindegewebe und den nächsten Organen, thront das Gehirn quasi über den Din-

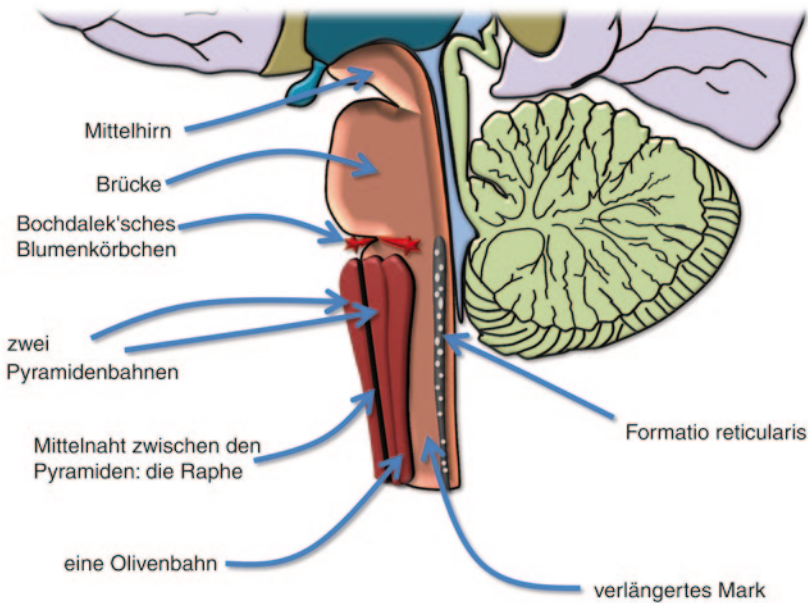


Abb. 1.5 Im Hirnstamm liegen viele Versorgungsleitungen. Der Hirnstamm beginnt mit dem verlängerten Mark, geht in die Brücke über und endet im Mittelhirn. Hier drängen sich viele Nervenleitungen eng zusammen (dabei sind die Hirnnerven in dieser Zeichnung gar nicht gezeigt), zum Beispiel die Pyramiden- oder Olivenbahnen. Über die Formatio reticularis, ein verzweigtes Nervengeflecht im verlängerten Mark, wird unter anderem die Wachheit des Gehirns reguliert. Aber nicht nur für die elektrischen Versorgungsleitungen ist der Hirnstamm wichtig. Er ist auch eine Art Klempner, denn die Bochdalek'schen Blumenkörnchen produzieren den Liquor, die Hirnflüssigkeit, in der das Nervensystem schwimmt

gen. Gut geschützt unter einer dicken Schädeldecke hat es sich gemütlich gemacht und lässt nichts an sich ran. Nun bringt es dem Gehirn jedoch recht wenig, wenn es einfach so entfernt von den anderen Organen sein eigenes Ding durchzieht – es muss deswegen mit den restlichen Körpergeweben über Nervenfasern vernetzt werden. Das dickste Faserbündel ist das Rückenmark, das zum einen die Bewegungsimpulse an die Muskeln weitergibt und zum anderen Informationen aus dem Körper zurückleitet zum Gehirn. Dort wo das Rückenmark auf das Gehirn trifft, liegt der Hirnstamm. Dieser ist quasi der „Stecker des Gehirns“, mit dem es an die wichtigsten Nervenverbindungen gekoppelt wird (Abb. 1.5).

Der Hirnstamm besteht aus drei Hauptteilen. Die Übergangszone zum Rückenmark nennt man „verlängertes Mark“ (lat. *Medulla oblongata*). Hier verdichten sich die Nervenfasern nochmals und gehen anschließend in die

Brücke (lat. Pons) über. Die Brücke ist leicht als hervorstehender Wulst im Hirnstamm zu erkennen. Zusammen mit der Medulla sind die hier entspringenden Nerven an der Atmungs- und Blutdruckkontrolle beteiligt. Die meisten Namen im Nervensystem haben irgendeinen Sinn, und deswegen ist die Brücke tatsächlich eine solche: Sie überbrückt nämlich den Bereich von Großhirn und Kleinhirn, das direkt hinter dem Hirnstamm sitzt. Der dritte Teil des Hirnstamms liegt oberhalb (man sollte fachlich korrekt „kopfsseitig“ sagen) der Brücke: das Mittelhirn. Der Name lässt einiges erhoffen, ein Gehirn in der Mitte, das scheint wohl besonders wichtig zu sein. Ist es aber nicht. Hier befinden sich lediglich einige Verschaltungen der Seh- und Hörnerven, und es ist auch der kleinste Teil des Hirnstamms.

So grob sich der Hirnstamm in Medulla, Brücke und Mittelhirn einteilen lässt, so kompliziert und unübersichtlich sind seine feinen Strukturen. Glücklicherweise sind die Anatomen, die Gehirne auseinandernehmen, recht findige Sprachkünstler und haben vielen dieser Nervengruppen und -fasern lustige Namen gegeben. Dort wo die Brücke endet und das verlängerte Mark beginnt, befinden sich zwei verdickte Nervenstränge. Vielleicht weil derjenige, der diese Struktur zum ersten Mal beschrieb, ein Fan von Ägypten war, nannte er diese Nervenstränge Pyramidenbahnen (ich muss sagen, mit Pyramiden haben diese Nerven optisch gar nichts zu tun, eher mit Säulen). In diesen Pyramiden liegen die wichtigen motorischen Nervenfasern, die die Körperbewegungen kontrollieren.

Die mittlere Längsnaht zwischen den Pyramiden nennt man Raphe (griech. für „Naht“). Hinter dieser Raphe befinden sich die Raphe-Kerne, also wieder kleine Ansammlungen von Nervenzellen, die weite Ausläufer in die Großhirnrinde ausbilden. Sie sind an der Steuerung von Emotionen beteiligt und werden durch Drogen wie Ecstasy stimuliert. Doch Vorsicht: Solche Drogen mögen die Raphe-Kerne vielleicht anregen und einen kurzfristigen Glücksschub auslösen, doch Raphe-Kerne sind recht empfindlich und nehmen sie Schaden, kann das leicht in einer Depression enden.

Neben den Pyramidenbahnen liegt an jeder Seite eine weitere Verschaltungsstelle, die man Olive nennt (weil sie so oval in die Länge gezogen ist). Genau genommen gibt es an jeder Seite zwei Oliven, eine obere und eine untere. Die obere Olive ist jedoch von außen nicht sichtbar, sie liegt unter der Brücke und verarbeitet Hörinformationen (zum Beispiel Lautstärkenunterschiede an den beiden Ohren, so kann eine Schallquelle geortet werden). Die untere Olive bildet Fasern aus, die in das Kleinhirn reichen und dieses so mit dem restlichen Gehirn verbinden.

Überhaupt muss man sagen, dass sich im Hirnstamm viele Nervenbahnen befinden, die ins gesamte Gehirn oder ins periphere Nervensystem ausstrahlen. Dem Hirnstamm entspringen auch die meisten der zwölf Hirnnerven,

die zum Beispiel die Muskeln des Gesichts und die Zunge steuern oder am Gleichgewichtssinn beteiligt sind. Der Hirnstamm ist also wirklich so etwas wie das Technikzentrum im Gehirn, in dem die ganzen Kabel verlegt und miteinander verschaltet sind. Das gilt auch für die *Formatio reticularis*, die „Netzwerkformation“, die sich im verlängerten Mark befindet. Die *Formatio reticularis* ist quasi der Hausmeister des Gehirns: Sie ist mit nahezu allen neuronalen Systemen vernetzt und bekommt somit sämtlichen Klatsch und Tratsch im Gehirn mit. Diese zentrale Steuereinheit hält auch das Großhirn bei Laune und sendet regelmäßig Impulse aus, die das Gehirn wach halten. Umgekehrt knipst die *Formatio reticularis* auch das Licht aus: Wenn der ständige Strom an Nervenimpulsen ins Großhirn nachlässt, werden wir müde und schlafen ein.

Kabel, Verknüpfungen, Sicherungskästen, alle diese Verschaltungen befinden sich also im Hirnstamm. Doch dieser sorgt auch für die Installation einer anderen wichtigen Versorgungsleitung: der Produktion der Hirnflüssigkeit. Das gesamte Gehirn ist von einem wässrigen Medium, dem Liquor, umgeben. Auch innerhalb des Großhirns befinden sich viele Hohlräume, die Ventrikel, die mit dieser Flüssigkeit gefüllt sind. Gebildet wird dieser Liquor unter anderem von einer stark durchbluteten Region, die am Übergangsbereich von Brücke und verlängertem Mark sitzt: dem Bochdalek'schen Blumenkörbchen. Entdeckt hat es der tschechische Anatom Vinzenz Bochdalek, der wohl ein kleiner Blumenfreund war. Immerhin sah er in dieser kleinen Struktur einen Blumenstrauß mit winzigen Blüten, und dazu gehört schon wirklich viel Fantasie. Das von diesem Gewebe produzierte „Hirnwasser“ umspült das Gehirn, so liegt es nicht direkt an den Schädelknochen, sondern ist für den Fall eines Stoßes ein wenig gepolstert.

Der Hirnstamm ist also weit mehr als ein bloßer Stiel, auf dem das wichtige Großhirn sitzt. Er ist die Technikzentrale, in der Elektrotechniker und Klempner gemeinsam die Infrastruktur des Gehirns erhalten. Er verkabelt das Rückenmark mit den wichtigen Nervenbahnen des Großhirns und verbindet das Großhirn mit dem Kleinhirn. Schädigungen bestimmter Hirnstammgebiete können daher auch recht fatal sein, besonders wenn die Brücke betroffen ist. Dann fällt quasi die Hauptverbindung vom Gehirn in die Peripherie aus, und man ist in seinem eigenen Körper gefangen. Man nennt das Locked-In-Syndrom: Bei vollem Bewusstsein kann man meist nur noch die Augen bewegen, weil deren Steuerung oberhalb, also kopfseitig der Brücke stattfindet. Da sieht man wieder mal, wie wichtig nicht nur ein funktionierendes Gehirn, sondern auch dessen funktionierende Verschaltung ist.