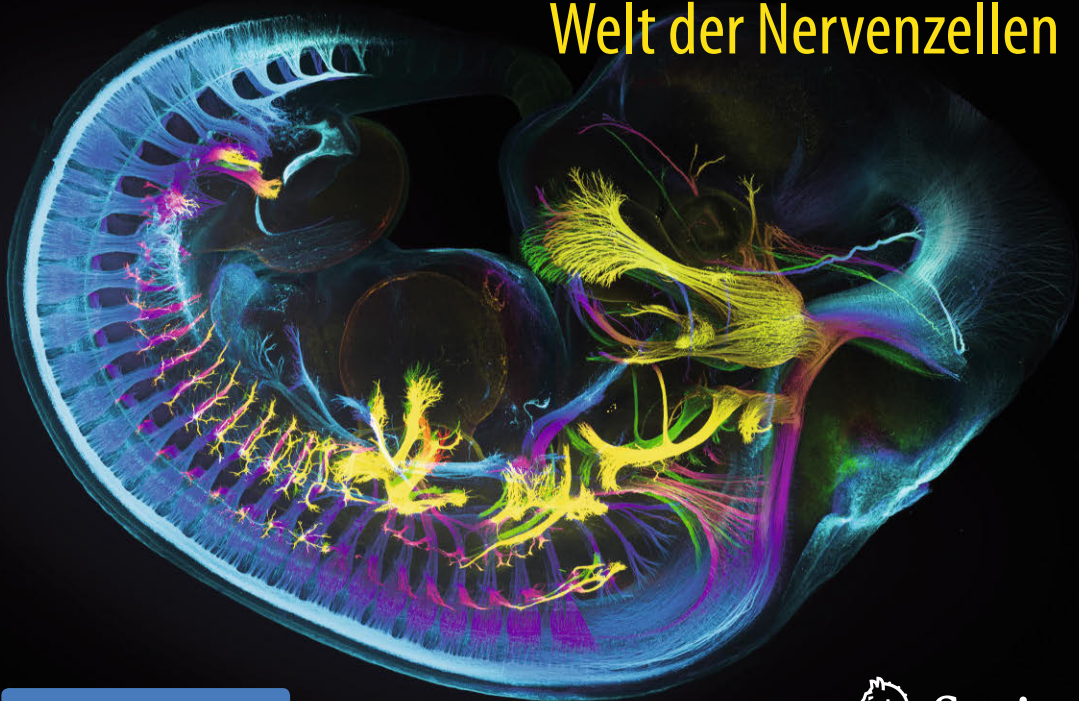


Henning Beck · Sofia Anastasiadou  
Christopher Meyer zu Reckendorf

# Faszinierendes Gehirn

Eine bebilderte  
Reise in die  
Welt der Nervenzellen



EBOOK INSIDE

 Springer

---

# Faszinierendes Gehirn

# Die Autoren

*Henning Beck, Christopher Meyer zu Reckendorf, Sofia Anastasiadou*

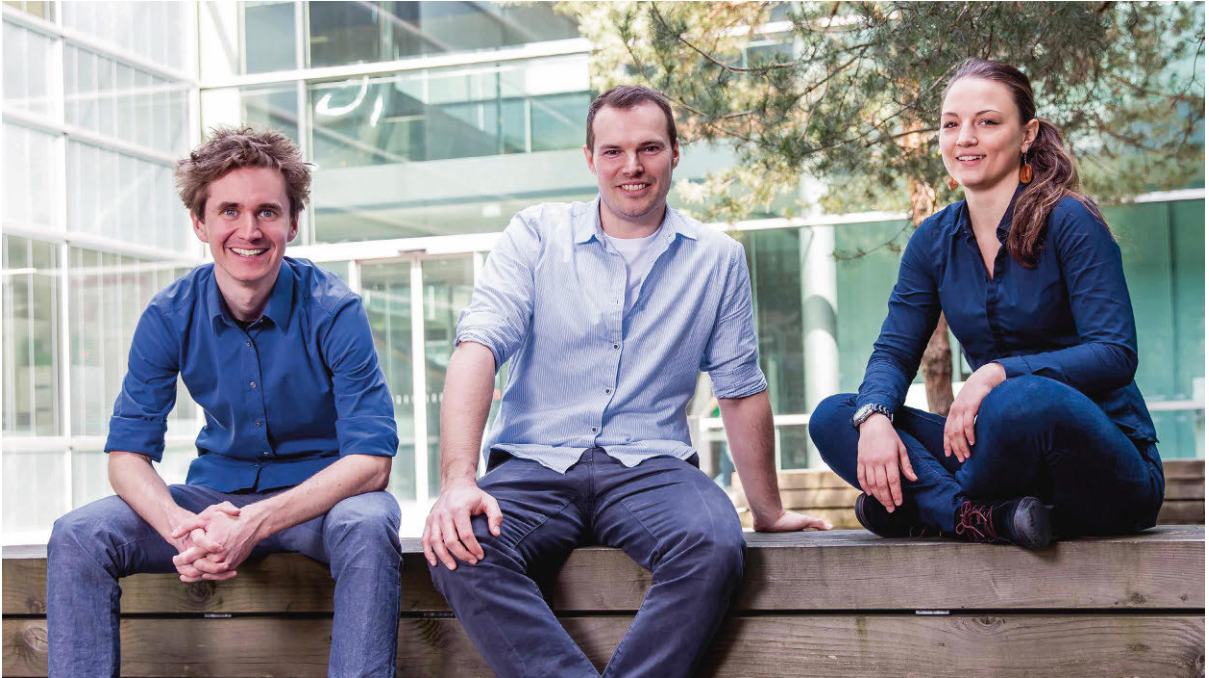


Abb.: © Markus Leser

**Henning Beck** ist Biochemiker und promovierter Neurowissenschaftler. Als erfolgreicher Sachbuchautor und Deutscher Meister im Science Slam versteht er es, Wissenschaft so zu vermitteln, dass sie jeder versteht.

**Christopher Meyer zu Reckendorf** ist Molekularbiologe und führte seine neurowissenschaftliche Promotion an der Universität Ulm durch. Seine Faszination für die Neurobiologie ergänzt dieses Buch mit

spektakulären Abbildungen unseres Nervensystems.

**Sofia Anastasiadou** ist Molekularbiologin und hat zu einem neuro-medizinischen Thema an der Universität Ulm promoviert. Ihr Talent komplizierte biologische Vorgänge zu verbildlichen bereichert dieses Buch mit besonders anschaulichen Grafiken und beeindruckenden Aufnahmen.

---

Henning Beck · Sofia Anastasiadou ·  
Christopher Meyer zu Reckendorf

# Faszinierendes Gehirn

Eine bebilderte Reise in die Welt der  
Nervenzellen

2., erweiterte und überarbeitete Auflage

 Springer Spektrum

Henning Beck  
Frankfurt, Deutschland

Christopher Meyer zu Reckendorf  
Ulm, Deutschland

Sofia Anastasiadou  
Ulm, Deutschland

ISBN 978-3-662-54755-7  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-54756-4>

ISBN 978-3-662-54756-4 (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 Deutschland GmbH 2016, 2018

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.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

*Planung:* Margit Maly

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Spektrum ist Teil von Springer Nature  
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Germany  
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

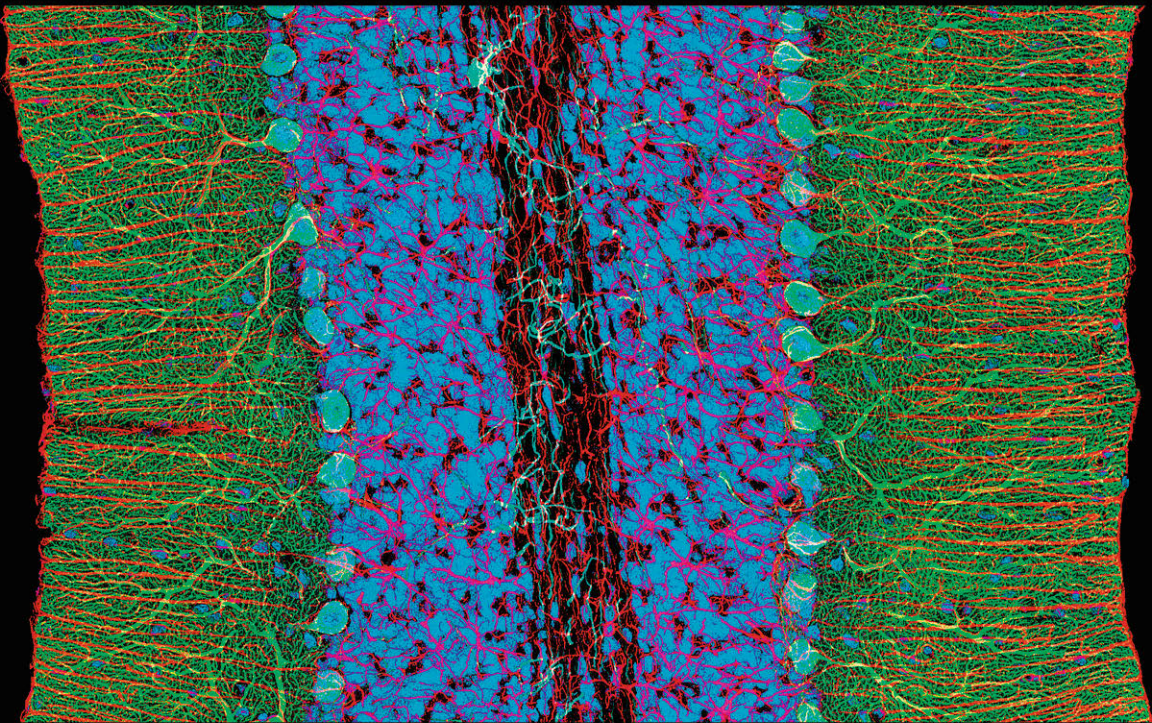
# Einleitung



Kaum eine biologische Disziplin hat in den letzten Jahren eine derartige Popularität erreicht wie die Neurobiologie. Hirnforschung ist angesagt und modern und längst nicht mehr auf biologische Labore beschränkt, sondern dringt mit ihren verblüffenden Ergebnissen in unsere Alltagswelt ein. Neurowissenschaftliche Durchbrüche zur Erkenntnis unseres Gehirns werden in der Tagespresse genauso gefeiert wie in Fachzeitschriften. Schließlich drehen sich die letzten großen Geheimnisse des menschlichen Körpers um sein Gehirn: Wir wollen verstehen, wie Geist und Bewusstsein entstehen und erkennen, wie unsere Nervenzellen funktionieren, wie sie zusammenwirken und unser Denken hervorbringen. Keine leichten Aufgaben, die sich die Hirnforschung als Ziel gesetzt hat. Doch ihre Fortschritte sind erstaunlich und werden viel beachtet. Zu Recht, denn die Neurowissenschaften sind in der Tat faszinierend.

Dass sich Menschen für das Nervensystem und das Gehirn interessieren, ist nicht neu. Seit der Antike beschäftigen sich Wissenschaftler mit der Funktionsweise des Gehirns und untersuchen seine Geheimnisse. Trotz Jahrtausende langer Forschung bleibt das Gehirn jedoch auch heute noch ein interessantes Untersuchungsobjekt mit überraschenden Eigenschaften. Spannende Erkenntnisse wird die Hirnforschung mit Sicherheit auch in Zukunft liefern, denn das Gehirn ist erst in Ansätzen verstanden.

Das Besondere des Gehirns ist, dass es sich grundlegend von allen anderen Organen des menschlichen Körpers unterscheidet. Oftmals gehen Form und Funktion Hand in Hand: Einem Herzen sieht man an, dass es eine Flüssigkeit pumpen muss, ein Lungenflügel eignet sich perfekt, um Luft aufzunehmen. Doch bei einem Gehirn ist es anders: Wir können nicht so einfach aus der Struktur des Nervengewebes ablesen, wie es funktionieren soll. Ein dicht gepacktes Netzwerk aus Nervenzellen und -fasern bildet ein anderthalb Kilogramm schweres Organ, das alle Dinge des menschlichen Geistes hervorbringen soll: von Sprache und Erinnerungen bis zu Gefühlen und Gedanken. Wie das genau passiert, das ist auch heute noch ein Rätsel und die große Herausforderung moderner Neurowissenschaften. Was jedoch klar ist: Auch beim Gehirn liegt der Schlüssel zu seiner Funktion in seiner Struktur. Nur ist das leider nicht so offensichtlich wie bei anderen Organen.



Wenn man wissen will, wie ein Gehirn arbeitet, untersucht man, wie es aufgebaut ist. Glücklicherweise ist gerade dies beim Gehirn eine besonders spannende und reizvolle Angelegenheit. Seit jeher ist die Hirnforschung nämlich nicht nur wissenschaftlich erkenntnisreich, sondern auch eine zutiefst ästhetische Disziplin. Schon die ersten Anatomen waren von der Struktur des Nervensystems fasziniert. Denn kein anderes Organsystem ist derart komplex und pedantisch organisiert. Nervenfasern durchdringen alle Körperregionen, formen grandiose Architekturen und faszinierende Anatomien. So unübersichtlich ein Nervengewebe zu Beginn anmutet, so schön wird es, wenn man es genauer betrachtet. Gerade in den letzten Jahren haben moderne Labortechniken maßgeblich zur Begeisterung für die Neurowissenschaften beigetragen und uns völlig neue Blickwinkel auf unser Nervensystem ermöglicht.

Heutzutage ist es möglich, die Anatomie des Gehirns auf völlig neue und spektakuläre Weise zu verbildlichen. Wir können große Hirnstrukturen dreidimensional sichtbar machen und die Abläufe bei Denkprozessen verdeutlichen. Moderne Analysetechniken ermöglichen es sogar, einzelne Nervenzellen unterschiedlich zu färben und Nervennetze detailliert zu untersuchen. Neben dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn haben solche Methoden einen nicht zu unterschätzenden Vorteil: Sie erzeugen faszinierende Bilder, die toll aussehen. So kann man nicht nur Nachwuchswissenschaftler, sondern, so hoffen wir, auch interessierte Leser für diese Disziplin begeistern.

Das Anliegen dieses Buches ist daher genau das: Die Faszination der Neurobiologie sichtbar zu machen. Zu zeigen, wie die wunderbare Architektur der Nervenzellen die Anatomie des Gehirns formt. Zu veranschaulichen, welche Prozesse im Nervensystem ablaufen. Und somit zu einem besseren Verständnis des Gehirns und des Nervensystems beizutragen.

Dieses Buch soll kein Lehrbuch sein, das sich nur für biologische Fachleute eignet. Vielmehr möchten wir Sie mitnehmen auf eine spannende Bilderreise in die Welt der Neurobiologie und für die Faszination dieser Disziplin begeistern. In kurzen Kapiteln konzentrieren wir uns deswegen darauf, einen Überblick über die interessantesten Themen des Nervensystems zu geben, immer unterstützt durch anschauliche Grafiken und Aufnahmen. Wir werden uns dabei zunächst den großen Strukturen widmen und dann Schritt für Schritt immer tiefer in die Welt der Nervenzellen voranschreiten. Denn der Schlüssel zum Verständnis unseres Gehirns liegt auch in seiner Architektur. Wer die strukturellen und biologischen Prinzipien des Nervensystems kennt, kann anschließend besser nachvollziehen, wie Denk- und Handlungsprozesse in unserem Gehirn ablaufen.

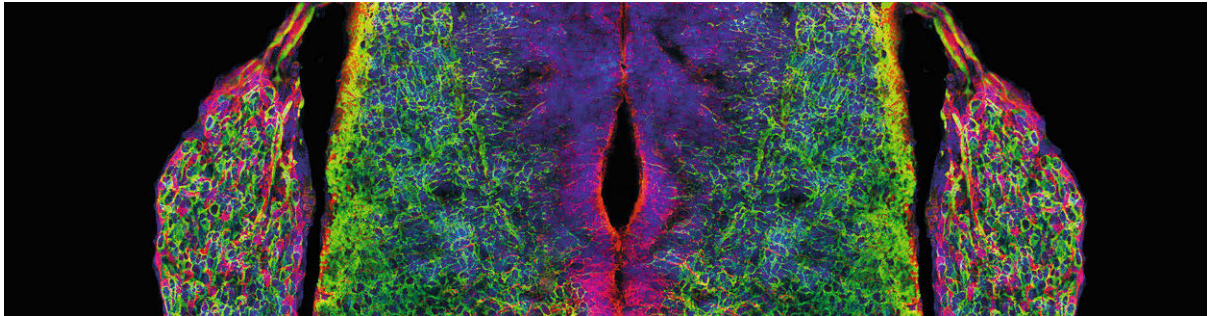
Noch sind wir nicht am Ziel, das Gehirn endgültig zu erklären und wissenschaftlich zu beschreiben. Doch wir müssen auch nicht alle Dinge vollständig verstehen, um uns vollständig dafür begeistern zu können. Das ist beim Gehirn nicht anders. Denn wie schön es wirklich ist, erkennt man erst, wenn man genau hinschaut.



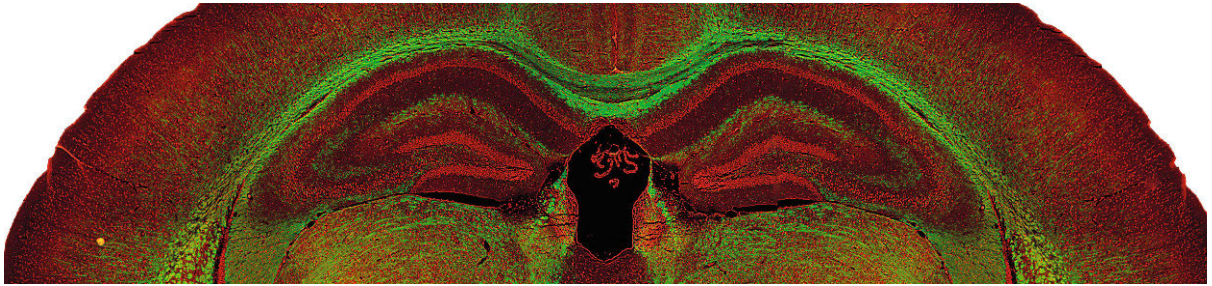


# Inhalt

Einleitung.....	V
-----------------	---



Kapitel 1: Das Nervensystem.....	1
Gliederung des Nervensystems - <i>Ordnung ins Netzwerk bringen</i> .....	2
Somatisches und vegetatives Nervensystem - <i>Wie das Bewusste das Unbewusste steuert</i> .....	4
Enterisches Nervensystem - <i>Das Gehirn in unserem Bauch</i> .....	6
Das Gehirn - <i>Die Steuerzentrale</i> .....	10
Hirnnerven - <i>Schnittstelle zwischen Gehirn und Umwelt</i> .....	14
Periphere Nerven - <i>Nervenimpulse in jeden Winkel des Körpers</i> .....	16
Das Rückenmark - <i>Mehr als nur ein Datenkabel</i> .....	20
Die Entwicklung des Nervensystems - <i>Von der Zelle zum Gehirn</i> .....	24
Die Evolution des Nervensystems - <i>Wie alles begann</i> .....	28



Kapitel 2: Das Gehirn.....32

Anatomie des Gehirns - *Die Struktur des Denkapparates* .....34

Das Großhirn - *Thront über allem*.....36

Der Neocortex - *Man denkt nur mit der Rinde gut* .....38

Das limbische System - *Das Gefühls-Gehirn* .....42

Der Hippocampus - *Besserwisser des Großhirns*.....44

Das Riechhirn - *Wie der Duft ins Gehirn kommt* .....48

Basalganglien - *Nervennotenpunkte im Gehirn*.....50

Das Zwischenhirn - *Mittendrin statt nur dabei* .....54

Das Kleinhirn - *Man muss nicht groß sein, um groß zu sein* .....58

Der Hirnstamm - *Ein Stecker fürs Gehirn* .....62

Der Balken - *Highway zwischen den Hirnhälften*.....64

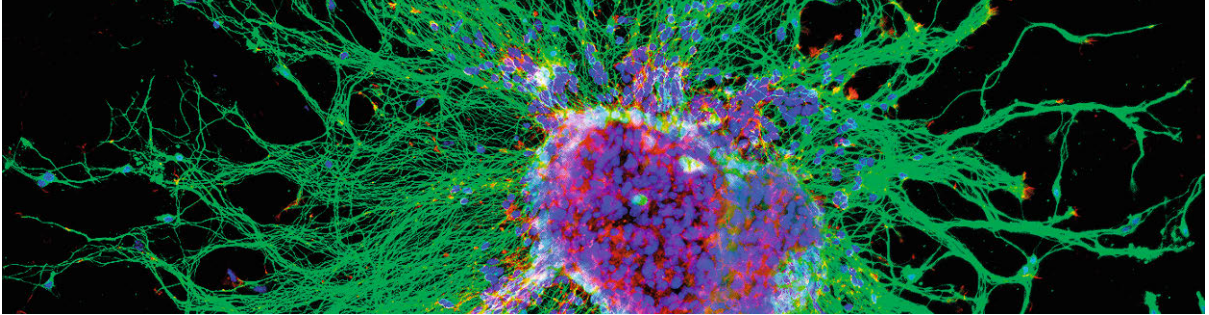
Das Ventrikelsystem - *Polstert das Gehirn* .....68

Die Hirnhäute - *Packen das Gehirn ein* .....70

Durchblutung des Gehirns - *Sorgt ständig für Nährstoffnachschub* .....72

Symmetrie des Gehirns - *Zwei Hälften wohnen, ach! in meinem Hirn*.....76

Weibliche und männliche Gehirne - *Geschlechterunterschiede in der Anatomie?*.....78



Kapitel 3: Die Zellen .....	80
Die Nervenzelle - <i>Rechner im Miniaturformat</i> .....	82
Neuronentypen - <i>Auf die Form kommt es an</i> .....	86
Soma und Zellkern - <i>Steuereinheit der Zellen</i> .....	90
Die Plasmamembran - <i>Formt und schützt, was wichtig ist</i> .....	92
Neuriten - <i>Ausstülpungen, Fortsätze, Nervenfasern</i> .....	94
Mikrotubuli - <i>Verbindungsachsen in der Zelle</i> .....	98
Actin-Zellskelett - <i>Das Gel in der Zelle</i> .....	100
Mitochondrien - <i>Zell-Kraftwerke</i> .....	102
Vesikel - <i>Verpackungseinheiten für Botenstoffe</i> .....	104
Der Nervenimpuls - <i>Aktion an der Faser</i> .....	108
Die Synapse - <i>Eine Nervenzelle geht auf Tuchfühlung</i> .....	110
Synaptische Übertragung - <i>Wie der Funke überspringt</i> .....	114
Neurotransmitter - <i>Die Biochemie der Informationsübertragung</i> .....	116
Gap Junctions - <i>Hilfreiche Lücken im Informationsaustausch</i> .....	118
Astroglia - <i>Ein Stern, der deinen Namen trägt</i> .....	120

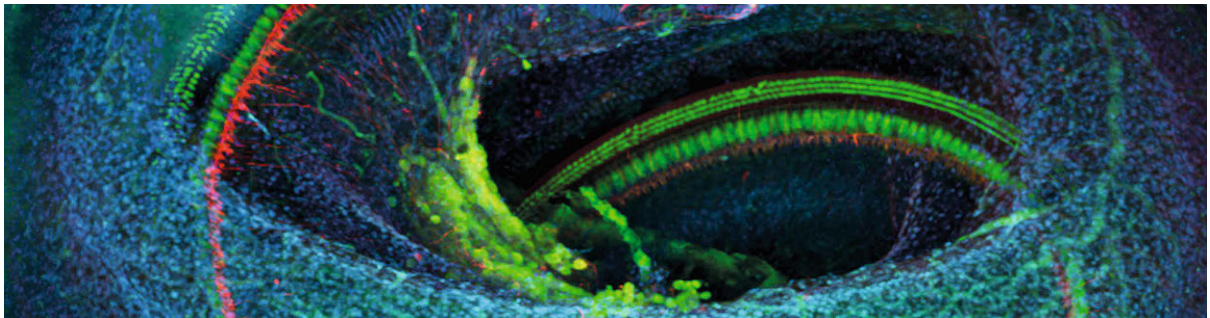
Blut-Hirn-Schranke - *Du kommst hier nicht rein: der Grenzposten des Gehirns*.....124

Mikroglia - *Die Gehirn-Security*.....128

Oligodendroglia und Schwann-Zellen - *Eine Isolierung für die Nervenfasern*.....130

Radialglia - *Konstrukteure des Nervensystems*.....134

Ependymzellen - *Spülen kräftig durch*.....136



Kapitel 4: Neurone in Aktion.....140

Sinnesverarbeitung - *Vom Reiz zum „Bild im Kopf“* .....142

Das neuronale Netz - *Wie Informationen verknüpft werden* .....144

Das Auge - *Ein optisches Hilfsmittel des Gehirns*.....148

Sehen - *Man sieht nur mit dem Großhirn gut*.....152

Hören - *Mit kleinen Härchen Töne fassen*.....156

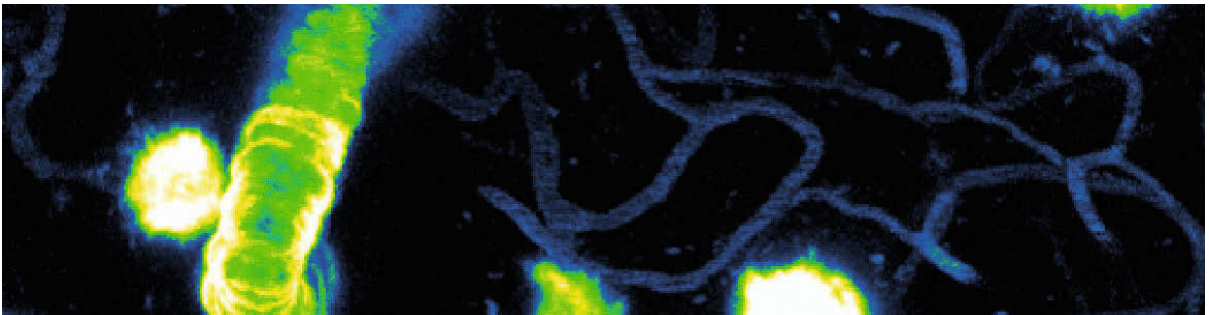
Der Gleichgewichtssinn - *Der zweite Sinn unseres Ohres*.....160

Tast- und Temperatursinn - *Um die Welt zu begreifen* .....164

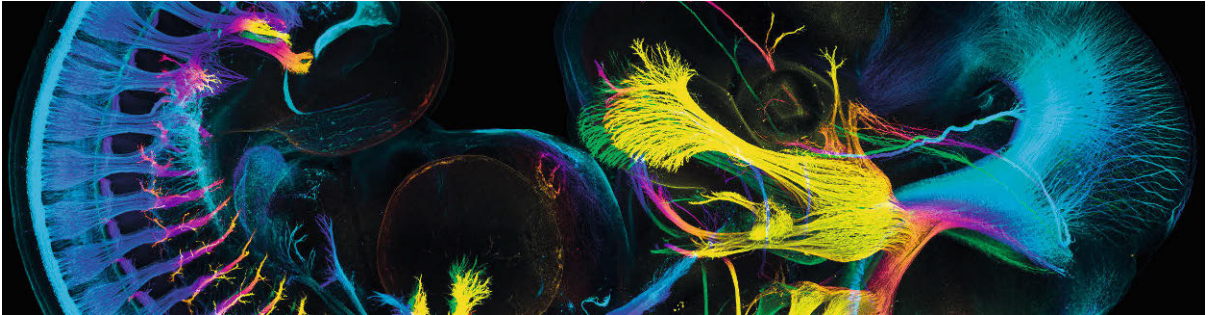
Schmecken - *Was lecker ist, bestimmt das Hirn* .....168

Riechen - *Mehr Düfte als Wörter* .....172

Schmerz - <i>Das überlebenswichtige Alarmsignal</i> .....	176
Bewegung - <i>Schritt für Schritt – und immer dabeibleiben</i> .....	180
Muskelsteuerung - <i>Action, please!</i> .....	184
Sprechen - <i>Wörter finden und verstehen</i> .....	188
Kontrolle der Homöostase - <i>Wie alles im Gleichgewicht bleibt</i> .....	190
Stress - <i>Zwei Wege, um mit Druck klarzukommen</i> .....	194
Emotionen - <i>Oder: Der Gefühlsbaukasten des Gehirns</i> .....	196
Motivation und Belohnung - <i>Der Antrieb unseres Handelns</i> .....	200
Schlaf - <i>Ohne Pause auch beim Schlafen: das Gehirn</i> .....	204
Gedächtnis - <i>Informationen speichern – und wieder vergessen</i> .....	206
Lernen und Plastizität - <i>Warum das Gehirn niemals fertig ist</i> .....	210
Fast Mapping - <i>Wenn es "Klick" macht</i> .....	212
Grammatisches Denken - <i>Die Zusammenhänge erfassen</i> .....	214
Intelligenz - <i>Das Geheimnis schnellen Denkens</i> .....	216
Kreativität - <i>Wie wir auf unmögliche Ideen kommen</i> .....	218
Synästhesie - <i>Farben hören, Töne schmecken</i> .....	220



Kapitel 5: Krank im Kopf.....	222
Alzheimer - <i>Der Schrecken des Vergessens</i> .....	224
Parkinson - <i>Wenn Bewegung aus dem Takt gerät</i> .....	228
Multiple Sklerose - <i>Warum die Isolierung der Nervenfasern so wichtig ist</i> .....	230
Chorea Huntington - <i>Wenn ein Gendefekt das Hirn zerstört</i> .....	232
Prionenerkrankungen - <i>Klumpen in den Nervenzellen</i> .....	234
Epilepsie - <i>Wenn Nervenzellen unkontrolliert aktiv werden</i> .....	236
Hirntumore - <i>Über das Ziel hinaus gewachsen</i> .....	238
Schlaganfall - <i>Wenn das Blut stockt</i> .....	240
Schädel-Hirn-Trauma - <i>Ausgeknockt</i> .....	242
Infektionen des Gehirns - <i>Angriff auf das Nervengewebe</i> .....	244
Rückenmarksverletzungen - <i>Gehirn ohne Verbindung</i> .....	246
Amyotrophe Lateralsklerose - <i>Paralysiert</i> .....	248
Amnesie - <i>Was ist nochmal genau passiert?</i> .....	250
Schizophrenie - <i>Wenn die Persönlichkeit aus dem Gleichgewicht gerät</i> .....	252
Depression - <i>Gehirn ohne emotionale Empfindung</i> .....	254
Tourette-Syndrom - <i>Wenn das Gehirn autistic(k)t</i> .....	258
Suchtverhalten - <i>Die übersteigerte Suche nach dem Glück</i> .....	260
Alkohol - <i>Kleines Molekül, große Wirkung</i> .....	262
Neurotoxine - <i>Vergiftete Nervenzellen</i> .....	264



Kapitel 6: Methoden der Hirnforschung.....	266
Anfänge der Hirnforschung - <i>Von kleinen Zellen und großen Karten</i> .....	268
Magnetresonanztomographie - <i>Das große Ganze zeigen</i> .....	270
Funktionelle MRT - <i>Dem Gehirn beim Denken zuschauen</i> .....	272
Diffusionsgewichtete MRT - <i>Faserwege sichtbar machen</i> .....	274
Computertomographie - <i>Das Gehirn durchleuchten</i> .....	278
Positronenemissionstomographie - <i>Den Stoffwechsel im Gehirn beleuchten</i> .....	280
Elektroencephalographie - <i>Dem Rhythmus der Neurone lauschen</i> .....	282
Übersichtsfärbungen - <i>Der Blick fürs große Ganze</i> .....	284
Immunhistochemie - <i>Nervengewebe zum Leuchten bringen</i> .....	286
Tracing-Methoden - <i>Den Fasern nachspüren</i> .....	290
Reporterewebe - <i>Ein Farbkasten für Nervenzellen</i> .....	292
Neuronale Zellkultur - <i>Den Nervenzellen ein künstliches Zuhause bieten</i> .....	296
Immuncytochemie - <i>Die Proteine in den Zellen aufspüren</i> .....	298
Patch Clamp - <i>Das Öffnen von Kanälen messen</i> .....	300
Genomveränderungen - <i>Copy &amp; paste des Erbguts</i> .....	304

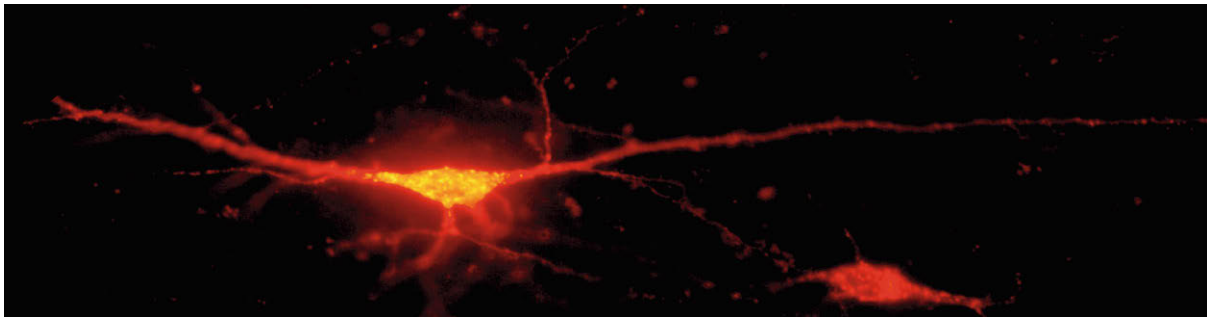
Optogenetics - *Nervenzellen an- und ausknipsen* .....306

Lichtmikroskopie - *Der erste Blick aufs Neuron* .....308

Fluoreszenzmikroskopie - *Bringt Farbe ins Leben* .....312

Elektronenmikroskopie - *Jenseits des Lichts* .....316

Connectomics - *Wer mit wem?* .....320



Kapitel 7: Grenzen des Wissens.....322

Bewusstsein - *Was ist das Ich?* .....324

Subjektivität - *Was macht meine persönliche Perspektive aus?* .....326

Besonderheit - *Was macht das menschliche Gehirn so außergewöhnlich?* .....328

Ideen - *Was sind Gedanken?*.....330

Freiheit - *Haben wir einen freien Willen?*.....332

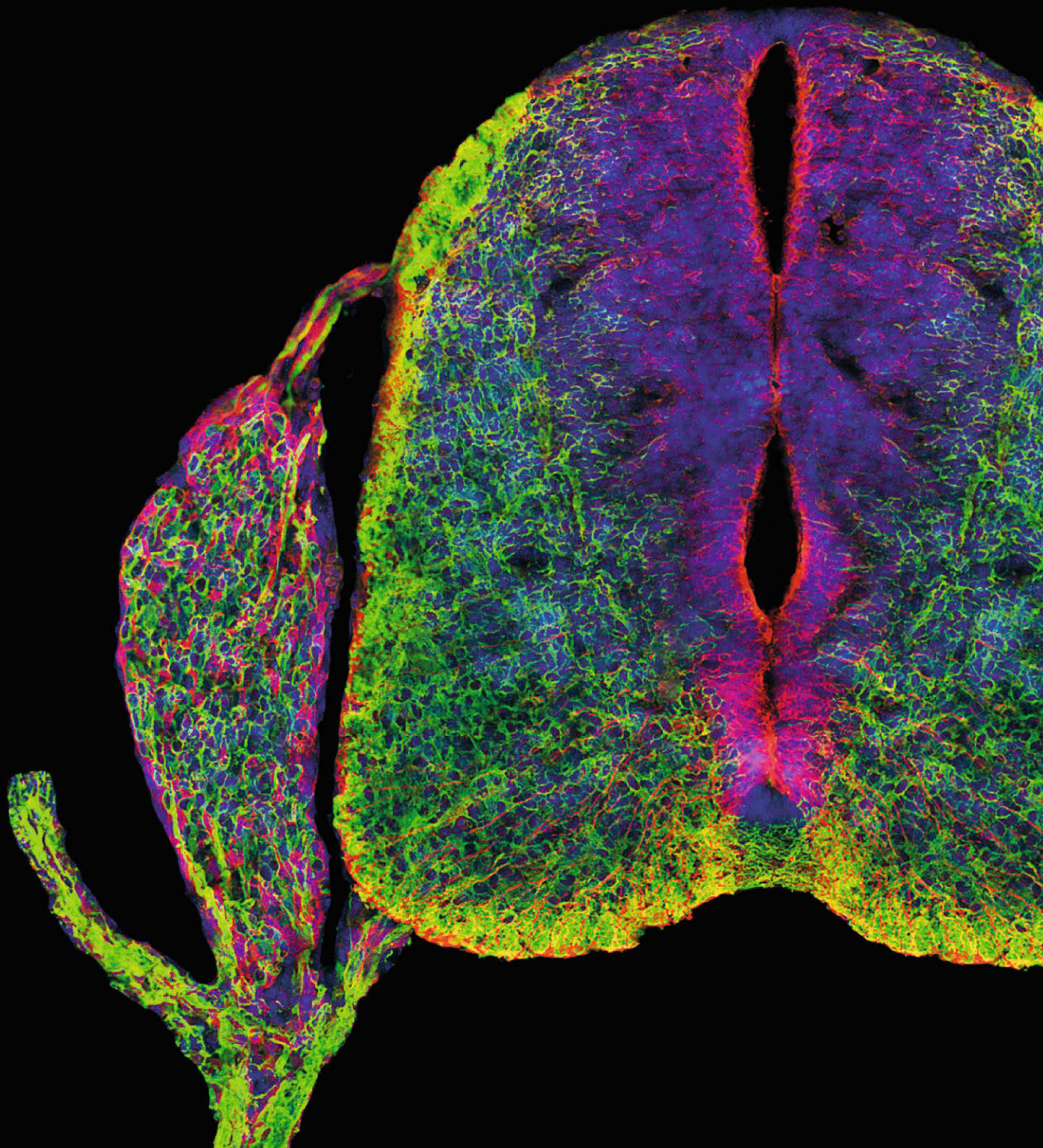
Künstliche Intelligenz - *Ist menschliches Denken ein Auslaufmodell?* .....334

Zukunft - *Was sind die zukünftigen Herausforderungen der Hirnforschung?* .....336

Bildnachweis.....338

Index.....340





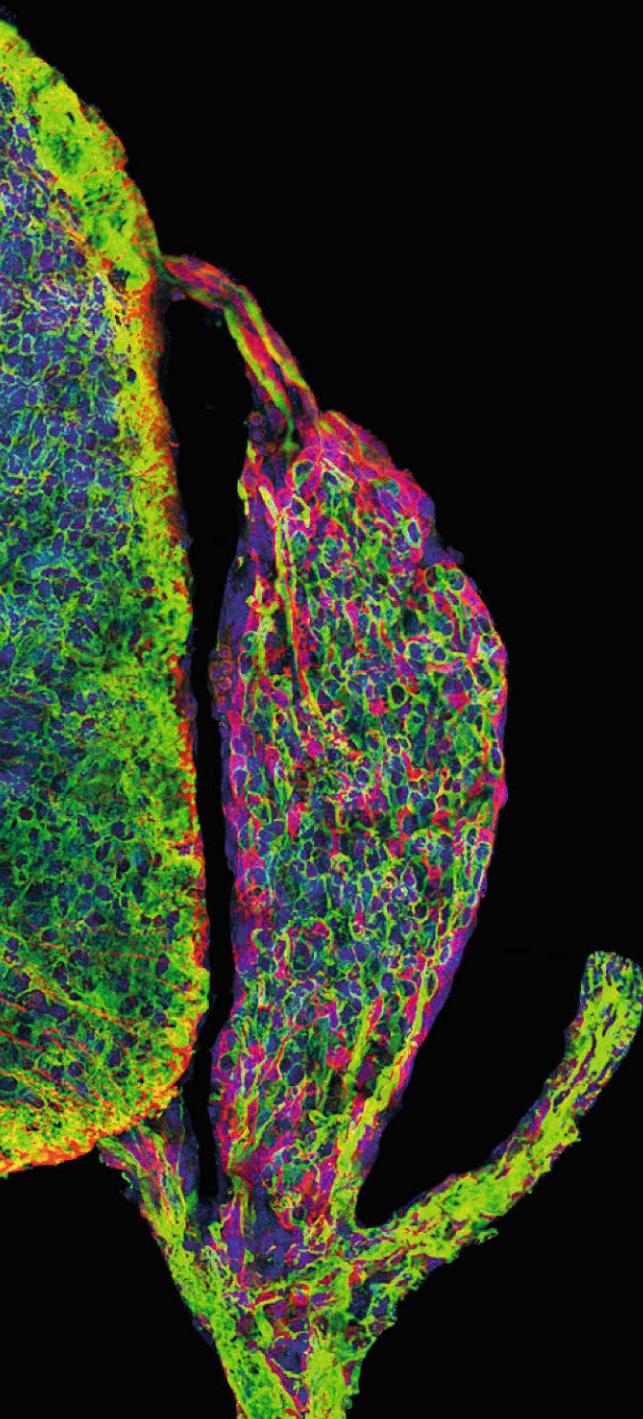
# 1 Das Nervensystem

Das Nervensystem ist sicherlich das komplexeste und unübersichtlichste biologische System des menschlichen Körpers. Milliarden von Nervenzellen, hunderttausende Kilometer Nervenfasern in kompliziertester Verknüpfung, eingebettet in einer kaum zu durchschauenden Architektur.

Die Besonderheit des Nervensystems liegt also bereits in seinen Ausmaßen begründet: Genauso wie das Blutgefäß- und das Lymphsystem durchzieht das Nervensystem den gesamten menschlichen Körper. Die daran beteiligten Nervenzellen formen dabei ein ganzheitliches Netzwerk, ohne Lücken oder Unterbrechungen. Je nach Ort im Organismus erfüllt das Nervensystem dann ganz unterschiedliche Aufgaben. So zählen die Freisetzung von Hormonen, die Kontrolle des Herzschlags, der Körpertemperatur oder der Muskelbewegungen genauso dazu wie die Empfindung von Schmerz oder die Ausbildung von Gefühlen.

Unterschiedliche Funktionen schlagen sich bei biologischen Systemen in aller Regel in einer unterschiedlichen Struktur nieder – das ist beim Nervensystem nicht anders. In der Abbildung links sieht man dabei den wichtigen Übergang zwischen zentralem und peripherem Nervensystem. Der Teil in der Mitte (der ein bisschen wie eine Zwiebackscheibe aussieht) ist ein querschnittenes Rückenmark. Nervenfasern des Gehirns durchqueren diesen Bereich auf dem Weg zu ihren Zielorganen. Umgekehrt treten Sinnesfasern aus dem Organismus in das Rückenmark ein. Die zwei seitlichen Verdickungen sind sogenannte Ganglien, die eine Umschaltstelle von zentralen und peripheren Nerven darstellen. In Grün sind die Nervenzellen gezeigt, in Rot die stützenden Helferzellen, die eine Gerüststruktur ausbilden. Zellkerne sind in blau gefärbt.

In diesem Kapitel zeigen wir, wie das Nervensystem grundsätzlich aufgebaut ist. In den folgenden Kapiteln steigen wir dann tiefer in die Anatomie hinab.



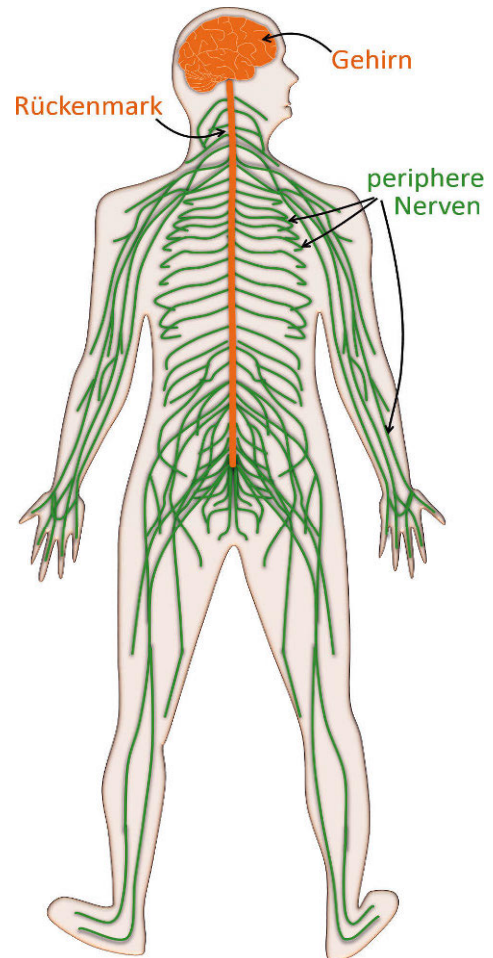
# Gliederung des Nervensystems

## Ordnung ins Netzwerk bringen

Eine Möglichkeit, das Nervensystem einzuteilen, ergibt sich aus der Anatomie. Schon strukturell lassen sich zwei Bereiche unterscheiden: das zentrale Nervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS).

Das ZNS umfasst Gehirn (↓) und Rückenmark (↓). Dabei sollte man diese beiden Teile nicht separat voneinander betrachten, sondern als ein gemeinsames System. Denn über den Hirnstamm (↓) erfolgt die Verbindung zwischen Großhirn und Rückenmark. Da im ZNS die wichtigen Denk- und Handlungsprozesse koordiniert werden, wird es gut geschützt: Schädel und Wirbelsäule schirmen das ZNS nach außen ab. Hirn- und Rückenmarkshäute umhüllen das Nervengewebe, das zusätzlich von einer Flüssigkeit, dem Liquor (↓), umgeben ist. So schwimmt unser ZNS permanent in einem Flüssigkeitskissen und ist auf diese Weise gut gegen Erschütterungen gepolstert.

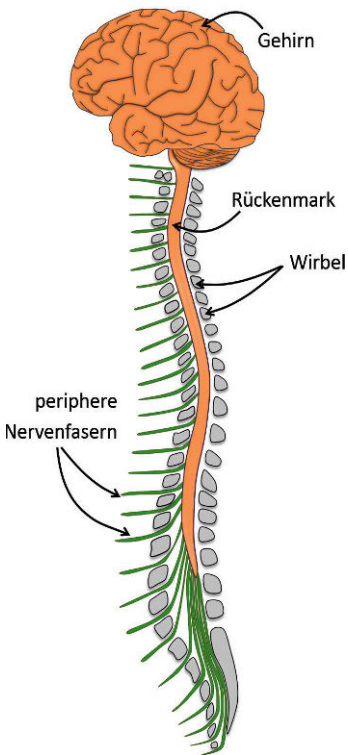
Das PNS wagt sich hingegen an die vorderste Front: Seine Nervenfasern dringen in jeden Bereich des Körpers vor. So nimmt das PNS einerseits Sinnesinformationen auf und leitet diese über sensorische Fasern ins ZNS. Umgekehrt werden Bewegungsimpulse vom ZNS über motorische Fasern des PNS zu den Zielorganen, beispielsweise zu unseren Muskeln, geleitet. Konsequenterweise unterscheidet man bei Nervenfasern deswegen zwischen *afferenten Bahnen* (die Informationen zum ZNS leiten) und *efferenten Bahnen* (die Informationen in die Peripherie zurückspielen).



Das Nervensystem gliedert sich in einen zentralen Teil (orange) und einen peripheren Bereich (grün). Der wichtige Übergang zwischen diesen beiden Regionen erfolgt dabei am Rückenmark.

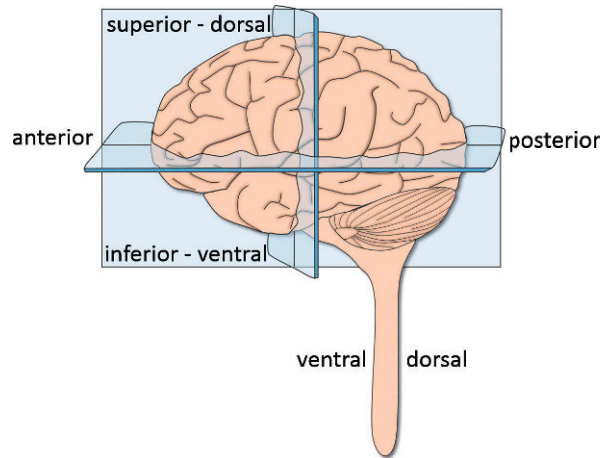
Gehirn → S. 10  
 Rückenmark → S. 20  
 Hirnstamm → S. 62  
 Liquor → S. 68

Der Übergang von ZNS zu PNS liegt im Rückenmark. Hier verlassen die Nervenfasern des ZNS als periphere Nerven (↓) das Rückenmark. Obwohl diese Unterscheidung in ZNS und PNS sehr starr anmutet, handelt es sich doch immer um ein ganzheitliches Nervensystem. ZNS und PNS sind vielleicht strukturell getrennt, doch tragen sie immer gemeinsam zum Funktionieren des Systems bei.



Schon hier merkt man, wie leicht man im Nervensystem den Überblick verlieren kann. Um sich besser zurechtzufinden, haben Anatomen Richtungsangaben im Nervensystem definiert. Das hilft, wenn man Detailaufnahmen richtig einordnen will. Das Nervensystem von Wirbeltieren hat dabei drei Achsen: *dorsal-ventral*, *anterior-posterior* und *medial-lateral*. Klingt kompliziert, ist es aber eigentlich gar

nicht. Die Begriffe sind schnell erklärt: Dorsal (auch *superior* genannt) bedeutet kopfober- oder rückensteitig, während die ventrale (oder *inferiore*) Seite gegenüber in Richtung des Brustkorbs oder der Kopfunterseite liegt. Anterior ist die Nasenseite, posterior die Seite des Hinterkopfes. Medial bezeichnet die Richtung zur Mittellinie des Körpers, lateral hingegen weg von der Mittellinie des Körpers. Na gut, vielleicht doch nicht unmittelbar einsichtig – aber keine Sorge: Wir setzen kein Latein bei unseren Lesern voraus und ordnen alle Bilder in diesem Buch anschaulich ein. An dieser Stelle entschuldigen wir uns auch für die rhetorische Leistung der ersten Anatomen, die das Gehirn in einem lateinisch-griechischen Sprachgewirr klassifizierten. Wer konnte vor hundert Jahren schon ahnen, dass Latein heutzutage eher selten gesprochen wird?



Das zentrale Nervensystem umfasst Gehirn und Rückenmark. In vielerlei Hinsicht kann man dabei das Rückenmark als „Erweiterung des Gehirns“ betrachten, die als zentrale Datenleitung den Körper mit Nervenfasern versorgt.

Um sich im Nervensystem zurechtzufinden, verwenden Anatomen genau definierte Richtungsbezeichnungen.



# Somatisches und vegetatives Nervensystem

## Wie das Bewusste das Unbewusste steuert

Neben einer anatomischen Gliederung des Nervensystems bietet sich manchmal auch eine funktionelle Unterteilung an. Denn nicht alle Bereiche des Nervensystems übernehmen die gleichen Aufgaben oder Funktionen. Die meisten von ihnen haben sich nämlich auf bestimmte Körperprozesse spezialisiert.

Nahezu alles, was wir bewusst erleben oder steuern können, wird vom *somatischen* (dem körperlichen) Nervensystem kontrolliert. Es steuert die Skelettmuskeln an, sodass wir uns willentlich bewegen. Und wenn wir auf eine heiße Herdplatte fassen, bekommen wir die Hitze und den folgenden Schmerz sehr schnell mit, denn bewusste Empfindungen werden ebenfalls vom somatischen Nervensystem vermittelt.

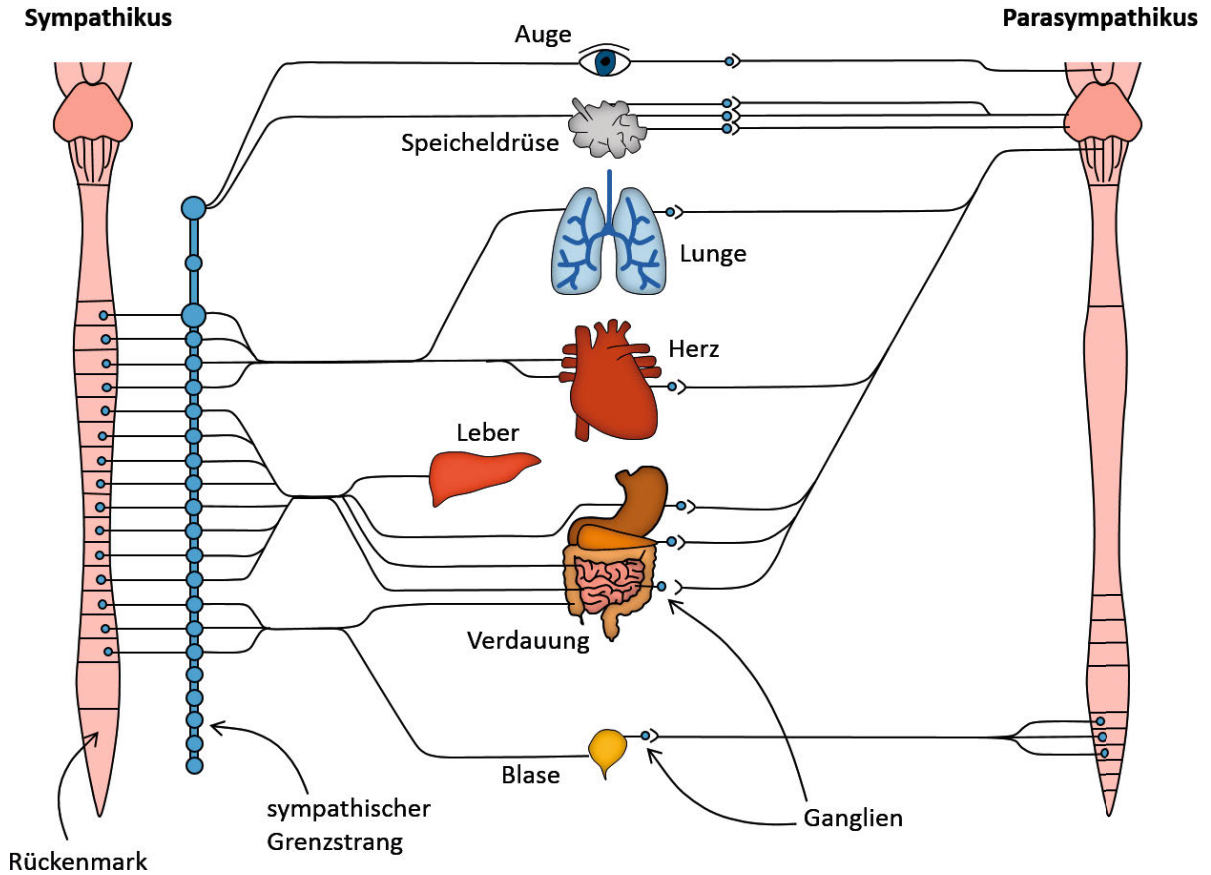
Darüber hinaus gibt es jedoch auch das *vegetative* (oder autonome) Nervensystem, von dem wir seltener etwas mitbekommen. Das vegetative Nervensystem dient der unwillkürlichen und unbewussten Steuerung des Körpers – also Dinge, die wir nicht mit purem Willen verändern können. So kontrolliert es beispielsweise den Blutdruck, Verdauungsvorgänge oder Hormonfreisetzungen. Auch Informationen über den Zustand der inneren Organe werden vom vegetativen Nervensystem vermittelt. Auf diese Weise reguliert das vegetative Nervensystem das innere Körpermilieu (die Homöostase ↓) und passt Organfunktionen an wechselnde Bedingungen an.

Ein solches vegetatives Nervensystem hat viel zu steuern, und damit es den Überblick behält, hat es sich

seine Arbeit aufgeteilt. Zwei „Unterabteilungen“ des vegetativen Nervensystems übernehmen die Steuerung des Organsystems: der *Sympathikus* und der *Parasympathikus*. Sympathikus und Parasympathikus sind in vielerlei Hinsicht Gegenspieler. Während der Sympathikus überwiegend aktivierend und energiemobilisierend wirkt, arbeitet der Parasympathikus im wahrsten Sinne des Wortes dagegen und reduziert unsere Körperaktivität oder sorgt für energiesparendes Verhalten. Vereinfacht gesagt: Der Sympathikus treibt uns an, der Parasympathikus lässt uns ruhen.

An konkreten Beispielen wird das deutlich. Beispiel Herz: Während der Sympathikus für erhöhte Schlagfrequenz und Pumpleistung sorgt, reduziert der Parasympathikus die Schlagfrequenz. In der Lunge erweitert der Sympathikus die Bronchien (damit man unter Stress besser Luft bekommt), der Parasympathikus verengt diese. Dies ist auch der Grund dafür, weshalb Asthmatiker beim Schlafen, wenn der Parasympathikus verstärkt aktiv ist, oft schlechter Luft bekommen als tagsüber.

Sympathikus und Parasympathikus unterscheiden sich dabei auch in ihrem Aufbau. Alle Nervenfasern des Sympathikus werden sofort, nachdem sie aus dem Rückenmark ausgetreten sind, neu verschaltet: im „sympathischen Grenzstrang“. Im Falle des Parasympathikus erfolgt die Umschaltung der Nervenfasern direkt am Zielorgan in den sogenannten *Ganglien*, kleinen Nervenzellgrüppchen.



Sympathikus und Parasympathikus regulieren die Aktivität der inneren Organe. Dabei wirkt der Sympathikus aktivitätssteigernd und energiemobilisierend. Der Parasympathikus reduziert die körperliche Aktivität und wirkt energiespeichernd. Während sympathische Nervenfasern direkt nach Austritt aus dem Rückenmark neu verschaltet werden, erfolgt eine Neuverschaltung der parasympathischen Nervenfasern erst an kleinen Nervenknäuten, den Ganglien, direkt am Zielorgan. Auch wenn Sympathikus und Parasympathikus scheinbar komplett gegensätzlich zu arbeiten scheinen, wird ihre Aktivität immer fein justiert. Unter Stressbedingungen wird der Parasympathikus genauso angesteuert wie der Sympathikus, so befinden sich deren Aktivitäten immer im Gleichgewicht.



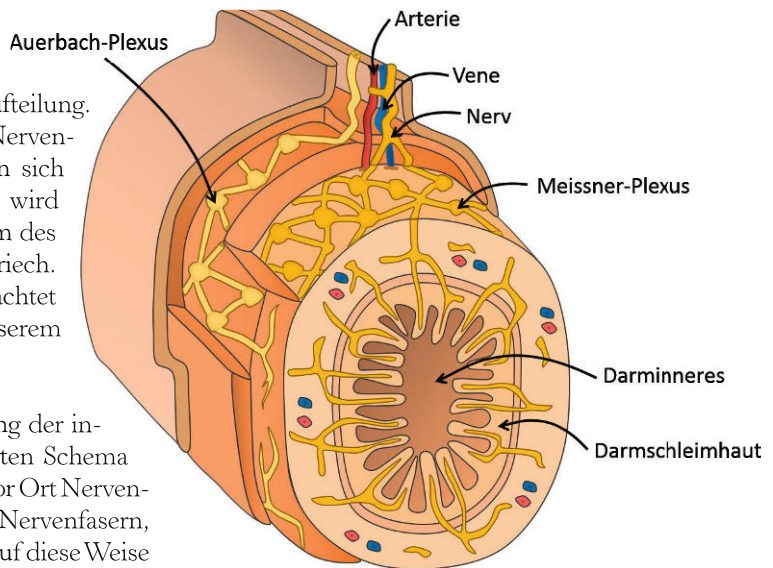
# Enterisches Nervensystem

## Das Gehirn in unserem Bauch

Zentrales und peripheres Nervensystem, somatische und vegetative Funktionen – das klingt nach einer klaren Aufteilung. Doch so strukturiert man sich das Nervensystem auch einteilt, so sehr überlagern sich doch dessen Anteile im Körper. Dies wird besonders deutlich für das Nervensystem des Darms, das *enterische Nervensystem* (griech. *enteron* = Darm), das weitgehend unbeachtet und unterschätzt seinen Dienst in unserem Bauchraum verrichtet.

Üblicherweise läuft die Nervenversorgung der inneren Organe nach einem standardisierten Schema ab: Das periphere Nervensystem bildet vor Ort Nervenzellgruppchen, die Ganglien, aus. Die Nervenfasern, die aus den Ganglien austreten, formen auf diese Weise ein dichtes Nervengeflecht (den *Plexus*), das das Zielorgan umhüllt. Dieser Plexus ist quasi das „Steuersystem“ für ein bestimmtes Organ. Indem Sympathikus und Parasympathikus die Aktivität eines solchen Plexus verändern, können sie die Organfunktionen steuern.

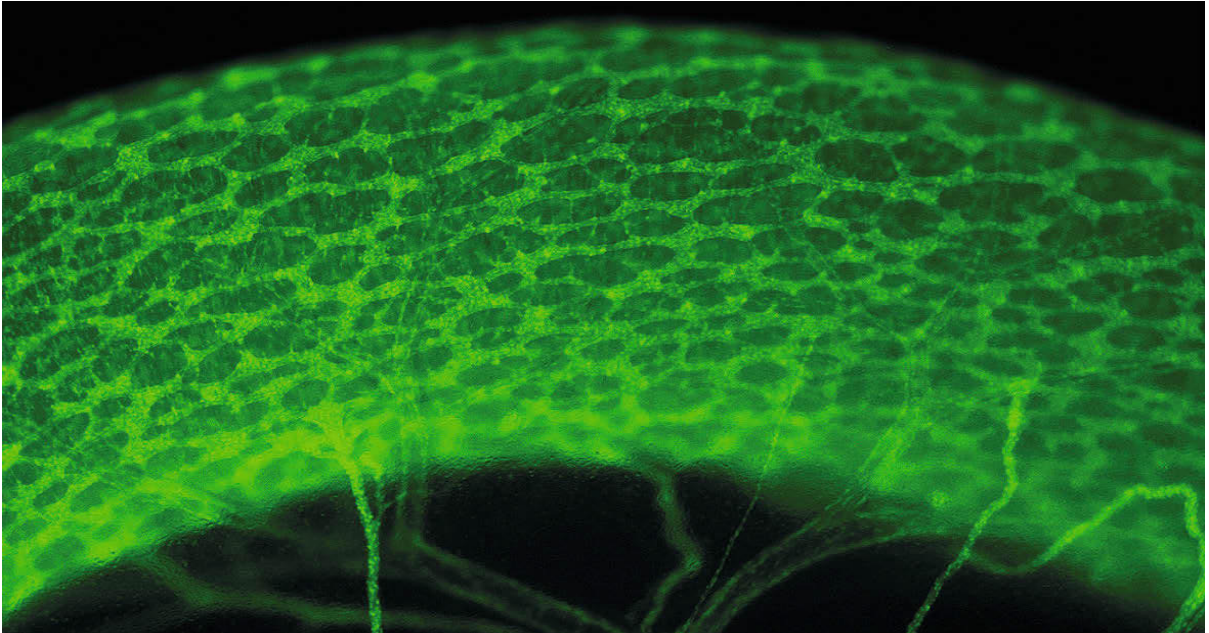
Im Falle des Darms ist dieses „Vor-Ort-Nervensystem“ jedoch anders gebaut. Das Nervengeflecht unserer Verdauungsorgane liegt eng am Magen- und Darmgewebe an und ist außerordentlich komplex. Die Zahl der beteiligten Nervenzellen liegt bei etwa 100 Millionen, das entspricht in etwa der Nervenzellanzahl im Rückenmark. Das enterische Nervensystem kann wie jedes andere Nervengeflecht der inneren Organe ebenfalls von Sympathikus und Parasympathikus angesteuert



Das enterische Nervensystem bildet zwei Hauptnervengeflechte aus, mit denen es unsere Verdauungsorgane umhüllt: den Auerbach- und den Meissner-Plexus. Über diese Nervenverbindungen kontrolliert es die Aktivität des Darms und sendet auch Informationen über den Zustand unserer Verdauungsorgane direkt ins Gehirn. So kann uns bewusst werden, was gerade in unserem Bauch vor sich geht.

werden. Doch darüber hinaus übt es auch völlig eigenständige Funktionen aus und entzieht sich der Steuerung durch das periphere Nervensystem. Aus diesem Grund wird das enterische Nervensystem oft auch als „drittes Nervensystem“ des Körpers (neben zentralem und peripherem Nervensystem) bezeichnet.

Tatsächlich umfassen die Funktionen des enterischen



Nervenfasern bilden ein enges Geflecht, den Plexus, mit dem sie die Eingeweide umgeben. So steuern sie die Bewegungen des Darms oder regulieren die Ausschüttung von Botenstoffen und Hormonen. Umgekehrt können auch Signale vom enterischen Nervensystem ins zentrale Nervensystem geleitet werden. Auf diese Weise wirkt unser Bauch auch auf unser Gehirn ein. Hier sind die Nervenfasern in Grün gezeigt, wie sie sich um einen Darmabschnitt eines Huhns winden.

Nervensystems alle Arten der Steuerung unserer Verdauungsorgane: Mit seinem sensiblen Teil erkennt es den Zustand des Magen-Darm-Traktes, es bemerkt Bauchschmerzen, Darmbewegungen, Völlegefühl und macht uns diese bewusst. Denn das enterische Nervensystem ist über das Rückenmark direkt mit dem Gehirn verbunden und vermittelt uns auf diese Weise das Gefühl unseres inneren Zustandes.

Aktiv koordiniert das enterische Nervensystem den reibungslosen Ablauf unserer Verdauung, insbesondere die Steuerung der Darmbewegungen (die *Peristaltik*) und die Ausschüttung von Verdauungssäften (zum

Beispiel aus der Bauchspeicheldrüse oder der Gallenblase). Außerdem steuert es die Durchblutung des Magen-Darm-Traktes und beeinflusst die Aktivität von Immunzellen im Darmgewebe.

Natürlich arbeitet das enterische Nervensystem dabei mit Sympathikus und Parasympathikus zusammen. So kann das vegetative Nervensystem die Aktivität unseres Darms mitsteuern. Doch im Gegensatz zu anderen Nervengeflechten unserer Organe ist das enterische Nervensystem kein „Ausführungsorgan“ von Sympathikus und Parasympathikus. Es ist in vielen Bereichen selbstständig, ein kleines „Gehirn im Darm“.

Abb. oben: Dr Alan Burns, UCL Institute of Child Health, London, UK

Abb. nächste Seite: Naomi Tjaden und Paul Trainor, Stowers Institute for Medical Research







Das enterische Nervensystem wird aufgrund seiner Komplexität oft als „Gehirn im Bauch“ bezeichnet. Hier ist die Entwicklung dieses Nervensystems in der Maus gezeigt. Ganz links erkennt man, wie die Speiseröhre in den Magen (die bohnenförmige Verdickung) übergeht. Im Anschluss daran beginnt der Darm, der verschlungen im rechten Bereich des Bildes liegt. In Grün und Gelb sind sich entwickelnde Nervenzellen gezeigt, die an ihren Bestimmungsort in Magen- und Darmwand wandern.



# Das Gehirn

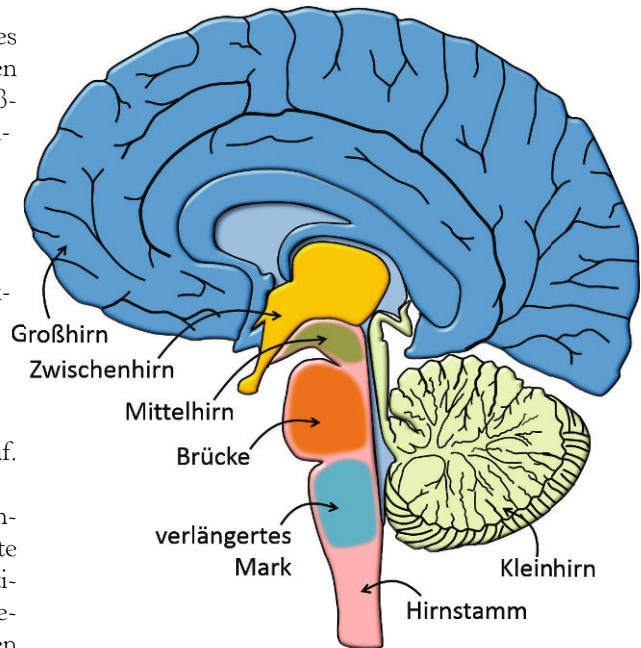
## Die Steuerzentrale

Bevor wir in diesem Buch tief in die Anatomie des Gehirns hinabsteigen, bietet es sich an, erstmal einen Überblick zu geben (siehe Abbildung rechts). Schließlich ist das Gehirn der bedeutendste Teil des Nervensystems – und deswegen auch besonders komplex und unübersichtlich.

Man kann das Gehirn nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen: strukturell, funktionell oder entwicklungsgeschichtlich. In aller Regel geht man jedoch anatomisch vor und grenzt die Hirngebiete anhand ihrer Struktur voneinander ab. Wie wir noch sehen werden, gehen einige Hirnregionen dabei funktionell ineinander über und teilen sich ihre Arbeit auf.

Fangen wir beim Übergang des Gehirns ins Rückenmark an. Wo das Gehirn endet, beginnt das verlängerte Mark (lat. *Medulla oblongata*), und hier liegen wichtige Faserstränge, die nochmals gebündelt werden, bevor sie ins Rückenmark eintreten. Allerdings befinden sich hier auch etwa 100 verdichtete Nervenkerne, die ein kleines Netz, die *Formatio reticularis*, bilden. Diese Struktur ist an der Regulation von Schlaf (↓) und Aufmerksamkeit sowie von verschiedenen Atmungs- und Kreislaufreflexen beteiligt.

Kopfseitig zum verlängerten Mark liegt die Brücke (lat. *Pons*). In diesem wulstigen Bereich liegen ebenfalls viele Nervenfasern und Nervenzellansammlungen, die in diesem Fall jedoch das Großhirn mit dem Kleinhirn verbinden. Die Brücke macht somit ihrem Namen alle Ehre und „überbrückt“ diese beiden Hirnregionen.



Das Gehirn lässt sich anatomisch in verschiedene Strukturen unterteilen, die auch unterschiedliche Aufgaben übernehmen.

Ein Stückchen weiter in Richtung Großhirn liegt das Mittelhirn (griech. *Mesencephalon*). So wichtig der Name klingt, es handelt sich hierbei lediglich um eine Umschaltstelle für akustische und optische Signale. Allerdings liegt hier auch ein interessanter Hirnbereich, der sich vom restlichen Gewebe durch seine Farbe unterscheidet: Er ist schwarz (die *Substantia nigra*). Seine Nervenzellen spielen eine wichtige Rolle bei der Bewegungssteuerung.

Verlängertes Mark, Brücke und Mittelhirn werden dabei oft zum sogenannten Hirnstamm (↓) zusammengefasst.

Nackenseitig des Hirnstammes liegt das Kleinhirn (↓) (lat. *Cerebellum*), das weit mehr kann, als sein abschätziger Name vermuten lässt. Es ist extrem gefaltet und gefurcht und unentbehrlich für die Kontrolle von Bewegungen. Über zahlreiche Verbindungen ist es sowohl an das Großhirn als auch an das Rückenmark gekoppelt und gleicht permanent die Bewegungsimpulse mit der Lage unserer Gliedmaßen ab.

Zwischen Mittelhirn und Großhirn wiederum liegt das Zwischenhirn (griech. *Diencephalon*). Seine wichtigsten Regionen sind der *Thalamus* und der *Hypothalamus*. Während der Thalamus darüber wacht, welche Sinnesinformationen bewusst verarbeitet werden, steuert der Hypothalamus zahlreiche unbewusste Körperfunktionen (zum Beispiel Blutdruck und Temperatur) und reguliert den Hormonhaushalt.

Über allem thront das Großhirn (griech. *Telencephalon*). Durch eine tiefe Furche ist es in zwei Hälften, die *Hemisphären* (griech. *hemisphairion* = Halbkugel) getrennt, die durch ein dickes Nervenfaserbündel, den Balken, verbunden sind. Die Rinde des Großhirns ist stark gefurcht und besteht aus Nervenzellkörpern, die ihre Fasern ins Innere leiten.

Das Gehirn ist in ein Flüssigkeitspolster eingebettet: den *Liquor* (↓) (die Hirnflüssigkeit). Diese Hirnflüssigkeit umgibt das gesamte Gehirn nicht nur, sondern dringt über ein Gängesystem, die vier Hirnventrikel, sogar bis ins Innere des Gehirns ein.



Die Hirnforschung untersucht nicht nur menschliche Gehirne. In diesem quer geschnittenen Mausgehirn sind alle Nervenzellkerne lila gefärbt. Wer genau hinschaut, erkennt im oberen Bereich zwei dunkelblaue schleifenförmige Windungen aus dicht gepackten Zellkernen: der Hippocampus (↓), der besonders wichtig für Lernprozesse ist.

Kleinhirn → S. 58

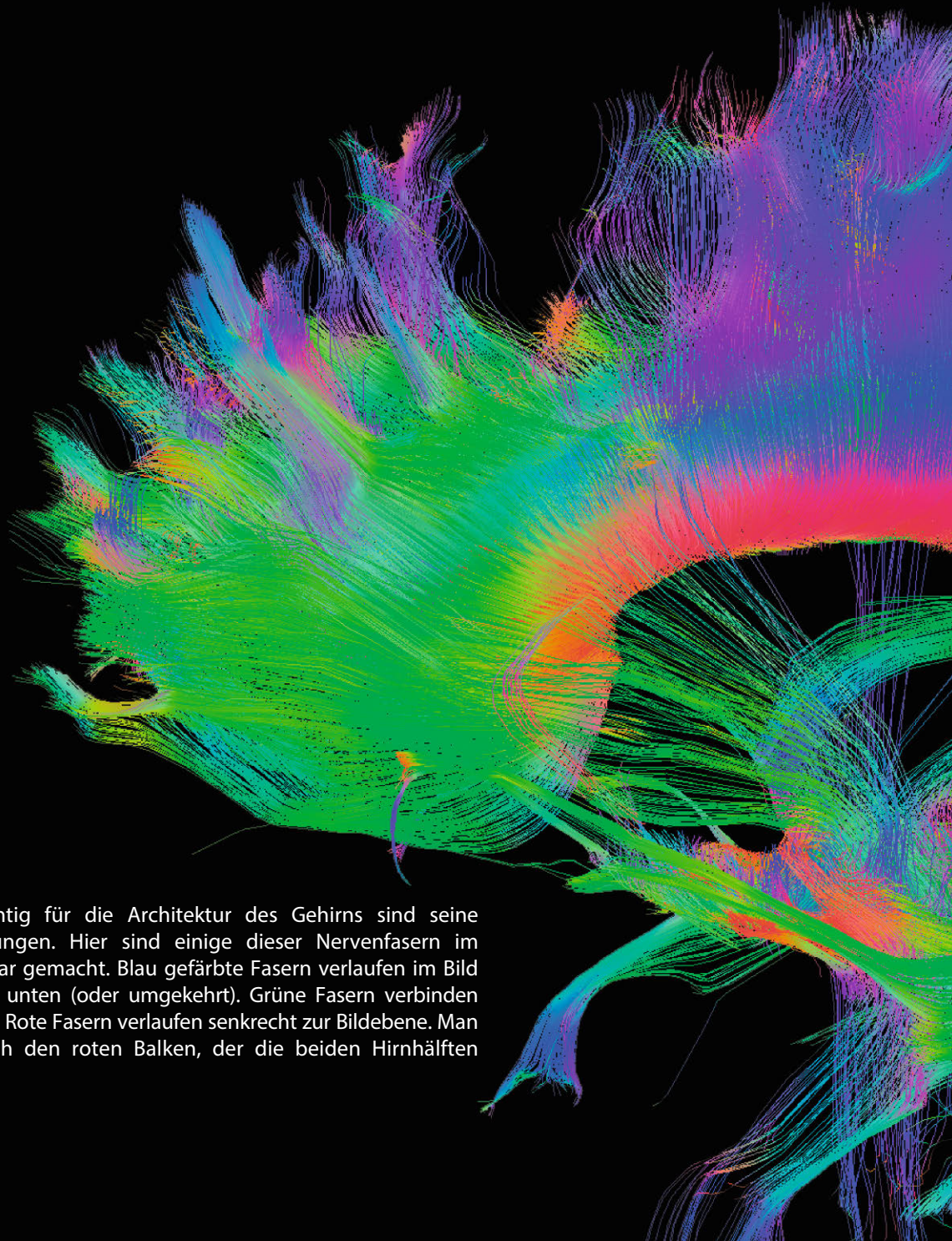
Hippocampus → S. 44

Liquor → S. 68

Abb unten rechts: Christopher Meyer zu Reckendorf und Bernd Knöll, Institut für Physiologische Chemie, Universität Ulm

Abb. nächste Seite: Jan Klein, Fraunhofer MEVIS – Institute for Medical Image Computing





Besonders wichtig für die Architektur des Gehirns sind seine Nervenverbindungen. Hier sind einige dieser Nervenfasern im Großhirn sichtbar gemacht. Blau gefärbte Fasern verlaufen im Bild von oben nach unten (oder umgekehrt). Grüne Fasern verbinden rechts und links. Rote Fasern verlaufen senkrecht zur Bildebene. Man erkennt deutlich den roten Balken, der die beiden Hirnhälften verbindet.

