

**DROEMER** 

*Über die Autoren:*

*Ulrich Dirnagl* (1960) ist einer der führenden Neurowissenschaftler Deutschlands, internationaler Schlaganfall-Experte und Professor an der Charité Berlin. Er leitet dort die Abteilung für Experimentelle Neurologie und das Centrum für Schlaganfallforschung. Im November 2016 wurde ihm der Berliner Wissenschaftspreis für seine hervorragenden Leistungen in der Schlaganfallforschung verliehen.

*Jochen Müller* (1976) ist Neurobiologe und mehrfacher Science-Slam-Gewinner. Er promovierte nach dem Biologie-Studium in medizinischen Nervenwissenschaften. Heute schreibt er als Wissenschaftsjournalist u. a. für *dasGehirn.info* und *ZEIT Wissen*.

Ulrich Dirnagl  
Jochen Müller

---

# ICH GLAUB, MICH TRIFFT DER SCHLAG

---

Warum das Gehirn tut, was es tun soll,  
oder manchmal auch nicht

DROEMER 

Besuchen Sie uns im Internet:  
[www.droemer.de](http://www.droemer.de)



Vollständige Taschenbuchausgabe September 2018  
Droemer Taschenbuch  
© 2016 Droemer Verlag  
Ein Imprint der Verlagsgruppe  
Droemer Knaur GmbH & Co. KG, München  
Alle Rechte vorbehalten. Das Werk darf – auch teilweise –  
nur mit Genehmigung des Verlags wiedergegeben werden.  
Covergestaltung: semper smile Werbeagentur  
Coverabbildung: Gehirn-Illustration © Shutterstock/Macrovector,  
Office-Illustration © Oliver Wünsch  
Illustration Innenteil: © Oliver Wünsch  
Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck  
ISBN 978-3-426-30110-4

2 4 5 3 1

# INHALT

Einleitung	7
<b>Kopfschmerz und Migräne</b>	<b>15</b>
Was will mein Gehirn mir damit sagen?	16
Der Körper – eine Firma	19
257 Gründe für Kopfschmerz	23
Migräne, die Mutter aller Kopfschmerzen	31
Therapie und Forschung	45
<i>Zusammenfassung</i>	57
<b>Schlaganfall</b>	<b>59</b>
Ich glaub, mich trifft der Schlag!	60
Rückschlüsse auf die Funktion des Gehirns	65
Ursachen und Auswirkungen von Gefäßverschlüssen	71
Die Behandlung eines Schlaganfalls	86
Und die Forschung geht weiter!	91
<i>Zusammenfassung</i>	95
<b>Epilepsie</b>	<b>99</b>
Die Krankheit der vielen Namen	100
DIE Epilepsie gibt es nicht	104
Die drei Epilepsiearten	125
Behandlung, Prävention, Forschung	137
<i>Zusammenfassung</i>	150
<b>Multiple Sklerose</b>	<b>153</b>
Die Krankheit, die nicht leicht zu entdecken ist	154
Eine Autoimmunerkrankung	170
Könnte MS auch eine Infektionskrankheit sein?	180
Diagnose: schwierig	190
Behandlung und Forschung	194
<i>Zusammenfassung</i>	204

<b>Parkinson</b>	<b>207</b>
Es ist ein Kernproblem	208
Werden die Symptome durch hohes Alter ausgelöst?	214
Historie: Warum Schüttellähmung heute Parkinson heißt	217
Wo und wie Bewegung entsteht	219
Behandlung und Forschung	243
<i>Zusammenfassung</i>	253
<b>Demenz und Alzheimer</b>	<b>257</b>
Von Fliegen und Menschen	258
Die Definition: historisch und heute	262
Demenz ist keine Krankheit	266
Rückschlüsse zur Funktionsweise des Gehirns	270
Ursachen für den Niedergang von Nervenzellen	287
Therapie(n) und Prävention	306
<i>Zusammenfassung</i>	316
Dank	321
Anmerkungen	323
Literaturempfehlungen	325
Glossar	327

# EINLEITUNG

Wer sich für die Funktionsweise des Gehirns interessiert, dem fallen zwei Dinge auf. Erstens: Es gibt eine schier unendliche Menge an Büchern, die das Gehirn behandeln. Das ist gut, denn das Gehirn ist sehr komplex. Zweitens fällt jedoch auf, dass sie auf bestimmte Fragen keine Antworten liefern. Fachbücher tun es zum Teil, kaum ein Leser versteht sie jedoch, es sei denn, er weiß bereits mindestens so viel wie der Autor.

Wir, die Autoren dieses Buches, beschäftigen uns seit langer Zeit forschend und lehrend mit dem Gehirn, genauer gesagt mit seinen Krankheiten. Dabei stellen wir uns Fragen, die sich auch jeder Leser stellt: Warum brummt der Schädel? Wieso mahnen Ärzte, wenn es um den Schlaganfall geht, immer so ausdrücklich zur Eile? Was ist eigentlich Multiple Sklerose und warum wird sie nur so schwer diagnostiziert? Warum zittern Parkinsonpatienten und auch manche Epileptiker? Warum kann man Alzheimer noch immer nicht heilen? Und, ganz allgemein, warum werden in regelmäßigen Abständen Forschungserfolge verkündet, von denen man dann nie wieder etwas hört?

Um diese und andere Fragen soll es in unserem Buch gehen. Dabei wollen wir Antworten geben, für deren Verständnis man kein Vorwissen braucht. Abgesehen von den genannten Fragen behandelt dieses Buch die sechs bekanntesten Krankheiten des Gehirns: Kopfschmerz, Schlaganfall, Epilepsie, Multiple Sklerose, Parkinson und Alzheimer. Es erklärt aber auch das gesunde Gehirn und seine Funktionsweise. Diese kann man gerade dadurch verstehen, indem man sich anschaut, wie das Gehirn *fehlfunktioniert*.

Wir laden Sie, liebe Leserin und lieber Leser, auf eine Reise quer durch die Neurologie und Neurobiologie ein. Fragen Sie sich mit uns, was das Gehirn ist und was es eigentlich den

ganzen Tag macht, warum manchmal Fehler in den Abläufen passieren und was daraus folgt. Wir werden versuchen, darauf die richtigen, die befriedigenden Antworten zu finden, und glauben, dass es dabei zu Überraschungen in Form von unerwarteten Antworten kommen kann. Manchmal auch zu neuen Fragen, doch auch die haben Aussagekraft!

Beginnen wir mit der vielleicht grundsätzlichen Frage der Neurowissenschaften: *Wofür braucht man eigentlich ein Gehirn?*

Das ist keine Scherzfrage. Jeder weiß, dass die Funktionsweise des Gehirns sehr komplex und zum Teil noch unerforscht ist. Bei all der Komplexität merkt der gesunde Mensch im Alltag nicht einmal, dass er eins hat. Es juckt und rumort nicht, ihm wird nicht zu kalt oder zu warm, man kann sich nicht daran stoßen, es zwickt und zwackt nicht. Quasi unbemerkt verbraucht es aber eine Menge Energie, genauer gesagt etwa ein Viertel des täglich verstoffwechselten Zuckers. Das tut es auch, wenn wir uns keinen Millimeter bewegen. Liegen wir den ganzen Tag im Bett und lösen schwere Denkaufgaben, fühlen wir uns abends genauso erschöpft, als hätten wir einen Garten umgegraben. Denken kostet Kraft, und nicht gerade wenig.

Die Fähigkeit zu denken macht uns zu Menschen. Aus Sicht der Evolution jedoch sind komplexe Gedanken unerheblich. Der Evolution geht es nicht um die Weltformel oder um existenzphilosophische Weisheiten, sondern nur darum, dass Gene in die jeweils nächste Generation weitervererbt werden. Und das geht definitiv auch ohne Gehirn. So gesehen erscheint das Gehirn wie Luxus, und Luxus wird von der Evolution meist rigoros aussortiert. Die Evolution hat aber zur Entwicklung des menschlichen Gehirns geführt, also muss es für etwas gut sein. Nur wofür?

Nun könnte man durch allerlei Untersuchungen und Experimente versuchen, eine Antwort auf diese Frage zu finden. Doch das ist nicht immer nötig, denn manchmal kommt man

auf die richtige Antwort, indem man genau beobachtet und korrekt schlussfolgert. Man kann beispielsweise mit der viel einfacheren Frage beginnen: *Hat alles, was lebt, ein Gehirn?* Die Antwort ist eindeutig: Nein. Pflanzen leben, haben aber kein Gehirn. Auch Bäume haben nicht einmal ein einfaches Nervensystem. Nur Tiere haben Gehirne, aber – stopp! – nicht alle Tiere. Einen Schwamm zum Beispiel könnte man für eine Pflanze halten, weil er am Meeresgrund festgewachsen ist. Doch der Schwamm ist ein Tier ohne Gehirn. *Ist also die Fähigkeit zur Bewegung der Schlüssel?*

Um diese Aussage zu überprüfen, muss man ein Tier beobachten, das beides kann: mobil und sesshaft sein. Die Seescheide ist ein solches Tier, sie lebt als Larve frei schwimmend in den Weltmeeren, und am Ende ihrer Entwicklung zum erwachsenen Tier sucht sie sich eine Stelle am Meeresgrund aus, die sie nicht mehr verlässt. Dies ist der Zeitpunkt, an dem die Seescheide ihr Gehirn verliert. Genauer gesagt isst sie es auf. Die Seescheide, die ihr einfaches Gehirn zusammen mit der Fähigkeit, sich zielgerichtet fortzubewegen, aufgibt, stärkt also unser Argument, dass Gehirn und Bewegung untrennbar miteinander verbunden sind.

Eine Pflanze, ein Schwamm oder eine Seescheide sitzen an einer günstigen Stelle, um an Licht oder an Schwebstoffe im Wasser zu kommen. Sie müssen sich daher nicht bewegen und brauchen somit auch keine schnellen und detaillierten Informationen über ihre Umwelt. Alles, was diese Lebewesen interessiert, geschieht so langsam, dass sie kein Gehirn brauchen, um darauf zu reagieren.

Sich bewegende Tiere haben eine alternative Strategie entwickelt, um Nahrung zu suchen oder anderen Tieren auszuweichen, von denen sie für Nahrung gehalten werden könnten, und um Fortpflanzungspartner zu finden. Bei den Tieren geht es hektischer zu als bei den Pflanzen. Sie bewegen sich schnell und zielgerichtet. Und dafür brauchen sie ein Gehirn.

Bewegung bedeutet, auf Informationen angewiesen zu sein.

Ist da etwas vor mir, das ich fressen könnte? Oder muss ich mich etwa schützen? Schwimmt, läuft oder fliegt da ein attraktiver Partner? Ist dort ein Abgrund, in den ich fallen könnte? Die Augen alleine helfen hier nicht weiter. Mit ihnen kann man Beute, Jäger oder Partner zwar sehen, aber nicht auf sie reagieren. Das Gehirn hingegen empfängt Informationen aus der und über die Umwelt, verarbeitet sie in Bruchteilen von Sekunden und leitet Handlungsanweisungen ab.

Vor vielen hundert Millionen Jahren haben sich komplizierte, intelligente Systeme entwickelt, bei denen eine Art Computer für die Signalverarbeitung und zielgerichtete Bewegung sorgt. Klingt nach viel Aufwand, dient aber alles der Weitergabe der eigenen Gene. Bakterien, Pilze und Pflanzen können das auch, aber eben ohne ein Nervensystem oder ein Gehirn, und in der Regel läuft dadurch alles ein bisschen einfacher und entschleunigter ab.

Für Bewegung braucht es aber nicht nur ein Gehirn, sondern auch Sinnesorgane, Muskeln und noch mehr. Ein Organismus wird dann nicht nur recht kompliziert, er verbraucht dabei auch jede Menge Energie. Und dafür wiederum braucht es weitere Organe, zur Aufnahme und Verdauung von Nahrung und Sauerstoff sowie zur Ausscheidung dessen, was vom Stoffwechsel übrig bleibt.

Und damit wären wir beim nächsten Problem. Ein solch komplexer Organismus, in dem viele Organe dafür arbeiten, das Gehirn und den Bewegungsapparat zu ernähren, muss auch wissen, was in ihm selbst vorgeht. Zu der Frage: *Wie sieht es da draußen aus?* gesellt sich die Frage: *Wie sieht es in mir aus?*

Woher soll ich wissen, dass ich mich bewegen muss, wenn mein Magen mir nicht sagt, dass es an der Zeit ist, sich nach einer Mahlzeit umzusehen? Auch das mit der Fortpflanzung klappt nur beim erfolgreichen Zusammenspiel einer Reihe von Organen. Auch das will koordiniert sein. Und daraus ergibt sich eine weitere Funktion von Gehirn und Nerven-

system: die Reizaufnahme aus dem Körperinneren, die Verarbeitung dieser Information und damit die Steuerung der inneren Organe. Die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtszustandes dieses komplexen, dynamischen Systems wird als Homöostase bezeichnet.

Nun haben wir also eine Vorstellung davon, WAS das Gehirn macht. Aber WIE macht es das?

Um eine Antwort darauf zu finden, reicht es nicht, ein Tier mit Gehirn mit einem Tier ohne Gehirn zu vergleichen. Dazu müsste man ein voll funktionierendes Gehirn mit einem zum Teil funktionierenden Gehirn vergleichen. Wenn infolge des Ausfalls einer Gehirnregion eine Körperfunktion ausfällt, könnte man daraus schlussfolgern, dass die betroffene Gehirnregion für diese Körperfunktion zuständig ist. Aber Vorsicht, denn hierbei kann man in einige Fallen tappen. Der britische Hirnforscher Richard Gregory hat es so ausgedrückt: »Wenn man aus einem Radiogerät irgendeinen von mehreren Widerständen ausbaut, kann dies dazu führen, dass es merkwürdige Geräusche von sich gibt, aber daraus kann man nicht schließen, die Aufgabe der Widerstände sei es, das Pfeifen zu unterdrücken.«<sup>1</sup>

Man muss also schon einige Vorkenntnisse haben, um »reverse engineering« betreiben zu können, also umgekehrte Ingenieurskunst, das heißt, jemand baut ein Gerät auseinander und entfernt Bauteile wie etwa elektrische Widerstände, um zu verstehen, wie das Gerät funktioniert. Das geschieht meist mit dem Zweck, das Gerät nachzubauen, was wir an dieser Stelle nicht versuchen wollen. Aber verstehen wollen wir auf jeden Fall. Und darum soll es in diesem Buch gehen: *Wie macht das Gehirn das, was es macht?*

Da man vieles erst versteht, wenn etwas nicht mehr richtig funktioniert, haben wir uns entschieden, das, was das Gehirn eigentlich macht, dadurch zu verdeutlichen, indem wir uns genau ansehen, was passiert, wenn das Gehirn einzelne Dinge NICHT mehr machen kann. Aus nachvollziehbaren Gründen

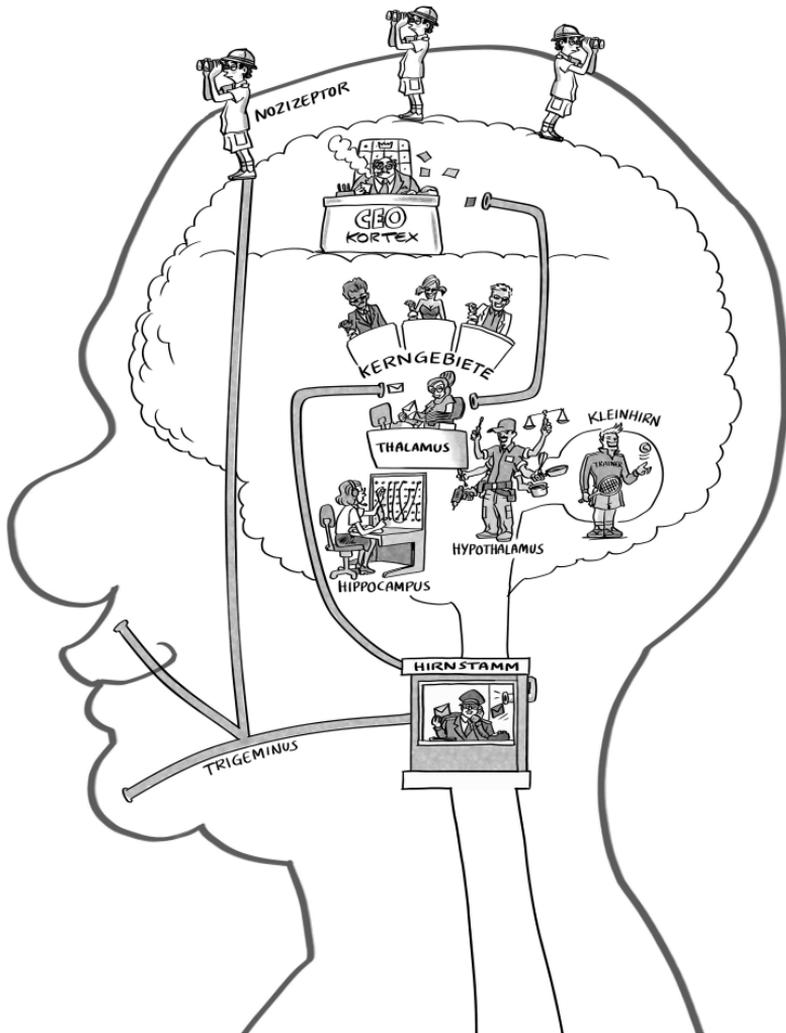
ist es schlecht möglich, einem Menschen nacheinander verschiedene Teile seines Gehirns zu entfernen oder einzelne Zellen lahmzulegen, um dann munter Forschungsergebnisse zu generieren. Deshalb haben wir uns für einen anderen Ansatz entschieden: Wir betrachten neurologische Erkrankungen, um daraus über die Funktionsweise des Gehirns zu lernen. Denn wenn infolge einer solchen Krankheit eine Gehirnregion in ihrer Funktion ausfällt, entstehen dadurch ebenfalls Verluste von Körperfunktionen, aus denen wir Rückschlüsse ziehen können.

Wir werden uns also in den nächsten Kapiteln damit befassen, was wir derzeit über einige der wichtigsten Gehirnerkrankungen wissen. Dabei wird so manches zur Sprache kommen, das uns vielleicht schon als eigenes Leiden oder als Leiden von Freunden und Familienangehörigen beschäftigt hat. Wir schreiben jedoch keinen Ratgeber für Patienten, wir sind Forscher und beschäftigen uns mit dem Gehirn als Forschungsobjekt. Nehmen wir also das Organ, das uns in seiner Form zum Menschen macht, gemeinsam unter die Lupe!

Noch ein allgemeiner Hinweis: Wir haben uns in diesem Buch um eine klare Sprache bemüht. Dennoch werden einige Fachbegriffe auftauchen. Das lässt sich leider nicht ganz vermeiden, denn es existieren nicht mal für alle Begriffe deutsche Übersetzungen. Daher haben wir die relevanten und oft auftauchenden Fachbegriffe am Ende des Buches in einem Glossar erklärt, zu dessen Nutzung wir die Leser einladen, denen diese Begriffe nicht geläufig sind.

### **Anatomische Darstellung des Gehirns als große Firma**

Mehrere Gebiete und ihre Verbindungen (grau) bilden gemeinsam den Schmerzpfad. Dazu gehören: Nozizeptoren (Späher), Nervenzellen, die auf Schadensreize reagieren. Sie sind über den Trigeminusnerv mit dem Hirnstamm (Pförtner) verbunden. Der Thalamus (Vorzimmerdame) liegt relativ mittig im Gehirn. Der Kortex (CEO) ist Sitz höherer Geistesfunktionen und des Bewusstseins. Abseits des Schmerzpfad liegt der Hypothalamus (Hausmeister), er regelt die Homöostase und vegetative Aspekte wie Hunger und Durst.



Weitere wichtige Gehirngebiete, die in den folgenden Kapiteln auftauchen werden, sind:

Der Hippocampus (Vermittlung) ist Relaisstation zwischen Kurz- und Langzeitgedächtnis. Die Kerngebiete (Jury) sind mehrere Bereiche unterhalb der Großhirnrinde, die für die Steuerung und Koordination von Bewegung unerlässlich sind. Das Kleinhirn (Trainer) gleicht fortlaufend die geplante mit der tatsächlichen Bewegung ab und greift ein, falls eines vom anderen abweicht.



# KOPFSCHMERZ UND MIGRÄNE

## Steckbrief Kopfschmerz

**Klassifizierung:** Die Internationale Kopfschmerzgesellschaft listet 257 Formen von Kopfschmerzen auf, die in primäre und sekundäre Formen unterteilt werden.

**Häufigste sekundäre Kopfschmerzform:** der Spannungskopfschmerz mit etwa 25 Millionen Betroffenen in Deutschland<sup>1</sup>

## Steckbrief Migräne

**Klassifizierung:** primärer Kopfschmerz

**Altgriechische Bezeichnung:** hemicrania (halber Schädel)

**Erste schriftliche Überlieferung:** Etwa 200 n. Chr. beschrieb der römische Arzt Galen mit *hemicrania* einen Kopfschmerz, den wir aus heutiger Sicht als durch Migräne verursacht ansehen.

**Weltweit betroffen:** etwa 10 Prozent der Menschen

**Ursache:** Übersensibilität des Nervensystems gegenüber äußeren und inneren Reizen

**Berühmte Betroffene:** Vincent van Gogh, Charles Darwin, Thomas Jefferson, Albert Einstein, Elvis Presley

## Was will mein Gehirn mir damit sagen?

Es gibt kaum jemanden, der noch nie Kopfweg hatte. Tritt der Kopfschmerz anhaltend auf, ist ein Besuch beim Neurologen angeraten. Aber warum tut der Kopf weh? Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir uns zunächst ansehen, was Schmerzen eigentlich sind.

Eine Krankheit kann als eine Störung in einem System betrachtet werden. Im »System Gehirn« existiert eine eingebaute Störungs-Meldefunktion: der Schmerz. Wenn also der Schädel brummt, will das Gehirn damit etwas sagen.

Der Kopfschmerz verrät, dass Sinnesempfindungen untrennbar mit der Aktivität von Nervenzellen verknüpft sind. Wer jedoch unter Kopfschmerz leidet, könnte meinen, die Störungsmeldung stört nur, das braucht kein Mensch. Doch das Gegenteil ist der Fall, denn ohne Schmerzen ginge es uns allen ganz schön schlecht. Drohende Schmerzen halten uns beispielsweise davon ab, Dummheiten zu machen, wie etwa die Hand auf die heiße Herdplatte zu legen, um unseren Freunden zu zeigen, wie lustig das riecht. Wir tun das nicht, weil wir gelernt haben, dass es höllisch weh tut!

Schmerzen sind nichts anderes als ein Warnsignal des Körpers vor drohendem Gewebeschaden. Andere Körpersignale wie Hunger oder Müdigkeit kann überhören, wer abgelenkt ist, keine Lust zu reagieren hat oder meint, es besser zu wissen. Schmerzen kann man nicht so leicht überhören. Daher kann sich jedes Körpersignal zu einem Schmerz steigern oder wandeln. Damit er nicht überhört werden kann, hat die Evolution, nach dem Motto »Wer nicht hören will, muss fühlen«, die Sinnesempfindung Schmerz stets mit einer (negativen) Emotion verbunden, weshalb auch von der »Dualität des Schmerzes« gesprochen wird. Durch die Abnahme des Wohlbefindens wird aus einer Sinnesempfindung etwas Unmissverständliches und aus einem Signal eine Warnung. Nur

bringt die Störungsmeldung nichts, wenn man in der Zentrale, wo die Meldung eingeht, nicht weiß, wo sie herkommt. Also kommt zur Meldung über die Störung eine Ortsangabe dazu. Denn es macht keinen Sinn, den Fuß vom Boden zu heben, wenn man sich die Finger verbrennt.

*Bedeutet dann Schmerz mit der Ortsangabe »Kopf«, dass etwas auf das Gehirn drückt? Oder anders ausgedrückt:*

### **Kann das Gehirn weh tun?**

Ja und nein. Bei manchen Gehirnoperationen müssen die Patienten wach bleiben, spüren aber nicht, wenn der Operateur INS Gehirn schneidet. Das eigentliche Gehirngewebe ist nicht schmerzempfindlich. Andererseits kann man zeigen, dass jeder Schmerz mit dem Gehirn und damit im Gehirn gespürt wird. Wenn ich mir den Finger verbrenne, entsteht das Schmerzsignal zwar im Finger – wahrgenommen wird es aber im Gehirn! Die Ortsangabe »Finger«, die gemeinsam mit dem Schmerzsignal ins Gehirn geschickt und da wahrgenommen wird, ist der Grund, weshalb ich den Finger von der Herdplatte nehme und nicht den Kopf einziehe.

Insofern stimmt es, dass das *Gehirn* nicht schmerzen kann. Es gibt aber Strukturen am und im *Kopf*, die sehr wohl Schmerzen produzieren können, deren drohende Schädigung wir also als Kopfschmerz wahrnehmen. Dazu gehören die Kopfhaut auf dem Schädelknochen genauso wie die Hirnhaut darunter, die großen Blutgefäße sowie einige ihrer Ausläufer, aber auch die Spitze des Trigemminusnervs, der diese Strukturen versorgt. Es sind aber nicht nur die Verletzungen dieser Strukturen, die für Kopfschmerzen verantwortlich sind. Müdigkeit, Überanstrengung, Störungen der Homöostase, Entzündungen selbst außerhalb des Gehirns, muskuläre Verspannungen und vieles mehr können Schmerzen auslösen, die wir IM Kopf spüren.

Das Gehirn muss demnach an der Steuerung oder Regelung all dieser Prozesse beteiligt sein. Das klingt vielleicht etwas

banal, ist es aber nicht. Hinzu kommt, dass es für den Betroffenen nicht immer möglich ist, selbst zu eruieren, wo genau der Schmerz im Kopf herkommt. Das ist auch weniger wichtig, als dass der Schmerz schnell abgestellt werden kann. Doch die Erkenntnis, an welchen Prozessen das Gehirn wie beteiligt ist, ist die Grundvoraussetzung dafür, diese Prozesse ursächlich zu behandeln, sollten sie Schaden nehmen. Ansonsten wird man nur die Symptome, also die Schmerzen behandeln, nicht die Ursache. Wir werden noch sehen, dass das auf lange Sicht nicht gut ist.

Allerdings beweist, dass man im Gehirn operieren kann, ohne dass es weh tut, was das Gehirn nicht ist: Es ist kein Sensor. Das Gehirn sieht nicht, hört nicht, es fühlt, riecht und schmeckt nicht. Die Sensoren sind an Stellen ausgelagert, wo sie am meisten Sinn machen. Das Gehirn ist hinter dickem Knochen gut geschützt, es schwimmt in einer Flüssigkeit, dem Nervenwasser. Aber alle Informationen aller Körperbereiche gelangen ins Gehirn, es ist der Ort, an dem alle Reize verarbeitet werden, weshalb das Gehirn dann doch irgendwie sieht, hört, fühlt, riecht, schmeckt. Und weh tut.

## Der Körper – eine Firma

**M**an kann sich den Körper als eine große Firma vorstellen. Die Körperzellen sind die Menschen, die in den verschiedenen Abteilungen arbeiten. Sie sind die unermüdbaren Angestellten, die den Betrieb »ich« am Laufen halten. Das Gehirn bildet die Verwaltung, und Nervenzellen sind die Verwaltungsangestellten. Ihre Aufgabe es ist, Informationen sowohl über die Außenbedingungen als auch über die Betriebsabläufe zu empfangen und sie an die richtigen Stellen weiterzuleiten. Durch ihre Arbeit kann sich der Betrieb mit all seinen Abläufen an veränderte Außenbedingungen anpassen oder sie in manchen Fällen gar selbst verändern. Für Informationen über den Betrieb laufen die Angestellten nicht durch die Produktionshallen. Und für Infos über die Außenwelt gehen sie nicht ans Fenster und schauen raus. Außeninformationen zu sammeln ist die Aufgabe anderer Angestellter. Für jede Art von Information gibt es spezielle Angestellte, die diese Information am Ort des Geschehens empfangen und weiter an die Verwaltung schicken. Visuelle Informationen erhält die Verwaltung beispielsweise von Angestellten in der Abteilung »Auge«, chemische Informationen liefern Angestellte aus den Abteilungen »Nase« und »Mund«. Erstere heißen »Photorezeptoren«, Letztere »Chemorezeptoren«.

### Was sind Rezeptoren?

Das Wort »Rezeptor« kommt aus dem Lateinischen und heißt »Empfänger«. Es gibt am und im Körper Rezeptoren für alles, was für uns wichtig sein könnte. Es gibt Rezeptoren auf einzelnen Zellen, eine ganze Zelle kann aber ebenso gut ein Rezeptor sein. Eine Zelle in der Netzhaut des Auges empfängt Licht, sie ist ein sogenannter Photorezeptor, ein »Lichtempfänger«. Auf Zellen in Zunge und Nasenschleimhaut

sitzen »Chemorezeptoren«, Empfänger für chemische Signale wie Duftstoffe.

Durch die Rezeptoren erhält das Gehirn Informationen über die Außenwelt in Gestalt von elektrischen Nervenimpulsen. Erreichen die Impulse die Verwaltung, nehmen wir diese Informationen als Bild, Geruch beziehungsweise Geschmack wahr. Auch für den Zustand im Betriebsinneren gibt es Angestellte, die melden, was los ist. Die Abteilung »Magen« meldet, wann es Zeit für Energienachschub ist, die Abteilung »Darm« meldet, wenn die Reste der letzten Portion Energie entsorgt werden können oder dringend müssen. Auch das machen Chemorezeptoren. Und, wenn es ganz dringend wird, auch Mechanorezeptoren. Diese Empfänger für mechanische Reize melden zum Beispiel, wenn Magen oder Darm sich nach zu viel Essen dehnen. Bei ersterem Signal wäre die Handlungsanweisung »Hinlegen und bloß nichts mehr essen«, beim zweiten »Aufstehen und ganz schnell auf die Toilette gehen«.

Es gibt also spezialisierte Rezeptoren, die, je nach Spezialisierung, nur an bestimmten Stellen am und im Körper sitzen. Es leuchtet wohl ein, dass Photorezeptoren im Darm wenig Sinn machen, wo die Sonne eher selten scheint.

Alle Abteilungen der Firma liefern pausenlos Informationen an die Verwaltung, also das Gehirn. Das ist der Zustand, in dem wir alle uns tagtäglich befinden. Selbst wenn wir schlafen, ist das so. Wäre es nicht so, wir würden nie mehr aufwachen. Denn auch der Schlaf wird überwacht, und es erfolgt ein Signal, wenn er ausreicht. Daraus generiert das Gehirn die Handlungsanweisung: »Aufwachen!«

### **Was sind Nozizeptoren?**

Zusätzlich zu all diesen Angestellten gibt es noch einen weiteren Angestellten-Typ. Einen, der in *fast allen* Abteilungen vertreten ist. Ich sage *fast*, denn dieser Angestellte, auch ein

Rezeptor, fehlt *im* Gehirn. Dieser sogenannte Nozizeptor hat die Aufgabe, Schäden zu melden (von *noxe*, lateinisch für Schaden). Seine Botschaften nehmen wir als Schmerzen wahr. Die Nozizeptoren werden dann aktiv, wenn irgendetwas droht, den reibungslosen Ablauf des Betriebs zu behindern. Das können äußere Ereignisse wie Unfälle sein. Oder ein Krankheitserreger, ein Bakterium, das in den Körper eingedrungen ist und randaliert. Ebenso kann es ein Fehler im Ablauf sein oder streikende oder durch Überlastung ausfallende Arbeiter. Die Schadensmeldungen durchlaufen die Hierarchie des Betriebs und landen schlussendlich in der obersten Etage des Rechenzentrums, dem Kortex, der gefalteten Großhirnrinde, die dem Gehirn die Ähnlichkeit mit einer großen Walnuss verleiht. Wenn das Signal da ankommt, dann landet es sozusagen auf dem Schreibtisch des Vorstands. Nur dass der Kortex ein sehr großer Vorstand ist, mit Milliarden Mitgliedern. Hier laufen alle Fäden zusammen. Im Kortex wird entschieden, was mit den Informationen, die er empfängt, zu tun ist, er wertet, verknüpft und fällt Entscheidungen, die er in Form von Handlungsanweisungen zurück in den Betrieb schickt.

Warum ist also das Gehirn nicht schmerzempfindlich? Warum gibt es keinen Nozizeptor, der etwa den Kortex überwacht? Weil der Nozizeptor doch wieder nur an den Kortex meldet! Das wäre, wie wenn meine Wohnung brennt, ich die Feuerwehr rufe und mein eigenes Telefon klingelt! Das macht einfach keinen Sinn! Wenn aber irgendetwas ein Loch in die Außenwand reißt, die Flure einstürzen, das Kabelnetzwerk durchschmort oder der Strom ausfällt, dann beeinträchtigt das die Arbeit der ganzen Verwaltung und behindert sie. Dann macht es Sinn, dass der Vorstand Signale empfängt, die ausdrücken, dass und wo etwas schief läuft, damit er Alarm schlagen und Abwehrmaßnahmen einleiten kann.

In den vorliegenden Beispielen empfängt der Kortex über den Ort »Kopf« diverse Schadensmeldungen. Also brüllt er laut: »Kopfschmerz«, und Sie fassen sich an die Stirn, weil es weh

tut. Aber: Dem Kortex selbst tut nichts weh! Er vermittelt nur die Botschaft! Also kann man sagen: Das Gehirn tut nicht weh, aber es fühlt Schmerz.



### **Ehre, wem Ehre gebührt!**

Sorry, Jochen, dass ich mich hier kurz einmische. Ich denke, wir sollten an dieser Stelle kurz Fritz Kahn (1888–1968) einführen, einen Arzt und internationalen Bestsellerautor mit einem unglaublichen Lebenslauf. Von den Nazis zur Flucht gezwungen, seine Bücher wurden 1938 verbrannt, bereiste er viele Länder. Er wurde berühmt dafür, in seinen reichillustrierten Büchern komplizierte medizinische oder biologische Sachverhalte durch allgemeinverständliche Vergleiche zu veranschaulichen. Am bekanntesten ist sein Bild »Der Mensch als Industriepalast«<sup>2</sup>, in dem er die verschiedensten Körperfunktionen mit der Arbeitsteilung in einer Fabrik vergleicht. Wir sollten ihn hier würdigen als den Pionier der »Mensch-Maschine-Analogie« und des Informationsdesigns!

