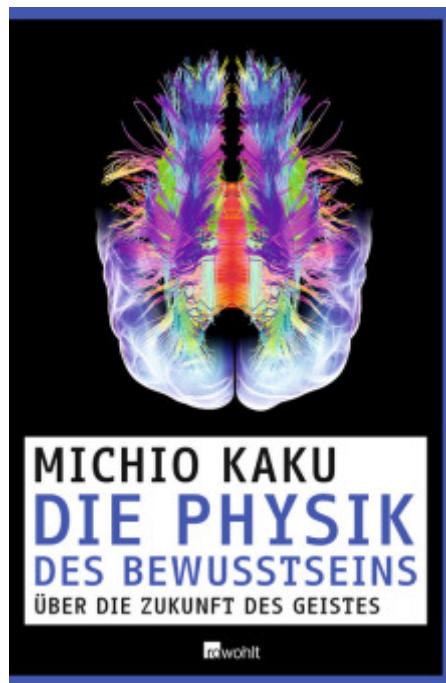


rowohlt

Leseprobe aus:

Michio Kaku

Die Physik des Bewusstseins



Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf rowohlt.de.

MICHIO KAKU

**DIE PHYSIK DES
BEWUSSTSEINS**

**ÜBER DIE ZUKUNFT
DES GEISTES**

Aus dem Englischen von
Monika Niehaus

ROWOHLT

Die amerikanische Originalausgabe erschien
2014 unter dem Titel *The Future of the Mind. The Scientific
Quest to Understand, Enhance, and Empower the Mind*
bei Doubleday, New York.

1. Auflage März 2014
Copyright der deutschsprachigen Ausgabe
© 2014 by Rowohlt Verlag GmbH,
Reinbek bei Hamburg
Alle deutschen Rechte vorbehalten
*The Future of the Mind. The Scientific Quest to
Understand, Enhance, and Empower the Mind*
Copyright © 2014 by Michio Kaku
All rights reserved
Redaktion Heiner Höfener
Satz aus der DTL Documenta bei
Pinguin Satz und Datentechnik, Berlin
Druck und Bindung CPI books GmbH, Leck
Printed in Germany
ISBN 978 3 498 03569 3

Gewidmet meiner
lieben Frau Shizue und
meinen Töchtern
Michelle und Alyson

INHALT

Einleitung 9

BUCH I

GEIST UND BEWUSSTSEIN

- 1 Die Entschlüsselung des Gehirns 27
- 2 Bewusstsein – aus der Perspektive eines Physikers 65

BUCH II

GEIST ÜBER MATERIE

- 3 Telepathie: Ein Penny für Ihre Gedanken 95
- 4 Telekinese: Der Geist kontrolliert den Körper 120
- 5 Erinnerungen und Gedanken auf Bestellung 154
- 6 Einsteins Gehirn und die Steigerung unserer Intelligenz 191

BUCH III

VERÄNDERTES BEWUSSTSEIN

- 7 In unseren Träumen 245
- 8 Lässt sich das Bewusstsein kontrollieren? 261
- 9 Veränderte Bewusstseinszustände 281
- 10 Der künstliche Geist und das Siliziumbewusstsein 308

11 Reverse Engineering des Gehirns	362
12 Die Zukunft: Geist jenseits von Materie	384
13 Der Geist als reine Energie	411
14 Das außerirdische Bewusstsein	426
15 Abschließende Bemerkungen	459

ANHANG

Quantenbewusstsein?	479
Danksagung	499
Anmerkungen	509
Weiterführende Literatur	523
Abbildungsnachweise	529
Register	531

EINLEITUNG

Die beiden größten Rätsel in der gesamten Natur sind der menschliche Geist und das Universum. Mit unserem riesigen Aufgebot an Technik ist es uns gelungen, Galaxien zu fotografieren, die Milliarden Lichtjahre entfernt sind, die Gene zu manipulieren, die das Leben steuern, und das innere Allerheiligste des Atoms zu erforschen, doch der Geist und das Universum entziehen sich uns noch immer und stacheln unsere Wissbegierde an. Sie sind die geheimnisvollsten und faszinierendsten Grenzgebiete, die die Wissenschaft kennt.

Wenn man sich die Erhabenheit des Universums bewusst machen möchte, braucht man nur zum Nachthimmel aufzuschauen, der von Milliarden Sternen erhellt wird. Seit unsere Vorfahren erstmals voller Staunen die Pracht des Firmaments bewunderten, haben wir über die ewigen Fragen gegrübelt: Woher kommt all das? Was bedeutet all das?

Um das Geheimnis unseres Geistes zu beobachten, müssen wir uns nur vor den Spiegel stellen und uns fragen, was hinter unseren Augen lauert. Das wirft so tief greifende Fragen auf wie: Haben wir eine Seele? Was geschieht mit uns, wenn wir sterben? Wer bin «ich» überhaupt? Und dies bringt uns zu der tiefsten Frage: Wo ist unser Platz in diesem großen kosmischen Plan? Wie der berühmte britische Biologe Thomas Henry Huxley einmal meinte: «Die Frage aller Fragen für die Menschheit, das Problem, das allen übrigen zugrunde liegt und das uns angeht tiefer als irgendein anderes, ist die Bestimmung der Stellung, die der Mensch in der Natur einnimmt, und die seiner Beziehung zur Gesamtheit der Dinge.»

In unserer Galaxie, der Milchstraße, gibt es 100 Milliarden Sterne, das entspricht in etwa der Zahl der Neuronen in unserem Gehirn. Möglicherweise müsste man fast 40 Billionen Kilometer zum ersten Stern außerhalb unseres Sonnensystems reisen, um ein Objekt zu finden, das so komplex ist wie jenes, das auf unseren Schultern sitzt: Der menschliche Geist und das Universum stellen die größten wissenschaftlichen Herausforderungen überhaupt dar, doch zugleich stehen sie in einer eigenartigen Beziehung zueinander.¹ Auf der einen Seite sind sie das genaue Gegenteil voneinander: Bei dem einen geht es um die riesigen Weiten des äußeren Raumes, in denen wir auf so seltsame Phänomene wie Schwarze Löcher, explodierende Sterne und kollidierende Galaxien treffen. Bei dem anderen geht es um den inneren Raum, wo sich unsere intimsten und privatesten Hoffnungen und Wünsche finden. Der Geist ist nicht weiter entfernt als der nächste Gedanke, und dennoch reagieren wir oft hilflos, wenn wir aufgefordert sind, ihn in Worte zu fassen und zu erklären.

Aber auch wenn sie in dieser Hinsicht scheinbar ein Gegensatzpaar bilden, haben sie doch eine gemeinsame Geschichte. Seit undenklichen Zeiten wurden beide in Aberglaube und Zauber gehüllt. Astrologen und Phrenologen behaupteten, aus jeder Konstellation der Tierkreiszeichen und jedem Schädelhöcker die Bedeutung des Universums herauslesen zu können. Im Lauf der Zeit sind Gedankenleser und Seher je nachdem begeistert gefeiert oder verteufelt worden.

Universum und Geist berühren sich auch weiterhin auf vielerlei Weise und dies zu einem nicht geringen Teil dank einiger der wirklich innovativen Ideen, auf die wir häufig in der Science-Fiction treffen. Als ich diese Bücher in meiner Kindheit las, träumte ich davon, ein Mitglied der Slan zu sein, einer Rasse von Telepathen, die A. E. van Vogt ersonnen hatte. Ich staunte darüber, wie ein Mutant namens Maultier in Isaac Asimovs *Foundation-Trilogie* seine gewaltigen telepathischen Kräfte freisetzen und beinahe die Kontrolle über das Galaktische Imperium an sich reißen kann.

Und in dem Film *Alarm im Weltall* wunderte ich mich, wie eine fortgeschrittene Zivilisation, die uns Millionen Jahre voraus war, diese enormen telekinetischen Kräfte kanalisierten konnte, um die Realität nach ihren Wünschen und Launen umzugestalten.

Als ich etwa zehn Jahre war, trat «The Amazing Dunniger» im Fernsehen auf. Er verblüffte sein Publikum mit spektakulären Zaubertricks. Sein Motto war: «Für diejenigen, die glauben, braucht es keine Erklärung. Für diejenigen, die nicht glauben, reicht keine Erklärung aus.» Eines Tages erklärte er, er werde seine Gedanken an Millionen Menschen im ganzen Land senden. Er schloss seine Augen, begann sich zu konzentrieren und behauptete, er übermittele den Namen eines Präsidenten der Vereinigten Staaten. Anschließend forderte er die Zuschauer auf, den Namen, der ihnen in den Sinn kam, auf eine Postkarte zu schreiben und ihm zu schicken. In der folgenden Woche verkündete er triumphierend, er habe Tausende von Karten mit dem Namen «Roosevelt» erhalten, genau dem Namen, den er ins ganze Land geschickt habe.

Ich war nicht besonders beeindruckt. Damals war der Name Roosevelt noch sehr präsent im Gedächtnis derjenigen, die die große Depression und den Zweiten Weltkrieg erlebt hatten, daher war dies keine Überraschung. (Ich sagte mir im Stillen, dass es wirklich erstaunlich gewesen wäre, wenn er an Präsident Millard Fillmore gedacht hätte.)

Dennoch regte diese Show meine Phantasie an, und ich konnte der Versuchung nicht widerstehen, selbst mit Telepathie zu experimentieren und zu probieren, die Gedanken anderer Menschen zu lesen, indem ich mich so stark wie nur möglich konzentrierte. Also schloss ich meine Augen, konzentrierte mich intensiv und versuchte, die Gedanken anderer zu «belauschen» und Objekte in meinem Zimmer telekinetisch zu bewegen.

Es war ein absoluter Fehlschlag.

Vielleicht gab es irgendwo auf der Erde Telepathen, doch ich gehörte nicht dazu. Während ich so experimentierte, wurde mir

allmählich klar, dass die wunderbaren Taten von Telepathen wohl unmöglich waren – zumindest ohne Unterstützung von außen. In den darauf folgenden Jahren lernte ich jedoch nach und nach noch etwas anderes: Um den größten Geheimnissen des Universums auf den Grund zu gehen, brauchte man weder Telepathie noch übermenschliche Kräfte. Man musste nur unvoreingenommen an eine Sache herangehen und zudem neugierig wie auch entschlossen sein. Um zu verstehen, ob die phantastischen Apparate und Maschinen der Science-Fiction realisierbar sind, muss man sich vor allem mit moderner Physik beschäftigen. Um zu verstehen, an welchem Punkt genau das Mögliche zum Unmöglichen wird, muss man die Gesetze der Physik schätzen und verstehen.

Diese beiden Leidenschaften haben all diese Jahre meine Phantasie beflügelt: die Grundgesetze der Physik zu verstehen und sich vorzustellen, wie die Naturwissenschaften unser Leben in Zukunft formen werden. Um dies zu illustrieren und meine Begeisterung für die Erforschung der letztgültigen Gesetze der Physik mit anderen zu teilen, habe ich Bücher wie *Im Hyperraum*, *Einsteins Würfel* und *Im Paralleluniversum* geschrieben. Meine Faszination habe ich in Büchern wie *Zukunftsvisionen*, *Die Physik des Unmöglichen* und *Die Physik der Zukunft* beschrieben. Während des Schreibens und der Recherche für diese Bücher wurde ich ständig daran erinnert, dass der menschliche Geist noch immer eine der größten und geheimnisvollsten Kräfte ist.

Über weite Zeiträume unserer Geschichte hatten wir tatsächlich keinen blassen Schimmer davon, was unter «Geist» zu verstehen ist oder wie er funktioniert. Trotz all ihrer großartigen Leistungen in Kunst und Wissenschaft hielten die alten Ägypter das Gehirn für ein nutzloses Organ und warfen es fort, wenn sie ihre Pharaonen einbalsamierten. Aristoteles war überzeugt, die Seele wohne im Herzen, nicht im Gehirn, dessen einzige Funktion seines Erachtens darin bestand, das Kreislaufsystem zu kühlen. Andere, wie der französische Philosoph René Descartes, nahmen an, die Seele gelange durch die winzige Zirbeldrüse im Gehirn in

den Körper. Doch da es an soliden Fakten mangelte, ließ sich keine dieser Theorien beweisen.

Diese «dunklen Zeiten» dauerten Jahrtausende an, und das aus gutem Grund. Das Gehirn wiegt weniger als drei Pfund und ist dennoch das komplexeste Organ im Sonnensystem. Obgleich es nur 2 Prozent der Körpermasse ausmacht, verfügt es über einen gewaltigen Appetit und verbraucht volle 20 Prozent der Energie des Grundumsatzes (bei Neugeborenen verbraucht das Gehirn sogar erstaunliche 65 Prozent); gleichzeitig codieren 80 Prozent unserer Gene für hirneigene Proteine. Unser Gehirn enthält schätzungsweise 100 Milliarden Nervenzellen (Neurone), und zwischen diesen Nervenzellen verläuft eine riesige Anzahl von neuronalen Verbindungen und Bahnen.

Als Carl Sagan 1977 das Buch *The Dragons of Eden* schrieb, für das er mit dem Pulitzerpreis ausgezeichnet wurde, fasste er darin summarisch zusammen, was damals über das menschliche Gehirn bekannt war. Sein Buch war wunderbar geschrieben und versuchte, den aktuellen Stand der Neurowissenschaften wiederzugeben, der zu jener Zeit hauptsächlich auf drei Pfeilern ruhte. Der erste bestand im Vergleich unseres Gehirns mit den Gehirnen anderer Arten. Das war mühsam und schwierig, weil dazu die Gehirne Tausender Tiere präpariert und seziert werden mussten. Die zweite Methode war ebenso indirekt: Man analysierte das Verhalten von Menschen, die einen Schlaganfall oder eine andere Hirnschädigung erlitten hatten und daher oft bizarre Verhaltensweisen an den Tag legten. Nur eine nach ihrem Tod durchgeführte Autopsie konnte zeigen, welcher Teil ihres Gehirns nicht richtig funktionierte. Und drittens konnten Wissenschaftler Elektroden ins Gehirn einpflanzen und langsam und mühsam herausfinden, welcher Teil des Gehirns welches Verhalten beeinflusste.

Die grundlegenden Methoden der Neurowissenschaften ermöglichten jedoch keine systematische Analyse des Gehirns. Man konnte nicht einfach ein Schlaganfallopfer mit einer Schädigung in demjenigen Areal des Gehirns ordnen, den man untersuchen

wollte. Da das Gehirn ein lebendes, dynamisches System ist, zeigten Autopsien zudem häufig nicht die interessantesten Merkmale, beispielsweise, auf welche Weise Hirnareale interagieren, geschweige denn, wie sie so vielfältige Emotionen wie Liebe, Hass, Eifersucht und Neugier produzieren.

REVOLUTION IM DOPPELPACK

Vor 400 Jahren wurde das Teleskop erfunden, und fast über Nacht erlaubte dieses neue, wunderbare Instrument einen prüfenden Blick ins Herz der Himmelskörper. Es war eines der revolutionärsten (und umstürzlerischsten) Instrumente aller Zeiten. Plötzlich konnten wir mit unseren eigenen Augen sehen, wie sich die Mythen und Dogmen der Vergangenheit wie Dunst in Luft auflösten. Statt ein perfektes Beispiel für göttliche Weisheit zu sein, zeigte sich der Mond voller zackiger Krater, die Sonne wies dunkle Flecken auf, Jupiter wurde von eigenen Monden umkreist, die Venus hatte Phasen, und der Saturn besaß Ringe. In den 15 Jahren nach Erfindung des Teleskops lernte die Menschheit mehr über das Universum als in ihrer ganzen früheren Geschichte.

Wie die Erfindung des Teleskops die Astronomie verändert hat, haben die Entwicklung von MRT und einer Vielfalt moderner Scan-Methoden zur Abbildung des Gehirns Mitte der 1990er Jahre und Anfang der 2000er Jahre die Neurowissenschaften verwandelt. Wir haben in den letzten 15 Jahren mehr über das Gehirn gelernt als in der ganzen Menschheitsgeschichte zuvor, und der Geist, der einst als unfassbar galt, rückt endlich ins Zentrum der Forschung.

Der Nobelpreisträger Eric R. Kandel vom Max-Planck-Institut in Tübingen schreibt: «Die wertvollsten Einblicke in den menschlichen Geist, die sich in dieser Zeit herauskristallisierten, gingen nicht von den Disziplinen aus, die sich traditionellerweise mit dem Geist beschäftigen – Philosophie, Psychologie oder Psycho-

analyse. Vielmehr gingen sie von einer Verschmelzung dieser Disziplinen mit der Biologie des Gehirns aus...»²

Bei diesem Unterfangen haben Physiker eine entscheidende Rolle gespielt, denn sie haben eine Fülle neuer Werkzeuge mit Akronymen wie MRT, EEG, PET, CAT, TCM, TES und DBS geliefert, die das Studium des Gehirns dramatisch verändert haben. Mit diesen Geräten konnten wir plötzlich die Bewegung von Gedanken im lebenden, denkenden Gehirn verfolgen. Wie der Neurologe V. S. Ramachandran von der University of California in San Diego meint: «All diese Fragen, die Philosophen seit Jahrtausenden beschäftigen, können wir Naturwissenschaftler nun erforschen, indem wir das Gehirn abbilden, Patienten untersuchen und die richtigen Fragen stellen.»³

Rückblickend betrachtet, haben sich einige meiner anfänglichen Streifzüge in die Welt der Physik mit der Entwicklung genau der Technologien überschnitten, die nun den menschlichen Geist der Wissenschaft zugänglich machen. Auf der Highschool lernte ich beispielsweise eine neue Form von Materie kennen, die Antimaterie, und entschloss mich, ein Schulprojekt zu diesem Thema durchzuführen. Da es sich um eine der exotischsten Substanzen auf der Welt handelt, musste ich mich an die alte Atomenergiekommission wenden, um eine winzige Menge Natrium-22 zu erhalten, eine Substanz, die natürlicherweise ein positives Elektron emittiert (Anti-Elektron oder Positron). Mit dieser kleinen Probe in den Händen konnte ich eine Nebelkammer mit einem starken magnetischen Feld bauen und die Spuren von Antimaterieteilchen fotografieren. Ich wusste damals noch nicht, dass Natrium-22 bald entscheidend wichtig für eine neue Technologie namens PET (Positronen-Emissions-Tomographie) werden sollte, die uns seitdem überraschende neue Einblicke ins denkende Gehirn ermöglicht hat.

Eine andere Technologie, mit der ich mich auf der Highschool beschäftigte, war die magnetische Resonanz. Ich hörte einen Vortrag von Felix Bloch, der an der Stanford University arbeitete

und 1952 für die Entdeckung der Magnet- oder Kernspinresonanz zusammen mit Edward Purcell den Nobelpreis für Physik erhielt. Dr. Bloch erklärte uns Schülern, dass sich die Atome in einem starken Magnetfeld wie Kompassnadeln ausrichten. Wenn man diese Atome einem Radiopuls mit einer exakten Resonanzfrequenz aussetzte, so Bloch, konnte man sie dazu bringen, sich umzudrehen. Wenn sie schließlich wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrten, emittierten sie wie ein Echo einen anderen Puls, der es ermöglicht, die Identität dieser Atome zu bestimmen. (Später benutzte ich das Prinzip der magnetischen Resonanz, um in der Garage meiner Mutter einen 2,3-Millionen-Elektrovolt-Teilchenbeschleuniger zu bauen.)

Ein paar Jahre später hörte ich als junger Student in Harvard bei Dr. Purcell Elektrodynamik. Etwa um dieselbe Zeit hatte ich auch im Rahmen eines Sommerjobs Gelegenheit, mit Dr. Richard Ernst zusammenzuarbeiten, der versuchte, die Arbeit von Bloch und Purcell über magnetische Resonanz zu verallgemeinern. Er hatte spektakulären Erfolg und erhielt für seine Forschung, die die Grundlage für die moderne MRT (Magnetresonanz- oder Kernspintomographie) bildete, 1991 den Nobelpreis für Chemie. Dem Kernspintomographen wiederum verdanken wir detaillierte Aufnahmen des lebenden Gehirns, auf denen noch mehr Einzelheiten zu erkennen sind als auf PET-Scans.

DEN GEIST BEVOLLMÄCHTIGEN

Schließlich wurde ich Professor für Theoretische Physik, doch das Gehirn faszinierte mich auch weiterhin. Es ist aufregend mitzuerleben, wie Fortschritte in der Physik allein im letzten Jahrzehnt einige der Zaubertricks möglich gemacht haben, die mich als Kind so begeisterten. Mit Hilfe von MRT-Scans können Wissenschaftler heute Gedanken lesen, die uns durch den Kopf gehen. Sie können auch Chips ins Gehirn von vollständig gelähmten Pa-

tienten einpflanzen und mit einem Computer verbinden, sodass diese Menschen allein mit Hilfe ihrer Gedanken im Web surfen, lesen und E-Mails schreiben, Videospiele spielen, ihren Rollstuhl steuern, Haushaltsgeräte an- und ausschalten und mechanische Arme bedienen können. Tatsächlich können sie all das tun, was ein gesunder Mensch mit einem Computer zuwege bringen kann.

Inzwischen gehen Wissenschaftler noch weiter, indem sie das Gehirn direkt mit einem Exoskelett verbinden, das die gelähmten Gliedmaßen eines Patienten umschließt. Eines Tages können Querschnittgelähmte vielleicht ein fast normales Leben führen. Solche Exoskelette könnten uns auch Superkräfte verleihen, um mit lebensgefährlichen Notlagen fertig zu werden. Eines Tages könnten unsere Astronauten sogar Planeten erforschen, indem sie aus ihrem Wohnzimmer heraus in aller Bequemlichkeit mechanische Ersatzkörper mental steuern.

Wie in dem Film *Die Matrix* könnten wir eines Tages in der Lage sein, Erinnerungen und Fertigkeiten mit Hilfe von Computern herunterzuladen. In Tierstudien ist es bereits gelungen, Erinnerungen ins Gehirn einzupflanzen. Vielleicht ist es nur eine Frage der Zeit, bis wir ebenfalls künstliche Erinnerungen in unser Gehirn einpflanzen können, um uns neues Wissen anzueignen, neue Urlaubsorte zu erleben und neue Hobbys zu beherrschen. Und falls sich technische Fertigkeiten in den Kopf von Arbeitern und Wissenschaftlern herunterladen lassen, könnte das selbst die Weltwirtschaft beeinflussen. Wir könnten sogar befähigt sein, auch diese Erinnerungen zu teilen. Eines Tages werden Wissenschaftler vielleicht ein «Internet des Geistes» oder ein «Hirnnetz» konstruieren, in dem Gedanken und Gefühle elektronisch in alle Welt gesandt werden. Selbst Träume werden aufgezeichnet und dann vom Gehirn via Internet abgesandt werden.

Neue Technologien könnten uns auch befähigen, unsere Intelligenz zu vergrößern. Mittlerweile verstehen wir die außergewöhnlichen Leistungen von «Savants», deren mentale, künstlerische und mathematische Fähigkeiten wirklich erstaunlich

sind, besser als je zuvor. Zudem werden die Gene, die uns von den Großen Menschenaffen unterscheiden, gerade sequenziert, was uns einen bisher noch nie da gewesenen Einblick in den evolutionären Ursprung unseres Gehirns erlaubt. Bei anderen Tieren sind bereits Gene isoliert worden, die Gedächtnis und geistige Leistungsfähigkeit verbessern können.

Die Begeisterung und Hoffnung, die von diesen vielversprechenden Fortschritten ausgelöst worden sind, sind so groß, dass sie auch die Aufmerksamkeit von Politikern erregt haben. Tatsächlich sind die Neurowissenschaften plötzlich zum Anlass eines transatlantischen Wettbewerbs zwischen den größten Wirtschaftsmächten des Planeten geworden. Im Januar 2013 kündigten sowohl Präsident Barack Obama als auch die Europäische Union zwei unabhängige Projekte an, bei denen es um Reverse Engineering («Rückerschließung») des Gehirns geht; der Finanzierungsbedarf dürfte im Bereich von mehreren Milliarden Dollar liegen. Die Entschlüsselung der komplexen neuronalen Verschaltung des Gehirns, die lange jenseits der Möglichkeiten der modernen Naturwissenschaften zu liegen schien, steht nun im Mittelpunkt zweier Sofortprojekte, die wie das Human-Genom-Projekt die wissenschaftliche und medizinische Landschaft verändern werden. Diese Projekte werden uns nicht nur einen noch nie da gewesenen Einblick in den menschlichen Geist erlauben, sondern auch neue Industriezweige aus der Taufe heben, wirtschaftliche Aktivitäten ankurbeln und den Neurowissenschaften neue Türen öffnen.

Sobald die neuronalen Bahnen des menschlichen Gehirns decodiert sind, kann man sich vorstellen, die Ursprünge psychischer Erkrankungen wirklich zu verstehen und damit vielleicht auch einen Weg zu ihrer Heilung zu finden. Eine solche Decodierung macht es auch möglich, eine Kopie des Gehirns herzustellen, was philosophische und ethische Fragen aufwirft. Wer sind wir, wenn sich unser Bewusstsein in einem Computer hochladen lässt? Wir können auch mit dem Konzept der Unsterblichkeit spielen. Unser

Körper mag schließlich verfallen und sterben, doch kann unser Bewusstsein ewig leben?

Und jenseits all dessen haben einige Wissenschaftler bereits spekuliert, dass unser Geist eines Tages in ferner Zukunft vielleicht von seinen körperlichen Einschränkungen befreit werden und zwischen den Sternen umherstreifen wird. In einigen Jahrhunderten kann man sich vorstellen, unseren gesamten neuronalen Schaltplan auf einen Laserstrahl zu packen, der dann in die Tiefe des Alls geschickt wird, was vielleicht die bequemste Art und Weise für unser Bewusstsein ist, die Sterne zu erforschen.

Vor uns öffnet sich eine wunderbare neue wissenschaftliche Landschaft, die die Geschicke der Menschheit neu formen wird. Wir treten in ein goldenes Zeitalter der Neurowissenschaften ein.

Bei diesen Zukunftsvisionen konnte ich auf die außerordentlich wertvolle Unterstützung von Wissenschaftlern zurückgreifen, die mir dankenswerterweise gestattet haben, sie zu interviewen, ihre Ideen im Radio zu diskutieren und sogar eine Fernsehcrew in ihre Labors mitzunehmen. Diese Wissenschaftler legen die Grundlagen für die Zukunft des Geistes. Dafür, dass ihre Ideen Eingang in dieses Buch fanden, gab es nur zwei Voraussetzungen: Erstens mussten ihre Voraussagen strikt den Gesetzen der Physik gehorchen, und zweitens mussten Prototypen existieren, um zu zeigen, dass diese weitreichenden Ideen im Prinzip umsetzbar sind.

PSYCHISCHE ERKRANKUNGEN

Ich habe einmal eine Biographie über Albert Einstein geschrieben, *Einstein's Cosmos*, und musste mich daher ausführlich mit seinem Privatleben beschäftigen. Ich hatte gewusst, dass Einsteins jüngster Sohn an Schizophrenie litt, hatte mir aber die enorme emotionale Belastung nicht vergegenwärtigt, die dieses Schicksal für

das Leben des großen Wissenschaftlers bedeutete. Einstein kam auch in anderer Weise mit psychischer Erkrankung in Berührung; einer seiner engsten Kollegen war der Physiker Paul Ehrenfest, der Einstein half, die Allgemeine Relativitätstheorie zu entwickeln. Nach mehreren depressiven Schüben tötete Ehrenfest tragischerweise seinen Sohn, der am Down-Syndrom litt, und brachte sich anschließend selbst um. Im Lauf der Jahre habe ich festgestellt, dass viele meiner Kollegen und Freunde mit psychischen Erkrankungen in ihrer Familie zu kämpfen haben.

Ich kenne diese Probleme aus meinem eigenen nächsten Umfeld. Vor einigen Jahren starb meine Mutter nach einem langen Kampf mit der Alzheimer-Krankheit. Es war herzzerreißend, mitzuerleben, wie sie langsam ihre Erinnerungen an geliebte Menschen verlor, ihr in die Augen zu blicken und zu erkennen, dass sie nicht wusste, wer ich war. Ich konnte zusehen, wie der Funke des Menschseins langsam in ihr erlosch. Sie hatte ihr ganzes Leben damit zugebracht, ihre Familie durchzubringen, und statt einen schönen Lebensabend zu verbringen, wurden ihr all die Erinnerungen genommen, die ihr so wichtig waren.

Während die Babyboomer-Generation älter wird, wiederholt sich diese traurige Erfahrung, die ich mit vielen anderen Menschen teile, überall auf der Welt. Ich wünsche mir, dass die raschen Fortschritte in den Neurowissenschaften eines Tages das Leid von Menschen lindern können, die von psychischen Erkrankungen und Demenz betroffen sind.

WAS TREIBT DIESE REVOLUTION AN?

Die aus Hirnscans gewonnenen Daten werden nun entschlüsselt, und die Fortschritte sind wirklich atemberaubend. Mehrmals im Jahr verkünden Schlagzeilen einen neuen Durchbruch. Es dauerte 350 Jahre seit der Entdeckung des Teleskops, um ins Raumzeit-alter einzutreten, doch es brauchte nur 15 Jahre seit der Einfüh-

rung von MRT und anderen modernen Hirnscan-Verfahren, um das Gehirn aktiv mit der Außenwelt zu verbinden. *Warum geschah das so schnell, und was wird alles noch kommen?*

Einen Teil dieses raschen Fortschritts verdanken wir der Tatsache, dass die Physiker heute über ein gutes Verständnis des Elektromagnetismus verfügen, der die elektrischen Signale steuert, die sich durch die Neurone fortpflanzen. Die mathematischen Gleichungen, die James Clerk Maxwell aufstellte und die dazu dienen, die physikalischen Daten von Antennen, Radar, Radioempfängern und Richtfunktürmen zu berechnen, bilden den Eckpfeiler der MRT-Technologie. Es dauerte Jahrhunderte, bis das Geheimnis des Elektromagnetismus schließlich gelöst wurde, doch die Neurowissenschaften können heute die Früchte dieses großen Bemühens ernten. In Buch I werde ich einen Überblick über die Geschichte der Hirnforschung geben und erklären, wie eine Galaxie von neuen Instrumenten die Labors der Physiker verlassen hat und uns die Funktionsweise des Denkens in wunderbaren farbigen Abbildungen präsentiert. Da Bewusstsein eine derart zentrale Rolle in jeder Diskussion über den Geist spielt, erläutere ich diesen Begriff auch aus der Perspektive eines Physikers und biete eine Definition von Bewusstsein an, die das Tierreich ebenfalls einschließt. Tatsächlich stelle ich eine Rangfolge des Bewusstseins her und zeige, wie es möglich ist, verschiedenen Abstufungen des Bewusstseins einen Zahlenwert zuzuordnen.

Um die Frage, in welche Richtung sich diese Technologie entwickeln wird, jedoch umfassend zu beantworten, müssen wir auch einen Blick auf das Moore'sche Gesetz werfen; es besagt, dass sich die Leistungsfähigkeit von Computern alle 18 Monate verdoppelt. Ich überrasche die Leute häufig mit der Tatsache, dass unsere Mobiltelefone heute eine höhere Rechenkapazität aufweisen als die gesamte Rechenkapazität der NASA, als sie 1969 zwei Männer auf den Mond schickte. Computer sind inzwischen so leistungsstark, dass sie die elektrischen Signale, die das Gehirn aussendet, registrieren und zum Teil in eine vertraute

digitale Sprache übersetzen können. Das ermöglicht eine direkte Schnittstelle (*interface*) zwischen Gehirn und Computer und damit die Kontrolle von jedem beliebigen Objekt rundum. Dieses rasch wachsende Gebiet wird als BMI (*brain-machine-interface*, Schnittstelle zwischen Gehirn und Maschine) bezeichnet, und die Schlüsseltechnologie ist der Computer. In Buch II werden wir uns ausführlich mit dieser neuen Technologie beschäftigen, die es möglich macht, Erinnerungen aufzuzeichnen, Gedanken zu lesen, unsere Träume auf Video aufzunehmen und Gegenstände per Telekinese zu bewegen.

In Buch III geht es um alternative Formen des Bewusstseins, von Träumen, Drogenkonsum und psychischen Erkrankungen über Roboter bis zu Außerirdischen. In diesem Zusammenhang werden wir auch über die Möglichkeit sprechen, das Gehirn zu kontrollieren und zu manipulieren, um Krankheiten wie Depressionen, Parkinson, Alzheimer und viele mehr zu behandeln. Dabei werde ich auch auf das von Präsident Obama angekündigte *Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies* (kurz BRAIN) Project eingehen, ebenso auf das *Human Brain Project* der Europäischen Union, für das potenziell Milliarden Euro bereitgestellt werden sollen, um die Bahnen im Gehirn bis auf die neuronale Ebene zu entschlüsseln. Diese beiden Sofortprogramme werden zweifellos völlig neue Forschungsgebiete eröffnen und neue Möglichkeiten aufzeigen, psychische Erkrankungen zu behandeln und zudem die tiefsten Geheimnisse des Bewusstseins zu enthüllen.

Da wir über eine Definition von Bewusstsein verfügen, können wir sie benutzen, um auch nichtmenschliche Intelligenz zu erkunden (z.B. das Bewusstsein von Robotern). Wie fortgeschritten können Roboter sein? Können sie Gefühle entwickeln? Werden sie eine Bedrohung für uns darstellen? Und wir werden uns auch mit dem Bewusstsein von Außerirdischen beschäftigen, die möglicherweise ganz andere Ziele verfolgen als wir.

Im Anhang werde ich die vielleicht seltsamste Idee in den gan-

zen Naturwissenschaften diskutieren, ein Konzept aus der Quantenphysik, nach dem Bewusstsein möglicherweise die grundlegende Basis der Realität ist.

In diesem geradezu explodierenden Gebiet fehlt es nicht an Vorschlägen. Nur die Zeit wird zeigen, welche davon Hirngespinste sind, der überhitzen Phantasie von Science-Fiction-Autoren entsprungen, und welche solide Möglichkeiten für zukünftige Forschungsprojekte darstellen. Die Fortschritte in den Neurowissenschaften sind atemberaubend, und in vieler Hinsicht hat die moderne Physik dank ihres Verständnisses von Elektromagnetismus und Kernkräften den Schlüssel zur Erforschung der Geheimnisse unseres Geistes geliefert.

Ich sollte betonen, dass ich kein Neurowissenschaftler bin. Ich bin Theoretischer Physiker mit einem anhaltenden Interesse am Geist. Ich hoffe, dass die Sichtweise eines Physikers dazu beitragen kann, unser Wissen weiter zu bereichern und einen neuen, frischen Blick auf das vertrauteste und fremdeste Objekt in unserem Universum zu werfen: unseren Geist.

Angesichts des schwindelerregenden Tempos, mit dem radikal neue Theorien entwickelt werden, ist es jedoch wichtig, sich zunächst einen klaren Eindruck davon zu verschaffen, wie sich das Gehirn zusammensetzt.

Daher wollen wir zunächst die Ursprünge der modernen Neurowissenschaften diskutieren, von denen einige Historiker meinen, sie hätten mit einer Eisenstange begonnen, die von einer Explosion durch das Gehirn eines gewissen Phineas Gage getrieben wurde. Dieses entscheidende Ereignis setzte eine Kettenreaktion in Gang, die dazu beitrug, das Gehirn ernsthafter wissenschaftlicher Erforschung zugänglich zu machen. Auch wenn es Pech für Mr. Gage war, so ebnete dieses Ereignis doch den Weg für die modernen Neurowissenschaften.

BUCH I

GEIST UND BEWUSSTSEIN

KAPITEL 1

DIE ENTSCHLÜSSELUNG DES GEHIRNS

*Meine Grundvoraussetzung bezüglich des Gehirns ist,
dass seine Funktion – wir sprechen bisweilen von «Geist» –
die Folge seiner Anatomie und Physiologie ist und nichts sonst.*

CARL SAGAN

Im Jahr 1848 war Phineas Gage Vorarbeiter eines Schienenarbeitertrupps in Vermont, als es zu einer vorzeitigen Dynamitexplosion kam, die ihm eine 1,10 m lange und 3 cm dicke Eisenstange durch den Schädel trieb: Die Stange drang schräg unterhalb des rechten Auges ein, durchquerte das Gehirn, trat oben aus dem Schädeldach wieder aus und landete mehr als 20 Meter hinter ihm auf dem Boden. Seine geschockten Mitarbeiter riefen sofort einen Arzt. Zu ihrer und des Arztes Verwunderung starb Mr. Gage nicht auf der Stelle an seiner schrecklichen Wunde.

Wochenlang befand er sich in einem halbkomatösen Zustand, doch schließlich schien er sich völlig von seiner Verletzung zu erholen.⁴ (2009 tauchte eine seltene Fotografie von Gage auf; sie zeigt einen gut aussehenden, selbstbewussten Mann mit einer Verletzung am Kopf und einem geschlossenen linken Auge, der eine Eisenstange hält.) Doch schon bald nach dem Unfall begannen seine Kollegen, deutliche Veränderungen seiner Persönlichkeit festzustellen. War Gage zuvor ein normaler, freundlicher und umgänglicher Mann gewesen, so wurde er nun beleidigend, aggressiv und rücksichtslos. Frauen wurden gewarnt, sich fern von ihm zu halten. Dr. Harlow, der Arzt, der ihn behandelte, stellte fest, Gage sei «launisch und wankelmüfig, er denkt sich Pläne

für die Zukunft aus, die ebenso schnell entworfen werden, wie sie wieder verworfen werden, zugunsten anderer, scheinbar durchführbarerer Pläne. In seinen intellektuellen Fähigkeiten und Äußerungen ein Kind, besitzt er die animalischen Leidenschaften eines kräftigen Mannes.»⁵ Dr. Harlow bemerkte eine «radikale Veränderung» und schrieb, Gages alte Kollegen meinten, «er wäre nicht mehr Gage». Nach Gages Tod 1860 rettete Harlow sowohl Gages Schädel als auch die Eisenstange, die ihn durchbohrt hatte. Seitdem haben detaillierte Röntgenuntersuchungen bestätigt, dass die Eisenstange massive Zerstörungen in der Hirnregion direkt hinter der Stirn, im Bereich der Stirn- oder Frontallappen, bewirkt haben muss, und zwar sowohl in der rechten wie der linken Hirnhemisphäre.

Dieser unglaubliche Unfall sollte nicht nur das Leben von Phineas Gage verändern, sondern auch den Lauf der Wissenschaft. Zuvor war allgemein angenommen worden, dass Gehirn und Seele zwei getrennte Entitäten seien, eine Philosophie, die man als Leib-Seele-Dualismus bezeichnet. Doch nun wurde zunehmend deutlicher, dass Gages abrupte Persönlichkeitsveränderung von der Frontallappenschädigung seines Gehirns hervorgerufen worden war. Das wiederum führte zu einer Paradigmenverschiebung im wissenschaftlichen Denken: Vielleicht ließen sich bestimmte Hirnareale mit gewissen Verhaltensweisen verknüpfen.

BROCAS GEHIRN

Im Jahr 1861, nur ein Jahr nach Gages Tod, erhielt diese Sichtweise durch die Beobachtungen des Pariser Neurologen Pierre Paul Broca weitere Nahrung. Broca dokumentierte den Fall eines Patienten, der völlig normal erschien, abgesehen von einem schweren Sprachdefizit. Der Patient konnte gesprochene Sprache problemlos verstehen, doch er konnte nur einen einzigen Laut äußern, nämlich «tan». Nach dem Tod des Patienten stellte

Broca bei der Autopsie des Gehirns fest, dass der Patient unter einer Läsion im linken Schläfen- oder Temporallappen litt, einer Hirnregion in der Nähe des linken Ohres. Später konnte Broca seine Beobachtung noch an zwölf ähnlichen Fällen von Patienten belegen, deren Gehirn an derselben Stelle geschädigt war. Heute nennt man die Sprachstörung, die von einer Schädigung dieser Hirnregion herrührt, Broca-Aphasie. (Im Allgemeinen verfügen Patienten mit dieser Störung über ein intaktes Sprachverständnis, doch ihre Sprachproduktion ist gestört: Entweder können sie gar nicht sprechen oder sie sprechen im Telegrammstil.)

Bald darauf, 1874, beschrieb der deutsche Neurologe und Psychiater Carl Wernicke Patienten, die unter dem gegenteiligen Problem litten. Sie konnten klar artikulieren, doch sie verstanden weder geschriebene noch gesprochene Sprache. Oft sprachen die Patienten flüssig, und Syntax und Grammatik waren korrekt, doch die Sätze ergaben keinen Sinn; sie produzierten nur «Wortsalat», ohne dass es ihnen aufgefallen wäre. Bei Autopsien fand Wernicke heraus, dass diese Patienten eine Schädigung an einer etwas anderen Stelle im linken Schläfenlappen aufwiesen.

Die Arbeiten von Broca und Wernicke waren wegweisend für die Neurowissenschaften, und sie etablierten eine klare Verbindung zwischen verhaltensphysiologischen Problemen, wie Sprachproduktions- und Sprachverständnisstörungen, und Schädigungen einer bestimmten Region im Gehirn.

Ein anderer Durchbruch gelang inmitten von Kriegszeiten. Unsere gesamte Geschichte hindurch gab es zahlreiche religiöse Tabus, die das Sezieren des menschlichen Körpers verboten, was den medizinischen Fortschritt stark behindert hat. In neuzeitlichen Kriegen, in denen Zehntausende von Soldaten auf dem Schlachtfeld verbluteten, wurde es jedoch für Ärzte unabdingbar, medizinische Maßnahmen zu entwickeln, um das Sterben aufzuhalten. Während des Deutsch-Dänischen Kriegs 1864 behandelte der deutsche Feldarzt Gustav Fritsch viele Soldaten mit klaffenden Hirnwunden und bemerkte dabei zufällig, dass bei

Berührung der einen Hirnhälfte oft die gegenüberliegende Körperseite zuckte. Später konnte Fritsch mittels elektrischer Hirnstimulation systematisch demonstrieren, dass die linke Hirnhemisphäre die rechte Körperseite kontrollierte und umgekehrt. Das war eine erstaunliche Entdeckung, und sie zeigte, dass das Gehirn seiner Natur nach ein elektrisches Organ war und eine bestimmte Region des Gehirns einen Teil der gegenüberliegenden Körperhälfte kontrollierte.

(Erstaunlicherweise stammen Berichte über die elektrische Reizung des Gehirns bereits aus einer viel früheren Zeit, aus der Zeit der alten Römer. Im Jahr 43 n. Chr. behandelte der Leibarzt von Kaiser Claudius Patienten, die unter schweren Kopfschmerzen litten, offenbar mit einem Zitterrochen⁶, einem Fisch, der heftige elektrische Schläge austeilen kann.)

Die Erkenntnis, dass es elektrische Bahnen gab, die das Gehirn mit dem Körper verbanden, wurde erst in den 1930er Jahren systematisch analysiert. Damals begann Dr. Wilder Penfield, mit Epilepsiepatienten zu arbeiten, die oft unter schweren, potenziell lebensgefährlichen Krampfanfällen litten. Für sie war ein Eingriff im Gehirn die letzte Option; dabei wurde die Schädeldecke eröffnet und das Gehirn freigelegt. (Da das Gehirn keine Schmerzrezeptoren hat, blieb der Patient während der gesamten Operation ansprechbar, und Penfield musste nur ein lokales Betäubungsmittel verabreichen.)

Wenn Penfield bestimmte Teile des Cortex mit einer Elektrode reizte, stellte er fest, dass unterschiedliche Körperregionen reagierten. Plötzlich erkannte er, dass er eine grobe 1:1-Zuordnung zwischen bestimmten Regionen des Cortex und dem menschlichen Körper aufstellen konnte. Seine damaligen Diagramme waren so genau, dass sie noch heute fast unverändert in Gebrauch sind. Sie übten auf der Stelle großen Einfluss auf die wissenschaftliche Gemeinschaft aus und faszinierten auch die Öffentlichkeit. In einem der Diagramme war zu sehen, welche Hirnregion – grob – welche Funktion kontrollierte, und wie wichtig jede

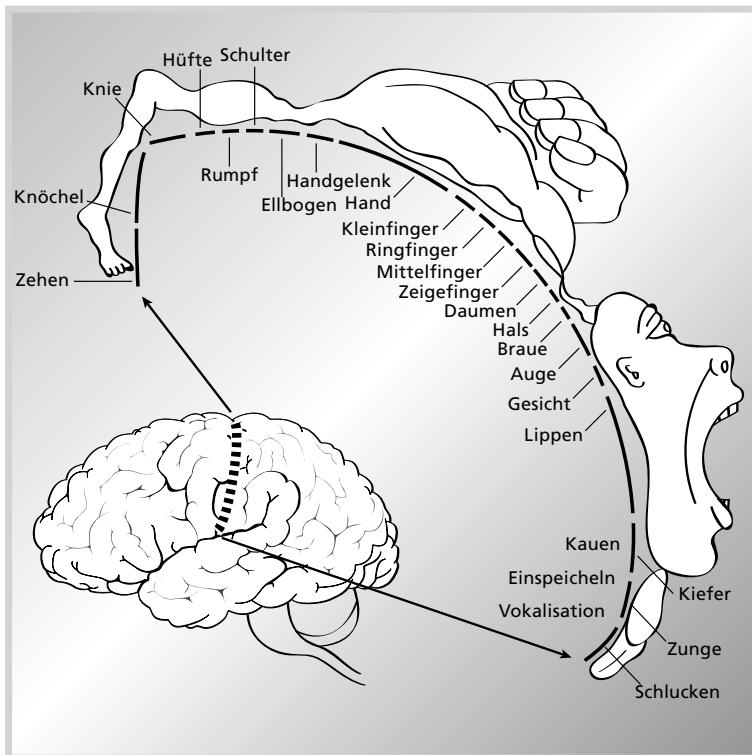


Abbildung 1: Dies ist die Karte des sensorischen und des motorischen Cortex, die Dr. Wilder Penfield erstellte; sie zeigt, welche Region des Gehirns welchem Körperteil zugeordnet ist.

Funktion war. Da Hände und Mund beispielsweise so wichtig fürs Überleben sind, ist ein beträchtlicher Teil der Hirnkapazität ihrer Kontrolle gewidmet, während die Tastrezeptoren auf unserem Rücken eine viel geringere Rolle spielen.

Des Weiteren fand Penfield heraus, dass eine Stimulation bestimmter Regionen des Schläfenlappens bei seinen Patienten plötzlich kristallklare, lang vergessene geglaubte Erinnerungen wachrufen konnte. Er war höchst erstaunt, als ein Patient mitten während der Operation auf einmal herausplatzte: «Es war, ... als

stünde ich am Eingang meiner Highschool ... ich hörte, wie meine Mutter telefonierte und meine Tante bat, heute Abend vorbeizukommen.»⁷ Penfield erkannte, dass er Erinnerungen heraubeschwor, die tief im Inneren des Gehirns vergraben waren. Als er seine Ergebnisse 1951 veröffentlichte, führten sie zu einer weiteren Transformation unseres Verständnisses des Gehirns.

EINE KARTE DES GEHIRNS

Ab den 1950er und 1960er Jahren war es möglich, eine grobe Karte des Gehirns zu zeichnen, unterschiedliche Regionen zu lokalisieren und sogar die Funktionen einiger dieser Regionen zu identifizieren.

In Abbildung 2 sehen wir den Neocortex, die äußere Schicht des Gehirns, der in vier paarige Lappen unterteilt ist. Beim Menschen ist der Neocortex besonders hoch entwickelt. Alle Hirnlappen sind der Verarbeitung von sensorischen Signalen gewidmet, bis auf einen: den Stirnlappen, der direkt hinter unserer Stirn liegt. Der präfrontale Cortex, der am weitesten vorn gelegene Teil des Stirnlappens, ist der Sitz des logischen Denkens. Die Informationen, die Sie gerade lesen, werden in Ihrem präfrontalen Cortex verarbeitet. Eine Schädigung dieses Areals kann Ihre Fähigkeit zum vorausschauenden Denken beeinträchtigen, wie es bei Phineas Gage der Fall war. In diesem Bereich wird die von unseren Sinnesorganen einlaufende Information bewertet und über zukünftige Handlungen entschieden.

Der Scheitel- oder Parietallappen liegt oben auf unserem Gehirn. Der Scheitellappen der rechten Hemisphäre kontrolliert sensorische Aufmerksamkeit und Körperbild, derjenige der linken Hemisphäre kontrolliert Feinmotorik und einige sprachliche Aspekte. Eine Schädigung der Scheitellappen kann zu einer Fülle von Problemen führen, zum Beispiel zu Schwierigkeiten, Teile des eigenen Körpers zu lokalisieren. Der Hinterhaupt- oder Ok-

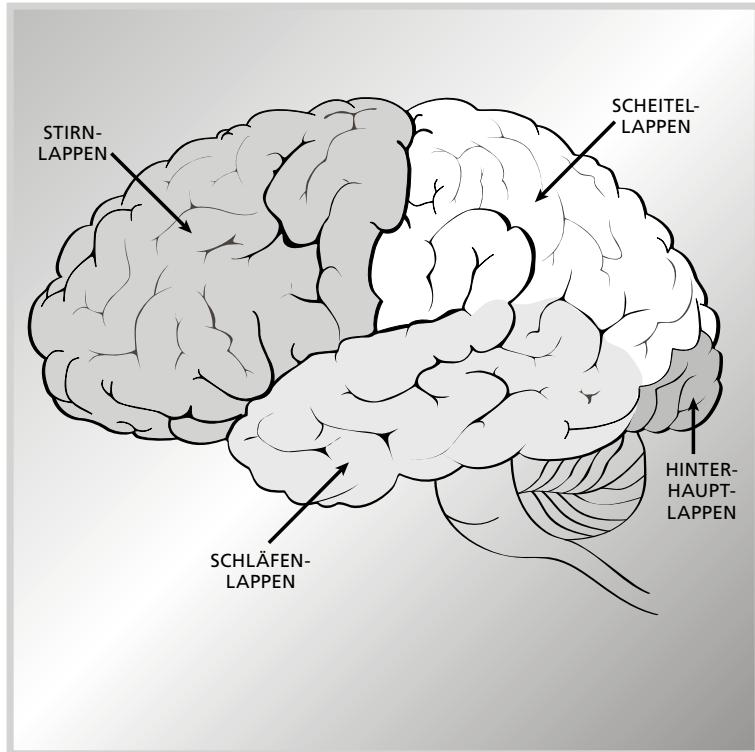


Abbildung 2: Die vier Lappen des Neocortex sind für verschiedene, wenn auch miteinander verknüpfte Funktionen zuständig.

zipitallappen liegt am hinteren Pol des Gehirns und verarbeitet visuelle Information von den Augen. Eine Schädigung kann Sehstörungen bis zur Blindheit hervorrufen.

Der Schläfen- oder Temporallappen kontrolliert die Sprache (ausschließlich in der linken Hemisphäre) wie auch Gesichtserkennung und gewisse emotionale Aspekte. Eine Schädigung kann uns die Fähigkeit rauben, zu sprechen oder Sprache zu verstehen oder aber vertraute Gesichter wiederzuerkennen.