
Dank

Jede Aktivität eines gesunden Gehirns, beispielsweise dass ich diese Worte schreibe oder Sie sie lesen, hängt von den Leistungen zahlreicher Gehirnregionen ab. Wenn man nur eine dieser Regionen wegnimmt, dann kann es zu großen Problemen kommen, und in manchen Fällen kann die gesamte Maschine ausfallen. In vielerlei Hinsicht ist das eine großartige Analogie für dieses Buch. Viele Menschen haben dazu beigetragen, sowohl direkt als auch indirekt. Ohne einen von ihnen hätte *Das Gehirn: Neueste Erkenntnisse der Neurowissenschaften über unser wichtigstes Organ und seine Macken* es vielleicht nie zur Veröffentlichung gebracht. Und selbst wenn es das getan hätte, wäre die Qualität des Endprodukts erheblich schlechter geworden.

Das Team bei Nicholas Brealey Publishing war maßgeblich daran beteiligt, dieses Buch aus meinem Kopf in eine gedruckte Form zu bringen. Dafür danke ich: Alison Hankey dafür, dass sie das Potenzial meines Manuskripts bereits in einem sehr frühen Stadium erkannt hat; Michelle Morgan für ihre Hilfe beim Navigieren durch den Verlagsprozess von Anfang bis Ende; Brett Halbleib für seine nützlichen redaktionellen Vorschläge und allen anderen im Team, die ich nicht so gut kennengelernt habe, aber deren Arbeit hinter den Kulissen das Erscheinen dieses Buchs ermöglicht hat.

Ich möchte auch meiner Agentin Linda Konner dafür danken, dass sie der erste Mensch war, der mir den Glauben daran geschenkt hat, dass jemand etwas von mir Geschriebenes tatsächlich lesen möchte.

Mein besonderer Dank gilt Tom Gould, der sich die Zeit genommen hat, mein Manuskript zu lesen und zu prüfen; seine prägnanten Rückmeldungen führten zu wesentlichen Verbesserungen des Buchs. Ich bin auch anderen sehr dankbar, die Teile des Buchs gelesen und Kritiken und Komplimente geäußert haben, insbesondere Frank Amthor, Dean Burnett, Moheb Costandi, John Dowling und Stanley Finger. Ich bin immer noch erstaunt über die Großzügigkeit dieser Menschen, die bereit waren, sich

die Zeit zu nehmen, meine Arbeit zu lesen und zu kommentieren – für nichts anderes als ein Mittagessen oder ein Exemplar des Buchs als Gegenleistung.

Ich bin meinen Eltern sehr dankbar für ihre uneingeschränkte Unterstützung, ihre Geduld und ihren unerschütterlichen Glauben an mich – auch in Zeiten, in denen dies nicht gerechtfertigt schien. Ihr Vertrauen hat mir schließlich geholfen, an mich selbst zu glauben, und das war notwendig, damit ich das Selbstvertrauen hatte, dieses Projekt in Angriff zu nehmen. Ohne euch (im wahrsten Sinne des Wortes und im übertragenen Sinne) wäre dieses Buch niemals möglich gewesen.

Ich hatte das unglaubliche Glück, meine Frau Michelle bei diesem Vorhaben an meiner Seite zu haben. Sie hat mich von Anfang an unterstützt, auch wenn nicht klar war, ob die Ideen, über die ich gelegentlich geschwafelt habe, jemals zu etwas führen würden. Danke, dass du meine frühen Schlafenszeiten toleriert hast, sodass ich jeden Tag vor Sonnenaufgang aufstehen und schreiben konnte (neben all meinen anderen Exzentrizitäten). Und danke für all die anderen Dinge, die du tust, die zu zahlreich sind, um sie hier aufzulisten. Zu wissen, dass du immer an meiner Seite bist, macht alles, was ich tue, ein wenig einfacher.

An Ky und Fia, danke für all das Lächeln und Lachen und dafür, dass ihr mir geholfen habt zu erkennen, was in meinem Leben wirklich wichtig ist. Ich bemühe mich jeden Tag, Dinge zu tun, die euch stolz machen, mich »Dad« zu nennen, und ich hoffe, dieses Buch ist eines davon.

Abschließend möchte ich mich bei den über 3.500 Studenten bedanken, die ich unterrichten durfte, seit ich Mitglied des Lehrkörpers an der Penn State geworden bin. Ich kann mir nichts vorstellen, was meinen Wunsch, etwas über die Neurowissenschaften zu lernen, mehr bekräftigt hätte, als ihnen alles darüber beizubringen und in ihren Augen die gleiche Neugierde zu sehen, die ich hatte, als ich begann, das Gehirn zu erforschen.

Einleitung

1908 war Kurt Goldstein gerade dabei, eine Facharztausbildung an einer psychiatrischen Klinik in Deutschland abzuschließen, als er auf einen höchst ungewöhnlichen Fall stieß. Goldstein hatte erst fünf Jahre zuvor sein Medizinstudium abgeschlossen und stand am Anfang einer außerordentlich erfolgreichen Karriere. Innerhalb der nächsten Jahrzehnte sollte er ein hoch angesehener Neuropsychologe und ein einflussreicher Schriftsteller werden. Er war einer der ersten Befürworter eines ganzheitlichen Ansatzes für die Behandlung neurologischer Patienten und betonte die Notwendigkeit, dass der Patient als Individuum – eigentlich als ein Organismus – und nicht nur als eine Ansammlung von Symptomen betrachtet werden müsse. Während des Ersten Weltkriegs richtete er ein Krankenhaus ein, das nach dieser ganzheitlichen Philosophie arbeitete, um Soldaten mit Hirnverletzungen zu behandeln. Tausende von Soldaten wurden dort behandelt, bevor die Nazis Goldstein wegen seiner jüdischen Abstammung aus Deutschland verjagten. Doch schon zu Beginn seiner Assistenzzeit war Goldstein mit dem wahrscheinlich seltsamsten Fall, den er je erleben würde, konfrontiert worden.

Die Patientin war eine 57-jährige Frau, die zwei Jahre zuvor einen Schlaganfall erlitten hatte. Zunächst hatte der Vorfall ihren linken Arm gelähmt. Mit der Zeit gewann sie die Beweglichkeit ihres Arms wieder zurück, allerdings mit einer seltsamen Komplikation: Ihre linke Hand schien einen eigenen Willen zu haben. Manchmal bewegte sie sich mit unverkennbarer Absicht – gegen ihren Willen –, und manchmal behinderte die Hand hartnäckig die Bewegungen, welche die Patientin mit ihrer rechten Hand ausführte. Sie beschrieb es als »tut von sich aus, was auch immer sie will«. ¹ Wenn sie mit der rechten Hand ein Getränk ergreifen wollte, griff die linke Hand nach der Tasse und kippte sie aus. Wenn sie sich nachts hinlegte, riss sie das Laken von ihr herunter. Einmal packte sie sie sogar am Hals und begann, sie zu würgen!

Goldstein kannte andere Fälle, bei denen die Handlungen der linken und der rechten Hand im Widerspruch zueinander zu stehen schienen, aber nichts so Extremes. Die linke Hand der Pa-

tientin handelte so unabhängig von deren Wünschen, dass die Patientin zu glauben begann, sie sei von einem bösen Geist besessen.

Goldstein bemühte sich, das Phänomen zu erklären. Er entschied schließlich, dass das Verhalten der Frau auf eine Art von Kommunikationsstörungen in ihrem Gehirn zurückzuführen sein musste – möglicherweise auf ein Versagen der sensorischen und motorischen Bereiche in der rechten Gehirnhälfte (der Hälfte, die normalerweise die Bewegung ihres linken Arms kontrollieren würde), die Aktivität ihres linken Gliedmaßes zu koordinieren. Insgesamt war der junge Arzt jedoch ratlos wegen des Falls.

Seit Goldsteins Zeit sind Hunderte ähnlicher Fälle aufgetreten. Bei vielen dieser Patienten scheint eine Hand besonders kontraproduktiv zu sein – wie ein Partner in einer unglücklichen Ehe, der allem, was sein Ehepartner sagt, einfach aus Trotz widerspricht. Wenn ein Patient beginnt, sein Hemd mit der einen Hand zuzuknöpfen, beginnt die andere Hand zielstrebig, es aufzuknöpfen. Wenn er ein Buch zum Lesen aufhebt, greift seine freie Hand danach und knallt es wieder auf den Tisch. Führt er eine volle Gabel mit Essen zum Mund, greift die böse Hand die Gabel und reißt sie weg. Manchmal wird die betroffene Hand gewalttätig und schlägt auf den Patienten oder eine andere Person in der Nähe ein.

Das Phänomen ist als *Alien-Hand-Syndrom* bekannt geworden, weil die Absichten der bösen Hand den Patienten oft so fremd erscheinen, dass sie kaum glauben können, dass die Steuerungsbefehle tatsächlich von ihrem eigenen Gehirn ausgehen. Sie beginnen, sich seltsam getrennt von dem betroffenen Arm oder Bein zu fühlen. Manchmal können sie sich nur allein dadurch davon überzeugen, dass diese Gliedmaße immer noch ein Teil ihres Körpers ist, dass sie sehen, dass er an ihnen befestigt ist. Wenn Sie einem Patienten die Augen verbinden, weil seine »fremde« Hand seine Handlungen auf die oben beschriebene Weise behindert, wird er häufig davon ausgehen, dass die Störung von jemand anderem verursacht wird – nicht, dass es seine eigene Hand ist, die sich so böse verhält.

Das Alien-Hand-Syndrom ist selten, und es ist normalerweise mit einer Schädigung des Gehirns verbunden – entweder mit

plötzlichen Schäden, wie sie durch einen Schlaganfall verursacht werden, oder durch eine fortschreitende Degeneration wie bei der Alzheimer-Krankheit. Typischerweise ist dieser Schaden mit Regionen des Gehirns verbunden, die unerwünschte Bewegungen verhindern oder die beiden Gehirnhälften in die Lage versetzen, miteinander zu kommunizieren, um die Aktivitäten der Gliedmaßen zu koordinieren (jede Gehirnhälfte steuert in erster Linie die Bewegung einer anderen Hand). Auch wenn Goldstein das neurologische Problem nicht eindeutig bestimmen konnte, lag seine Begründung nicht weit davon entfernt.

Als ich zum ersten Mal über das Alien-Hand-Syndrom las, war ich Student und war in einem Psychologiekurs eingeschrieben, der einige Grundlagen der Neurowissenschaften behandelte. Der Kurs war meine erste wirkliche Beschäftigung mit dem Studium des Gehirns, und das Alien-Hand-Syndrom haute mich regelrecht um. Nicht nur, dass ich noch nie etwas von dieser Krankheit gehört hatte, sondern ich hatte mir auch niemals vorgestellt, dass diese Art von ungewöhnlichem und kontraproduktivem Verhalten aus dem Gehirn hervorgehen könnte. Ich war fasziniert. Ich kann nicht behaupten, dass das Lesen über das Alien-Hand-Syndrom der eine Moment war, in dem ich mich entschied, mich mit Gehirnforschung zu beschäftigen, aber es hat mich auf jeden Fall dazu bewogen, mehr über dieses unglaublich mysteriöse Organ zu erfahren. Und danach dauerte es nicht lange, bis ich mich entschied, einen Dokortitel in Neurowissenschaften zu erwerben. Aber ich war mit meiner neu entdeckten Besessenheit vom Gehirn nicht allein. Etwa zur gleichen Zeit, als ich begann, Vollzeit zu studieren, erreichte die Neurowissenschaft so etwas wie eine Blütezeit der Popularität.

Eine kleine Untergruppe der Bevölkerung – wie die Wissenschaftsliebhaber, Neurowissenschaftler und solche Typen – war schon immer vom Gehirn begeistert gewesen, aber das allgemeine Interesse an den Neurowissenschaften breitete sich in den 1990er und 2000er Jahren sehr viel mehr aus. In den 1990er Jahren ermöglichten neue Methoden der *Neuro-Bildgebung*, auch *Neuroimaging* – ein Begriff, der sich auf zahlreiche Ansätze bezieht, die es Wissenschaftlern ermöglichen, Bilder des Gehirns zu erzeugen – erstmals die Erstellung von visuellen Darstellungen

der Hirnaktivität, und die daraus resultierenden farbigen Bilder weckten das Interesse von Wissenschaftlern und der allgemeinen Öffentlichkeit gleichermaßen. Ebenfalls in den 1990er Jahren wurden Antidepressiva, die zur Beeinflussung der Gehirnfunktion entwickelt worden waren, als gängige medizinische Behandlungsmethoden außerordentlich populär. Sie gaben Anlass zu der Hoffnung, dass unsere Gehirne manipuliert werden könnten, um problematische psychische Störungen zu behandeln – oder einfach, um uns ein möglichst glückliches psychisches Leben zu ermöglichen. Und neue technologische Fortschritte deuteten auf noch erstaunlichere Fortschritte in der Zukunft hin.

Diese Entwicklungen förderten die Begeisterung für die Neurowissenschaften. Die Menschen begannen zu erkennen, dass, wenn die Grundlage unserer Persönlichkeit und die Gründe für unser Verhalten auf das Gehirn zurückgeführt werden können, der beste Weg uns selbst zu verstehen, darin bestehen könnte, mehr Wissen über die Funktionsweise des Gehirns zu erwerben. Plötzlich war der Forschungszeig der Neurowissenschaften »in«.

Diese aufstrebenden Gehirn-Enthusiasten sollten jedoch bald erkennen, dass genaue Informationen über das Gehirn nicht so leicht zu erhalten sind. Viele Bücher über die Neurowissenschaften sind auf einem Niveau geschrieben, das für den Durchschnittsmenschen – oder sogar für angehende Neurowissenschaftler – zu schwer zu verstehen ist. Um das Problem noch zu verschärfen, geht das für die Öffentlichkeit geschriebene Material manchmal zu weit in die entgegengesetzte Richtung: Es vereinfacht die Beschreibungen des Gehirns so sehr, dass diese das Organ oder seine Funktionen nicht mehr genau wiedergeben. Und die Informationen, die in den populären Medien zu finden sind, sind oft aufgebauscht, was den Leser zu einer verzerrten Wahrnehmung dessen führt, was die Neurowissenschaften wirklich leisten können.

Ich hoffe, dass dieses Buch Ihr Interesse, etwas über das Gehirn zu lernen, befriedigt und gleichzeitig diese Extreme vermeidet. Es wurde für Leser ohne neurowissenschaftlichen Hintergrund (beziehungsweise überhaupt keinen wissenschaftlichen Hintergrund) geschrieben. Gleichzeitig habe ich versucht, die

Art der übermäßigen Vereinfachung zu vermeiden, die zu einem ungenauen oder unvollständigen Verständnis des Gehirns führt. Und ich habe mich bemüht, die aufregende Wahrheit über den aktuellen Stand der neurowissenschaftlichen Forschung zu präsentieren, ohne zu übertreiben, was wir bisher erreicht haben – oder was wir in Zukunft erreichen könnten.

Das Buch ist in zehn Kapitel gegliedert, von denen jedes eine andere Funktion des Gehirns behandelt. Durch die Erläuterung dieser Funktionen helfe ich Ihnen, ein grundlegendes Verständnis der Funktionsweise des Gehirns zu entwickeln, und führe Sie in eine lange Liste von Hirnregionen, -mechanismen und mehr ein. Am Ende des Buchs sollten Sie über genug neurowissenschaftliche Kenntnisse verfügen, um sich über neue Entwicklungen auf dem Gebiet zu informieren, mit einem Freund über Hirnfunktionen zu plaudern und vielleicht sogar die Gründe für einige der Dinge, die Sie tun, besser zu verstehen.

Ungeachtet dessen ist die Neurowissenschaft ein riesiges Thema, und obwohl wir viel über das Gehirn gelernt haben, gibt es noch viel mehr darüber, das noch nicht geklärt ist. Trotz des Titels ist dieses Buch also zwangsläufig nur eine Einführung und kein vollständiger Überblick zu allen Einzelheiten des Organs. Ich hoffe sehr, dass dieses Buch Sie zum Nachdenken über all die interessanten, eigentümlichen und geradezu erstaunlichen Dinge anregt, die das Gehirn tut, sodass Sie, wenn Sie es zu Ende gelesen haben, mehr Fragen haben werden, als Sie anfangs hatten – denn diese Fragen könnten Sie dazu veranlassen, sich weiter mit der Neurowissenschaft zu beschäftigen. Aber selbst wenn Sie die Antworten auf all diese Fragen gefunden haben, werden die Dinge, die Sie über das Gehirn nicht verstehen, immer noch exponentiell zahlreicher sein als die Dinge, die Sie verstehen. Um ehrlich zu sein, ist die vollständige Entschlüsselung des Gehirns wahrscheinlich keine Leistung, die wir noch zu unseren Lebenszeiten vollbringen werden. Selbst unsere größten Neurowissenschaftler verstehen nur einen Bruchteil dessen, was es über die Funktionsweise des Gehirns zu wissen gibt.

Ich hoffe jedoch, dass dieses Buch Ihnen dabei hilft, ein besseres Verständnis für die Merkmale und Eigenheiten dieser drei Pfund schweren Masse voller seltsamem faltigen Gewebe zu ent-

wickeln, die in Ihrem Schädel sitzt. Das Gehirn ist bei Weitem nicht perfekt, aber es hat eine einzigartige Fähigkeit, viele der ihm zugewiesenen Aufgaben zu erfüllen. Das ist einer der unzähligen Gründe, warum jemand wie ich sein Leben dem Unterrichten anderer Menschen über das Gehirn widmet – ich kann mir einfach nichts Interessanteres auf der Welt vorstellen, womit ich meine Zeit verbringen könnte, als darüber zu sprechen oder zu schreiben.

1

Angst

Als Forscher der Universität von Iowa in den frühen 1990er Jahren erstmals auf SM trafen (die Initialen werden verwendet, um ihre Anonymität zu schützen), beschrieben sie sie als 30-jährige Frau mit durchschnittlicher Intelligenz und einem fröhlichen Gemüt. Diese Beschreibung ist zwar nicht weiter bemerkenswert, aber die Wissenschaftler interessierten sich wegen eines merkwürdigen Wahrnehmungsmangels für SM: Sie hatte Schwierigkeiten, in den Gesichtern anderer Menschen Emotionen zu erkennen. Dies war besonders deutlich, wenn es um Angst ging – SM schien einfach nicht in der Lage zu sein, allein anhand des Gesichtsausdrucks zu erkennen, wann jemand Angst hatte.²

Für die meisten Menschen ist es eine natürliche Fähigkeit, Emotionen in den Gesichtern anderer Menschen zu sehen – und eine Fähigkeit, auf die wir uns bei fast jeder sozialen Interaktion stark verlassen. Daher waren die Forscher von SMs Defizit fasziniert und überzeugten sie, an einigen Tests teilzunehmen. Bald erkannten sie, dass ihre Schwierigkeiten bei der Erkennung von Angst viel tiefer gingen als nur bis zum Gesichtsausdruck. Die Emotion selbst schien ihr völlig fremd zu sein.

Ein Beispiel hierfür ist eine Erfahrung, die SM nicht lange vor dem Treffen mit Wissenschaftlern der Universität von Iowa gemacht hatte. Sie ging gegen 22 Uhr allein nach Hause, in einer Gegend, die von Drogen und Kriminalität geprägt war (ein Ort, an dem viele Menschen sich schon nicht wohlfühlen würden, wenn sie nachts allein mit *dem Auto durchfahren* würden). Als sie an einem Park vorbeikam, rief ein Mann, den sie als »unter Drogen stehend« beschrieb, ihr von einer Bank aus etwas zu.

Die meisten von uns würden in dieser Situation den Kopf senken und weitergehen – wahrscheinlich etwas schneller als zuvor. SM jedoch näherte sich dem Mann selbstbewusst. Als sie nahe an ihn herangekommen war, sprang er plötzlich auf, packte sie an ihrer Bluse

und riss sie auf die Bank hinunter. Er drückte ihr ein Messer an die Kehle und zischte: »Ich werde dich aufschneiden, du Schlampe!«

Stellen Sie sich vor, Sie hätten in SMs Schuhen gesteckt – was hätten Sie in diesem Moment gedacht und gefühlt? Wenn Sie wie die meisten von uns sind, hätte Ihr Herz angefangen zu rasen, Ihre Atmung wäre schnell und flach geworden, und Ihr Gehirn wäre von hektischen, panischen Gedanken überflutet worden.

SM hat nichts von all diesen Dingen erlebt. Sie reagierte auf die Drohung des Mannes mit den Worten: »Wenn Sie mich töten wollen, müssen Sie zuerst an den Engeln meines Gottes vorbei.« Vielleicht eingeschüchtert von ihrer gelassenen (und zugegebenermaßen etwas seltsamen) Reaktion oder vielleicht, weil er gar nicht vorgehabt hatte, etwas Drastisches zu tun, ließ der Mann SM gehen. Sie ging in gemächlichem Tempo nach Hause, als ob nichts besonders Traumatisches passiert wäre – verärgert, aber nicht ängstlich.³

SM ist keine körperlich imposante Erscheinung, und sie hat kein spezielles Kampfsporttraining absolviert, das ihr in einer Situation, in der ihr ein Messer an die Kehle gehalten wird, Selbstvertrauen geben würde. Aber Angst scheint einfach nicht zu ihrem emotionalen Repertoire zu gehören. Sie erinnert sich an Fälle, in denen sie als Kind Angst hatte, aber nie in ihrem Erwachsenenleben.

Wissenschaftler haben auf verschiedene Arten versucht, SM Angst zu entlocken – einige waren dabei wissenschaftlich konventionell, andere weniger.⁴ Nachdem SM ihnen zum Beispiel gesagt hatte, dass sie keine Schlangen und Spinnen mag, brachten die Forscher sie in eine exotische Tierhandlung, die eine Auswahl an sich schlängelnden und krabbelnden Tierarten anbot. Anstatt sich zu fürchten, war sie sehr neugierig und bat wiederholt darum, die Schlangen anfassen zu dürfen, obwohl man ihr sagte, dass diese gefährlich seien. Sie versuchte auch, eine Vogelspinne zu berühren – eine Tat, die selbst diejenigen von uns, die am wenigsten arachnophob sind, ein wenig beunruhigen könnte.

Die Forscher brachten SM in ein Spukhaus im Waverly Hills Sanatorium in Louisville, Kentucky, das von Anhängern paranormaler Phänomene als einer der Orte in den Vereinigten Staaten eingestuft wird, wo es am häufigsten spukt. Während viele von uns wahrscheinlich in der Lage sind, durch ein Spukhaus

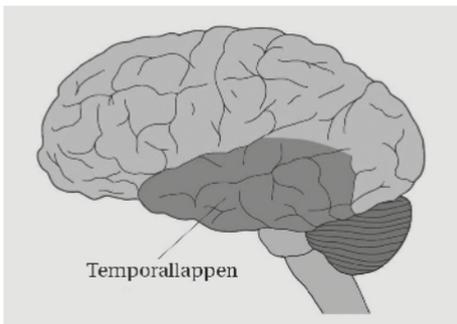
zu gehen, ohne echte Angst zu haben, reicht es in der Regel aus, Menschen in Kostümen aus schwach beleuchteten Ecken hervorspringen zu lassen, um uns zumindest ein paar Mal zu erschrecken, und einige von uns würden vielleicht sogar einen kleinen Schrei loslassen. Aber SM ging mit einem Lächeln im Gesicht durch das Spukhaus und lachte oft über die kostümierten Kreaturen, die sich bemühten, sie zu erschrecken. Sie überraschte sogar eines der »Geschöpfe«, indem sie ihm an den Kopf stupste, weil sie wissen wollte, wie sich dessen Kostüm anfühlte.

Schließlich ließen die Forscher SM mehrere Gruselfilme wie *The Ring*, *Blair Witch Project* und *Shining* sehen. Sie fand die Filme unterhaltsam und manchmal aufregend, aber nicht beängstigend. Die Anzahl der ängstlichen Reaktionen, die sie zeigte, während sie sechs Filme anschaute, die normalerweise als beängstigend eingestuft werden, war: Null.

Aufgrund ihrer Unfähigkeit, Angst zu empfinden, ist SM zu einer der bekanntesten medizinischen Kuriositäten der heutigen Zeit geworden. Mittlerweile ist sie Mitte 50 und wurde in den letzten 25 Jahren ausgiebig untersucht, in der Hoffnung, dass ihr Mangel an Angst uns etwas über die Ursache der Angst bei gesunden Patienten sagen kann.

Aber es gibt noch eine weitere Information über SM, die für das Verständnis ihres Zustands entscheidend ist: Sie leidet an einer

sehr seltenen genetischen Störung namens Urbach-Wiethe-Krankheit. Die Urbach-Wiethe-Krankheit ist normalerweise nicht tödlich, aber sie kann das Gehirn schädigen – vor allem den Teil des Gehirns in der Nähe der Schläfe, den sogenannten *Temporallappen*. Tief im Inneren des Temporallappens be-

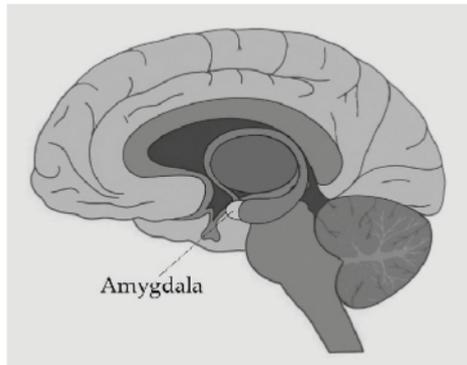


findet sich eine Region, die *Amygdala* genannt wird, die für das Verständnis von Angst – und das Fehlen von Angst bei SM – von entscheidender Bedeutung sein könnte.

Der Mandelkern des Gehirns

Das Wort Amygdala bedeutet »Mandelkern«. Sie erhielt ihren Namen, weil sie ein bisschen wie eine Mandel geformt ist. Die Amygdala ist nicht sichtbar, wenn man die Oberfläche des Gehirns betrachtet; man braucht ein Skalpell und etwas Geschick bei der Gehirndissektion, um an sie heranzukommen. Und obwohl wir oft über *die* Amygdala sprechen, gibt es eigentlich zwei davon – eine in jedem Temporallappen. Wie viele andere Teile des Gehirns (das in zwei Hälften unterteilt ist, die als *Gehirnhälften* bezeichnet werden und eine gewisse Symmetrie aufweisen), ist die Amygdala das Opfer einer seltsamen neurowissenschaftlichen Konvention, sich auf doppelte Strukturen im Singular zu beziehen.

Man nimmt an, dass jede Amygdala etwa 12 Millionen der etwa 86 Milliarden Neuronen (Nervenzellen) des Gehirns⁵ enthält – die Zellen, die die Grundbausteine des Gehirns bilden. Dennoch ist die Amygdala keine sehr auffällige Struktur. Sie wurde erst Anfang des 19. Jahrhunderts als eigenständige Hirnregion erkannt. Auch danach dauerte es bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts, bis die Forscher begannen, die Amygdala mit bestimmten Funktionen in Verbindung zu bringen. Seither ist ihr Bekanntheitsgrad jedoch stark angestiegen.



Affen, Meskalin und die Amygdala

In den 1930er Jahren hatte sich ein deutsch-amerikanischer Psychologe namens Heinrich Klüver der psychedelischen Droge Meskalin verschrieben. Meskalin kommt in einem kleinen Kaktus namens Peyote vor, der im Südwesten der Vereinigten Staaten und in Mexiko beheimatet ist. Seine Wirkungen ähneln in vielerlei Hinsicht denen des Halluzinogens LSD. Klüvers Interesse an Meskalin entsprang seiner Neugier auf lebendige mentale Bilder – etwas, das Meskalin bekanntermaßen erzeugt. Seine Begeisterung schien jedoch mehr als nur professionell zu sein, und seine Experimente umfassten häufig die Einnahme der Droge selbst.⁶

Als Klüver seine Forschungen mit Meskalin fortsetzte, wurde er neugierig, welcher Teil des Gehirns von der Droge beeinflusst wurde. Er hatte den Verdacht, dass sich das Objekt im Temporallappen befinden könnte. Diese Vermutung basierte auf seiner Beobachtung, dass die Injektion hoher Dosen von Meskalin bei Affen Nebenwirkungen hervorrufen konnte, die den Symptomen einer Temporallappenepilepsie ähnelten – eine Art von Anfallsleiden, die den Temporallappen befällt.

Um seine Hypothese zu überprüfen, rekrutierte Klüver einen jungen Neurochirurgen, Paul Bucy, der Teile des Temporallappens der Affen entfernen sollte. Klüver war der Meinung, dass, wenn der Temporallappen für die Wirkung von Meskalin ausschlaggebend sei, dessen Entfernung die Wirksamkeit des Medikaments zunichtemachen sollte. Klüver war natürlich nicht bewusst, dass sein Name aufgrund dieses Experiments in fast jedem einführenden neurowissenschaftlichen Lehrbuch, das heute veröffentlicht wird, zu finden sein würde.

Klüvers und Bucys erstes Subjekt war eine aggressive Affendame namens Aurora. Bucy entfernte den größten Teil von Auroras linken und rechten Temporallappen. Danach waren die Wissenschaftler schockiert über die Veränderungen in Auroras Verhalten. Plötzlich wurde der widerspenstige und feindselige Affe friedlich und zahm. Sie zeigte eine Vielzahl ungewöhnlicher Verhaltensweisen, aber von größter Bedeutung war, dass sie keine Wut oder Angst mehr zu verspüren schien. Als Klüver und Bucy

diese Forschung veröffentlichten,⁷ wurde dies die erste bekannte Studie, die Bereiche im Temporallappen mit starken emotionalen Empfindungen in Verbindung brachte.⁸ Die Auswirkungen der Art von Schädigung der Temporallappen, die Aurora zugefügt wurden, wurden als Klüver-Bucy-Syndrom bekannt.

Ein paar Jahrzehnte später, in den 1950er Jahren, fand der britische Neuropsychologe Larry Weiskrantz heraus, dass er viele der von Klüver und Bucy beobachteten Effekte reproduzieren konnte, indem er bei Affen nur die Amygdalae (Plural für *Amygdala*) entfernte.⁹ Zum ersten Mal begann diese bis dahin wenig bekannte Region die Aufmerksamkeit der Forscher zu erregen.

Weiskrantz kam zu dem Schluss, dass die Amygdala wichtig sein könnte, damit Affen erkennen können, ob etwas gut oder schlecht ist – eine Ansicht, die tatsächlich mit einer der Funktionen übereinstimmt, die moderne Neurowissenschaftler der Struktur zuschreiben. Viele Wissenschaftler nach Weiskrantz übersahen jedoch die Verbindung mit positiven Emotionen und konzentrierten sich vor allem auf negative Erfahrungen. Vor allem eine Emotion wurde immer wieder mit der Amygdala in Verbindung gebracht: die Angst.

Über Angst lernen

Viele der frühen Beweise, die die Amygdala mit der Angst in Verbindung bringen, stammen aus Studien, die sich mit einer Art des Lernens, der sogenannten *Angstkonditionierung*, befassten. Bei diesen Experimenten nimmt man etwas, das eine Versuchsperson (sagen wir einfach eine Ratte, da Ratten oft als Versuchstiere für diese Experimente eingesetzt werden) nicht als gut oder schlecht empfindet (wie ein Piepton). Nun versucht man, diesen neutralen Reiz mit etwas zu verbinden, das die Ratte als kategorisch schlecht betrachtet (wie ein leichter elektrischer Schlag). Dies kann man erreichen, indem man den Ton wiederholt spielt, bevor man der Ratte einen kleinen Elektroschock verpasst.

Wenn man dies oft genug tut, wird die Ratte schließlich beginnen, Anzeichen von Angst zu zeigen, wenn der Ton abgespielt wird – unabhängig davon, ob der Elektroschock sofort erfolgt oder nicht. Dieser Prozess, bei dem das Verhalten als Reaktion auf einen zuvor neutralen Reiz (wie den Ton) häufiger auftritt, wird als *Konditionierung* bezeichnet. Konditionierung bedeutet, dass man lernt, eine Verbindung zwischen zwei Dingen herzustellen, die vorher keine starke geistige Verbindung hatten. Da das Lernen in diesem Fall eine Angstreaktion beinhaltet, wird der Prozess als *Angstkonditionierung* bezeichnet.

Als Wissenschaftler ihre Aufmerksamkeit auf die Rolle der Amygdala bei der Angstkonditionierung richteten, kamen viele zu ähnlichen Ergebnissen: Eine Schädigung der Amygdala oder der Nervenbahnen, die sie mit anderen Teilen des Gehirns verbinden, stört das angstbezogene Lernen.¹⁰ Wenn man zum Beispiel die Amygdala einer Ratte beschädigt und dann versucht, sie dazu zu bringen, einen Ton als Zeichen dafür zu erkennen, dass ein elektrischer Schock kurz bevorsteht, wird die Ratte nicht lernen, diese Assoziation herzustellen. Egal wie oft auf den Ton ein Schock erfolgt, die Ratte mit den beschädigten Amygdalae wird nicht ängstlich reagieren, wenn sie nur den Ton gehört hat.

Andere Studien (an Ratten mit intakten Amygdalae) ergaben, dass die Neuronen in der Amygdala aktiver waren, wenn der Ton abgespielt wurde.¹¹ Und Studien mit Menschen zeigten ähnli-

che Ergebnisse: Die Amygdala wird aktiviert, wenn Menschen lernen, etwas zu fürchten.¹² Die Beweise deuteten also auf eine Rolle der Amygdala beim Erlernen von angsteinflößenden Dingen hin. Sie scheint dabei zu helfen, Erinnerungen zu schaffen, die es uns erlauben, die potenziell gefährlichen Dinge in der Welt zu erkennen.