

# 2

## Grenzstreitigkeiten

*Gott, gib mir die Gelassenheit,  
Dinge hinzunehmen, die ich nicht ändern kann,  
den Mut, Dinge zu ändern, die ich ändern kann,  
und die Weisheit, das eine vom anderen zu unterscheiden.*

Das Gelassenheitsgebet ist von den Anonymen Alkoholikern und anderen Organisationen übernommen worden, die ihren Mitgliedern helfen, sich von ihrer Sucht zu lösen. Es zeigt, warum das Gehirn die Menschen so sehr fasziniert: Sie hoffen immer darauf, es zu verändern. Stöbern Sie doch nur einmal in der Ratgeberecke Ihres Buchladens – Sie werden etliche Titel darüber finden, wie man weniger trinkt, von Drogen lässt, sich gesund ernährt, Geld verwaltet, die Kinder richtig erzieht und seine Ehe rettet. All dies erscheint möglich, ist aber schwer zu erreichen.

Sicherlich möchten normale, gesunde Erwachsene ihr Verhalten ändern, doch noch wichtiger ist dies für Menschen mit psychischen Beeinträchtigungen oder Störungen. Kann ein junger Erwachsener jemals von Schizophrenie geheilt werden? Kann ein Großvater nach einem Schlaganfall wieder sprechen lernen? Und wir alle wünschen uns, dass Kindergärten und Schule junge Intellekte zum Besseren formen. Können wir die Art und Weise verbessern, wie dies geschieht?

Das Gelassenheitsgebet bittet um Mut und Weisheit, um etwas ändern zu können. Vielleicht wären einige Antworten aus den Neurowissenschaften da hilfreicher – den Geist zu verändern heißt schließlich, das Gehirn zu verändern. Doch bevor die Neurowissenschaften dabei helfen können, sich selbst zu verändern, müssen sie erst einmal eine Antwort auf eine noch grundlegendere Frage finden: Wie genau verändert sich das Gehirn eigentlich, wenn wir lernen, uns anders zu verhalten?

Eltern wundern sich über die Geschwindigkeit, mit der sich ihr Baby entwickelt, und feiern jede neue Handlung, jedes neue Wort als kleines Wunder. Das Gehirn von Kleinkindern wächst rasant<sup>1</sup> und hat mit zwei Jahren fast die Größe eines Erwachsenengehirns erreicht. Das legt eine einfache Theorie nahe: Vielleicht ist Lernen nicht mehr als Hirnwachstum, und man kann Kinder klüger machen, wenn man dieses Wachstum fördert.

Auch diese Theorie geht auf die Phrenologen zurück. Johann Spurzheim argumentierte, durch geistiges Training ließen sich die corticalen Organe vergrößern, genauso, wie die Muskelmasse durch körperliches Training zunimmt. Aufbauend auf diese Theorie entwickelte Spurzheim eine ganze Erziehungsphilosophie für Kinder und Erwachsene.<sup>2</sup>

Mehr als ein Jahrhundert verging, bis seine Theorie schließlich wissenschaftlich überprüft wurde. Inzwischen hatten Psychologen einen Weg gefunden, die Auswirkungen von Anregung auf die geistige Entwicklung von Tieren zu untersuchen. Laborratten wurden in zwei unterschiedlichen Umwelten platziert, die eine eintönig, die andere abwechslungsreich. Im eintönigen Käfig lebte eine einsame Ratte mit Futter- und Wasserbehälter als einziger Dekoration. Im abwechslungsreichen Käfig lebten viele Ratten in einer Gruppe zusammen und erhielten täglich neues Spielzeug. Anschließend testeten die Forscher die Ratten in einfachen Labyrinthen und stellten fest, dass die Ratten aus der abwechslungsreichen Umgebung cleverer waren.<sup>3</sup> Vermutlich waren ihre Gehirne anders, aber wo genau lag der Unterschied?

In den 1960er-Jahren machten sich Mark Rosenzweig und seine Kollegen daran, dies herauszufinden.<sup>4</sup> Ihre Methode war überraschend einfach: Sie wogen den Cortex. Wie sich herausstellte, führte der Aufenthalt in dem abwechslungsreicheren Käfig zu einem durchschnittlich etwas schwereren Cortex. Das war der erste Beleg dafür, dass Erfahrung zu einer Veränderung der Hirnstruktur führt.

Das ist vielleicht gar nicht so überraschend, wenn man an jene MRT-Studien denkt, die zeigen, dass Londoner Taxifahrer, Musiker und bilinguale Menschen vergrößerte Hirnregionen haben. Doch wir müssen wieder einmal vorsichtig sein, um aus statistischen Ergebnissen nicht zu viel herauszulesen. Die MRT-Studien haben eine Korrelation aufgezeigt, aber keine Kausalbeziehung bewiesen.

Waren das Fahren eines Taxis, das Spielen eines Instruments und das Sprechen einer zweiten Sprache die *Ursachen* für die Hirnvergrößerung, wie Spurzheim annahm? Von einer Ursache-Wirkungs-Beziehung kann man ausgehen, wenn die Gehirne von Musikern und Nichtmusikern vor dem musikalischen Training gleich waren und sich erst anschließend unterschiedlich entwickelten. Aber da die MRT-Studien nur Daten über das „Danach“ sammelten, lässt sich eine alternative Deutung nicht ausschließen: Vielleicht werden manche Menschen mit einem größeren Gehirn geboren, das ihnen musikalisches Talent verleiht, und diese begabten Menschen werden eher zu Musikern. Demnach würde ein größeres Gehirn zu musikalischem Training führen, nicht umgekehrt.

Musiker werden möglicherweise aufgrund eines angeborenen Talents von Musiklehrern und bei Wettbewerben ausgewählt. Und Musiker könnten auch

eine selbst-selektierte Gruppe sein, da Menschen ganz allgemein Aktivitäten bevorzugen, bei denen sie sich auszeichnen. Diese Art Problem, das als *Selektionseffekt* oder verzerrte Auswahl bezeichnet wird, kompliziert die Interpretation vieler statistischer Studien. Rosenzweig eliminierte den Selektionseffekt dadurch, dass er die Ratten *zufällig* auf die beiden Käfigtypen verteilte. Damit stellte er sicher, dass die beiden Rattengruppen statistisch die gleichen Ausgangsbedingungen hatten, und so konnte er etwaige Unterschiede nach dem Käfigexperiment kausal auf die Käfigausstattung zurückführen.

Um eine Kausalität noch direkter zu demonstrieren, kann man die Gehirne von Freiwilligen per MRT vor und nach einer Erfahrung vergleichen. Auf diese Weise fand man heraus, dass sich der Cortex im Parietal- und Temporallappen verdickt, wenn jemand lernt, Bälle zu jonglieren.<sup>5</sup> Bei Medizinstudenten führte intensives Lernen für Prüfungen zu einer Vergrößerung des parietalen Cortex und des Hippocampus.<sup>6</sup>

Diese Ergebnisse sind beeindruckend, aber immer noch nicht das, was wir wollen. Es reicht nicht zu zeigen, dass Erfahrung das Gehirn verändert. Wir wollen auch wissen, ob diese Veränderung die Ursache für die verbesserte Leistung ist. Um zu verstehen, warum dieser Beweis noch aussteht, nehmen Sie folgende Analogie: Stellen Sie sich vor, musikalisches Training führe dazu, dass Musiker dicker werden, weil es sie praktisch den ganzen Tag über zu einer sitzenden Lebensweise zwingt. Es wäre falsch, den Schluss zu ziehen, diese Fettleibigkeit sei für ihre verbesserte musikalische Leistung verantwortlich. Genauso beweist die Tatsache, dass Übung das Gehirn von Musikern vergrößert, nicht, dass dieses Wachstum der Grund für die bessere Beherrschung des Instruments ist.

Rosenzweig zeigte, dass das Leben in einem abwechslungsreichen Käfig die Ratten cleverer machte und ihren Cortex verdickte. Er bewies jedoch nicht, dass diese Verdickung die Ursache für ihre höhere Intelligenz war. Tatsächlich erscheint dies angesichts dessen, was wir über die Funktionen von corticalen Regionen wissen, sogar unwahrscheinlich. Vermutlich ist der Frontallappen für Fertigkeiten wie die Orientierung im Labyrinth wichtig, doch dieser wies keine oder kaum Vergrößerung auf. Die stärkste Vergrößerung zeigte der Okzipitallappen, der fürs Sehen zuständig ist.

Kurz gesagt, wir können corticale Verdickung nicht mit Lernen gleichsetzen, sondern lediglich sagen, dass diese beiden Phänomene korreliert sind. Zudem ist die Korrelation schwach und zeigt sich nur, wenn man die Daten über ganze Gruppen mittelt. Corticale Verdickung ist kein zuverlässiger Anzeiger für Lernen bei Individuen.

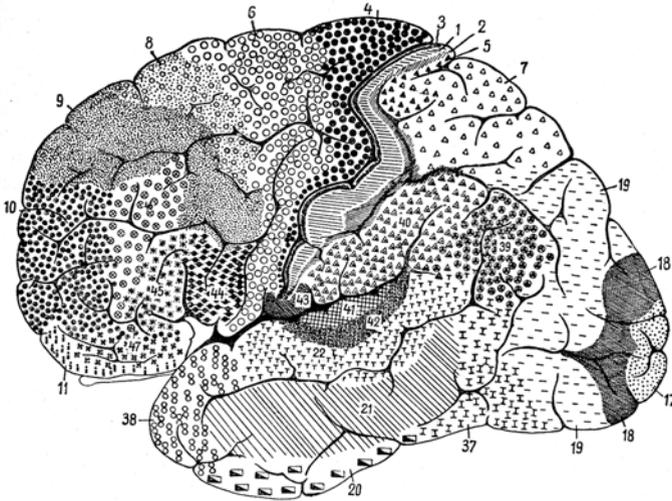
Vielleicht ist die Untersuchung von Jonglieren und Orientierung in Labyrinth der falsche Ansatz. Vielleicht sollten wir dramatischere Veränderungen untersuchen. Direkt nach einem Schlaganfall fühlt sich ein Patient zum

Beispiel gewöhnlich schwach oder zeigt Lähmungserscheinungen und verliert gelegentlich sogar die Sprache und andere geistige Fähigkeiten. Im Lauf der darauf folgenden Monate verbessert sich der Zustand vieler Patienten dramatisch. Was passiert im Gehirn während dieser Erholungsphase? Die Antwort auf diese Frage ist zweifellos von großer praktischer Bedeutung, denn sie kann zur Entwicklung besserer Therapien beitragen.

Schlaganfälle entstehen durch Blutgefäßverschlüsse oder Blutungen, die das Gehirn schädigen, weil die Blutzufuhr unterbrochen wird. Oft zeigen die Symptome an, welche Seite des Gehirns geschädigt worden ist. Wenn es Patienten schwer fällt, eine Seite des Körpers zu kontrollieren, wie häufig der Fall, heißt das, dass die gegenüberliegende Seite des Gehirns geschädigt ist, denn eine Hirnhälfte kontrolliert jeweils die Muskeln auf der anderen Körperseite. Manchmal können Neurologen die betroffene Hirnregion noch genauer lokalisieren. Um die Lage einer corticalen Läsion zu beschreiben, kann ein Neurologe unter Umständen einen Lappen oder, wenn größere Präzision erforderlich ist, eine bestimmte Windung in einem Lappen benennen. Diese Windungen tragen seltsame Namen wie „Gyrus temporalis superior“, was die oberste Windung im Temporallappen bezeichnet. Alternativ kann man ein Cortexareal mit einer Zahl statt mit einem Namen kennzeichnen und eine Karte verwenden, die von dem deutschen Neuroanatomen Korbinian Brodmann 1909 veröffentlicht wurde (Abb. 2.1).<sup>7</sup> In diesem Buch werde ich in der Regel die Bezeichnung *Areal* verwenden, wenn ich eine Unterteilung der Brodmann-Karte meine, und *Region*, wenn es allgemein um Unterteilungen des Gehirns geht (Broca- und Wernicke-Areal sind im Deutschen feststehende Begriffe und bilden daher Ausnahmen von dieser Regel; Anm. d. Übs.).

Bewegungsverlust nach einem Schlaganfall kann aus einer Schädigung der Areale 4 und 6 resultieren. Areal 4 ist der am weitesten hinten gelegene Streifen des Frontallappens, direkt vor der Zentralfurche, und Areal 6 liegt vor Areal 4. Von beiden ist bekannt, dass sie für die Bewegungskontrolle wichtig sind. Auch die Sprache leidet häufig nach einem Schlaganfall. Das ist ein Zeichen für eine Schädigung des Broca-Areals (Areale 44 und 45) oder des Wernicke-Areals (Hinterende von Areal 22), beide in der linken Hemisphäre.

Freunde und Familien wollen verzweifelt wissen, wie weit sich der Patient erholen wird. Wird er wieder gehen können? Wird er wieder sprechen? Die Bewegungsfähigkeit verbessert sich in der Regel mit der Zeit, doch nach drei Monaten geht es meist nicht viel weiter.<sup>8</sup> Auch die Sprachfertigkeiten erholen sich in den ersten drei Monaten am schnellsten, selbst wenn sie sich noch Monate oder gar Jahre danach verbessern können. Neurologen wissen, dass die Dreimonatsmarke wichtig ist, aber nicht genau, warum das so ist. Grund-



**Abb. 2.1** Brodmanns Karte des Cortex. (© Brodmann 1909)

sätzlicher gesprochen: Sie wissen nicht genau, welche Veränderungen sich im Gehirn des Patienten abspielen, während er sich erholt.

Offensichtlich kann die betroffene Hirnregion einen Teil oder alle ihre Funktionen zurückgewinnen. Doch einige Zellen in der Nähe der geschädigten Blutgefäße sterben tatsächlich ab, was zu einer irreversiblen Schädigung führt. Können die ausgesparten Regionen die Aufgaben dieser geschädigten Region übernehmen? Stellen Sie sich vor, dass ein Spieler in einem Fußballteam verletzt vom Platz getragen wird. Es gibt keinen Ersatzspieler, daher spielt das Team, das in der Unterzahl ist, nun schlechter. Doch im weiteren Verlauf des Spiels passen sich die verbliebenen Spieler möglicherweise an die Situation an. Wenn ihr Kamerad vor der Verletzung im Angriff spielte, können die Verteidiger seinen Verlust vielleicht ausgleichen, indem sie verstärkt angreifen.

Das ist eine wichtige Frage: Kann eine corticale Region nach einer Hirnverletzung eine neue Funktion übernehmen? Dafür gibt es nach Schlaganfällen einige Hinweise,<sup>9</sup> doch eine überzeugendere Bestätigung liefern Hirnschäden in früher Kindheit. Epilepsie ist definiert als Störung, die mit wiederholten spontanen Krampfanfällen oder Episoden exzessiver neuronaler Aktivität einhergeht. Bei Kindern mit sehr häufigen und schweren epileptischen Anfällen wird manchmal eine ganze Großhirnhemisphäre operativ entfernt.<sup>10</sup> Das ist einer der radikalsten neurochirurgischen Eingriffe überhaupt, doch erstaunlicherweise erholen sich die meisten Kinder sehr gut. Nach der Operation können sie wieder laufen oder rennen,<sup>11</sup> wenn auch die Beweglichkeit der

Hand der gegenüberliegenden Seite eingeschränkt bleibt. Ihre intellektuellen Fähigkeiten sind in der Regel völlig intakt und können sich nach der Operation sogar verbessern, wenn die Krampfanfälle erfolgreich eliminiert werden konnten.

Man könnte argumentieren, dass die Erholung nach einer Hemisphärektomie nicht derart überraschend ist. Vielleicht kann man den Eingriff mit dem Verlust einer Niere vergleichen. Die verbliebene Niere muss nichts anders machen als zuvor, nur mehr davon. Doch denken Sie daran, dass einige geistige Funktionen lateralisiert und die linke und die rechte Seite des Gehirns somit nicht identisch sind. Da die linke Hemisphäre auf Sprache spezialisiert ist, führt ihre Entfernung bei Erwachsenen praktisch immer zur Aphasie. Das gilt jedoch nicht für Kinder: Die linguistischen Funktionen wandern auf die rechte Seite und zeigen damit, dass corticale Areale tatsächlich ihre Funktion verändern können.<sup>12</sup>

Angesichts dessen, was wir über Lokalisation wissen, ist es nicht überraschend, dass Neurologen anhand der Symptome auf die Lage einer Hirnverletzung schließen können. Aber nun kommt das überraschende „Ja, aber“: Es mag eine Karte geben, die den Cortex in verschiedene Areale mit bestimmten Funktionen unterteilt, aber diese Karte ist nicht festgeschrieben. Das verletzte Gehirn kann sie ändern.

Die Neukartierung des Cortex nach einem Schlaganfall oder einem chirurgischen Eingriff ist dramatischer als die Verdickung, von der die Neophrenologen berichten. Kann es auch im gesunden Gehirn zu einer solchen Neukartierung kommen? Wieder einmal lassen sich Erkenntnisse an schwer verletzten Patienten gewinnen – aber mit schweren Verletzungen des Körpers, nicht des Gehirns. Die folgende Passage stammt aus einem Artikel des Neurowissenschaftlers Miguel Nicolelis:<sup>13</sup>

Eines Morgens in meinem vierten Jahr an der medizinischen Hochschule lud mich ein Gefäßchirurg am Universitätshospital in São Paulo (Brasilien) ein, die Station mit den orthopädischen Patienten zu besuchen. »Heute werden wir uns mit einem Gespenst unterhalten«, meinte er. »Erschrecken Sie nicht. Versuchen Sie, ruhig zu bleiben. Der Patient hat noch nicht akzeptiert, was geschehen ist, und er ist sehr aufgewühlt.«

Ein etwa 12-jähriger Junge mit haselnussbraunen Augen und blondem lockigem Haar saß vor mir. Schweißtropfen standen auf seinem Gesicht, das vor Entsetzen verzerrt war. Der Körper des Kindes, den ich nun genauer betrachtete, krümmte sich vor Schmerzen, deren Ursprung ungewiss war. »Es tut wirklich weh, Doktor, es brennt. Es ist, als ob etwas mein Bein zerquetscht«, stöhnte er. Ich spürte einen Kloß im Hals, der mich langsam zu ersticken droh-

te. »Wo tut es weh?«, fragte ich. Er antwortete: »In meinem linken Fuß, meiner Wade, dem ganzen Bein, überall unterhalb vom Knie!«

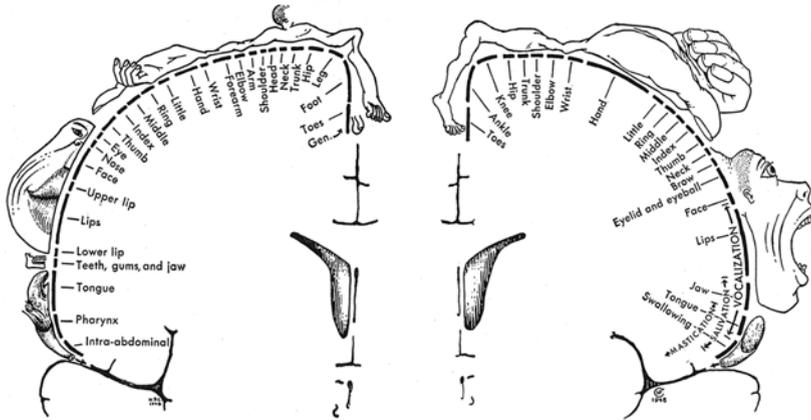
Als ich die Decke anhob, die den Jungen bedeckte, sah ich zu meiner Bestürzung, dass die Hälfte seines linken Beins fehlte; nach einem Autounfall hatte es direkt unterhalb des Knies amputiert werden müssen. Ich erkannte plötzlich, dass die Schmerzen des Kindes von einem Körperteil herrührten, der nicht länger existierte. Außerhalb der Station meinte der Chirurg: »Es war nicht er, der da gesprochen hat. Es war sein Phantomglied.«

Im 17. Jahrhundert entwickelte Ambroise Paré als Chirurg der französischen Armee moderne Amputationsmethoden. Paré wurde in einer Zeit geboren, als solche Eingriffe von Barbieren durchgeführt wurden, denn sie galten als blutiges Metzgerhandwerk,<sup>14</sup> unter der Würde eines Arztes. Auf dem Schlachtfeld lernte Paré, große Arterien abzubinden,<sup>15</sup> um zu verhindern, dass die Amputierten verbluteten. Schließlich diente er mehreren französischen Königen und ging als „Vater der modernen Chirurgie“ in die Geschichtsbücher ein.

Paré war der erste, der von Amputierten berichtete, die über ein imaginäres Glied klagten, das noch immer dort saß, wo das amputierte Glied gesessen hatte. Jahrhunderte später prägte der amerikanische Arzt Silas Weir Mitchell den Begriff *Phantomglied*, um dasselbe Phänomen bei Bürgerkriegssoldaten zu beschreiben. Seine vielen Fallstudien zeigten, dass Phantomgliedmaßen die Regel, nicht die Ausnahme waren. Warum war dieses Phänomen so lange unbemerkt geblieben?<sup>16</sup> Vor den chirurgischen Innovationen, die von Paré eingeführt wurden, überlebten nur wenige Menschen eine Amputation, und die Klagen der wenigen Glücklichen wurden als bloße Wahnvorstellungen abgetan. Nun, die Amputierten sind sich durchaus bewusst, dass dieses Phantom nicht real ist,<sup>17</sup> doch da es gewöhnlich starke Schmerzen verursacht, bitten sie die Ärzte, dieses Empfinden zu vertreiben.

Mitchell benannte das Phänomen nicht nur, sondern schlug eine Erklärung dafür vor. Er nahm an, gereizte Nervenendigungen im Stumpf schickten Signale ins Gehirn, das sie als Empfindungen des fehlenden Gliedes deutete.<sup>18</sup> Von dieser Theorie inspiriert, versuchten einige Chirurgen, den Stumpf zu amputieren, doch das half nichts.<sup>19</sup> Heute glauben viele Neurowissenschaftler an eine andere Theorie: Phantomgliedmaßen werden durch eine Neukartierung des Cortex hervorgerufen.

Diese Reorganisation umfasst nicht den gesamten Cortex, sondern beschränkt sich vermutlich auf ein bestimmtes Areal. Wir haben gerade über Areal 4 gesprochen, den Streifen vor der Zentralfurche, der Bewegung kontrolliert. Direkt hinter der Furche liegt Areal 3, das für sensorische Empfindungen wie Druck, Temperatur und Schmerz eine Rolle spielt. In den 1930er-Jahren kartierte der kanadische Neurochirurg Wilder Penfield beide



**Abb. 2.2** Funktionskarten der corticalen Areale 3 und 4: der sensorische (links) und der motorische Homunculus (rechts). (© Penfield und Rasmussen)

Areale bei seinen Patienten mithilfe elektrischer Reizung.<sup>20</sup> Nach Eröffnung des Schädels, um das Gehirn für eine Epilepsieoperation freizulegen, platzierte Penfield seine Elektroden an unterschiedlichen Orten in Areal 4. Jede Reizung führte dazu, dass sich irgendein Teil des Körpers des Patienten bewegte. Penfield notierte die Beziehung zwischen den Reizorten in Areal 4 und den verschiedenen Körperteilen (Abb. 2.2, rechts) und nannte diese Karte einen „motorischen Homunculus“ (*homunculus* ist lateinisch und bedeutet „kleiner Mensch“). Desgleichen berichteten Patienten nach jeder Reizung in Areal 3 über sensorische Empfindungen in irgendeinem Teil des Körpers. Penfield kartierte den „sensorischen Homunculus“ in Areal 3 (links), und er sah ähnlich wie sein motorischer Vetter aus. Beide verliefen parallel an beiden Seiten der Zentralfurche. (Vereinfacht gesagt, stellen diese Karten vertikale Schnittebenen von Ohr zu Ohr durch das Gehirn dar. Die Ebene der sensorischen Karte liegt direkt hinter der Zentralfurche, die der motorischen Karte direkt davor. Nur der Außenrand wird vom Cortex gebildet, der Rest ist Großhirn.)

Gesicht und Hände dominieren die Karten, obwohl sie nur einen kleinen Teil des Körpers ausmachen. Ihre corticale Vergrößerung spiegelt ihre überproportional große Bedeutung für sensorisches Empfinden und Bewegung wider. Könnte die Größe ihrer Projektionsfläche durch Amputation verändert werden, die plötzlich die Bedeutung eines Körperteils auf Null reduziert? Aufgrund solcher Überlegungen haben der Neurologe Vilayanur S. Ramachandran und seine Mitarbeiter die These aufgestellt, dass Phantomgliedmaßen durch eine Rekartierung von Areal 3 entstehen.<sup>21</sup> Wird der Unterarm amputiert, verliert seine Projektionsfläche im sensorischen Homunculus ihre Funktion. Die umliegenden Projektionsflächen, die „Revier“, die dem Gesicht

und dem Oberarm gewidmet sind, weiten sich auf die vakant gewordene Fläche aus, indem sie ihre Grenze vorschieben. (Sie können die Nachbargebiete auf Penfields Zeichnung sehen.) Diese beiden Eindringlinge beginnen, den Unterarm wie auch ihre ursprünglichen Körperteile zu repräsentieren, und vermitteln dem Amputierten das Empfinden, ein Phantomglied zu haben.<sup>22</sup>

Dieser Theorie zufolge sollte das neu kartierte Gesichtsrevier den Unterarm wie auch das Gesicht repräsentieren. Daher sagte Ramachandran voraus, dass eine Reizung des Gesichts zu Empfindungen im Phantomglied führen werde. Und tatsächlich, als er mit einem Wattestäbchen über das Gesicht eines Amputierten strich, berichtete der Patient, er fühle die Berührung nicht nur im Gesicht, sondern auch auf seiner Phantomhand.<sup>23</sup> Die Theorie sagt ebenfalls voraus, dass das neu kartierte Oberarmrevier den Unterarm ebenso repräsentieren sollte wie den Oberarm. Als Ramachandran den Stumpf berührte, spürte der Patient die Berührung sowohl im Stumpf als auch auf seiner Phantomhand. Diese einfallsreichen Experimente haben die Theorie, dass eine Amputation zu einer Neukartierung von Areal 3 führt, eindrucksvoll bestätigt.

Ramachandran und seine Mitarbeiter benutzten die denkbar schlichteste Technik, nämlich ein Wattestäbchen. In den 1990er-Jahren wurde eine aufregende neue Methode zur bildlichen Darstellung des Gehirns (Brain Imaging) eingeführt. Die funktionale Magnetresonanztomographie (fMRT) zeigte die „Aktivität“ einer jeden Region an, das heißt, wie intensiv dieser Teil des Gehirns gerade benutzt wurde.<sup>24</sup> Inzwischen sind uns fMRT-Bilder vertraut, denn sie tauchen ständig in den Medien auf. Gewöhnlich werden sie aufgelagert auf reguläre MRT-Bilder gezeigt. Die schwarz-weißen MRT-Scans zeigen das Gehirn, und darauf aufgelagert sieht man die farbigen Flecken der fMRT-Aufnahme, die die aktiven Regionen sichtbar machen. Man kann fMRT+MRT stets als „Flecken auf Gehirn“ erkennen, während MRT-Aufnahmen nur ein Gehirn zeigen.<sup>25</sup>

Forscher scannen Freiwillige, während sie im Labor mentale Aufgaben lösen. Wenn eine Aufgabe eine Region aktivierte und sie auf dem Scan zum „Aufleuchten“ brachte, war dies ein Hinweis auf die Funktion der Region. Die Neurologie ist stets von der zufälligen Natur von Hirnläsionen behindert worden, doch die fMRT-Technik ermöglicht präzise und reproduzierbare Experimente zur Lokalisation von Funktionen. Die Brodmann-Karte wurde unverzichtbar, als Forscher dazu übergingen, jedem Areal eine Funktion zuzuordnen. Der Boom in wissenschaftlichen Journalen führte dazu, dass viele Universitäten große Summen in fMRT-Geräte oder „Hirnscanner“ investierten.

Die Forscher wiederholten auch Penfields Kartierung des motorischen und des sensorischen Homunculus. Sie beobachteten, welche Orte im Areal 3

durch Berührung verschiedener Körperteile aktiviert wurden, und welche Orte in Areal 4 aufleuchteten, wenn der Proband verschiedene Körperteile bewegte. Es war aufregend, Penfields Karten mithilfe von fMRT zu reproduzieren, ohne dafür den Schädel öffnen zu müssen. Die Forscher untersuchten auch die Neukartierung nach Amputationen und bestätigten Ramachandrans Postulat, dass sich die Gesichtsrepräsentation in Areal 3 nach unten verlagert. Wie theoretisch vorausgesagt, trat diese Verlagerung nur bei denjenigen Amputierten auf, die über Phantomschmerzen klagten, nicht bei schmerzfreien Amputierten.<sup>26</sup>

Amputationen sind keine Hirnverletzungen, doch sie sind zweifellos eine höchst anomale Form der Erfahrung. Rekartiert sich das Gehirn auch bei Erfahrungen normalerer Art? Geiger und andere Saiteninstrumentenspieler greifen die Saiten mit ihrer linken Hand. Studien zeigen eine Vergrößerung der Linke-Hand-Repräsentation in Areal 3, die wahrscheinlich von intensivem Üben herrührt.<sup>27</sup> Es ist eindrucksvoll, dass die fMRT nicht nur Brodmann-Arealen Funktionen zuordnen, sondern auch feine Veränderungen innerhalb eines Areals sichtbar machen kann. Diese Forschung ist weitaus raffinierter als Studien des Gesamthirnvolumens, wie sie Galton durchführte. Sie wird uns interessantere Dinge über corticale Neukartierung erzählen und könnte sogar dazu beitragen, stark beeinträchtigende Bewegungsstörungen zu verstehen, die durch zu viel Üben entstehen.<sup>28</sup> Diese so genannten fokalen Dystonien haben die Karriere so manch eines brillanten Musikers auf tragische Weise beendet.<sup>29</sup>

Lernen mit einer Ausdehnung corticaler Areale oder Subareale zu erklären, atmet jedoch noch immer den Geist der Phrenologie. Es unterscheidet sich konzeptuell nicht von den Studien über corticale Verdickung, und die statistischen Korrelationen sind noch immer schwach. So zeigen Studien von Braille-Lesern ebenfalls eine vergrößerte Handrepräsentation. Der Neukartierungsansatz kann nicht ohne weiteres zwischen dem Erlernen des Geigenspiels oder dem der Blindenschrift unterscheiden, zwei völlig verschiedenen Fertigkeiten.<sup>30</sup> Und selbst wenn sich dieses spezielle Problem lösen lässt, bleibt die grundsätzliche Schwierigkeit bestehen.

Es gibt *eine* andere Möglichkeit, das Gehirn zu untersuchen, die nicht auf dem Konzept der Neukartierung beruht. Mithilfe von fMRT haben Forscher versucht, Unterschiede in den Aktivitätsniveaus von Hirnregionen zu finden. So haben sie bei Schizophrenen, die bestimmte mentale Aufgaben durchführten, eine geringere Aktivität des Frontallappens festgestellt als bei Gesunden.<sup>31</sup> Im Augenblick sind solche statistischen Korrelationen noch schwach, doch dieser spannende Forschungsansatz könnte uns viel über Hirnstörungen verraten und zu besseren Diagnosemethoden führen.<sup>32</sup>



<http://www.springer.com/978-3-642-34294-3>

Das Konnektom – Erklärt der Schaltplan des Gehirns unser  
Ich?

Seung, S.

2013, XXIII, 321 S. 53 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-34294-3