SCHALTSTELLE
Pro Tag fließen 1000 Liter Blut durch das Gehirn, obwohl es selbst nur 1300 Gramm wiegt

Warum unser Gehirn **Fehler** macht

Auch das größte Wunderwerk der Natur hat seine Macken. Inzwischen wissen **HIRNFORSCHER** aber, welchen Sinn das Chaos in unserem Kopf hat

Neurowissenschaftler
Dean Buonomano
exklusiv in HÖRZU WISSEN

Lesen Sie einmal folgende Begriffe: Spritze, scharf, Faden, nähen, Stift, stechen, Injektion, Heuhaufen. Wetten, dass Sie anschließend überzeugt sind, es sei auch das Wort Nadel dabei gewesen? Das wäre jedenfalls normal. Solche Erinnerungsfehler liegen in der Natur des menschlichen Gehirns. Bei jedem Wort, das wir hören oder lesen, versuchen wir unbewusst vorauszuahnen, was als Nächstes kommt. Solches „Priming“ (dt.: Bahnung) ist an sich eine beachtliche Leistung unseres Gehirns. Dieses Netzwerk, das aus etwa 100 Milliarden Nervenzellen besteht, die durch 100 Billionen Synapsen verknüpft sind, ist hochmoderner Technik überlegen. „Was die Zahl der Elemente und Verknüpfungen angeht, übertrifft es das World Wide Web mit seinen 20 Milliarden Websites, die durch eine Billion Links verbunden sind“, sagt Neurowissenschaftler und Autor Dean Buonomano („Brain Bugs“, siehe Buchtipp Seite 77).

Doch gleich einem Computer, bei dem es dann und wann zu Software-Fehlern kommt, ist auch unser Supercomputer nicht gegen Macken, sogenannte Bugs, gefeit. Das Gehirn verwechselt, vergisst oder versagt.

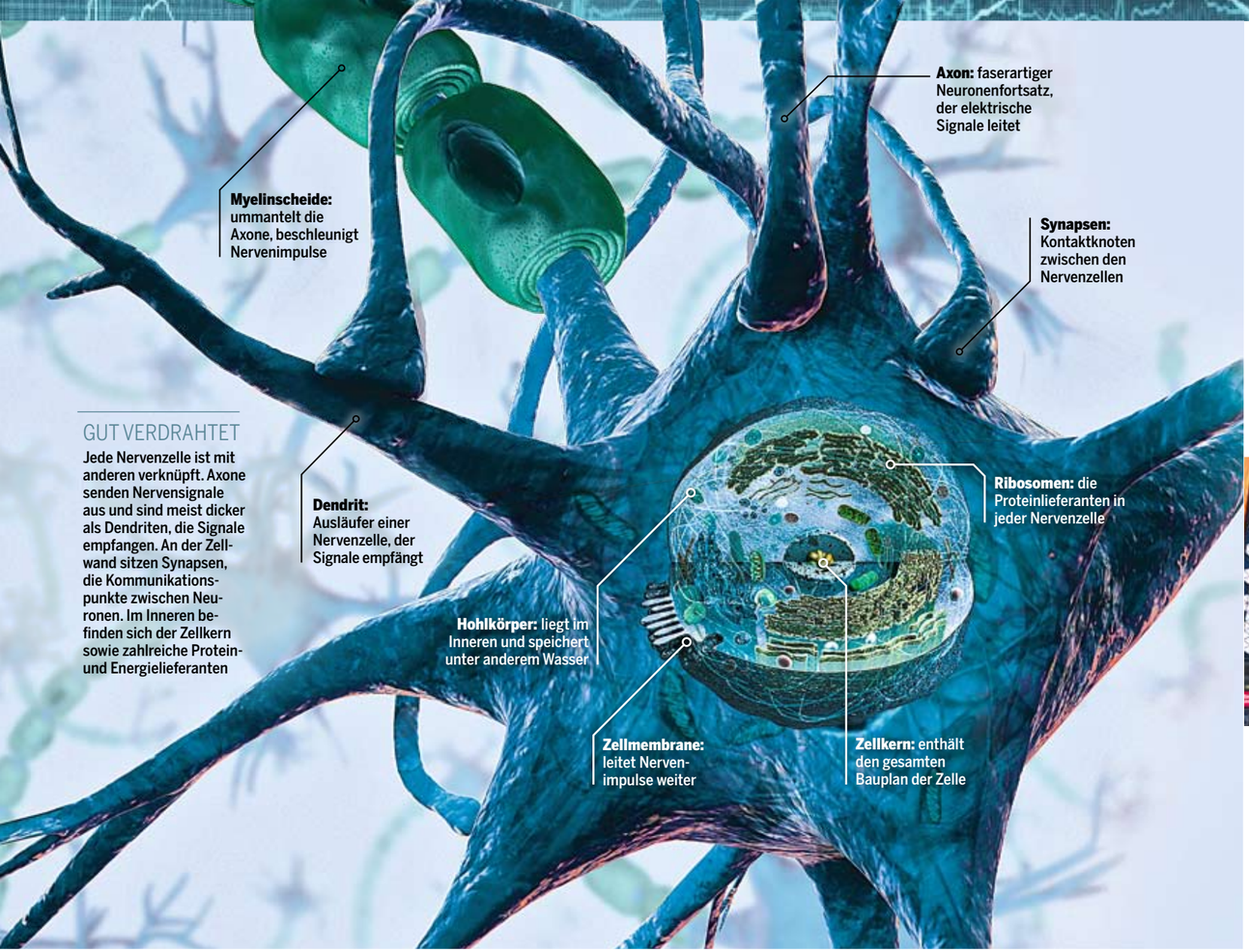
GEFÜHLTE ZEIT

So ist auch unser Zeitempfinden fehleranfällig. Sehr häufig kommt das Phänomen der Chronostasis vor: Bei einem schnellen Blick auf die Uhr scheint der Sekundenzeiger für einen Moment stillzustehen. Doch dabei trickst nur das Gehirn: Kommen die Augen aus einer Bewegung heraus ruckartig zum Stillstand, muss es sich erst auf die neue Situation einstellen. Das dauert nur wenige Millisekunden. Trotzdem entsteht eine Lücke im Fluss der Wahrnehmung, die das Gehirn auffüllt, indem es uns danach gesehene Objekte länger wahrnehmen lässt. Solchen Täuschungen erliegen wir häufiger als gedacht. Beim Blick auf die tickende Uhr kann man sie nur besonders gut beobachten.

Das Gehirn spielt uns auch einen Streich, wenn sich Wartezeit länger anfühlt, als sie tatsächlich ist. „Wünschen wir uns, die Zeit möge schnell vorübergehen, scheint sie sich in die Länge zu ziehen, und wenn wir einen Augenblick festhalten wollen, scheint sie zusammenzuschrumpfen“, sagt Neurobiologe Buonomano. Jeder kennt es: Der Besuch beim Zahnarzt nimmt kein Ende, ein geselliger Abend mit Freunden verfliegt im Nu – in unserer subjektiven Wahrnehmung. Aber woran liegt das? „Eine Antwort darauf haben wir nicht. Tatsächlich wissen wir noch nicht vollständig, wie das Gehirn Zeit verarbeitet. Einige Wissenschaftler gehen davon aus, dass wir ihr einfach weniger Aufmerksamkeit schenken, wenn wir uns amüsieren“, erklärt Buonomano. Kurios ist dabei: In der Erinnerung schätzen wir unser Zeitbudget wiederum vollkommen anders ein als während des Geschehens. Im Urlaub scheint die Zeit zu rasen. Nach ▶

FOTOS: [M] CORBIS, GETTY IMAGES (2); DDP IMAGES, PR

DER ERINNERUNGS-BUG
Namen verwechselt? Das Hirn arbeitet assoziativ, kombiniert gern. Daher lässt sich Wissen auch leichter mithilfe von Eselsbrücken abspeichern



GUT VERDRAHTET

Jede Nervenzelle ist mit anderen verknüpft. Axone senden Nervensignale aus und sind meist dicker als Dendriten, die Signale empfangen. An der Zellwand sitzen Synapsen, die Kommunikationspunkte zwischen Neuronen. Im Inneren befinden sich der Zellkern sowie zahlreiche Protein- und Energielieferanten

der Rückkehr verwandeln sich die Wochen dann in eine kleine Ewigkeit voller intensiver Erlebnisse. „Es ist, als würden wir uns im Rückblick nicht nur daran erinnern, wie viel Zeit nach unserem Eindruck verstrichen ist, sondern unsere Mutmaßungen auch darauf stützen, wie viele erinnerungswürdige Ereignisse gespeichert wurden", sagt Buonomano. Zeitwahrnehmung, Gefühle und Gedächtnis sind aneinandergekoppelt und arbeiten gemeinsam an unseren Erinnerungen.

Vermehren lassen sich Stunden und Minuten nicht. Aber immerhin, so haben Forscher herausgefunden, gibt es einen Trick, wie man das Gefühl bekommt, mehr davon zu haben: Wer Zeit für andere verwendet, empfindet sein Tun als sinnvoll – und glaubt dadurch, über mehr Zeit zu verfügen. Zu diesem Ergebnis kamen Psychologen um Cassie Mogilner von der Wharton School of Business (USA). Dazu ließen sie Probanden verschiedene Aufgaben erledigen. Die eine Gruppe sollte zum Beispiel zählen, wie oft ein bestimmter Buchstabe in einem Text vorkommt oder zehn Minuten allein verbringen. Die andere Gruppe schrieb einen aufmunternden Brief an ein krankes Kind oder half am Wochenende 30 Minuten einem anderen Menschen. Hinterher befragte Mogilner beide Gruppen nach ihrem Zeitgefühl. Tatsächlich empfanden jene Probanden weniger Hektik und Zeitmangel, die anderen Menschen Gutes taten. Wer also Zeit gewinnen möchte, sollte sie verschenken.

DER ZEIT-BUG

In Sachen Wahrnehmung der Zeit werden wir kräftig hinters Licht geführt. Während glückliche Stunden im Nu vergehen, zieht sich Wartezeit endlos in die Länge

DIE WERBEFALLE

Menschen sind soziale Wesen. Sie lachen und weinen gemeinsam und stecken sich beim Gähnen an. Das geschieht ganz automatisch. Schuld daran sind die sogenannten Spiegelneuronen. Entdeckt haben sie italienische Forscher. In Experimenten stellten sie fest, dass sich Reaktionen auch dann im Gehirn eines Affen zeigten, wenn ein anderer nach Essbarem griff. Das Verhalten des Artgenossen spiegelte sich im Hirn des beobachtenden Tieres wider. Die Existenz dieser besonderen Neuronen erklärt, warum Menschen das Verhalten anderer nachahmen und sich in sie hineinversetzen können. Als Hardware der Empathie sind sie dafür verantwortlich, dass sich unsere Mundwinkel verziehen, wenn unser Gegenüber in eine Zitrone beißt, dass uns das Lächeln anderer ansteckt oder TV-Tränen uns mitweinen lassen. Dank der Spiegelneuronen lernen wir unsere Mitmenschen zu verstehen und erleben ihre Gefühle gewissermaßen mit. Experten sind überzeugt, dass alles, was wir hören oder sehen, Spiegelresonanzen in uns auslösen kann. Und das hat auch seine Schattenseiten. „Die Macke liegt darin, dass unsere Neigung zum Imitieren oftmals wahllos verallgemeinert", sagt Buonomano. Diese Schwäche macht sich vor allem die Reklame zunutze, indem sie uns mit Suggestivbotschaften manipuliert. Werbespots, in denen attraktive, erfolgreiche Männer Bier einer bestimmten Marke genießen, fordern indirekt dazu auf, diese „Vorbilder" nachzuahmen. Schließlich trachtet der Mensch danach, Personen zu gleichen, die auf der sozialen Leiter ganz oben stehen. Früher traten sogar Ärzte in der Zigarettenwerbung auf, um Raucher bei der Stange zu halten. Wer könnte glaubhafter vermitteln, dass Rauchen nicht gesundheitsschädlich ist? Ein folgenreicher Irrtum: Im 20. Jahrhundert starben 100 Millionen Menschen an den Folgen ihrer Nikotinsucht.

DER WERBE-BUG

Auf unser Nervensystem stürzt eine Informationslawine ein, für die wir nur allzu empfänglich sind

11 Millionen Sinneseindrücke pro Sekunde nimmt unsere Chaoszentrale wahr

IRRWEGE DER ANGST

Aber gerade wenn es um Leben und Tod geht, neigen wir zu dramatischen Fehleinschätzungen: Jährlich sterben weltweit rund 1,4 Millionen Menschen an Lungenkrebs und zwei Millionen an Aids. Etwa sechs Millionen erliegen einer Atemwegsinfektion. ▶

WAS PASSIERT BEI EINEM **BLACKOUT?**

Stammeln, stottern, ein leerer Kopf – wenn Gehirnzentren außer Kraft gesetzt werden

Das hat wohl jeder schon erlebt: Zu Hause konnte man die Aufgabe noch lösen. In der Prüfung lässt einen das **Gedächtnis** im Stich. Alles Wissen scheint perdu. Das Herz rast, die Hände zittern, der Druck steigt – und mit ihm die Angst zu versagen. Totaler Filmriss. Stress kann tatsächlich Teile des Gehirns lahmlegen.

➔ Der **PRÄFRONTALE CORTEX,** als wichtige Steuerzentrale des Hirns, verliert seine Funktionsfähigkeit. Er hat sich während der Evolution verhältnismäßig spät entwickelt und sitzt an der Stirnseite der Großhirnrinde. Normalerweise ermöglicht er, dass wir uns konzentrieren können und an einer Aufgabe dranbleiben. Akuter Stress kann dieses Areal jedoch derart schwächen, dass andere, ältere Hirnregionen wie der Hypothalamus die Oberhand gewinnen. Dominieren diese archaischen Regionen, erliegen wir Impulsen, die wir sonst unter Kontrolle haben.

➔ Der **HYPOTHALAMUS** liegt im Zwischenhirn und veranlasst Organe dazu, Stresshormone wie Adrenalin und Cortisol auszuschütten. Diese versetzen dann den Körper innerhalb von Sekunden in Alarmbereitschaft. Herzfrequenz und Blutdruck schnellen hoch, die Hände werden feucht. Cortisol ist sogar in der Lage, das Erinnerungsvermögen zu hemmen.

➔ Die **AMYGDALA** ist das Angstzentrum im Hirn und wird ebenfalls bei Stressbelastungen und seelischem Kummer aktiv. Sie speichert emotional gefärbte Gedächtnisinhalte und alarmiert das übrige Nervensystem, sich auf Gefahren einzustellen. Es kommt zu Panik, die Selbstbeherrschung lässt nach.

Diese primitiven Reaktionen waren einst dazu da, Menschenleben zu retten. Sahen wir uns Raubtieren wie dem Säbelzahntiger gegenüber, durfte keine Zeit vertan werden. Denkfähigkeit stand hinten an. Was zählte, waren **Flucht oder Angriff.** Daher wurden jene Zentren im Hirn blockiert, die für die Informationsverarbeitung wichtig sind. Dumm nur: Während der Säbelzahntiger längst ausgestorben ist, tragen wir die archaischen Instinkte noch immer in uns.

ALARM
Unter Stress und Panik kann es zu Blockaden kommen

FOTOS: DK IMAGES (2), GETTY IMAGES (2), [M] GETTY IMAGES

75 Prozent der Menschen, denen ein Körperteil amputiert wurde, empfinden **Phantomschmerzen**

Und Todesursache Nummer eins sind Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die etwa sieben Millionen Menschenleben fordern. Demgegenüber kamen etwa im Jahr 2011 „nur“ 12.500 Menschen bei Terroranschlägen ums Leben. Das Risiko, durch eine Bombe getötet zu werden, ist also um ein Vielfaches geringer, als an einem Herzinfarkt zu sterben. Und dennoch: „Der Mensch fürchtet sich eher vor Gewalt und Terror als vor Krankheiten“, so Buonomano. Warum lassen wir uns so leicht auf die falsche Fährte führen?

Im Laufe der Evolution waren Kriege zwischen Gruppen allgegenwärtig. Vermutlich hat sich deshalb eine natürliche Furcht vor Angriffen in unseren Genen verankert. Außerdem, so sind Wissenschaftler wie Buonomano überzeugt, lernen wir Angst auch aus zweiter Hand. Fernsehen und Internet machen es beispielsweise möglich, beängstigende Ereignisse wieder und wieder abzurufen. Die Krux: „Ob es sich dabei um Bilder von realen oder fiktiven Ereignissen handelt, ein Teil des Gehirns behandelt ihren Anblick offenbar immer so, als wären es Beobachtungen aus erster Hand.“

Verantwortlich für das Angstempfinden ist die Amygdala, ein mandelförmiger Verbund von Nervenzellen im limbischen System. Gleich einem Brandmelder im Kopf feuert sie los, sobald es brenzlig wird – und das binnen einer Drittelsekunde. Sie bringt den Körper in Alarmbereitschaft: Die Leber setzt Zucker frei, die Nebenniere produziert Stresshormone, Schweiß bricht aus, die Muskeln spannen sich an. Währenddessen arbeitet ein zweiter Schaltkreis, der etwas komplexer ist und langsamer reagiert. Er führt über die Hirnrinde, wo eintreffende Informationen verarbeitet, abgewogen und bewertet werden. Die beiden Kreisläufe sind miteinander verbunden. Der Clou ist jedoch: Die meisten Verbindungen laufen von der hektischen Amygdala zur Hirnrinde – während umgekehrt die Hirnrinde die Amygdala weniger leicht beeinflussen kann. Anders ausgedrückt: Emotionale Erregung kann die Vernunft dominieren und kontrollieren.

Normalerweise halten diese – in bedrohlichen Momenten höchst sinnvollen – Stressreaktionen nur kurz an. Bei Menschen, die an Phobien leiden, gerät das System aber aus dem Gleichgewicht. Statt den Alarm abzubrechen, hält die Amygdala die selbst ausgelösten Stresssymptome fälschlicherweise für die äußere Bedrohung. Panik macht sich breit, die Erregung verselbstständigt sich.

STÖRENDER EIFER

Auch Menschen mit amputierten Gliedmaßen werden oft vom Gehirn irritiert. Sie fühlen messerstichartige, elektrisierende Phantomschmerzen oder ein Kribbeln im fehlenden Körperglied. Eine Studie der Deutschen Gesellschaft des Schmerzes ergab, dass drei von vier Amputationspatienten darunter leiden – auch noch Jahre nach der Operation.

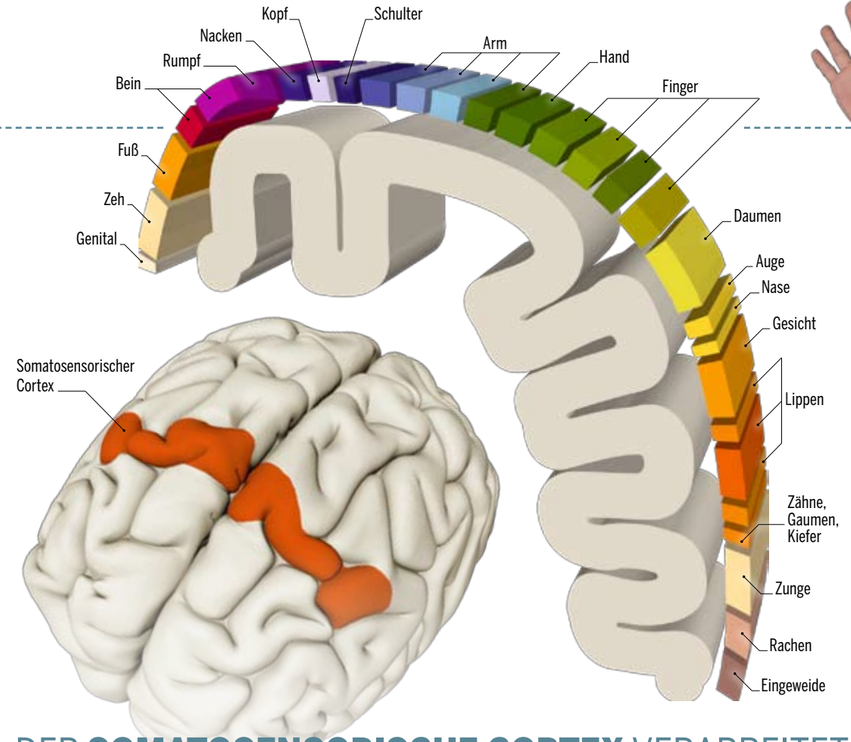
Das Schlüsselwort heißt Neuroplastizität: Im Gegensatz zu Computern unterliegt das Gehirn ständigen Veränderungen. Es baut sich permanent um, knüpft neue Verbindungen und formt sich so neu. Das ist der Grund, warum Übung den Meister macht oder warum Blindenschriftleser empfindlichere Fingerspitzen haben. „Die bemerkenswerte Fähigkeit des Gehirns zu lernen, sich anzupassen und sich neu zu organisieren, hat aber eben auch eine Kehrseite: Nach Verletzungen kann die neuronale Plastizität zur Ursache von Störungen wie Phantomgliedmaßen oder Tinnitus werden“, sagt Buonomano. Denn die Nervenzellen im Hirn, die für das amputierte Körperteil zuständig waren, bleiben erhalten – und aktiv. Bloß verarbeiten die arbeitslosen Zellen nun Impulse benachbarter Hirnregionen im somatosensorischen Cortex (siehe Grafik rechts). Wenn beispielsweise nach einer Handamputation das entsprechende Areal seine Funktion verliert, verarbeitet es nun die Reize aus den Gesichtsarealen und signalisiert auf diese Weise die Anwesenheit einer Hand, die es nicht mehr gibt. Schlimmer noch: Die Signale werden zum Schmerz aufgebauscht, um ihnen mehr Nachdruck zu verleihen. Das ist vergleichbar mit der Situation, dass uns jemand immer lauter anspricht, weil wir nicht reagieren.

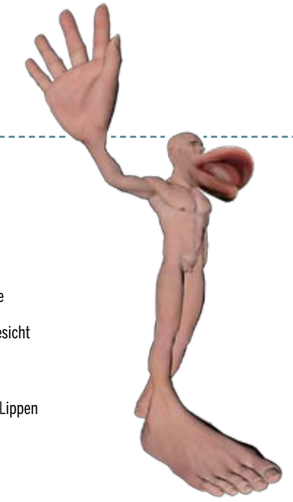
Mithilfe der sogenannten Spiegeltherapie können manche Amputierte von den Phantomschmerzen befreit werden. An der Körpermitte des Patienten wird ein Spiegel so platziert, dass der Betroffene seine gesunde Seite gespiegelt sieht und so den Eindruck zweier gesunder Extremitäten bekommt. Bewegt er dann den gesunden Körperteil, wird dem Gehirn suggeriert, dass sich auch der andere schmerzfrei mitbewegt.

DER ANGST-BUG

Schneller Herzschlag, kalter Schweiß: Was dem Urzeitmenschen zu Angriff oder blitzschneller Flucht verhelfen sollte, legt heute die Fähigkeit zu denken lahm

FOTOS: GETTY IMAGES, PR; INFOGRAFIK: RALF POWIERSKI





GRÖSSENORDNUNG

Mit dem metaphorischen Bild des Homunkulus (lat. für „Männchen“) stellen Forscher sich vor, wie die Körperregionen im Hirn repräsentiert sind

DER **SOMATOSENSORISCHE CORTEX** VERARBEITET REIZE

Sein Trumpf ist seine Anpassungsfähigkeit. Doch gerade die führt zu Irrtümern wie **Phantomschmerzen**

WIE EIN HAARREIF quer über das Gehirn verläuft der somatosensorische Cortex. Er wandelt **Berührungen** in Wahrnehmungen um: Reize, denen die linke Körperhälfte ausgesetzt ist, werden von der rechten Hirnhemisphäre aufgenommen und umgekehrt; jede Gehirnhälfte ist also mit diesem Areal ausgestattet.

➔ **AUFBAU** Der somatosensorische Cortex ist vergleichbar mit einer Landkarte, die sämtliche Körperteile repräsentiert. Je größer ein Teil abgebildet ist, desto empfindlicher ist es. Der kleine, aber hochsensible Finger etwa nimmt ein relativ großes Areal ein.

➔ **FLEXIBILITÄT** Die Areale sind nicht statisch, sondern sehr anpassungsfähig. Je nach Erfahrung und Nutzung verändern sie sich. Sie wachsen etwa beim regelmäßigen Üben eines Instruments oder schrumpfen, wenn wir aufhören, Tennis zu spielen.

➔ **FEHLER** Nach Amputationen organisiert sich der somatosensorische Cortex neu, da kein Input mehr vom fehlenden Körperteil kommt. Benachbarte Areale greifen auf das „tote“ Areal über, sodass sich die Reize von dort wie Empfindungen im eigentlich leeren Areal anfühlen. **Phantomschmerzen** sind die Folge.

Werden Gehirnareale beschädigt, hat das mitunter noch bizarrere Folgen: Beim Alien-Hand-Syndrom beispielsweise – einer seltenen Erscheinung nach Schlaganfällen oder Infektionen – führt eine Hand ein Eigenleben. Berichten zufolge knöpfen sich Betroffene ein Hemd zu, während es ihre „fremde“ Hand wieder aufknöpft. Sie hindert einen daran, Essen zum Mund zu führen oder versucht sogar, einen zu erwürgen. Die Ursache liegt in einer Schädigung des Corpus callosum, der die rechte und linke Hirnhälfte miteinander verbindet. Aber anders als bei einem Computerprogramm, dessen Bug in einer nächsten Version behoben werden kann, müssen wir uns damit abfinden, dass es für das Gehirn keine Updates und Upgrades gibt. Dafür sind wir in der Lage, mit den Beschränkungen kreativ umzugehen. Studenten pauken mithilfe von Eselsbrücken. Handys speichern für uns Telefonnummern. Einkaufslisten entlasten das Kurzzeitgedächtnis. Wollen wir mit dem Rauchen aufhören, holen wir uns medizinische Hilfe; bei Phobien gehen wir zur Therapie. Buonomano: „Unser bewusstes, reflektives System hat sich im Laufe der Jahrtausende selbst geholfen und ein einzigartiges Stadium erreicht: Das Gehirn kann heute narzisstisch seine eigenen inneren Funktionen betrachten.“ Diese Fähigkeit wird uns auch zukünftig helfen, die Schwächen unseres Gehirns zu erkennen, zu verstehen und aus diesen Erkenntnissen zu lernen. **ANNE-KATHRIN HASSE**

MEHR ÜBER IRRTÜMER

Dean Buonomano: „Brain Bugs – Wenn das Gehirn Fehler macht“, Huber, 317 Seiten, 24,95 Euro