



ကရိုနိုဂျစ် **Wunderwelt**

Wunderwelt **Gehirn**

Wahrnehmung 4



Schmecken 6, Riechen 7, Sehen 8, Tasten 10, Hören 11

Kognition 12



Lernen 14, Erinnern 16, Sprechen 18

Steuerung 20



Regulieren 22, Bewegen 24

Stimmungen 28



Empfinden 30, Fühlen 32, Verlangen 34

Porträt 36

Die Zeiten ändern sich rasant. Die Konzepte und Vorstellungen von heute sind morgen vielleicht schon überholt. Unsere Anpassungs- und Lernfähigkeit wird täglich neu herausgefordert. Das Organ des Lernens ist das Gehirn. Es organisiert und steuert die Wechselwirkungen zwischen Organismus und Umwelt, indem es Sinneseindrücke koordiniert und integriert, auf gespeicherte Gedächtnisinhalte bezieht und motorische Äusserungen, Bewegungen und Handlungen auslöst, die unser Verhalten ausmachen.

Man mag darüber streiten, ob die Welt komplexer geworden ist oder nicht. Was sich aber mit Sicherheit markant verbessert und erweitert hat, sind unsere Möglichkeiten, uns dieser Komplexität zu stellen. Dies gelingt durch verbesserte Kommunikation und einen verantwortungsbewussten Austausch von Meinungen und Handlungen, die auf der Grundlage von gewachsenen und stetig adaptierten ethischen Grundsätzen zu gemeinsam erarbeiteten Zielen führen. Für eine Gesellschaft, die die komplexen Herausforderungen der Zukunft bewältigen will, bietet das Verständnis der Funktionen des Gehirns eine natürliche, über Jahrtausende bewährte, anschauliche und entwicklungsfähige Orientierungshilfe.

Zur Auseinandersetzung mit der faszinierenden Welt des Gehirns lädt diese Broschüre ein. Sie wurde entsprechend den Grundlagen und Zielen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 38 «Krankheiten des Nervensystems» und unter Einbezug seiner Ergebnisse verfasst und gestaltet.

Prof. Jürg Kesselring
Präsident der Expertengruppe NFP 38



Wahrnehmung

Wir können einen Freund sofort wieder erkennen — von vorne, von der Seite oder gar von hinten. Wir vermögen Millionen von Farbtönen zu unterscheiden, genau so wie wir 10 000 verschiedene Düfte auseinander halten können. Wir sind in der Lage, eine Feder zu spüren, wenn sie über unsere Haut gleitet. Wir hören den Bach, der in der Ferne rauscht. Und wir merken auch, wenn uns schlechter Kaffee vorgesetzt wird. Wir öffnen unsere fünf Sinnesorgane — und schon strömt die Welt herein.

Mit Augen, Ohren, Nase, Zunge und Haut empfangen wir Reize, übersetzen sie in elektrische Nervenimpulse und geben diese ans Gehirn weiter. Dort werden sie in bestimmten Regionen verarbeitet und von uns als Bilder und Bewegungen, Geräusche, Gerüche, Geschmack, Temperatur und Berührung erfahren. Das Hirn ordnet und interpretiert schliesslich die gesammelten Eindrücke. So hilft die Wahrnehmung, dass wir uns in der Welt zurechtfinden können.

Riechen: Pfeifentabak als Gedächtnishilfe.



Schmecken: Mal bitter, mal «umami».



Sehen: Unser Kino im Kopf.



Hören: Von den Schwingungen eines tropfenden Wasserhahns.



Tasten: Wie Marmorstein uns zum Künstler macht.



Blitz und donnert es draussen, schmeckt die Schokolade süsser als sonst. Warum der Geschmackssinn ausgerechnet bei Gewitter besonders ausgeprägt ist, weiss die Forschung noch nicht. Besser erklären lässt sich hingegen, warum unser Geschmacksempfinden für Bitterstoffe sehr gut ausgebildet ist, besser als für die anderen drei grundlegenden Geschmacksrichtungen «süss», «sauer» und «salzig». Denn dies hat evolutionär gesehen seinen Sinn: «Bitter» bedeutet oft «giftig». Der Körper schützt sich bei der

Schmecken

Nahrungsaufnahme also selbst, indem er ein Nahrungsmittel über dessen Geschmack prüft. Dieser Test geschieht in so genannten Geschmacksknospen. Die Geschmacksknospen liegen an den Randzonen der Zunge. Auf ihrer Oberfläche sind sie mit Geschmackszellen bestückt, die jeweils auf eine der vier grundlegenden Geschmacksrichtungen spezialisiert sind. Trifft nun eine Geschmackssubstanz auf die dafür spezialisierten Geschmackszellen, wird ein elektrisches Potenzial aufgebaut und als Nervenreiz an das Gehirn weitergeleitet. Das Gehirn fügt die eintreffenden Signale zu einem Gesamteindruck zusammen und bekommt so den Geschmack der Nahrung vermittelt. Jeder von uns empfundene Geschmack ist also eine Kombination aus «bitter», «süss», «sauer» und «salzig». Allerdings: Bereits 1908 fand der Japaner Kikunae Ikeda heraus, dass es genau genommen noch einen fünften Geschmackssinn gibt, der in Japan als «umami» bezeichnet wird. Nach umami schmeckt nur ein einziger Stoff, nämlich «Glutamat», der auf der ganzen Welt als Geschmacksverstärker eingesetzt wird.



Riechen

Zivilisierte Menschen zu sein bedeutet auch, dass unser Leben – anders als bei den meisten Tieren – nicht über Gerüche gesteuert wird. Wir mögen zwar verlernt haben, die Nase bewusst in den Wind zu halten. Doch beeinflussen Gerüche zumindest unser Wohlbefinden stark. So vermögen eine Wolke von Pfeifenrauch, ein spezielles Parfüm oder ein schon lange vergessener Duft unmittelbar Szenen und Emotionen aus der Vergangenheit heraufzubeschwören. Schätzungsweise bis zu 10 000 verschiedene Duftnoten kann der Mensch unterscheiden. Landeplatz für die im Luftstrom transportierten Duftmoleküle ist die Riechschleimhaut, ein nur wenige Quadratmeter grosses Areal am oberen Ende der Nasenhöhlen. Dort treffen die Duftmoleküle auf 10 Millionen Sinneszellen. Jede der Sinneszellen trägt an ihrem kopfartigen Ende mehrere Riechhärchen. Wie feine Wimpern ragen diese in den Schleim hinein und fangen dort die Duftmoleküle ein. Die chemische Struktur der Duftmoleküle wird von

speziellen Andockstellen auf den Riechhärchen registriert und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Über den Nervenfortsatz der Sinneszelle und dann über Sammelleitungen gelangen die elektrischen Riechsignale in die Schädelhöhle. Direkt hinter der Nasenwurzel liegen beidseitig im Gehirn die so genannten Riechkolben. Dort erst entsteht aus der Vielfalt der einzelnen Duftreize ein umfassender Geruchseindruck. Nervenbahnen von den Riechkolben zu den Geruchszentren in der Grosshirnrinde bringen schliesslich die Geruchsinformation in unser Bewusstsein. Darüber hinaus besitzen die Riechkolben direkte Verbindungen zum limbischen System, dem Teil des Gehirns, in dem die Gefühle wohnen und das beim Abrufen von Erinnerungen eine Rolle spielt. So lässt sich erklären, warum ein bestimmter Geruch uns plötzlich an längst Vergessenes denken lässt. Oder aber weshalb Gerüche für Wonnegefühle sorgen oder uns bis ins Mark ängstigen können.



Sehen

Übrigens: Auch die Tricks von Zauberkünstlern beruhen auf einer Täuschung unserer visuellen Wahrnehmung. Da das Gehirn in seiner Aufmerksamkeit begrenzt ist, kann der Zauberkünstler unsere Konzentration auf die Tätigkeit der einen Hand lenken, während er mit der anderen seine Zaubertricks ausführt.

Weil wir also auf Grund nur weniger Merkmale auf ein ganzes Objekt schliessen müssen, und weil das Bild im Auge viele mögliche Interpretationen zulässt, sind Erfahrungen von entscheidender Bedeutung für die visuelle Wahrnehmung. Die Erfahrung lehrt uns, welche optischen Details mit grosser Wahrscheinlichkeit zu welchem realen Objekt gehören könnten. Zur Anschauung: Wenn wir einen grauen Rüssel erblicken, dann wird der mit grösserer Wahrscheinlichkeit zu einem Elefanten gehören als zu einer Maus. Mit ähnlichen Schlüssen konstruiert der Mensch aus seiner Erfahrung Bilder von dieser Welt.

Auch kann der Mensch Dinge, die er einmal gesehen hat, immer wieder vor seinem «geistigen Auge» erscheinen lassen. Die Arbeit der Nervenzellen im Gehirn ist dabei die gleiche wie beim realen Sehen. Dieselben Gehirnzellen, die beim Anblick der Mona Lisa aktiv werden, tun dies auch, wenn man aufgefordert wird, sich das Bild der Mona Lisa im Geiste vorzustellen.

Wir alle haben die gleichen Regeln erlernt, wie wir eine 3-D-Welt aus Objekten und Farben konstruieren müssen. Dank diesen Konstruktionsregeln können wir vor Spannung beben, wenn uns farbige Lichter auf der Leinwand andeuten, dass James Bond gerade mal wieder um sein Leben kämpft.

Genau genommen gibt es im Kinosaal eine Leinwand, die an wechselnden Stellen mit Licht unterschiedlicher Farbe beleuchtet wird. Dass es sich trotzdem lohnen kann, eine Eintrittskarte zu kaufen, verdanken wir unserem Gehirn. Es erschafft beim Betrachten des Films eine 3-D-Welt im Kopf. Uns genügen wenige Anhaltspunkte über die von den Augen gesichteten Farbtupfer auf der Leinwand, um daraus in unserer Wahrnehmung beispielsweise einen kompletten James Bond zu konstruieren. Auch was wir tagtäglich sehen, ist wie Kino im Kopf: Anhand weniger Merkmale ist das Gehirn in der Lage, das wahrgenommene Objekt gewissermassen zu erraten. Das ist besonders von Vorteil, wenn wir Gesichter wieder erkennen wollen oder Verkehrsschilder passieren. Wir interpretieren also die ganze Zeit, was von den Augen als Reize ans Gehirn weitergeleitet wird. Das Grundproblem des Sehens: Das Bild im Auge lässt zahllose mögliche Interpretationen zu.

Das Auge registriert lediglich Form, Farbe, Lichtintensität und Bewegungsgeschwindigkeit eines Objekts. Rezeptorzellen auf der Netzhaut wandeln das auf das Auge eintreffende Licht in elektrische Nervenimpulse um. Über die beiden Sehnerven gelangen die Impulse an die Sehzentren im hinteren Teil des Grosshirnrinde. Aus der Summe der übertragenen Nervenimpulse erzeugen diese Hirnareale das Bild, das wir als Ausschnitt der Realität betrachten. Die Verarbeitung solcher visuellen Reize macht rund 30 Prozent der gesamten Reizverarbeitung aus, und dafür beansprucht das Sehen etwa einen Viertel aller Nervenzellen der Grosshirnrinde.

Wenn wir Objekte betrachten, können wir Einzelheiten nur mit dem scharf sehenden Teil der Netzhaut erfassen. Und das ist nur ein winziger Bereich von dem, was sich vor unserem Gesicht abspielt. Deshalb muss die Position des Auges ununterbrochen verändert und angepasst werden. Die Augen bewegen sich daher über die Oberfläche eines Objekts, um nur bei jenen Details zu verweilen, welche der vordere Teil der Grosshirnrinde ausgewählt hat.





Tasten

Das Tasten ist ein höchst schöpferischer Prozess. Gleiten wir mit der Hand über Marmor und spüren dabei die glatte, kühle Härte des Materials, dann konstruieren wir ein inneres Bild von Marmor. Begegnen unsere Hände zu einem späteren Zeitpunkt demselben Material, werden wir die Marmorplatte auch ohne Hilfe unserer Augen wieder erkennen können. Die Haut gibt uns die Fähigkeit, feinste Berührungen, aber auch Druck, Spannung und Temperaturunterschiede wahrzunehmen. Spezielle Sensorzellen (Rezeptoren) für diese Empfindungen liegen in den obersten Schichten der Haut, in der Oberhaut und in der Lederhaut. Druck und Berührung werden von zwei verschiedenen Rezeptortypen wahrgenommen: Die so genannten Paccinischen

Körperchen übermitteln grossflächige Berührungen und Druck, während die Merkelschen Scheiben auf genau lokalisierte Berührungen reagieren. Durch das Zusammenspiel dieser unterschiedlichen Berührungs- und Druckrezeptoren können Intensität, Dauer und Bereich der jeweiligen Berührung genau bestimmt werden. Andere Sensorzellen, die Wärme- und Kälterezeptoren, ermöglichen die Temperaturempfindung. Sie registrieren die Temperatur an der Hautoberfläche und leiten die Werte über das Rückenmark zum Hypothalamus weiter, einer zentralen Hirnregion. Der Hypothalamus veranlasst beispielsweise bei grosser Hitze, dass der Körper zu schwitzen beginnt und sich die Körpertemperatur entsprechend senkt. Schliesslich ist die Palette an Gefühlen, die durch Berührung und das Zusammenwirken vieler Tastrezeptoren hervorgerufen werden, weitaus vielschichtiger als die blossige Wiedergabe von «heiss», «kalt» oder Druck. Man denke nur an all die Empfindungen wie sie beim Tätscheln, Knuddeln oder Küssen auftreten können.

Hören

Die wummernden Bässe einer Dance-Scheibe regen andere Nervenzellen an, als es die Musik eines Violinsolisten tut. Wenn wir einen Ton wahrnehmen, antworten Zehntausende von Nervenzellen auf diesen Reiz – tiefe Töne machen sich dabei eher an der Hirnoberfläche bemerkbar, hohe weiter im Inneren, so weiss die Forschung inzwischen. Gemeinsam ist allen Tönen und Geräuschen, dass sie von Luftschwingungen (Schallwellen) herrühren. Unsere Empfangsstationen dafür sind die Ohren. Ihre Anordnung auf beiden Seiten des Kopfes ermöglicht uns das räumliche Hören. Die für das Hören wichtigsten Frequenzen von 2500 bis 5000 Hertz werden im Aussenohr verstärkt. Dabei erreichen die Schallwellen das Trommelfell und versetzen es in Vibration. Diese Vibrationen werden im Mittelohr über die Gehörknöchelchen zum Innenohr weitergegeben. Dort werden die Schwingungen in der so genannten Schnecke, einem erbsengrossen, von feinen Häutchen ausgekleideten und mit Haarzellen besetzten Hohlraum, in elektrische Signale umgesetzt. Die Haarzellen senden diese Signale mit Informationen über die Frequenz, die Intensität und die Dauer eines Geräusches an das Gehirn. In speziellen Arealen der Grosshirnrinde, oberhalb des linken und des rechten Ohres, werden diese Signale identifiziert und interpretiert – als musikalische Linie, als tropfender Wasserhahn, als eine menschliche Stimme oder als irgendeines der unzähligen Geräusche, die uns jederzeit umgeben. Erstaunlich ist, dass es das Gehirn trotz jeweils nur bruchstückhafter Informationen schafft, das richtige Klangmuster zu erkennen und zum Beispiel aus dem vielstimmigen Spiel eines Sinfonieorchesters eine einzelne Melodie herauszuhören. Oder nützlich: Beim Telefonieren wären wir ohne diese Fähigkeit aufgeschmissen. Mit seinem eingeschränkten Frequenzumfang überträgt das Telefon nur die Obertöne der menschlichen Stimme. Wir ergänzen die fehlenden Tonbereiche in unserem Kopf.



Kognition



Wenn uns die Sensoren der Haut melden, dass es draussen kalt ist, wenn wir morgens aus dem Haus spazieren — dann ist es die Kognition, die uns dazu bringt, auch einen warmen Mantel anzuziehen. Wenn uns der Nachbar einen guten Tag wünscht — so ist die Kognition dafür verantwortlich, dass auch wir ihm einen guten Tag wünschen. Und wenn wir danach in den Bus einsteigen — dann ist es die Kognition, die es uns ermöglicht, das Fahrgeld abgezählt bereit zu halten.

Der Begriff «Kognition» umfasst all jene Prozesse, durch die wir zu einer bewussten Kenntnis kommen und die es uns ermöglichen, gezielt zu handeln. Dazu gehören unter anderem Prozesse wie das Denken, das Lernen, das Sich-Erinnern, das Sprechen, das Entscheiden oder etwa die Fähigkeiten, sich zu orientieren oder sich etwas vorstellen zu können.

Lernen: Dauernd werden Nervenverbindungen neu verlegt. Das Hirn als ständige Baustelle.



Erinnern: Wo sich der erste Kuss versteckt hält. Der Pfad zurück zu den süßen Erinnerungen.



Sprechen: Warum Babys Sprachtalente sind. Und: Was Zwiebelsuppe mit unserem Gehirn anstellt.





Lernen

Schlaganfall Wie ein Blitz aus heiterem Himmel schlägt das Unheil zu: Plötzliche Seh- oder Sprechstörungen, gefühllose oder gelähmte Mundwinkel bedeuten Alarmstufe eins. Jährlich werden 13 000 Menschen in der Schweiz Opfer eines Schlaganfalls (auch: Hirnschlag). Die Folgen reichen von einem leichten Verwirrtsein und einer schleppenden Sprechweise bis hin zu lebenslangen Lähmungen oder gar Tod – Hirnschlag ist die dritthäufigste Todesursache in den Industrieländern. Rund 80 Prozent der Schlaganfälle sind auf ein Blutgerinnsel zurückzuführen, das wie ein Korken eine der wichtigen Blutbahnen im Gehirn verstopft. Die von dieser Blutbahn versorgte Hirnregion erhält in der Folge nicht mehr genügend Sauerstoff und Nahrung. Teile des Hirns können daher absterben. Zu den Risikofaktoren gehören ein höheres Alter, die Zuckerkrankheit, ein bereits erlittener Schlaganfall und eine Häufung von Schlaganfällen in der Familie. Daneben gibt es aber auch viele Risikofaktoren, die vom Einzelnen beeinflusst werden können. Dazu zählen hoher Blutdruck, eine fettreiche Ernährung, Rauchen oder etwa Missbrauch von Alkohol und Kokain.

Nägel kauen verändert das Gehirn. Auch dem Schlagzeu- ger steht die Vorliebe für sein Instrument im Hirn festgeschrieben. Genau so ergeht es jenem, der gerne knifflige Mathe-Aufgaben löst: Jede bewältigte Knacknuss verändert sein Gehirn ein klein wenig – denn jegliches Lernen gestaltet unseren Denkapparat um. Entsprechend schlagen sich Gewohnheiten und Fähigkeiten eines Menschen in den Strukturen des Gehirns nieder. Was sich alles beim Lernen im Gehirn verändert, beginnen die Forscher zunehmend besser zu verstehen. Die ständigen Veränderungen reichen von geringfügigen molekularen Umbauprozessen in einzelnen Nervenzellen bis hin zu Neuarrangements ganzer Netzwerke von Nervenzellen.

Sollen wir etwas Neues lernen, so muss diese Information zuerst in den als Hippocampus benannten Hirnteil gelangen. Den eigentlichen Lernvorgang muss man sich dann so vorstellen: Im Hippocampus alleine befinden sich Millionen von Nervenzellen, die miteinander verbunden sind. Eine einzelne Nervenzelle ist mit vielen anderen in Kontakt. Die Kommunikation von einer Zelle zur nächsten verläuft mittels chemischer Botenstoffe über eine Kontaktstelle, die so genannte Synapse.

Eine aktivierte Nervenzelle leitet das Signal in Form eines elektrischen Impulses bis an die Synapse weiter, wo Botenstoff in den Spalt zwischen den beiden Nervenzellen ausgeschüttet wird. Ist die Menge an Botenstoff genügend gross, wird auch die Empfängerzelle aktiviert und das Signal kann nun der zweiten Nervenzelle entlang laufen, bis es erneut auf eine Synapse trifft. Ein schwaches Signal, bei dem nur wenig Boten-

stoff freigegeben wird, reicht dagegen im Normalfall nicht aus, um weitere Nervenzellen zu aktivieren. Das ist bei mehrfacher Wiederholung einer Tätigkeit anders: Durch eine häufige Stimulierung einer Nervenzelle werden die Kontakte zwischen den beteiligten Nervenzellen enger. Wenn nun wieder ein Impuls durch diese Synapse geleitet wird, geht das leichter und schneller vonstatten. Einer solchermassen trainierten Synapse genügt ein lediglich schwaches Signal, um einen Reiz weiterzuleiten, sie «erinnert» sich an das vorhergegangene Erlebnis. Und schon ist etwas gelernt.

Im Unterschied zu schreibgeschützten Daten einer Computerdiskette sind die Informationen im Gehirn fast immer veränderbar. Das Netzwerk von Nervenzellen im Gehirn reagiert beim Lernen, Speichern und Erinnern sehr flexibel, weil es die Kontakte zwischen den Nervenzellen stets verändert und an neue Erfordernisse anpassen kann. Die Hirnforscher sprechen in diesem Zusammenhang von Plastizität. Sie ermöglicht es – zum Beispiel nach einem Schlaganfall oder einer Hirnschädigung durch einen Unfall – verloren gegangene Fähigkeiten zum Teil neu zu erlernen.



Alzheimer Die Suche nach einer Behandlung für Alzheimerpatienten läuft heute auf Hochtouren. Denn: Alzheimer, diese Krankheit des schleichenden Vergessens, ist häufig. In der Schweiz sind rund zwei Prozent der 65-Jährigen und etwa 20 Prozent der 80-Jährigen davon betroffen. Je älter jemand wird, desto grösser ist seine Risiko, an Alzheimer zu erkranken – die zunehmende Überalterung unserer Gesellschaft wird die Zahl der Krankheitsfälle also unweigerlich in die Höhe treiben. Zur Zeit dürften hier zu Lande zwischen 70 000 und 150 000 Personen an Alzheimer leiden. Diese grosse Unsicherheit besteht, weil die hundertprozentige Diagnose auch heute noch erst nach dem Tod mit der Autopsie gestellt werden kann. Denn neben anderen augenfälligen Veränderungen schrumpft das Gehirn massiv; ungefähr die Hälfte aller Gehirnzellen stirbt im Verlaufe der Krankheit ab. Die Folgen sind zunehmende Gedächtnis- und Orientierungsstörungen und ein wachsender Verlust des Denk- und Urteilsvermögens. Alzheimer-Kranke verlieren schliesslich ihre Persönlichkeit und sind vollständig auf die Hilfe Dritter angewiesen.

Erinnern

Schon eine einfache Erinnerung treibt unser Hirn zu Höchstleistungen. Denken wir beispielsweise an den ersten Kuss, dann aktivieren wir gleichzeitig verschiedene Areale, die über das ganze Gehirn verteilt sind: Um das geistige Bild dieses romantischen Erlebnisses wieder aufleben zu lassen, muss das Hirn unter anderem den Ort, die Zeit, die im Hintergrund laufende Musik oder auch den Geruch des Partners aus den verschiedenen Speicherorten abrufen und zusammenfügen. Die verschiedenen Hirnregionen, die zu dieser Erinnerung beitragen, sind durch gefestigte Nervenzellverbindungen miteinander verknüpft. Es kann deshalb vorkommen, dass beispielsweise ein Geruch oder eine Songzeile genügen, um die vollständige Szene aus dem Gedächtnis abzurufen.

Traditionell unterscheidet man beim Menschen zwischen zwei Gedächtnisarten: dem Kurzzeit- und dem Langzeitgedächtnis. Das Kurzzeitgedächtnis ermöglicht uns beispielsweise, eine Nummer, die wir im Telefonbuch nachgeschlagen haben, gerade lange genug im Gedächtnis zu behalten, um sie gleich darauf aus der Erinnerung wählen zu können. Bei der Speicherung neuer Information werden die alten Informationen überlagert. Das Langzeitgedächtnis hingegen speichert Informationen über einen längeren Zeitraum, unter Umständen lebenslang. Wie und unter welchen Umständen Information vom Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis überführt wird, und wie die Verbindungen zwischen Nervenzellen gefestigt werden, weiss die Forschung noch nicht. Gefühle dürften dabei eine Rolle spielen: Wahrscheinlich werden wir uns auch in zehn Jahren noch an den ersten Kuss erinnern, kaum jedoch an den Inhalt einer langweiligen Mathematikstunde. Vermutlich bewirken Gefühle, dass das Hirn spezielle Eiweissmoleküle bildet, durch welche die Kontakte zwischen Nervenzellen besonders verstärkt werden.

Ständig müssen wir unser Verhalten an die uns umgebende Realität anpassen können. Wie aber ruft das Gehirn die in einem bestimmten Moment benötigte Information aus unserem Gedächtnis ab? Wie unterscheidet es dabei zwischen «jetzt» und «früher»? Dieser Frage geht Armin Schnider von der Uniklinik Genf nach. Dazu hat er Patienten untersucht, die nach einer Verletzung des limbischen Systems, einer zentralen Region im Gehirn, nicht mehr zwischen Gegenwart und Vergangenheit unterscheiden können. Seine Erkenntnis: Diese Personen sind nicht mehr im Stande, Erinnerungen zu unterdrücken, die keine aktuelle Bedeutung haben; sie rufen im falschen

Moment zu viele Erinnerungen aus ihrem Gedächtnis ab. Untersuchungen an gesunden Personen mit Verfahren, welche mit Bildern aktive Hirnregionen anzeigen können, beweisen nun: Ein ganz bestimmter Teil des limbischen Systems filtert ständig unsere Gedächtnisinhalte und Gedanken – dieser Filter ermöglicht es uns, zwischen Realität, Vergangenheit und Fantasie zu unterscheiden. Ein ähnliches Projekt verfolgt Pierre Magistretti von der Universität Lausanne. Mit bildgebenden Verfahren untersucht er, wie sich die Stoffwechselfähigkeit im Gehirn von Alzheimer-Patienten verändert und welche Auswirkungen dies auf die Gedächtnisleistung hat.

Ein Baby besitzt das Potenzial, jede der mindestens 5000 heute gesprochenen Sprachen der Welt zu erlernen und perfekt zu beherrschen. Wenn ein Säugling einem Erwachsenen beim Sprechen zuhört, registriert und speichert sein Hirn die verschiedenen Laute, Rhythmen und Tonfolgen, welche für diese Sprache charakteristisch sind. Das Kind erstellt so etwas wie eine geistige Sprachlandkarte, auch wenn es selbst noch so klein ist, dass es kein Wort sprechen kann. Diese Landkarte der Sprache verankert sich im Hirn in Form neuer Verbindungen zwischen Nervenzellen. So werden für die deutsche Sprache zum Beispiel verschiedene Signalwege für die Laute «r» wie in «Ratte» und «l» wie in «Latte» ausgelegt. Die Laute «l» und «r» können daher von Menschen deutscher Muttersprache problemlos ein Leben lang

unterschieden werden. Dieses Potenzial, Sprachlandschaften anzulegen, verschwindet mit dem Alter: Auch japanische Babys können beispielsweise ohne Probleme zwischen den Lauten «l» und «r» unterscheiden. Doch weil die japanische Sprache diesen Unterschied nicht kennt, prägt sich auch auf der geistigen Sprachlandkarte kein Unterschied ein – und erwachsene Japaner müssen sich die richtige Aussprache von Wörtern mit «l» und «r» später hart erarbeiten. Diese Fähigkeit, eine neue Sprache inklusive der korrekten Aussprache perfekt zu erlernen, geht mit dem Eintritt in die Pubertät verloren. Danach wird es fast unmöglich, eine Fremdsprache wirklich beherrschen zu lernen. Jede nach der Pubertät erlernte Sprache bleibt für immer eine «Fremdsprache».

Die sprachlichen Funktionen im Gehirn sind sehr komplex. Denken wir beispielsweise an das Wort «Zwiebelsuppe», so verknüpfen wir dieses Wort unmittelbar mit einer Vielzahl von Vorstellungen. Diese Vorstellungen sind es, die uns das echte Verstehen der Buchstabenfolge Z-W-I-E-B-E-L-S-U-P-P-E erst ermöglichen. Wahrscheinlich sehen wir vor unserem inneren Auge eine Flüssigkeit in einer Schüssel, wir denken an die Wärme, die in einer Zwiebelsuppe steckt und stellen uns den Geschmack und Geruch von Zwiebeln vor. Dies lässt darauf schließen, dass Worte wahrscheinlich nicht an einer einzigen Stelle im Gehirn gespeichert sind, sondern dass die verschiedenen Vorstellungen zur «Zwiebelsuppe» in unterschiedlichen Hirnarealen abgelegt

sind. Von ihren jeweiligen Speicherorten aus können diese Vorstellungen bei Bedarf reaktiviert werden, um dem Wort einen Sinn zu verleihen. Diese so genannten Assoziationen bilden die Grundlage für die Abstraktionsfähigkeit und die Fähigkeit, zu verstehen, was es zum Beispiel heisst, wenn jemand «mit dem Kopf durch die Wand will» – dass da also jemand etwas erzwingen will, aber wohl kaum wirklich mit dem Schädel durch die Mauer kracht.

Forschung

«Ganz ähnlich wie die Sprache hat auch die Hand eine besondere Ausdrucksfähigkeit», sagt Mario Wiesendanger. Der klinische Neuropsychologe an der Universität Bern möchte unter anderem herausfinden, wie es das Gehirn anstellt, dass wir zum Beispiel mit Daumen und Zeigefinger eine Traube pflücken können, ohne sie zu zerdrücken. Oder auch: Wie koordiniert das Hirn unsere beiden Hände, dass wir Geige spielen können? Um solche Fragen zu beantworten, untersucht Wiesendanger mit seinem Team die Handfunktionen bei gesunden und hirngeschädigten Personen. Bei Hirnschädigungen ist häufig die Handfertigkeit eingeschränkt, weil viele und weit verteilte Areale im Gehirn die Hand steuern – ist auch nur eines davon verletzt, kann dies die Steuerung bereits stark beeinträchtigen. Auf Grund verloren gegangener Handfunktionen bei Hirnschädigungen, wie auch mit Hilfe der neuen bildgebenden Verfahren, können die Berner Forscher darauf zurückschließen, an welchen Stellen im Gehirn diese Funktionen abgelegt sind. Aus diesen Untersuchungen resultieren auch Erkenntnisse für die Therapie: «Dabei haben wir gesehen, dass das Gehirn alles andere als starr ist», betont Wiesendanger. «Nach einer Hirnverletzung können verloren gegangene Handfunktionen von anderen Hirnregionen zum Teil übernommen und damit neu erlernt werden.»

Sprache



Steuerung

Gehirn und Rückenmark würden umsonst Informationen verarbeiten und Körperfunktionen steuern, gäbe es nicht ein fein verzweigtes Netz von Nervenzellen, das die Befehle der menschlichen Kommandozentrale an die entsprechenden Stellen im Körper weiterleitet. Und umgekehrt müssen Signale wie beispielsweise Sinnesreize ins Hirn gelangen können. Diese Aufgaben übernimmt das so genannte periphere Nervensystem (im Gegensatz zum Zentralnervensystem, das aus Gehirn und Rückenmark besteht).

Innerhalb des peripheren Nervensystems unterscheiden die Wissenschaftler zwei weitere Systeme: das somatische Nervensystem, dessen Aufgaben die Kontrolle der Skelettmuskulatur (Beinmuskeln, Armmuskeln etc.) und die Vermittlung der Empfindung sind, und das autonome (oder vegetative) Nervensystem, das für die Steuerung der glatten Muskulatur von Blutgefäßen und Organen, der Herzmuskulatur und der Drüsen zuständig ist. Das autonome Nervensystem steuert also jene Funktionen des Körpers, die der Mensch mit seinem Willen nicht beeinflussen kann.

Regulieren: Sex oder Flucht. Beides zusammen geht nicht.



Bewegen: Warum wir beim Spaziergang ohne weiteres ein Liedchen trällern können.



Regulieren

Vieles in unserem Körper läuft ab, ohne dass wir dies realisieren. So müssen wir unserem Magen keine bewusst gefassten Befehle erteilen, er solle jetzt bitte das Mittagessen verdauen. Die Atmung funktioniert automatisch, und auch das Herz fängt ganz von alleine zu rasen an, wenn wir Panik verspüren. Diese «inneren» Körperabläufe zu steuern, ist Aufgabe des autonomen Nervensystems. Das autonome (oder auch: vegetative) Nervensystem wird in das sympathische und das parasympathische System unterteilt, oder kurz: in den Sympathicus und den Parasympathicus. Beide Systeme kontrollieren dieselben Organe, allerdings mit gegensätzlichem Effekt. Während der Sympathicus dann aktiv wird, wenn wir kämpfen oder flüchten müssen, sorgt der Parasympathicus dafür, dass der Körper im Ruhezustand optimal arbeitet, zum Beispiel bei der Verdauung oder im Schlaf. In Stress-situationen, etwa bei Auf-

treten einer Gefahr oder beim Sport, versetzt der Sympathicus den Körper in Alarmzustand: Er weitet die Pupillen, steigert den Herzrhythmus und sorgt für einen Energieschub. Gleichzeitig hemmt er sämtliche Aktivitäten im Verdauungstrakt. So kann mehr Blut in die Muskulatur fließen, zum Beispiel um schneller wegzulaufen zu können. Der Parasympathicus erfüllt eine dem Sympathicus entgegengesetzte Funktion: Er sorgt unter anderem für die Senkung des Herzrhythmus, die Verengung der Bronchien und steigert die Aktivität im Verdauungsapparat. Im Normalfall sind beide Systeme aktiv, und die einzelnen Organe werden im Gleichgewicht sowohl vom Sympathicus als auch vom Parasympathicus gesteuert.

Das wichtigste Kontrollzentrum für diese Steuerung der inneren Organe liegt im Hypothalamus, einer Hirnregion nahe dem Hirnstamm. Wenn zum Beispiel bestimmte Nervenzellen eine Änderung des Wassergehalts im Blut feststellen, melden sie dies an die entsprechenden Nervenzellen im Hypothalamus. Falls der Wassergehalt zu tief ist, lösen sie ein Durstgefühl aus. Dies bringt die betreffende Person dazu, Wasser zu trinken. Gleichzeitig sendet der Hypothalamus Signale an die Nieren, sie sollen weniger Wasser aus dem Körper ausscheiden. Falls der Wassergehalt hingegen zu hoch wird, werden die Nieren angewiesen, mehr Wasser aus dem Körper abzuführen. Andere Regionen innerhalb des Hypothalamus regulieren nach dem gleichen Prinzip den Hunger oder die Körpertemperatur.

Forschung

Das Hirn ist sehr verletzlich. Deshalb sind seine Blutgefässe gut abgedichtet. Diese so genannte Blut-Hirn-Schranke sorgt dafür, dass nur die notwendigsten Stoffe vom Blut ins Nervengewebe gelangen können. Bei verschiedenen Hirnerkrankungen wird dieser Schutzwall jedoch löchrig, sodass Abwehrzellen ins Nervengewebe eindringen und Infektionen bekämpfen können. «An sich ist dies ein sinnvoller Prozess», sagt der Neurologe David Leppert von der Universität Basel. «Doch manchmal schiesst diese Entzündungsreaktion über das Ziel hinaus, und das Nervengewebe nimmt dauerhaften Schaden.» Diese Überreaktion tritt bei verschiedenen Krankheiten des Nervensystems auf, zum Beispiel bei der Multiplen Sklerose oder auch bei bakteriellen Hirnhautentzündungen. Letztere können oftmals gar zum Tod führen. Den Wegbereitern dieser Überreaktion ist nicht nur der Basler David Leppert auf der Spur. Auch das Team um Karl Frei am Unispital Zürich möchte herausfinden, welche Moleküle die Blut-Hirn-Schranke durchlässig machen und damit Abwehrzellen ins Hirngewebe eindringen lassen. Liessen sich diese Moleküle bei einer bakteriellen Hirnhautentzündung dereinst medikamentös blockieren, dann dürften die dadurch verursachten Todesfälle abnehmen und die Hirnschäden geringer ausfallen.

Multiple Sklerose Die Ausfälle kommen meist in Schüben: Die multiple Sklerose (MS) bewirkt zunächst Kribbelgefühle oder vorübergehende Lähmungen, auch das Sehen oder Sprechen kann eingeschränkt sein. Später entwickelt sich MS fortschreitend und führt oft zu dauerhaften Lähmungen, besonders der Beine. Ausmass und Schwere der Krankheitszeichen schwanken sowohl von Mensch zu Mensch als auch bei jedem Betroffenen im Krankheitsverlauf erheblich. MS bricht meist vor dem 40. Lebensjahr aus, und in der Schweiz sind etwa 10 000 Personen davon betroffen. MS ist eine so genannte Autoimmun-Erkrankung. Dabei richtet sich das Abwehrsystem gegen den eigenen Körper: Immun-abwehrzellen zerstören die Ummantelung der Nervenzellen in Hirn und Rückenmark, als sei dies ein Fremdkörper. Die Zerstörung dieser so genannten Myelinschicht bewirkt, dass die Nervenzellen die elektrischen Impulse nicht mehr richtig weiterleiten können – ganz ähnlich wie elektrische Kabel, deren Isolierung beschädigt ist. Nach wie vor ist nicht bekannt, wieso das Immunsystem die körpereigenen Nervenzellen angreift. Für MS existieren wohl Therapien, doch die Krankheit ist bis heute nicht heilbar.

Einige Bewegungen funktionieren ohne jegliche Gehirnaktivität. Wenn wir zum Beispiel eine heisse Herdplatte berühren, dann jagt der Schmerzimpuls zum Rückenmark, welches die Hand unmittelbar anweist, sich zurückzuziehen. Auch zucken wir beim Betrachten eines Horrorstreifens vor Schreck zusammen, sobald der Bösewicht sein Opfer unvermittelt aus dem Hinterhalt attackiert. Bewusst geplant haben wir diese Bewegungen nicht, in diesen Fällen spricht man von Reflexen. Andere Bewegungen führen wir zwar bewusst durch, doch müssen wir uns bei deren Ausführung nicht besonders konzentrieren, etwa beim Essen oder beim Gehen. Bei Letzterem verschwenden wir keinen Gedanken daran, wie wir nun den einen Fuss vor den anderen zu setzen haben. Wir können uns dabei gedanklich ohne weiteres mit anderen Dingen beschäftigen, zum Beispiel die Zeitung lesen oder an das bevorstehende Fussballspiel denken. Die Ausführung solcherlei gut eingetragener, rhythmischer Bewegungen erfordert kaum Aufmerksamkeit und daher keine Aktivität der Grosshirnrinde – im Gegensatz zu den so genannten Willkürbewegungen wie Schreiben oder Klavierspielen. Wären wir nicht in der Lage, willkürliche Bewegungen auszuführen, und müssten wir uns auf Reflexe und rhythmische Bewegungen beschränken, so würden wir uns kaum von primitiven Robotern unterscheiden – und wohl ebenso uninspiriert durch die Gegend wackeln.

Bewegen

Willkürbewegungen planen wir und setzen sie in bestimmten Situationen bewusst ein. Die Entscheidung, eine bestimmte Bewegung ausführen zu wollen, beruht oftmals auf Informationen über die äussere Umgebung: Diese Informationen stammen unter anderem von den Muskel- und Sehnenspindeln (Zellgruppen, die den Spannungszustand des Muskels oder der Sehne registrieren), von Sinneszellen in Haut und Gelenken und den für die optische Wahrnehmung verantwortlichen Sinneszellen. Denn um Bewegungen ausführen und kontrollieren zu können, muss das Gehirn stets auf dem neusten Stand gehalten werden, zum Beispiel was die Körperstellung im Raum betrifft, wie die einzelnen Körperteile positioniert sind und wie gross die Muskelspannung ist.

Heute weiss man, dass es Hirnareale gibt, die sich für eine Bewegung entschliessen, während andere Areale diesen Willen – über Befehle an die zuständigen Muskeln – in Bewegung umsetzen. Auf der Grosshirnrinde befinden sich spezielle Regionen, die jeweils die Bewegungen eines bestimmten Teils des Körpers kontrollieren (z.B. Gesicht, Arme, Füsse). Die grössten derartigen Hirnareale kontrollieren jene Körperteile, welche die kompliziertesten und präzisesten Bewegungen bewerkstelligen müssen. So kontrolliert ein besonders grosses Areal die Bewegungen der Lippen und der Zunge, weil sie beim Sprechen und Essen komplexe Bewegungen vollführen müssen. Viel kleinere Areale kontrollieren die verhältnismässig einfachen Bewegungen, wie sie zum Beispiel die Schultern oder der Rücken benötigen. Dieser für die Bewegungen zuständige Bereich der Grosshirnrinde steht in direkter Verbindung mit dem Rückenmark. Das Rückenmark seinerseits leitet diese Reize an jene Nervenzellen weiter, die mit den Muskeln in Kontakt stehen.

Jahrzehntlang hatte die Forschung weit geglaubt, die Verkabelung der Nervenzellen von Hirn und Rückenmark sei vergleichbar mit einem Telefonapparat – ist ein Kabel einmal durchtrennt, dann bleibe das auch so. Das galt so lange, bis der Zürcher Forscher Martin Schwab ein Antikörper-Molekül entwickelte, das zerstörte Nerven des Rückenmarks von Ratten wieder nachwachsen lässt. Das war vor ein paar Jahren, und seither hegen Querschnittgelähmte überall auf der Welt neue Hoffnung. Was der Neuroforscher geschaffen hatte, war eine «Bremse für die Bremse»: Ein Eiweiss in der Hülle von Nervenfasern im Rückenmark und Gehirn verhindert, dass einmal durchtrennte Nerven wieder wachsen können – und der von Schwab konstruierte Antikörper vermag diese natürliche Wachstumsbremse zu blockieren. Inzwischen ist auch der genetische Bauplan für die Wachstumsbremse entschlüsselt. «Das erlaubt uns, noch spezifischere und damit wirksamere Antikörper gegen dieses wachstumshemmende Eiweiss zu entwickeln», sagt Martin Schwab. Doch klar ist: Auch wenn die Forschung auf dem Gebiet der Rückenmarksverletzungen riesige Fortschritte macht, so sind dennoch einige grosse Hürden zu überwinden, und der Erfolg solcher Therapien ist noch ungewiss.

Forschung



Parkinson Ihre Hände oder Füße zittern, sie bewegen sich immer langsamer und ihre Muskeln versteifen sich zunehmend. Die Parkinson'sche Krankheit betrifft in der Schweiz schätzungsweise 10 000 Männer und Frauen. Neben diesen Hauptsymptomen droht einem Teil der Betroffenen mit fortschreitendem Krankheitsverlauf die Demenz, eine dauerhafte Geisteschwäche. Der grösste Risikofaktor, von Parkinson ereilt zu werden, ist das Alter. Erste Beschwerden treten in der Regel nach dem 60. Lebensjahr auf. Über die Ursache der Krankheit gibt es bis heute nur Vermutungen. Bekannt ist lediglich, dass an einer bestimmten Stelle im Gehirn Nervenzellen allmählich abgebaut werden. Die Zellen dieser so genannten «schwarzen Substanz» produzieren den Botenstoff Dopamin, ein Molekül, das Signale von einer Nervenzelle auf die nächste überträgt. Wenn etwa 80 Prozent der Zellen in der schwarzen Substanz nicht mehr funktionieren, erleidet das Gehirn einen Mangel an Dopamin – und die typischen Symptome treten auf. Mit Medikamenten lässt sich heute dieser Dopaminmangel oft beheben, und Bewegungsstörungen können auf diese Weise gelindert werden.

Epilepsie Epilepsieanfälle beruhen auf «Entladungsgewittern» von Nervenzellen im Gehirn. Die Symptome reichen von kurzen Bewusstseinsabsenzen, zum Beispiel Momente eines starren Blicks bei Kindern, bis zu Krämpfen des gesamten Körpers. Die Auswirkungen der vorübergehenden Funktionsstörungen der Nervenzellen hängen weitgehend davon ab, welche Funktion die vom «Gewitter» erfassten Nervenzellen normalerweise ausüben. Haben die abnormen Impulse ihren Ursprung zum Beispiel in der für die Koordination der Beinbewegungen zuständigen Hirnregion, führt dies zu Krämpfen der Beine. Die Epilepsie betrifft ungefähr ein Prozent der Bevölkerung, Männer trifft es häufiger als Frauen. Die Epilepsie ist streng genommen keine Krankheit, sondern umfasst eine Gruppe von Symptomen, denen sehr verschiedene Störungen zu Grunde liegen können. Als mögliche Ursachen kommen unter anderem Probleme während der Geburt, Kopfverletzungen oder auch Tumoren in Frage. Andere Wissenschaftler vermuten, dass Nervenzellen aus ungeklärten Gründen falsch verschaltet sind. Mit Medikamenten lässt sich zum Teil die Übererregbarkeit der Nervenzellen drosseln, ohne dass dadurch ihre normale Funktion beeinträchtigt wird.

Forschung

Was tun, wenn die Nervenzellen des Gehirns wegsterben? Patrick Aebischer und Anne Zurn vom Unispital Lausanne setzen im Kampf gegen Parkinson auf so genannte Wachstumsfaktoren. Das sind Eiweissmoleküle, die bei gesunden Menschen dafür sorgen, dass Nervenzellen wachsen, überleben und schliesslich ordnungsgemäss funktionieren können. Die Lausanner Forscher möchten solche Wachstumsfaktoren gezielt in die von der Krankheit angegriffenen Hirnregionen schleusen. Dort könnten diese Wunderstoffe die noch vorhandenen Nervenzellen am Zelltod hindern oder beschädigte Hirnareale gar wieder reparieren, so die Idee. Deshalb haben Aebischer und Zurn mit ihrem Team nach Wegen gesucht, diese rettenden Eiweisse direkt in das Gehirn einzubringen. Um dies zu erreichen, verwenden die Lausanner Forscherinnen und Forscher den Ansatz der Gentherapie: Zellen werden genetisch so verändert, dass sie einen Wachstumsfaktor produzieren. Anschliessend werden diese behandelten Zellen in Kunststoff eingekapselt und in das Gehirn implantiert. In der Folge sollen diese biologischen Mini-Fabriken die entsprechenden Eiweissmoleküle kontinuierlich ins Nervengewebe abgeben. Tests am Tiermodell waren verheissungsvoll und deuten darauf hin, dass das, was in der Theorie gut klingt, auch tatsächlich funktionieren könnte.





Stimmungen

Die Wahrnehmung ist zu einem grossen Teil dafür verantwortlich, in welcher Stimmung sich unser Gehirn befindet. Zum Beispiel Lampenfieber: Wer schon einmal vor grossem Publikum aufgetreten ist, dürfte diese Mischung aus Erregung und Angst kennen. Wer in dieser Situation scheitert, und vor lauter Zittern den aufzusagenden Text vergessen hat, dürfte beim nächsten Auftritt erst recht ins Schwitzen kommen — aus lauter Angst vor dem drohenden Lampenfieber. Andererseits wird gestärkt aus dem Auftritt hervorgehen, wem der Akt vor Publikum gelungen ist.

Die Sinneseindrücke von dem, was um uns herum abläuft, und deren anschliessend im Hirn vollzogene Bewertung — auf Grund bereits gemachter Erfahrungen — prägen also das Verhalten. Unser Handeln ist oftmals das Resultat einer Stimmung, die sich im Hirn entwickelt hat.

Empfinden: Der Mensch braucht Schmerzen. Trotzdem tut dem Hirn nichts weh.

Fühlen: Das Leben als Spielball unserer Gefühle. Und weshalb Pokern ein Risiko birgt.

Verlangen: Warum wir wollen müssen. Von den Tücken der Euphorie.

Empfinden

So hart es tönt: Wir brauchen den Schmerz. Der Schmerz agiert als Warnsignal. Er teilt dem Körper mit, dass etwas nicht in Ordnung ist. Damit der menschliche Körper Schmerz bemerken kann, verfügt er über ein weit verzweigtes Meldesystem. Als Schmerzmelder dienen so genannte Nozizeptoren. Diese Sensoren befinden sich am Ende von Nervenfasern, die sich auf Schmerzreize spezialisiert haben

und die entsprechenden Signale an das Gehirn weiterleiten. Dort entsteht schliesslich das, was wir als Schmerzempfindung wahrnehmen. Jeder kennt zwar die Empfindung «Schmerz», doch jeder beschreibt sie anders. Das ist ein Phänomen, wie wir es von Gefühlen wie Liebe, Ekel oder Hass kennen. Jeder Mensch empfindet anders. Darum sind Schmerzen nicht objektiv zu beschreiben und schwer fassbar – wie jede andere Empfindung auch.

Das Schmerzempfinden ist nicht bei allen Menschen gleich ausgeprägt, weil es von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Aber auch das

Schmerzempfinden eines Menschen ist nicht immer gleich: Ein Schmerzreiz, der uns an einem Tag eine heftige Schmerzreaktion beschert, kann an einem anderen Tag bloss als störend empfunden werden. Wohl haben Nozizeptoren in beiden Fällen den Reiz wahrgenommen und weitergeleitet, die Schmerzschwelle jedoch hat sich verschoben. Die Veränderung der Schmerzschwelle wird durch die Freisetzung körpereigener chemischer Substanzen bewirkt, welche die Nozizeptoren empfindsamer und aufnahmefähiger machen. Bei einer Schädigung eines Körpergewebes werden diese Substanzen freigesetzt. Steigt die Konzentration dieser Stoffe über ein gewisses Mass an, so kommt es zu einer Schmerzreaktion. Dieses komplizierte Wechselspiel zwischen den schmerzauslösenden chemischen Stoffen und den Nozizeptoren dürfte für die Vielzahl von Schmerzformen verantwortlich sein, die es gibt. Zum heutigen Zeitpunkt sind noch nicht alle Zusammenhänge rund um die Schmerzempfindung erforscht.

Übrigens: Das Gehirn selbst hat keine Nozizeptoren und ist daher unempfindlich gegenüber Schmerzen.

Infektionen Eine Reihe von Krankheiten, die durch Bakterien oder Viren verursacht werden, können das Hirn schädigen. Die häufigste dieser Infektionskrankheiten ist die Gehirnhautentzündung (Meningitis), eine Entzündung jener Membran, welche Gehirn und Rückenmark bedeckt. Je nach Art des Krankheitserregers lassen sich sehr unterschiedliche Verlaufsformen der Meningitis beobachten. Während es sich bei der von Bakterien verursachten Form der Gehirnhautentzündung um eine meist dramatisch verlaufende, auch heute noch lebensgefährliche Krankheit handelt, ist die von Viren ausgelöste Variante oft weniger gefährlich. In der Regel erfolgt die Ansteckung durch Tröpfcheninfektion, das heisst ein Erkrankter oder ein gesunder Keimträger stösst beim Ausatmen oder Husten Keime aus, die von anderen Personen eingeatmet werden. Ein Ansteckungsrisiko besteht also besonders für jene Personen, die sich längere Zeit in direktem Kontakt mit Erkrankten aufgehalten haben. Als Symptome zeigen sich heftige Kopfschmerzen sowie Fieber und ein allgemeines schweres Krankheitsgefühl, oft auch Übelkeit, Erbrechen und eine ausgeprägte Lichtscheu. Im weiteren Verlauf können Benommenheit, Schläfrigkeit und schwere Bewusstseinsstörungen bis hin zum Koma auftreten.

Tumoren Tumoren sind ein abnormales Wachstum von Zellen, welches – wenn dies im Gehirn erfolgt – schwere Hirnschäden verursachen kann. Die Auswirkungen eines Tumors hängen von seiner Grösse und dem Ort seiner Entstehung ab. Denn ein sich ausbreitender Tumor kann die umliegenden Zellen zerstören. Zudem erzeugt sein Wachstum oft einen erhöhten Druck im Gehirn, welcher andere Hirnareale schädigen oder zumindest deren normale Funktionen beeinträchtigen kann. Symptome eines Tumors können sein: Kopfschmerzen, epileptische Anfälle, ungewöhnliche Müdigkeit, Lähmungen, Wahrnehmungs- oder Sprachstörungen. Gehirntumore machen fünf bis zehn Prozent aller Tumore aus und werden bei etwa einer von 10 000 Personen pro Jahr registriert.

Die Liebe entspringt dem Herzen, die Furcht hockt im Magen. So hatte man lange Zeit gedacht. Inzwischen ist bekannt: Gefühle sind ein kompliziertes Zusammenspiel von Aktivitäten des Nervensystems und chemischen Abläufen im Körper. Freude, Trauer, Angst, Wut, Ekel oder sexuelle Erregung – wir alle haben diese Gefühle schon erlebt. Einige davon sind uns verhasst, andere machen das Leben lebenswert. Mancher Gefühle sind wir uns bewusst, anderer nicht. Einige Auswirkungen von Gefühlsreaktionen treten deutlich ins Auge, zum Beispiel formieren die Gesichtsmuskeln einen jeweils typischen Ausdruck für die Freude, das Mitleid oder die Wut. Die Haut wird totenblass bei der Ankündigung einer schlechten Nachricht, und sie verfärbt sich knallrot, wenn eine Situation peinlich wird – oder eben: das vor Glück trabende Herz beim Anblick der Geliebten, der sich zusammenziehende Magen vor einer Prüfung. Andere Reaktionen laufen für uns unsichtbar im Körper ab: Chemische Moleküle wie Hormone oder Eiweisse verändern den Stoffhaushalt des Körpers, oder freiwerdende Botenstoffe aktivieren bestimmte Hirnareale und beeinflussen auf diese Weise unser Denken und Handeln.

Manchmal reagieren wir intuitiv auf bestimmte äussere Einflüsse, ohne uns eigentlich darüber im Klaren zu sein, weshalb wir dies tun. Dabei löst ein vom Sinnesapparat kommender Reiz diese Vorgänge im Körper aus, das Gehirn bewertet die neue Situation und sorgt schliesslich für das Entstehen des Gefühls. Die zentral im Gehirn eingebettete Region, in der Gefühle entstehen, wird als limbisches System bezeichnet und ist

kaum willentlich beeinflussbar. Es reicht also der Anblick eines Hauses, das jenem gleicht, in dem man eine glückliche Kindheit verbracht hat, und bereits ist das gute Gefühl da. Oder das Gesicht einer unbekannt Person, die jemandem gleicht, den man nicht ausstehen kann: Dies dürfte ein unangenehmes Gefühl auslösen. In irgend einer Art und Weise führen die meisten uns umgebenden Objekte und Situationen zu einer Gefühlsreaktion. Einige tun dies deutlicher als andere, und meistens sind die Auswirkungen – zum Glück! – gering. Oft wissen wir deshalb gar nicht, welches Objekt oder welche Situation bei uns ein bestimmtes Gefühl ausgelöst hat.

Wenn wir mal ein bestimmtes Gefühl empfinden, so müssen wir dies also weitgehend akzeptieren. Wir können Gefühlsäusserungen zwar zum Teil steuern, etwa die Wut unterdrücken oder unsere Traurigkeit überspielen. Nur wenige Menschen sind jedoch derart gute Schauspieler, dass sie ihre Gefühlsausbrüche bewusst zügeln können. Und wenn wir trotzdem versuchen, mit Schauspielkunst ein Gefühl zu mimen, so genügt schon ein kleines Detail – ein falsch aktivierter Gesichtsmuskel, ein verräterischer Ton in der Stimme –, um die Vorstellung als Betrug zu entlarven. Dies ist mit ein Grund, weshalb man beim Pokerspiel eine grosse Portion Talent benötigt, um Geld zu gewinnen. Kurzum: Die Bemühung, Gefühle zu unterbinden, ist ähnlich wenig erfolgversprechend wie der Versuch, ein sich ankündigendes Niesen zu unterdrücken.

Fühlen

Hirnverletzungen Bereits eine leichte Hirnverletzung kann einen tiefen Einschnitt ins Leben von Betroffenen bedeuten: Plötzlich fällt das Sprechen schwer, man ist dauernd müde oder hat vielleicht Mühe, Erinnerungen aus dem Gedächtnis abzurufen. Das sind Beispiele aus einer ganzen Bandbreite von Folgen, die mit einer Verletzung des Gehirns einhergehen können. Oft sind die Beschwerden äusserlich gar nicht sichtbar, so etwa mögliche Störungen in der Wahrnehmung oder in der Konzentrationsfähigkeit. In der Schweiz leben rund 100 000 Menschen mit einer Hirnverletzung, und pro Jahr kommen etwa 19 000 Betroffene hinzu. Davon sind 5000 vorwiegend junge Menschen, die durch einen Unfall eine Hirnverletzung erleiden. Junge Männer zwischen 18 und 39 Jahren sind eine speziell gefährdete Altersklasse. Denn meist sind es Autofahrer, die sich bei Verkehrsunfällen schwerste Hirnverletzungen zuziehen. Weitere Ursachen für Hirnverletzungen sind Hirnschläge, aber auch Tumoren und verschiedene Formen von Krebs oder Zwischenfälle bei Operationen.

Starkes Verlangen muss nicht zwangsläufig mit grossem Genuss einhergehen. Dies wissen zum Beispiel Drogenabhängige: Häufig ist ihr Verlangen nach einer Droge nicht mehr mit dem lustvollen Vergnügen der Anfangsphase des Drogenkonsums verbunden. Und doch fühlen sie eine unstillbare Gier, die sie von der Droge nicht loskommen lässt. Die Mechanismen, die das Gehirn des Süchtigen «wollen müssen» lassen, sind noch nicht vollständig geklärt. Klar ist: Trotz unterschiedlicher chemischer Strukturen nehmen die meisten Drogen direkt Einfluss auf Hirnfunktionen, indem sie die Aktivität von bestimmten Hirnregionen hemmen oder erregen. Bei den Amphetaminen («Speed») und Kokain stehen ein gesteigerter Antrieb und eine gehobene Stimmung im Vordergrund, beim Haschisch und bei LSD ein verstärktes Erleben der Sinneswahrnehmung, Alkohol hingegen beruhigt und führt zur Muskeler schlaffung und zu herabgesetzter Erregbarkeit der Reflexe.

Es gibt zwei klassische Theorien zum Suchtverhalten. Die eine Theorie besagt, dass Drogenkonsum auf Grund der positiven Effekte aufrechterhalten wird, welche die Droge auslöst, zum Beispiel Euphorie oder angenehme Gefühlszustände. Die andere Theorie stellt sich auf den Standpunkt, dass der Süchtige weiter die Droge konsumiert, weil sie die unangenehmen Entzugssymptome beseitigt. Beide Theorien sind jedoch unbefriedigend: Sie können nicht erklären, warum auch Drogen ohne euphorisierende Wirkung abhängig machen oder warum Süchtige nicht von Drogen loskommen, die keinerlei Entzugssymptome her-

vorrufen. Hirnforscher vermuten inzwischen, dass der wiederholte Konsum vieler Drogen auf einen zentralen Bewertungsmechanismus des Gehirns einwirkt. Dieser Mechanismus unterstützt uns dabei, die für uns entscheidenden Informationen aus der Flut von Wahrnehmungen und Eindrücken herauszufiltern. Die Forscher glauben, dass die Drogen zu chemischen Veränderungen in der dafür zuständigen Hirnregion führen: Drogen klinken sich in diesen Filtermechanismus ein und sorgen dafür, dass im Extremfall alles an Bedeutung verliert, was nicht mit der Droge im Zusammenhang steht.

Apropos: Nicht nur die klassischen Rauschmittel machen abhängig. Ebenso können Schokolade, das Lesen von Büchern oder das Chatten im Internet zur Sucht führen, auch wenn dies in der Regel mit weniger gravierenden Folgen für den Körper verbunden ist.

Forschung

«Niemand nimmt Drogen, um davon süchtig zu werden», ist Wolfram Schultz überzeugt. Der Hirnforscher von der Uni Freiburg untersucht, warum es trotzdem zu Sucht kommt. «Es sieht ganz so aus, als ob Drogen wie Kokain und Heroin unser Belohnungssystem missbrauchen», vermutet er. Mit seiner Forschung konnte Schultz nachweisen, dass durch eine Belohnung im Gehirn Zellen angeregt werden, die den Botenstoff Dopamin freisetzen. Diese Substanz aktiviert besondere Zentren im Hirn, die unter anderem das Verhalten steuern. Schultz vermutet daher, dass Dopamin, welches auf Grund einer Belohnung ausgeschüttet wird, auch das Verhalten beeinflusst. In der Folge entwickelt der Mensch Strategien, um diese Belohnung wieder erreichen zu können. Da Heroin, Kokain und auch Nikotin im Hirn ebenfalls Dopamin freisetzen, könnten diese Rauschmittel demnach das Belohnungssystem des Menschen dazu anregen, dass er sich die Droge erneut beschaffen muss. Deshalb ist die Sucht nicht nur eine körperliche Angelegenheit. Hinzu kommt das Entwerfen von Verhaltensstrategien, um an die Droge heranzukommen – und das dürfte es den Betroffenen schliesslich so schwer machen, von der Sucht loszukommen.

Verlang

Das Nationale Forschungsprogramm 38: «Krankheiten des Nervensystems»

In der Diagnostik der Krankheiten des Nervensystems sind grosse Fortschritte erzielt worden. Damit sind auch die Erwartungen an Therapiemöglichkeiten gestiegen. Oft ist eine Behandlung der Krankheitsursachen noch nicht möglich. Umso wichtiger ist es, die Erkenntnisse zur Behandlung von Krankheitssymptomen möglichst schnell von der Grundlagenforschung in die Praxis umzusetzen und den Patientinnen und Patienten zugute kommen zu lassen.

Grundlagenforschung und Klinik

Die Grundlagenforschung im Bereich der Neurowissenschaften hat in der Schweiz eine lange Tradition. An den meisten Universitäten, der ETH und in der pharmazeutischen Industrie widmen sich heute viele international herausragende Arbeitsgruppen diesem Gebiet. Diese Grundlagenforschung hat wichtige neue Einsichten in die Mechanismen neurologischer Erkrankungen gebracht.

An den Universitätsspitalern wird vor allem klinische Forschung betrieben, die sich mit klar definierten Problemen der Diagnostik und der Therapie von Krankheiten befasst. Doch der Austausch zwischen klinischer und Grundlagenforschung gestaltet sich oft als schwierig. Diese Zusammenarbeit zu verbessern, war das Hauptziel des Nationalen Forschungsprogramms «Krankheiten des Nervensystems» (NFP 38). Es wurde 1995 gestartet, hatte ein Budget von 16 Mio Franken und dauerte 5 Jahre.

Zwanzig Forschungsprojekte

Die Forschungsprojekte des NFP 38 haben ein mehrstufiges Verfahren durchlaufen. In einer ersten Runde mussten die Forschenden eine Projektskizze einreichen. Diese wurden von einer Expertengruppe begutachtet, die der Nationalfonds eingesetzt hatte. Aus 79 Projektideen hat die Expertengruppe 20 ausgewählt und deren Autorinnen und Autoren eingeladen, ein detailliert ausgearbeitetes Forschungsprojekt einzureichen. Die Selektionskriterien waren streng: Die Projekte mussten eine hohe wissenschaftliche Qualität aufweisen, verschiedene Disziplinen einbeziehen und eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und klinischer Anwendung schlagen. Jedes Projekt wurde von zwei internationalen Fachleuten und zwei Mitgliedern der Expertengruppe geprüft. Aufgrund dieses Verfahrens wurden 15 Projekte und knapp drei Jahre später 5 weitere Projekte bewilligt. Insgesamt sind also durch das Nationale Forschungsprogramm 20 Projekte finanziert worden.

Die Projekte haben sich vor allem mit der Frage befasst, wie Krankheiten des Nervensystems entstehen, wie sich einzelne Hirnleistungen nach einer Verletzung erholen, und wie diese Störungen mit neuen Therapieansätzen beeinflusst werden könnten. Dabei wurden Krankheiten wie der Schlaganfall, Alzheimer, Parkinson, die Demenz, Depression, Epilepsie oder Hirnhautentzündung untersucht.

Das NFP 38 veranstaltete regelmässig Symposien und gab den Forschergruppen die Gelegenheit, ihre Forschungsergebnisse fächerübergreifend zu diskutieren. Die geförderten Projekte führten zu einer grossen Anzahl von vielbeachteten wissenschaftlichen Publikationen.

Zum Abschluss des Forschungsprogramms hat ein dreitägiges wissenschaftliches Symposium stattgefunden, an dem die Forschenden aus dem NFP 38 ihre Schlussergebnisse präsentiert und führende Neurowissenschaftler aus aller Welt ergänzende Arbeiten vorgestellt haben. Die Ergebnisse des Symposiums werden in der renommierten Zeitschrift «Brain Research Reviews» publiziert.

Projektleiter und Titel der NFP 38-Projekte

Aguzzi Adriano Piero

Institut für Neuropathologie, Universität Zürich
Mechanismen der Prionen-Replikation und ihrer Ausbreitung im infizierten Organismus

Albanese Alberto

Istituto Nazionale Neurologica «C. Besta», Milano, Italy
Molekulare Untersuchung von Bewegungsstörungen in der Schweiz

Antonarakis Stylianos

Division de Génétique médicale, Centre Médical Universitaire, Genève
Gen-Expression im foetalen Gehirn bei Down-Syndrom im Vergleich mit Gesunden zur Bestimmung von Entwicklungs-Unterschieden

Bertrand Daniel

Département de Physiologie, Centre Médical Universitaire, Genève
Rolle des neuronalen nikotinischen Acetylcholin-Rezeptors (nAChR) bei idiopathischen Epilepsien

Dubois-Dauphin Michel

Division de Neuropsychiatrie, HUG «Belle-Idée», Chêne-Bourg
Die molekularen Grundlagen des neuronalen Zelltodes nach Schlaganfall

Frei Karl

Neurochirurgische Klinik, Universitätsspital Zürich
Molekulare und zelluläre Aspekte der Blut-Hirnschranke bei bakterieller Meningitis

Hubbell Jeffrey Alan

Institut für Biomedizinische Technik und Medizinische Informatik, ETH Zürich
Förderung der Regeneration peripherer Nerven mit biofunktionalen Gels

Innocenti Giorgio

Department of Neuroscience, Neuroanatomy and Brain Development, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden
Veränderungen der kortikalen Organisation nach frühen Läsionen

Kiss Jozsef

Département de Morphologie, Centre Médical Universitaire, Genève
Umbau von cerebralen Netzwerken und die Funktions-erholung nach Hirnläsionen

Kollias Spyridon

Institut für Neuroradiologie, Universitätsspital Zürich
Funktionelle Organisation der motorischen und prämotorischen Hirnrinde und ihre Re-Organisation bei Patienten mit Hirnläsionen

Leppert David

Neurologische Klinik, Kantonsspital Basel
Regulation von Metalloproteinasen bei Multipler Sklerose und bakterieller Meningitis:
Suche nach neuen Therapiezielen

Magistretti Pierre

Institut de physiologie, Faculté de médecine, Université de Lausanne
Die pathophysiologischen Mechanismen der Demenz anhand des Energie-Stoffwechsels im Gehirn in Beziehung zur funktionellen Bildgebung und neuropsychologischen Untersuchung

Michel Christophe

Clinique de Neurologie, Hôpital Cantonal Universitaire, Genève
Das funktionell-anatomische Substrat der visuellen Wahrnehmung bei Gesunden und bei Patienten mit kortikalen Visusstörungen

Schläpfer Thomas

Psychiatrische Universitäts-Poliklinik, Bern
Wirkung rascher repetitiver kortikaler Magnetstimulation auf therapieresistente Depression

Schnider Armin

Clinique de Rééducation, Hôpital cantonal universitaire, Genève
Lokalisation kognitiver Funktionen im Hinblick auf die Funktionserholung nach Läsionen und die präoperative Evaluation der Hemisphären-Dominanz

Schultz Wolfram

Institut de Physiologie, Université de Fribourg
Das «Belohnungssystem» im Gehirn

Schwab Martin

Abteilung Neuromorphologie, Institut für Hirnforschung, Universität und ETH Zürich
Regeneration und Plastizität nach Rückenmarksläsionen

Suter Ulrich

Institut für Zellbiologie, ETH Zürich
Mechanismen und Behandlungsstrategien bei Hereditären Motorischen und Sensorischen Neuropathien (HMSN)

Wiesendanger Mario

Neurologische Klinik, Inselspital Bern
Pathophysiologische Mechanismen der gestörten Handfunktion

Zurn Anne

Division de Recherche Chirurgicale et Centre de Thérapie Génique, Centre Hospitalier Universitaire Vaudois, Lausanne
Evaluation der Zelltherapie beim Parkinsonsyndrom

Die Expertengruppe des NFP 38

Prof. Jürg Kesselring, Präsident, Rehabilitationsklinik Valens

Prof. Patrick Aebischer, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Prof. Susanna Cotecchia, Université de Lausanne

Prof. Jean-Jacques Dreifuss, Université de Genève

Prof. Adriano Fontana, Universitätsspital Zürich

Prof. Marie-Claude Hepp-Reymond, Universität Zürich

Prof. Christian W. Hess, Inselspital Bern

Prof. Theodor Landis, Hôpital cantonal de l'Université de Genève

Prof. Denis Monard, Friedrich Miescher Institut, Basel

Prof. Peter Sonderegger, Universität Zürich

Impressum

Herausgeber, Kontaktadresse

Schweiz. Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung
Abt. IV, NFP 38, Wildhainweg 20, 3001 Bern
Telefon 031 308 22 22, Fax 031 305 29 70
nfp@snf.ch www.snf.ch (Forschungsprogramme)

Konzept, Text

Mark Livingston, Muri (AG)

Grafische Gestaltung, Layout

Beat Schenk, Bern

Fotos Broschüre

Blue Planet ausser S. 4/5: Getty-Images, München

Poster

Jonas Spengler, Berne (Fotografie)

Andréas Vetterli, Villars-sur-Glâne (Objekte)

Bildbearbeitung

Prolith AG, Köniz

Druckerei

Stämpfli AG, Bern

© 2001, Schweiz. Nationalfonds

Diese Broschüre ist auch in einer französischen Fassung erhältlich.



SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
FONDS NATIONAL SUISSE
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION
FONDO NAZIONALE SVIZZERO
Wildhainweg 20 Postfach CH-3001 Bern Schweiz

Die Nervenzelle

Der Erreger vom Dienst

«Alles oder nichts» – das ist die Sprache, welche die Nervenzelle spricht. Wie ein Kippschalter lässt sich eine Nervenzelle aktivieren oder eben nicht. Den Auslöser für einen Nervenimpuls bilden in der Regel chemische Signale. Schütten andere, über so genannte Synapsen verbundene Nervenzellen genügend solche Botenstoffe aus, verändert dies in den empfangenden Ausläufern (Dendriten) der Nervenzelle die elektrische Spannung. Das dadurch entstehende so genannte Aktionspotenzial wird am Zellkörper vorbei ins wegführende Axon geleitet. Das Axon ist von einer Hülle aus Myelin umgeben. Die Funktion dieser Hülle ist vergleichbar mit der Isolation eines elektrischen Kabels: Sie hilft, die elektrischen Impulse möglichst ungestört und schnell vorwärts zu treiben. Im Gehirn und im Rückenmark kann sich so die Erregung mit bis zu 100 Metern pro Sekunde fortpflanzen. Axone können eine Länge von bis zu einem Meter erreichen. An ihrem Ende verästeln sie sich und geben über Synapsen die Nervenimpulse an die nächste Nervenzelle oder an Muskel-, Drüsen- oder Sinneszellen weiter. Eine einzelne Nervenzelle geht über das Axon im Durchschnitt etwa 1000 Synapsenverbindungen mit anderen Nervenzellen ein und ist über die weit verästelten Dendriten mit ungefähr 10 000 Synapsen anderer Nervenzellen verbunden.



Das Gehirn

Die Kommandozentrale des Menschen

Das menschliche Gehirn, diese von unzähligen Falten und Furchen durchzogene graue Masse unter der Schädeldecke, ist die wohl komplexeste je von der Natur geschaffene Struktur. Das beim Erwachsenen rund 1,5 Kilogramm schwere Organ steht permanent unter Schwachstrom und ist mit seinen rund 100 Milliarden Nervenzellen weit leistungsfähiger als der modernste Computer: Während sich der Computer lediglich mit einem Verarbeitungsschritt nach dem anderen beschäftigen kann, vermag das menschliche Gehirn mehr als eine Milliarde Informationen gleichzeitig zu verarbeiten. Das Gehirn kann anhand von Einzelteilen ein zusammenhängendes Ganzes erkennen, besitzt eine fast unbegrenzte Speicher-

kapazität und ist in der Lage, selbst komplizierteste Bewegungsabläufe präzise zu steuern. Diese Leistungen benötigen viel Energie: Pro Tag verbrennt das Gehirn etwa 80 Gramm Traubenzucker und beansprucht zudem einen Fünftel des gesamten Sauerstoffs, der vom Körper verbraucht wird. Was unser Gehirn zum Beispiel von jenem der Menschenaffen unterscheidet, ist die Oberfläche des Grosshirns; der Grosshirnrinde werden höhere Funktionen wie die Wahrnehmung, die Sprache oder das Gedächtnis zugesprochen. Beim Menschen ist die Grosshirnrinde äusserst stark gefaltet und weist eine im Vergleich zum Affen viel grössere Oberfläche auf: In ungefalteter Form würde sich die menschliche Grosshirnrinde über etwa 2,5 Quadratmeter erstrecken.



Das Bewusstsein

Wo das Ich steckt

Das Bewusstsein ist das wohl am schwierigsten zu erklärende und am wenigsten erforschte Phänomen des menschlichen Gehirns. Viele Wissenschaftler vertreten gegenwärtig die Meinung, dass das menschliche Bewusstsein auf die Aktivität der Nervenzellen im Gehirn zurückzuführen ist – ohne jedoch zu wissen, wie oder weshalb Bewusstsein entsteht. Das Geheimnis könnte, so glauben Forscher, in der Art und Weise liegen, wie die Nervenzellen miteinander in Verbindung treten und wie sie daraus die benötigten Informationen zusammensetzen. Sicher ist inzwischen, dass das Bewusstsein nicht an einer bestimmten Stelle im Gehirn lokalisiert ist, sondern auf einer Reihe von unterschiedlichen Prozessen beruht. Eine Grundlage für unser Bewusstsein dürfte unter anderem die Fähigkeit bilden, dass wir unsere Aufmerksamkeit nicht nur auf bestimmte Objekte unserer Umgebung richten können, sondern auch Vorstellungen, Gedanken und Wünsche unseres «Geistes» ins Zentrum zu rücken verstehen. Dieses komplizierte Ineinandergreifen innerer und äusserer Eindrücke dürfte letztlich das Ich ausmachen, das in jedem steckt. Nicht wenige Philosophen bezweifeln jedoch, dass sich das menschliche Bewusstsein durch wissenschaftliche Methoden je wird erforschen oder erklären lassen.

