

HIRNFORSCHUNG | DEFAULT MODE

Gedanken im Leerlauf

Was treibt unser Gehirn, wenn wir gerade nichts tun und an nichts denken? Herzlich wenig, glaubten Forscher lange Zeit. Doch neue Untersuchungen zeigen: Auch mentaler Müßiggang ist harte Arbeit für das Gehirn – in Ruhe verbraucht es fast ebenso viel Energie wie beim Lösen anspruchsvoller Aufgaben.

VON JOSEPHINA MAIER



STILLE DENKARBEIT

Nichts tun und die Gedanken schweifen lassen – eine unserer leichtesten Übungen. Bis vor Kurzem gingen Forscher davon aus, dass auch das Gehirn über eine Art Stand-by-Modus verfüge. Doch mittlerweile ist klar: Wann immer wir uns entspannen, nimmt ein neuronales »Ruhenetzwerk« die Arbeit auf. Über seine Funktion spekulieren Forscher derzeit noch.

ISTOCKPHOTO / LUCCA DI FILIPPO

Marcus Raichle war bereits ein alter Hase in der Hirnforschung, als er die wohl größte Entdeckung seiner Karriere machte. Seit Ende der 1980er Jahre hatte er gemeinsam mit seinen Kollegen an der Washington University in St. Louis (US-Bundesstaat Missouri) die Techniken der modernen Neurobiologie verfeinert. Raichles Arbeitsgruppe war eine der ersten, die moderne bildgebende Verfahren nutzte, um die Aktivität einzelner Hirnregionen bei verschiedenen geistigen Beschäftigungen sichtbar zu machen.

Versuche mit Probanden im Hirnscanner gehören daher Mitte der 1990er Jahre zu Raichles täglichem Geschäft, ebenso wie das Auswerten ihrer neuronalen Aktivitätsmuster. Und doch war dem Neuro-Pionier bis zu diesem Tag etwas entgangen. Ein typisches Experiment sah zum Beispiel so aus: Ein Proband, der im PET-Scanner liegt, soll mit den Augen mehrmals einen wandernden weißen Punkt auf einem Bildschirm verfolgen. Zwischen den visuellen Verfolgungsjagden gilt es, einfach nur ruhig dazuliegen und sich auf nichts Bestimmtes zu konzentrieren. Doch auch während der Kontrollphasen zeichnet der Scanner weiterhin die Hirnaktivität des Probanden auf. Erst indem die Forscher diese Daten mit den Schnappschüssen während der Blicksteuerung abgleichen, können sie erkennen, welche Hirnregionen die Aufgabe fordert.

Eines Tages stolperte Raichle beim Betrachten einiger PET-Scans über ein merkwürdiges Phänomen: Ein Verbund aus Hirnregionen verminderte die Aktivität, sobald der Proband mit der Aufgabe begann. Erst als sich die Versuchsperson wieder geistig entspannte, stieg der Sauerstoffverbrauch in diesen Arealen erneut auf das Ausgangsniveau an – ganz so, als wären sie für das Nichtstun zuständig! Zu den Regionen, die über das ganze Gehirn verstreut waren, gehörten etwa der hintere Teil des Gyrus cinguli, der zum limbischen System gehört, die sich daran anschließende Präcuneus-Region und der mediale präfrontale Kortex, dem höhere geistige Leistungen zugeschrieben werden (siehe Kasten S. 63).

Der zufällige Befund weckte Raichles Neugier. Er durchforstete die Daten älterer Experimente und erkannte, dass diese »Ruheaktivität« der besagten Hirnregionen keineswegs eine Anomalie einzelner Probanden darstellte oder auf einen methodischen Fehler zurückging: Er fand

das Muster bei jedem Versuch, den er sich noch einmal ansah.

Mittlerweile ist Raichles Entdeckung als »Default Mode« der Gehirnaktivität bekannt – zu Deutsch etwa »Grundbetrieb«. Der Forscher selbst beschreibt ihn als »einen organisierten Leerlaufmodus, der seine Aktivität während spezifischen, zielorientierten Verhaltens herunterfährt«. Ihrem Entdecker zufolge handelt es sich um nichts Geringeres als die Basisfunktion des Gehirns, die immer dann abläuft, wenn ein Mensch seine Gedanken schweifen lässt und nichts seine Aufmerksamkeit fordert.

Der Default-Modus erklärte mit einem Schlag viele frühere Befunde. So verbraucht das Gehirn rund 20 Prozent unseres gesamten Stoffwechselumsatzes, obwohl es nur zwei Prozent der Körpermasse ausmacht. »Wenn wir eine bestimmte Aufgabe lösen, verbraucht es zwar noch ein bisschen mehr«, so Pierre Magistretti vom Brain Mind Institute in Lausanne, »im Vergleich zum riesigen Grundbedarf ist diese Differenz aber klein.« Tatsächlich verwendet das Denkorgan offenbar nur rund fünf Prozent seiner gesamten Energie darauf, auf eintreffende Umweltreize zu reagieren. Den Rest nutzt es für die ständig von selbst ablaufende, interne Kommunikation.

Hirn, beschäftige dich!

Mit anderen Worten: Wenn Wissenschaftler die Durchblutung des Gehirns während bestimmter Aktivitäten wie Lesen oder Rechnen messen, betrachten sie also immer nur die Spitze des Eisbergs. Doch was genau tut das Gehirn eigentlich, wenn wir nichts tun? Einen Hinweis darauf könnten die Situationen geben, in denen das Default-Netzwerk anspringt. Es wurde nicht nur bei entspannt im Scanner liegenden Probanden nachgewiesen, sondern auch im Schlaf, nach der Gabe von Beruhigungsmitteln und bei komatösen Patienten. Tagträumerei, Schlaf und Koma haben eines gemeinsam: das weit gehende Fehlen von äußerem sensorischem Input. Anscheinend beschäftigt sich das Gehirn im Leerlaufmodus also vor allem mit sich selbst.

Ein Spezialist für diese nach innen gerichtete Hirnaktivität ist der Neuroendokrinologe Jan Born. An der Universität Lübeck erforscht er die neuronalen Prozesse während des Schlafens. In gewisser Hinsicht, so Born, sei Schlaf der ideale Zustand, um die Grundfunktion des Denkor-

AUF EINEN BLICK

Das Hirn ruht nie

1 Auch wenn wir mit keiner bestimmten Aufgabe beschäftigt sind, schaltet unser Gehirn nie ab – sondern in eine Art Leerlaufmodus.

2 In diesen Phasen wird ein Netzwerk von Hirnregionen aktiv, das offenbar vor allem für mentalen Perspektivwechsel zuständig ist.

3 Eine Reihe von psychischen Störungen scheint mit Fehlfunktionen dieses Ruhenetzwerks zusammenzuhängen.

QUELLEN

Buckner, R.L. et al.: The Brain's Default Network – Anatomy, Function, and Relevance to Disease. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1124, S. 1–38, 2008.

Schilbach, L. et al.: Minds at Rest? Social Cognition as the Default Mode of Cognizing and its Putative Relationship to the »Default System« of the Brain. In: *Consciousness and Cognition* 17, S. 457–467, 2008.

Zhang, D., Raichle, M.E.: Disease and the Brain's Dark Energy. In: *Nature Reviews Neurology* 6, S. 15–28, 2010.

Weitere Literaturhinweise im Internet: www.gehirn-und-geist.de/artikel/1039942

gans zu untersuchen: »Die Information, die uns die Sinne normalerweise liefern, fällt weitestgehend weg.« Das bedeute aber keineswegs, dass unser Gehirn in Untätigkeit ver falle. Stattdessen erledige es eine lebensnotwendige Aufgabe, für die tagsüber schlicht keine Zeit bleibe: Es sortiere und verarbeite zuvor eingegangene Informationen.

Etwas Ähnliches geht Born zufolge auch im Kopf von Probanden zwischen zwei Tests im Hirnscanner vor. »Was passiert, wenn man Ihnen während eines spannenden Foto-Experiments alle Bilder wegnimmt und Sie sich langweilen? Richtig – die Aufnahmen gehen Ihnen noch einmal durch den Kopf.« Dies könne man sogar an den Hirnscan-Daten ablesen: »Wenn ein Proband in der Testphase auf Töne lauschen sollte, findet man in der anschließenden Pause eine erhöhte Aktivität in der Hörrinde des Gehirns.«

Um einen wirklichen Leerlaufmodus handelt es sich nach Borns Ansicht bei der in solchen Ruhephasen bestehenden Aktivierung deshalb nicht. Vielmehr gleiche das Gehirn im »Offline«-Modus einem intelligenten Computer, dem man die Internetverbindung gekappt hat und der in der Zwischenzeit die Daten auf seiner Festplatte sichtet und sortiert.

Diese Beschäftigung mit interner Information könnte wiederum die Basis für viele wichtige Hirnfunktionen sein – etwa die Fähigkeit, Voraussagen über die Zukunft zu treffen. Hinweise darauf fanden die Hirnforscher Randy Buckner und Daniel Carroll von der Harvard University 2007 in einer Übersichtsarbeit. Weite Teile des Default-Netzwerks, so die Forscher, seien mit jenen Hirnzentren identisch, die bei allen Arten von »Selbst-Projektionen« aktiv werden. Dazu zählt etwa, wenn wir uns vergangene Situationen ins Gedächtnis rufen oder uns zukünftige Ereignisse ausmalen; aber auch, wenn wir uns selbst zwecks Orientierung aus der Vogelperspektive betrachten oder die Absichten anderer Menschen zu durchschauen versuchen. All diese geistigen Tätigkeiten zeichnen sich dadurch aus, dass wir einen neuen Blickwinkel einnehmen müssen, uns gedanklich an einen anderen Ort oder in eine andere Zeit versetzen.

Das passt zu einer Entdeckung, die die US-amerikanischen Neurologen Daniel Kennedy und Eric Courchesne von der University of Cali-

fornia in San Diego im Jahr 2006 machten. Sie verglichen die Aktivierung des Default-Netzwerks bei autistischen Patienten und gesunden Probanden per funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT). Beide Gruppen sollten zunächst eine kognitiv anspruchsvolle Aufgabe im Scanner absolvieren, einen Farb-Wort-Test (siehe G&G 6/2010, S. 24) kombiniert mit einer Zähltaufgabe.

Was jedoch wirklich interessierte, waren die Ruhephasen zwischen den Testdurchgängen. Und tatsächlich: Während der Neuronenverband bei den gesunden Versuchspersonen nun wie erwartet seine Aktivität hochfuhr, fiel dieser Anstieg bei den autistischen Patienten komplett aus. Anhand der Aktivität eines der Default-Zentren konnten die Forscher sogar ablesen, wie stark die autistischen Probanden in ihren sozialen Fähigkeiten eingeschränkt waren: Je weniger die Neurone im ventromedialen präfrontalen Kortex (VMPFC) während der Ruhephasen feuerten, desto schwerere Symptome offenbarten sie auch in einem anschließenden Test. So

zeigten sie etwa ein ungewöhnlicheres Blick- und Gesprächsverhalten oder konnten sich schlechter in die Situation anderer Menschen hineinversetzen, die sie auf Bildern sahen.

Doch eine Störung des Leerlaufmodus könnte nicht nur bei Autismus eine Rolle spielen, sondern auch bei anderen psychischen Erkrankungen. 2007 fand die Hirnforscherin Abigail Garrity vom Trinity College in Hartford (US-Bundesstaat Connecticut) heraus, dass das Default-Netzwerk bei schizophrenen Patienten nicht normal funktioniert. Im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen erwies es sich bei den Testpersonen als ungewöhnlich aktiv.

Nach Ansicht des Psychiaters Kai Vogeley von der Universität Köln ergeben diese Beobachtungen ein kohärentes Bild: »Wer an wahnhafter Schizophrenie erkrankt ist, kann oft nicht mehr zwischen fremden und eigenen Gedanken unterscheiden.« Dieser Zustand gehe möglicherweise auf eine abnorme Aktivität des Ruhenetzwerks zurück. Umgekehrt könne dessen verminderte Aktivität bei Autisten dazu führen, dass es ihnen kaum gelingt, sich in andere Menschen hineinzuversetzen. Ob die Veränderungen im Default-Modus die psychischen Symptome tatsächlich auslösen oder ob sie nur eine Begleiterscheinung der zu Grunde liegenden

Wenn Wissenschaftler die Durchblutung des Gehirns während bestimmter Aktivitäten wie Lesen oder Rechnen messen, betrachten sie immer nur die Spitze des Eisbergs

Krankheit darstellen, ist bisher allerdings noch offen.

Bei der Alzheimerkrankheit scheint das Default-Netzwerk ebenfalls beeinträchtigt zu sein. So stellte etwa der Neurowissenschaftler Michael Greicius von der kalifornischen Stanford University schon 2004 fest, dass demente Patienten eine geringere Grundaktivität im hinteren Gyrus cinguli und im Hippocampus aufweisen. Diese beiden Hirngebiete, die unter anderem für das Gedächtnis elementar sind, sind bei Demenzkranken offenbar schwächer miteinander verknüpft. Wird Alzheimer also eines Tages als Erkrankung des Default-Netzwerks charakterisiert werden, wie Marcus Raichle glaubt? Zumindest entsprechen jene Hirnareale, die als erste von Alzheimer betroffen werden, ziemlich genau jenen des Ruhenetzwerks.

Was tun, um nichts zu tun?

Bald sind zehn Jahre vergangen, seit Raichle seine erste Studie über den Default-Modus veröffentlichte und damit eine völlig neue Richtung in der Forschung einschlug. Aber noch immer bleiben viele Fragen offen. Nach wie vor fehlt beispielsweise ein geeigneter Versuchsaufbau, um die Aktivität des Default-Netzwerks eindeutig festzumachen. »Normalerweise verlangen wir von den Probanden im Hirnscanner eine bestimmte kognitive Leistung«, sagt Kai Vogele. »Wenn wir ihnen etwa eine Abfolge von Bildern zeigen und sie dabei eine bestimmte Aufgabe absolvieren müssen, wissen wir genau, was die Versuchspersonen in dieser Zeit tun. Aber wir wissen nicht, was sie erleben, wenn sie entspannt im Scanner liegen und ihre Gedanken schweifen lassen«, so der Psychiater. »Der eine denkt vielleicht an seine letzte Seminararbeit zurück, ein anderer ruht sich aus. Sobald wir die Testpersonen aber fragen, woran sie denken, konzentrieren sie sich – und verlassen damit automatisch den Ruhemodus.«

Diese Schwierigkeiten lassen manche Forscher scherzhaft vom Default Mode als der »dunklen Energie« des Gehirns sprechen – nach jener hypothetischen, nicht direkt zu beobachtenden Energieform, die für die immer schnellere Ausdehnung des Universums verantwortlich sein soll.

Doch dass das Default-Netzwerk existiert, bezweifelt inzwischen kaum noch jemand. Statt einer simplen Basisfunktion, wie sie Raichle ursprünglich annahm, dürfte es jedoch durchaus komplexe Aufgaben wie geistige Perspektivwechsel erfüllen. Es tritt allerdings erst dann in

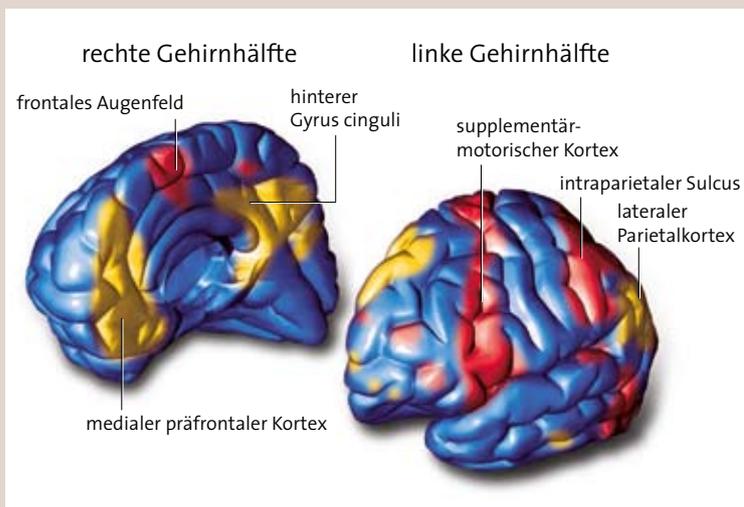
Zwischen Ruhe und Arbeit

Das Netzwerk von Gehirnregionen, die im »Ruhezustand« aktiv werden, ist auf diesem Bild gelb markiert. Es umfasst unter anderem den medialen präfrontalen Kortex, der für Entscheidungen und das Bewerten von Wahrscheinlichkeiten wichtig ist, den hinteren Gyrus cinguli, der an der Verknüpfung von Erinnerungen und Gefühlen beteiligt ist, und den seitlichen Parietalkortex. Diese Gebiete steigern immer dann ihren Energieverbrauch, wenn wir nichts zu tun haben.

Rot markiert ist ein Verbund von Arealen, die bei einer Vielzahl verschiedener kognitiver Aufgaben aktiv werden. Dazu zählen das frontale Augenfeld, das die Augenmuskeln steuert, der supplementär-motorische Kortex (der den Körper auf Bewegungsabfolgen vorbereitet) und der intraparietale Sulcus, der unter anderem für die Hand-Auge-Koordination und für Teile des Arbeitsgedächtnisses zuständig ist.

Die Aktivität in den beiden Netzwerken ist offenbar negativ miteinander verknüpft: Im Tagtraummodus sind die rot markierten Areale gehemmt, während bei der Lösung kognitiver Aufgaben die Neurone des Default-Netzwerks zuverlässig verstummen.

(Fox, M. D. et al.: The Human Brain is Intrinsically Organized into Dynamic, Anticorrelated Functional Networks. In: PNAS 102(27), S. 9673–9678, 2005)



Aktion, wenn wir es uns leisten können: sobald wir uns in Sicherheit wiegen und nicht unmittelbar auf Reize von außen reagieren müssen.

Ob uns die Erforschung des Default-Netzwerks eines Tages wirklich hilft, psychische Krankheiten besser zu verstehen und früher zu diagnostizieren, muss sich erst noch zeigen. Ein großer Verdienst gebührt Marcus Raichle aber bereits jetzt: Er hat den Blick der Neurowissenschaftler von der Spitze des Eisbergs hin zu den großen, im Verborgenen arbeitenden Mechanismen in unserem Gehirn gelenkt. ~

Josephina Maier ist Wissenschaftsjournalistin und lebt in Hamburg.