 Diesen Artikel können Sie als Audiodatei beziehen; siehe www.spektrum.de/audio

IM KOPF
herrscht niemals Ruhe

Wenn wir versuchen, Denken und bewusstes Wahrnehmen auszublenden, wird ein besonderes System aktiv. Dieses Netz scheint bei manchen Hirnstörungen von der Norm abzuweichen. Vielleicht liefert seine Erforschung auch einen neuen Zugang zum Bewusstsein.

In Kürze

- Lange Zeit dachten die Neurowissenschaftler, die Hirnschaltkreise seien beim ruhenden Menschen abgestellt. In Wirklichkeit herrscht im Gehirn ständig **ein bestimmtes Maß an Hintergrundaktivität.** Die Forscher sprechen von der »dunklen Energie des Gehirns«.
- Offenbar benötigt das Gehirn diesen **Grundzustand oder Ruhestandard** (»Default-Modus«) auch dazu, auf künftige Aktionen vorbereitet zu sein. Übergeordnet scheint ein im Hintergrund arbeitendes System, das Ruhestandardnetz *(Default Mode Network)*, Aktivitäten zu koordinieren.
- Verschiedene neurologische Erkrankungen, von der Alzheimerdemenz bis zur Schizophrenie, könnten mit **abnormen Verschaltungen in diesem System** zusammenhängen.

Von Marcus E. Raichle

Stellen Sie sich vor, Sie liegen faul auf der Terrasse, dösen und denken an nichts, das »Spektrum«-Heft auf dem Schoß. Da landet eine Fliege auf Ihrem Arm. Ruckartig ergreifen Sie die Zeitschrift und schlagen nach dem Insekt. Was hat Ihr Gehirn da gemacht? Und was tat es eigentlich direkt davor?

Noch bis vor Kurzem glaubten viele Forscher, wenn wir uns ausruhten, seien auch weite Teile des Gehirns gedämpft dösig-schläfrig und die meiste Hirntätigkeit sei stark heruntergefahren. Die noch vorhandene Restaktivität bedeute nur Zufallsrauschen, ähnlich dem Schnee im Fernseher, wenn der Sender kein Programm ausstrahlt. Und sobald eine Fliege uns kitzelt, würde das Gehirn sich wieder anschalten und konzentrieren – etwa darauf, den Störenfried rasch zu entfernen.

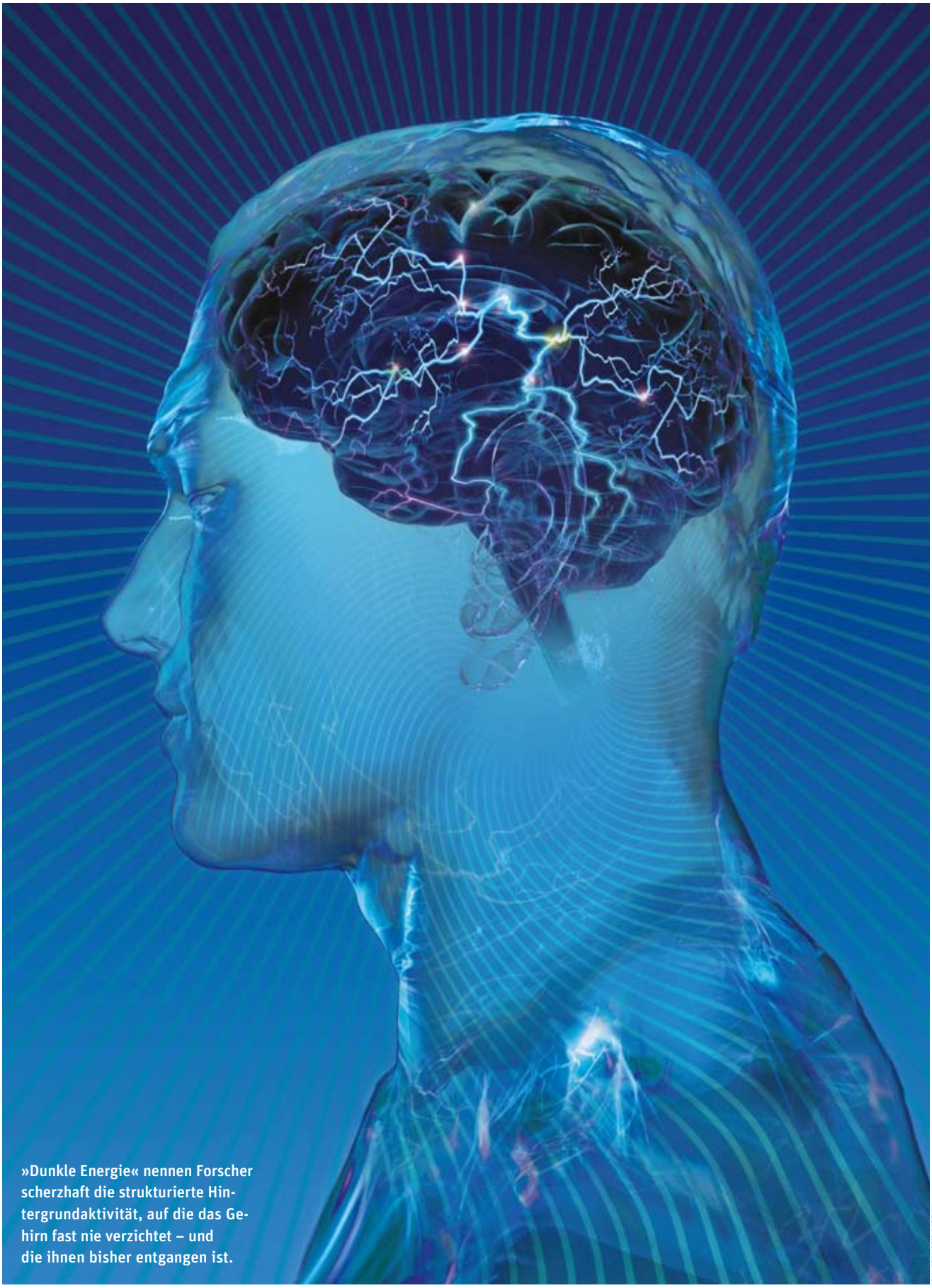
Allerdings stimmt diese Vorstellung nicht. Nach neueren Auswertungen von Hirnaufnahmen geschieht in unserem komplexesten Organ eine ganze Menge Sinnvolles, selbst während wir uns entspannt zurücklehnen und scheinbar gar nichts tun. Ob wir nun in den Tag träumen, im Bett schlafen oder uns in Narkose befinden – der Verstand und das Denken mögen abgeschaltet sein, aber manche Hirngebiete unterhalten sich trotzdem miteinander. Sie müssen dazu nicht einmal dicht beieinanderliegen. Für dieses dauernde Gespräch im »Ruhezustand« benötigt das Gehirn sogar etwa 20-mal so viel Energie wie für die bewusste Abwehr einer lästigen Fliege oder eine Reaktion auf irgendein anderes Außengeschehen.

Wir bezeichnen jene ständige Hintergrundaktivität englisch als *Default Mode* – Grundeinstellung, Grundzustand oder Ruhestandard. Psychologen nennen einen Wachzustand, bei dem man sozusagen an gar nichts denkt, auch Tagträummodus. Fast jede bewusste Tätigkeit, etwa sich zum Essen hinzusetzen oder eine Rede zu halten, bedeutet zugleich, von der Grundaktivität des Ruhestandards abzuweichen.

Was Neurophysiologen bisher übersehen haben

Forscher kamen diesem Ruhezustand genauer auf die Spur, als sie ein bis dahin unbekanntes System im Gehirn entdeckten. Das nennen wir *Default Mode Network* (DMN) – also Ruhestandardnetz. Wie diese Instanz neuronale Aktivität im Einzelnen regelt, ist noch nicht ganz aufgeklärt. Das besagte System könnte den Umgang des Gehirns mit Gedächtnisinhalten bestimmen, lenkt aber vielleicht auch seine Bereitschaft, auf Zukunftsereignisse einzugehen, was vielerlei andere Systeme einbezieht. Zum Beispiel muss, wenn eine Fliege auf der Haut kitzelt, augenblicklich das motorische System einsatzfähig sein.

Die prompte Reaktion erfordert zudem die Synchronisation, oder besser Abstimmung, auch aller übrigen Hirnbereiche. Wie Läufer



»Dunkle Energie« nennen Forscher scherzhaft die strukturierte Hintergrundaktivität, auf die das Gehirn fast nie verzichtet – und die ihnen bisher entgangen ist.

JEAN-FRANÇOIS PODEVIN

in den Startblöcken müssen die verschiedenen Hirnsysteme quasi nur noch auf den Startschuss warten.

Falls das Ruhenetzwerk das Gehirn tatsächlich für bewusste Aktivitäten bereithält, ließe sich darüber auch näher erforschen, was sich hinter Bewusstseinsvorgängen verbirgt. Nicht zuletzt haben Forscher begründeten Verdacht, dass nicht nur einfache geistige Fehler (»Schnitzer«) auf Störungen in diesem Netz beruhen können, sondern auch verschiedene komplexe neurologische Fehlfunktionen, von Alzheimer bis zur Depression.

Dass das Gehirn immerfort arbeitet, ist an sich keine neue Erkenntnis. Schon der Jenaer Neurologe und Psychiater Hans Berger (1873–1941; als Chef einer Klinik arbeitete er zuletzt auch den Nationalsozialisten zu) nahm das an. Er entdeckte in den 1920er Jahren die Elektroenzephalografie, bei der mit Elektroden außen am Schädel Hirnströme (ein Elektroenzephalogramm oder EEG) aufgezeichnet werden. Berger schrieb 1929, vermutlich sei das Zentralnervensystem immerzu, nicht nur im Wachen, in einem Zustand erheblicher Aktivität.

Leider fand diese Schlussfolgerung kaum Beachtung, auch dann nicht, als sich in der Neurowissenschaft die modernen Verfahren etablierten, das Gehirn und seine Aktivität nichtinvasiv abzubilden. Den Anfang machte in den späten 1970er Jahren die Positronenemissionstomografie (PET). Hierbei schließt man mit Hilfe schwach radioaktiver Substanzen aus dem Zuckerstoffwechsel, dem Blutfluss und der Sauerstoffaufnahme auf neuronale Aktivität. 1992 kam die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) hinzu. (Das Verfahren leitet sich von der schon in den 1970er Jahren entwickelten Magnetresonanz- oder Kernspintomografie her.) Sie erfasst, vereinfacht gesagt, den Sauerstoff in Hirngebieten und damit indirekt ebenfalls die neuronale Aktivität. Beide Verfahren eignen sich hervorragend dazu, Hirnaktivität in verschiedenen Schärfegraden zu untersuchen. Allerdings entstand allein durch die Art der Versuche – meist ungewollt – oft der Eindruck, dass sich das übrige Gehirn, abgesehen von der gezielt beschäftigten Region, weit gehend ziemlich ruhig verhält.

Denn üblicherweise wollen die Forscher aus solchen Aufnahmen erfahren, welche Hirnregionen für eine Wahrnehmung oder ein Verhalten zuständig sind. Dazu vergleicht man am besten die Aktivität unter zwei definierten, nur in einem Aspekt verschiedenen Bedingungen: Test und Kontrolle.

Zum Beispiel kann die Testsituation lautes Lesen sein, die Kontrollsituation stilles Lesen. Zur Auswertung werden dann von den Aufnahmen für lautes Lesen die Pixel (Intensitätswerte) für stummes Lesen abgezogen. Helle Stellen, die übrig bleiben, wären dann für Lautlesen zuständig. Die fortwährende Hintergrundaktivität (intrinsisches Geschehen) welcher Art auch immer wird dabei nicht weiter beachtet. Weil sie stört, wird sie herausgerechnet. Solch ein Umgang mit den Daten vermittelt leicht das Bild, einzelne Hirngebiete würden erst für ihre jeweiligen Aufgaben angeschaltet und verhielten sich sonst ziemlich still.

Doch im Verlauf der Jahre wurden mein und andere Forscherteams immer neugieriger darauf, was sich eigentlich im Gehirn abspielt, wenn jemand sich einfach nur still ausruht und die Gedanken schweifen lässt. Anlass dazu gaben eine Reihe von Studien, die erahnen ließen, dass im Hintergrund eine ganze Menge geschieht.

Ruhe im Gehirn – die Illusion

Als die neuen Verfahren wie PET und fMRT für nichtinvasive Hirnaufnahmen aufkamen, erkannten die Forscher zunächst nicht die Hintergrundaktivität, die für den Ruhezustand und entspanntes Wachträumen typisch ist. Das vermittelte ein falsches Bild unserer Hirntätigkeit.

unbeschäftigt, etwa beim Tagträumen

gezielt beschäftigt, etwa mit Lesen

BEIDE FOTOS: CORBIS / SIMON JARRATT

Alte Sicht

Solange nichts geschieht, verhalten sich weite Teile des Gehirns ruhig, und die meisten Nervenzellen sind still. Erst bei einer speziellen Tätigkeit, etwa beim Lesen, schaltet das Gehirn hoch und verbraucht dabei viel Energie.

keine Hirnaktivität

hohe Aktivität

Neue Sicht

Sogar das »ruhende« Gehirn unterhält einen hohen Grad an Aktivität. Sein Energieverbrauch steigt demgegenüber bei alltäglichen Beschäftigungen wie Lesen nur um fünf Prozent.

hohe Aktivität

noch etwas höhere Aktivität

JEAN-FRANÇOIS PODEVIN

Als einen Fingerzeig nahmen wir schon die reine Betrachtung der Hirnbilder. Auf ihnen ist eigentlich deutlich zu sehen, dass sich viele Hirngebiete im Test wie auch in der Kontrollsituation gut beschäftigten. Teils macht es ja gerade dieser »Dauerlärm« im Hintergrund den Forschern so schwer, aus den Aufnahmen klare Befunde herauszufiltern. Ohne eine aufwändige Computeranalyse gelänge das überhaupt nicht.

Des Weiteren stellte sich heraus, dass das Gehirn beim Erledigen einer speziellen Aufgabe keine fünf Prozent mehr an Energie benötigt als im Grundzustand. Ohnehin findet die weitaus meiste Aktivität in Schaltkreisen statt, die nicht äußere Ereignisse verarbeiten. Hierfür werden 60 bis 80 Prozent der vom Gehirn insgesamt verbrauchten Energie eingesetzt. Mit einem Zwinkern zu unseren Kollegen in der Astronomie nennt unser Team diese fortwährende innere Aktivität des Gehirns scherzhaft seine dunkle Energie – hypothetische, bisher nicht fassbare so genannte Dunkle Energie soll die Hauptenergieform im Universum darstellen.

Wieso ein ausgedünnter Datenstrom genügt

Nachdenklich machte uns auch, wie wenig von dem, was die Sinnensorgane an Information erreicht (in Bits gemessen), in den Verarbeitungszentren im Gehirn ankommt. Beispielsweise bleibt von der visuellen Information nur ein winziger Bruchteil. Zur Netzhaut gelangt von der unermesslichen potenziellen Informationsmenge unserer Umgebung das Äquivalent von zehn Milliarden Bits pro Sekunde. Der Sehnerv verfügt über eine Million Leitungen (Ausgänge). Dadurch kann er gerade sechs Millionen Bits pro Sekunde übermitteln. Die Sehrinde erreichen (über Zwischenstationen in der so genannten Sehbahn) nur noch 10 000 Bits pro Sekunde. Nach weiterer Verarbeitung gelangt ein klein wenig davon – weniger als 100 Bits pro Sekunde – zu Hirnregionen, die sich mit bewusster Wahrnehmung befassen. Ein so dünner Datenstrom allein könnte sicherlich keine Wahrnehmung erzeugen. Vielmehr muss die hirnimmanente – intrinsische – neuronale Aktivität dabei mitwirken.

Nach Erklärung verlangt zudem die immense intrinsische Verarbeitungskapazität des Gehirns. Wir fragten uns: Wozu braucht es die unvorstellbare Anzahl an Synapsen (Kontaktstellen zwischen Nervenzellen zur Signalübertragung), beim Menschen geschätzte rund 500 Billionen? Die Sehrinde etwa weist über zehnmal so viele Nervenzellkontakte auf, wie sie zur Aufnahme der Eingangsinformation benötigt. Der große Rest dürfte internen Kontakten innerhalb dieser Hirnregion zu weiteren Zwecken dienen.

All dies ist längst bekannt. Trotzdem blieb die intrinsische Hirnaktivität ein Rätsel. Unter anderem fragten wir uns, wie jenes viele Hintergrundgeschehen wohl Wahrnehmung und Verhalten beeinflusst. Da brachte uns eine unerwartete, zunächst unerklärliche Beobachtung auf die Fährte von besagtem DMN – dem Netz für den Ruhestandard des Gehirns. Wir machten sie bei PET-Studien und konnten sie später mit fMRT-Aufnahmen erhärten.

Mitte der 1990er Jahre bemerkten wir an solchen Bildern mehr oder weniger durch Zufall Folgendes: Während Versuchspersonen in üblicher Weise definierte Aufgaben wie laut zu lesen ausführten, fuhren einige daran unbeteiligte Hirnregionen ihre Aktivität herunter, statt auf dem Niveau des Hintergrundrauschens, auf ihrem vorherigen vermeintlichen Ruhelevel, zu verharren. Sie nahmen sich also immer dann zurück, wenn andere Hirnbereiche einer speziellen Anforderung nachkamen. Am auffälligsten war diese Reaktion in einem Teil des mittleren Scheitellappens (er liegt nahe der Hirnmitte und befasst sich unter anderem mit dem Erinnern an persönliche Erlebnisse; siehe Kasten S. 64). Weil das eigentlich nicht sein durfte, nannten wir das Gebiet mit dem eindrucksvollsten Abfall mittlere mysteriöse Scheitelregion oder Rätselregion des Scheitelhirns.

JEAN-FRANÇOIS PODEVYN

SUCHE NACH DEM SINNGEBER

Von der riesigen Informationsflut, die auf uns einströmt, gelangen tief ins Gehirn nur ein paar wenige Tropfen. Leitet der Sehnerv sechs Millionen Bits weiter, so wirken bei der bewussten Wahrnehmung nur noch ein paar hundert Bits mit – zu wenig eigentlich. Wie es aussieht, erzeugt das Gehirn immerzu selbst Vorhersagen über die Außenwelt.

Eine Reihe von PET-Studien hierzu zeigte uns später, dass das Gehirn keineswegs faulenzt, wenn das Bewusstsein nicht beschäftigt ist. Vielmehr arbeiten dann sowohl jene Rätselregion als auch die meisten anderen Gebiete immerzu. Sowie sich das Gehirn jedoch auf eine bestimmte Aufgabe konzentriert, nehmen einige Hirnbereiche mit intrinsischer Aktivität sich tatsächlich zurück.

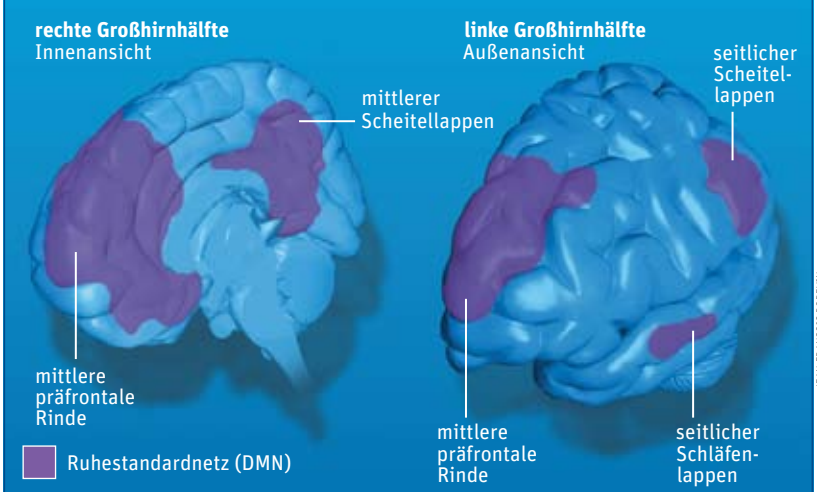
Bei manchen Kollegen stießen wir hiermit zunächst auf Skepsis. Im Jahr 1998 wies eine Fachzeitschrift sogar einen Artikel von uns ab – einer der Gutachter vermutete einen Datenfehler bei dem von uns gemessenen Aktivitätsabfall. Er glaubte, die betreffenden Hirnschaltkreise seien vor Versuchsbeginn einfach eingeschaltet, also momentan aktiv gewesen und dann genau beim Versuch abgeschaltet worden, also wieder in den üblichen Zustand des Hintergrundrauschens gefallen.

Versteckter Chefdirigent

Mehrere Hirnregionen scheinen ein übergeordnetes System zu bilden, das unter anderem Ruhephasen überwacht. Dieses besondere Netz (*Default Mode Network*, DMN) sorgt offenbar großenteils für die Hirnaktivität, wenn wir uns entspannen und abschalten. Aber auch für geistige Prozesse ist es unverzichtbar.

Befehlsinstanz

Weit auseinanderliegende Hirnbereiche gehören dazu; einige sind hier bezeichnet.



JEAN-FRANÇOIS PODEVIN

Dirigent des Selbst

Ähnlich wie ein Dirigent setzt das DMN vermutlich Zeitsignale und koordiniert die Hirnregionen und deren Aktionsbereitschaft. Dadurch gelingt es ganz verschiedenen Arealen, auf äußere Ereignisse aufeinander abgestimmt zu reagieren.

CORBIS / EPA / EDDY RISCH

Andere Forscher konnten unsere Ergebnisse jedoch reproduzieren, und zwar nicht nur für den erwähnten mittleren Scheitellappen, sondern auch für die mittlere so genannte präfrontale Hirnrinde, den präfrontalen Kortex. (Dieses Gebiet des Stirnhirns befasst sich damit, was Mitmenschen denken mögen, und ist auch für Gefühle wichtig.) Inzwischen gelten beide Regionen als maßgebliche Teile des Netzes für den Ruhestandard (Kasten unten).

Ausruhen als Schwerarbeit

Die Entdeckung des DMN ließ uns die intrinsische Aktivität des Gehirns mit anderen Augen sehen. Vorher hatten Neurophysiologen jene Hirngebiete niemals als zusammengehöriges eigenes System aufgefasst, sozusagen als Äquivalent zu den bekannten Funktionssystemen wie etwa dem visuellen oder dem motorischen System. Wir hatten nicht gewusst, dass hier ein eigenständiges System existiert, zu dem verschiedene Gebiete gehören, die sich miteinander austauschen, um Aufgaben zu erledigen, und zwar gerade dann, wenn das Gehirn scheinbar ausruht.

Dies war uns bisher schlicht entgangen. All die Experten, die Hirnbilder auswerteten, hatten nicht bemerkt, dass das Gehirn im vermeintlichen Ruhezustand anscheinend eine intrinsische Aktivität unterhält und dafür eine Anzahl Hirnregionen aus verschiedenen Gebieten einspannt. Die Frage war nun, ob sich allein das besagte DMN so merkwürdig verhielt, das Netz für den Ruhezustand. Oder handelte es sich gar um eine allgemeinere Hirneigenschaft? Hier halfen neue Erkenntnisse weiter, die einen aufschlussreichen Irrtum im Umgang mit fMRT-Signalen aufdeckten.

Die einzelnen auf solchen Kernspinbildern erfassten Werte bezeichnen wir gewöhnlich als Bold-Signal oder Bold-Effekt (nach englisch *blood oxygen level-dependent*). Denn die lokale Signalstärke, ein indirektes Maß der Hirnaktivität, hängt von Schwankungen des dort vorhandenen Sauerstoffs ab, die ihrerseits mit Veränderungen des Blutdurchflusses einhergehen, was wiederum von Beanspruchungen der betreffenden Region abhängen dürfte. Nun zeigen alle Hirngebiete im Zustand entspannter Ruhe Bold-Signale, die in Zyklen von rund zehn Sekunden schwingen, also besonders langsam. Das hielten die Forscher früher für reines Hintergrundrauschen ohne besondere Bedeutung. Damit sie spezifische Aktivitäten besser erkennen konnten, tilgten sie diese Daten für die Auswertungen.

Doch im Jahr 1995 stellte ein Befund von Bharat Biswal und seinen Kollegen vom Medical College of Wisconsin in Milwaukee die

Gepflogenheit in Frage. Die Forscher verzeichneten bei Personen, die sich nicht bewegten, wie das vermeintliche Rauschen im Hirngebiet für die Bewegungskontrolle der rechten Hand merkwürdigerweise im Gleichklang mit dem für die linke Hand schwankte. Diese beiden Gebiete liegen ja auf verschiedenen Hirnseiten. Mehrere Jahre später dann entdeckten Michael Greicius und seine Mitarbeiter von der Stanford University (Kalifornien) bei einer reglosen Person im Hirnscanner einen derartigen Gleichklang der Fluktuationen beider Hirnseiten auch für das Ruhestandardnetz, das DMN.

Damals wuchs das Interesse der Forscher an diesem Phänomen und seiner Bedeutung für die Hirnfunktion rapide. Weltweit nahmen sich nun Arbeitsgruppen, unsere auch, dieser rätselhaften Erscheinung an. Wir kartierten alles Rauschen, besser die intrinsische Aktivität sämtlicher wesentlichen Hirnsysteme. Und wir stellten fest: Die auffallenden Aktivitätsmuster treten sogar unter Vollnarkose auf, ebenso im leichten Schlaf. Das sprach für eine grundlegende Aufgabe solcher Hirnmuster – somit für alles andere als sinnlosen Hintergrundlärm.

Besondere, ganz langsame Hirnwellen

Diese Forschungen zeigten also, dass unser Ruhestandardnetz nur einen wenn auch entscheidenden Teil der intrinsischen Aktivität im Gehirn darstellt. Denn alle, auch die anderen Hirnsysteme unterhalten einen gewissen solchen Grundzustand. Mein eigenes Forscherteam erkannte das erstmals, als wir uns Arbeiten über so genannte langsame Potenziale der Hirnrinde (*slow cortical potentials*, SCPs) genauer anschauten. (Es handelt sich um langsame bis sehr langsame Potenzialschwankungen oder Wellen an der Hirnoberfläche, insbesondere auch diejenigen, die bei einem Elektroenzephalogramm normalerweise nicht aufgezeichnet werden.) Hierbei feuern Neuronengruppen ungefähr alle zehn Sekunden. Wir fanden dann heraus, dass diese Erregungsmuster mit den spontanen, langsamen Schwankungen auf den Bold-Aufnahmen identisch sind.

Als Nächstes untersuchten wir den Sinn jener sehr langsamen Wellen in Bezug auf andere neuronale elektrische Signale. Schon Hans Berger hatte die große Frequenzbreite an Hirnwellen beschrieben. Sie reicht von den langsamen Schwankungen mit Zehnsekundenzyklen bis hin zu über 100 Zyklen pro Sekunde (100 Hertz).

Die Wechselwirkungen der verschiedenfrequenten Signale untereinander zu verstehen, gehört zu den großen Herausforderungen der Neurowissenschaft. Wie sich herausstellte, haben die sehr langsamen Wellen tatsächlich Einfluss auf das übrige Geschehen. Nach Ergebnissen von uns und anderen Forschern synchronisiert sich höherfrequente elektrische Aktivität mit den Phasen der langsamen Schwankungen. Erst kürzlich beobachteten Matias Palva und seine Kollegen von der Universität Helsinki, dass die Anstiegsphase einer langsamen Schwingung die Aktivität von Signalen rascherer Frequenzen anhebt. Die langsamen Wellen ziehen dadurch die schnelleren sozusagen mit sich.

In Grenzen passt der Vergleich mit einem Sinfonieorchester ganz gut. Indem sich all die vielen Instrumente demselben Rhythmus beugen, erzeugen sie eine Klangtapete. Auf das Gehirn übertragen entsprechen die extrem langsamen Schwingungen dem Schlag des Dirigenten. Allerdings geben sie den Mitwirkenden – also den einzelnen Hirnsystemen – nicht einen gemeinsamen Takt an, sondern koordinieren deren Zugang zu dem Riesenarchiv im Gehirn voller Erinnerungen und sonstiger Informationen, ohne die wir in dieser komplexen, sich ständig ändernden Welt

Die langsamen Potenzialschwankungen koordinieren den Zugang zu den Archiven voller Erinnerungen und anderen Informationen

Hintergrund von Hirnkrankheiten

Die Gebiete, die zum besagten Ruhestandardsystem (DMN) gehören, decken sich teils mit Hirnregionen, die bei einigen geistigen Erkrankungen auffallen. Falls ursächliche Zusammenhänge bestehen, könnte das neue spezifische Diagnosemöglichkeiten und Therapien eröffnen.

Alzheimer
Hierbei degenerierende Gebiete überlappen eng mit Hauptzentren des DMN.

Depression
Zwischen einem der Gebiete des DMN und einigen für Gefühle zuständigen Hirnbereichen besteht eine verringerte Anzahl von Verbindungen.

Schizophrenie
Viele Regionen des DMN fallen durch eine erhöhte Signalaktivität auf (was das bedeutet, wird noch erforscht).

GETTY IMAGES / KENT LARSSON

Damit sich die Systeme nicht gegenseitig stören, steht als Chefdirigent an der Spitze das Ruhestandardnetz oder *Default Mode Network* (DMN)

nicht leben können. Jene sehr langsamen Wellen sorgen dafür, dass die richtigen Berechnungen aufeinander abgestimmt genau zum passenden Zeitpunkt erfolgen.

Nur ist das Gehirn viel komplexer strukturiert als ein Orchester. Jedes seiner spezialisierten übergeordneten Systeme dirigiert seinen eigenen langsamen Takt. Eines kontrolliert das Sehen, ein anderes die Muskeln, und so weiter. Trotzdem entsteht kein Durcheinander, denn diese verschiedenen Systeme sind nicht gleichberechtigt. Vielmehr haben die elektrischen Signale mancher Hirnbereiche jeweils Vorrang vor anderen.

An der Spitze der Hierarchie – quasi als Chefdirigent – steht das *Default Mode Network*, das Ruhestandardnetz. Diese Einrichtung verhindert, dass die Kakofonie konkurrierender Signale, die aus den einzelnen Zimmern ertönt, am Ende in eine allgemeine Katzenmusik ausartet. So wird erreicht, dass sich die einzelnen Systeme gegenseitig nicht stören. Im Gehirn herrscht eben nicht allgemeine Freiheit und Unabhängigkeit eines jeden, sondern eine Föderation voneinander abhängiger Komponenten.

Demenz und Schizophrenie in einem neuen Licht

Zugleich muss dieses ausgeklügelte hirninterne, sich selbst regulierende Geschehen hin und wieder den Anforderungen der Außenwelt den Vortritt lassen. Dann werden die langsamen Schläge des Chefdirigenten schwächer: Neue oder unerwartete Sinneseindrücke oder gezielte Handlungen fordern Aufmerksamkeit – zum Beispiel wenn Ihnen plötzlich einfällt, dass Sie versprochen hatten, auf dem Nachhauseweg Milch zu kaufen. Sobald diese Systeme wieder »abschalten« dürfen, weil der Auftrag erledigt ist, lebt der interne Nachrichtenverkehr sehr langsamer Potenzialschwankungen wieder auf. So ringt das Gehirn ständig damit, Geplantes und plötzlich Notwendiges auszubalancieren.

Das An- und Abschwellen im Ruhestandardnetz könnte uns der Lösung einiger der größten Hirnrätsel näherbringen. Wir verdanken diesem Geschehen schon jetzt faszinierende Einblicke in das Wesen der Aufmerksamkeit, eines grundlegenden Aspekts von bewusster Tätigkeit. So berichtete ein Forscherteam im Jahr 2008, es wüsste bis zu eine halbe Minute im Voraus, ob eine Versuchsperson bei einem Computertest einen Fehler machen würde – allein durch Beobachten des Ruhestandardnetzes, wenn die Person im Scanner lag. Ein Irrtum kündigte sich an, sowie das Ruhenetz die Kontrolle übernahm, wenn also die bei zielgerichteter Aufmerksamkeit beanspruchten Hirnbereiche ihre Aktivität zurückfuhren.

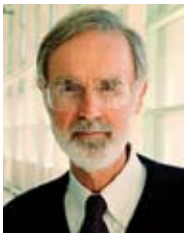
In der Zukunft könnte die dunkle Energie des Gehirns neue Schlüssel zum Bewusstsein bieten. Die meisten Neurowissenschaftler meinen inzwischen, dass die bewusste Auseinandersetzung mit der Außenwelt nur einen kleinen Bruchteil der Hirnaktivität ausmacht. Was sich unterhalb dieser Ebene abspielt – zum Beispiel was wir salopp dunkle Energie nennen –, benötigen wir dazu aber ebenfalls, denn das liefert den Rahmen für das kleine Bewusstseinsfenster.

Des Weiteren dürften wir anhand solcher Hintergrundaktivität wahrscheinlich so manches über einige häufige neurologische Erkrankungen erfahren können. Für entsprechende Studien müssen sich die Betroffenen praktischerweise weder in Hirnakrobatik üben noch ausgefeilte Bewegungen durchführen. Es genügt, wenn sie ganz ruhig im Scanner liegen und an nichts Besonderes denken. Dann können die Ärzte das stille Geschehen am besten erfassen.

Schon jetzt haben solche Studien einiges von Interesse aufgezeigt. Bei der Alzheimerkrankheit, Depressionen, Autismus oder selbst bei Schizophrenie zeigen Hirnaufnahmen in manchen Teilen des Ruhestandardnetzes veränderte Nervenzellverbindungen. Vielleicht werden Mediziner die Alzheimerdemenz einmal als Erkrankung jenes Systems bezeichnen. Denn wenn man die bei Alzheimer lädierten Gebiete kartiert und diese Karten über eine des DMN legt, passen die degenerierten Hirngebiete gut darauf (Kasten S. 65). Solche Veränderungen könnten eines Tages nicht nur zur Diagnose hinzugezogen werden, sondern sie helfen vielleicht auch, die Krankheitsursachen zu erkennen und Behandlungsstrategien zu entwickeln.

Zukünftige Forschungsprojekte sollten sich nun auch auf der Ebene einzelner Zellen mit der koordinierten Aktivität innerhalb und zwischen Hirnsystemen befassen. Eine zentrale Frage ist dabei, wie es das Ruhestandardnetz erreicht, dass in den einzelnen Schaltkreisen die passenden chemischen und elektrischen Signale auftreten. Es wird neue Theorien erfordern, um die zu erwartenden Datenmengen über Zellen, Schaltkreise und komplette neurale Systeme zusammenzuführen und auszuwerten.

Erst ein breiterer Ansatz dürfte eines Tages genauer zeigen, wie der Chefdirigent seine Aufgabe im Hintergrund erfüllt und all die Grundaktivitäten des Gehirns miteinander vereinbart. Vielleicht entpuppt sich die dunkle Energie des Gehirns als die Essenz, die uns überhaupt funktionieren lässt. ◁



Marcus E. Raichle ist an der Washington University in St. Louis (Missouri) Professor für Radiologie und Neurologie. Seit vielen Jahren leitet er eine Arbeitsgruppe, welche die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns mit Hilfe der Positronenemissionstomografie (PET) und der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) untersucht.

Fox, M. D., Raichle, M. E.: Spontaneous Fluctuations in Brain Activity Observed with Functional Magnetic Resonance Imaging. In: Nature Reviews Neuroscience 8, S. 700–711, September 2007.

Raichle, M. E.: Two Views of Brain Function. In: Trends in Cognitive Science 14(4), S. 180–190, April 2010.

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

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.spektrum.de/artikel/1030086.