



Konnektom eines menschlichen Gehirns. Manche Forscher glauben, dass in den Verbindungen zwischen den Neuronen die komplette menschliche Erfahrung gespeichert ist.

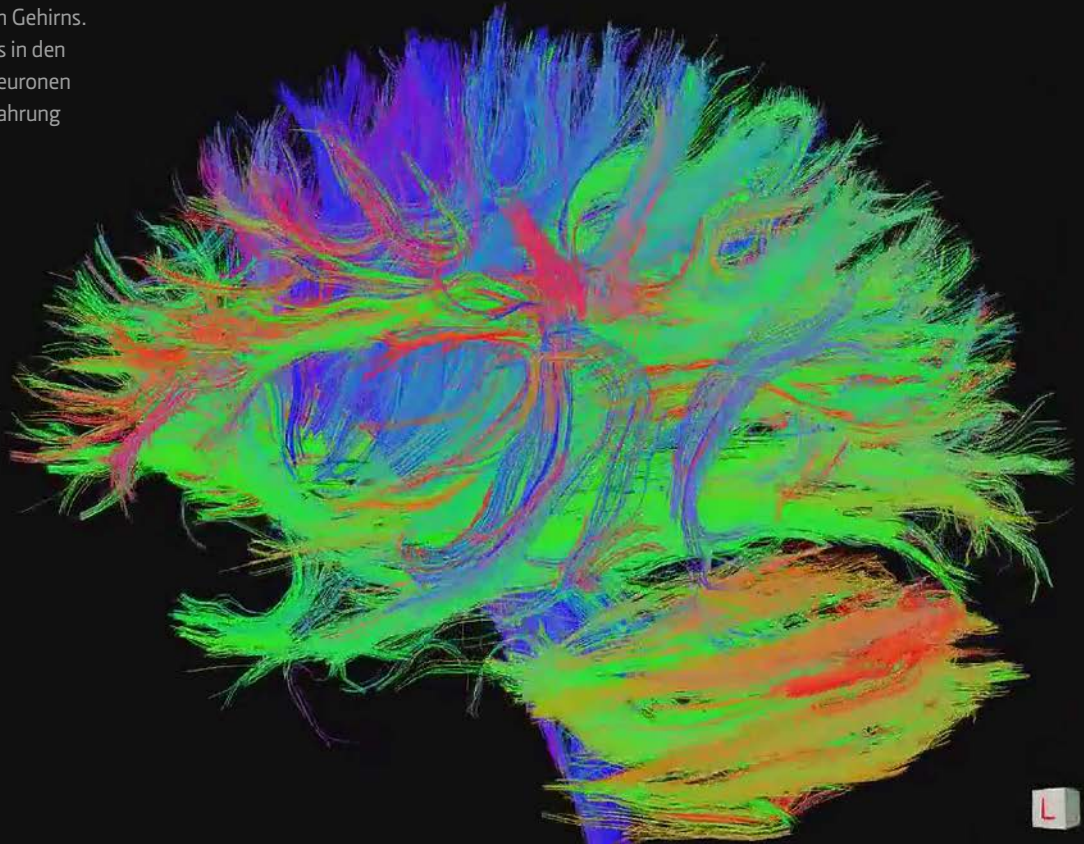


Foto: jgmarcelino/Wikipedia

Upload nicht möglich

Transhumanisten träumen davon, die Gedanken und Erinnerungen nach dem Tod auf Computer zu übertragen. Neuere Ergebnisse aus der Hirnforschung sprechen dagegen, **dass sich unser Gehirn digital rekonstruieren lässt.**

VON CHRISTIAN WOLF

Die Idee ist bestechend: Zwar ist der Mensch ein sterbliches Wesen, aber alles, was wir wissen, jemals gelernt und erlebt haben, ist in Form von neuronalen Verbindungen gewissermaßen ins Gehirn eingeschrieben. Also müsste man dieses „Konnektom“ – das vollständige Netz aus Synapsen, die die Neuronen verbinden – vollständig auslesen und könnte dann die Persönlichkeit mit all ihren Erinnerungen in einer entsprechend konfigurierten Simulation des Gehirns in einer virtuellen Welt wieder auferstehen lassen.

Klingt einfach – ist aber bislang unmöglich, weil das Gehirn nach dem Tod zu schnell zerfällt, um die rund 100 Billionen Verbindungen in dem neuronalen Netzwerk unseres Gehirns zu ver-

messen. Das Gehirn müsste für diese Prozedur konserviert werden – doch auch das zerstört das subtile Gewebe. Der Gehirn-Upload bleibt also Science Fiction? Nicht wenn es nach den Köpfen hinter dem Start-up Nectome geht. Sie verliehen vor einigen Jahren dem Traum von der digitalen Wiederauferstehung einen unerwarteten Schub: Einer der Mitgründer des Unternehmens, Robert McIntyre, der früher als Informatiker am MIT gearbeitet hat, entwickelte gemeinsam mit dem Kryobiologen Greg Fahy eine Methode, die Einbalsamierung mit Kryonik kombiniert. Dabei werden die Zellen oder Gewebe beeindruckend gut konserviert. Sie durchspülten das Gehirn mit Glutaraldehyd und froren es bei -135 Grad Celsius ein – eine Methode, die als „aldehydstabilisierte Kryokonservierung“ bezeichnet wird.

Dem Team gelang es auf diese Weise, das ganze Gehirn von Kaninchen und Schweinen so detailliert zu konservieren, dass dabei auch das Konnektom erhalten blieb. Aus dem anatomischen Aufbau des Gehirns wollten sie letztlich Informationen über das Bewusstsein einer Person gewinnen. Solche Daten – so die Vorstellung der Forschenden – ließen sich in der Zukunft auf einen Computer oder Roboter übertragen oder in eine Cloud hochladen. Doch kann das wirklich funktionieren, ein Bewusstseins-Back-up auf der Grundlage des Konnektoms?

Die Grundlage für solch einen Gehirnpload wäre, dass unser Konnektom letztlich unser Bewusstsein birgt. Mittlerweile deuten jedoch zahlreiche neurowissenschaftliche Befunde darauf hin, dass dem nicht so ist. Kognitionsforscher vermuten schon länger, dass Bewusstsein nicht ohne Körper existieren kann, sondern ein „Embodiment“ benötigt, eine Verkörperung, um konkrete Erfahrungen in der Welt machen zu können. Seit Kurzem können Neurowissenschaftler mit handfesten empirischen Daten aufwarten, die diese Theorie untermauern.

Das fängt bei unseren Erinnerungen an. Sie machen uns zu dem, was wir sind. Lange Zeit ging man davon aus, dass Hirnareale selbstständig Erinnerungen speichern und abrufen, aber offenbar sind die grauen Zellen doch auf Hilfe angewiesen. Das zeigt das Beispiel räumlicher Erinnerungen: Sie werden für gewöhnlich dem Hippocampus zugeschrieben. Allerdings pflegt der Hippocampus dabei einen regen Austausch mit dem Magen-Darm-Trakt.

Der ist von mehr als 100 Millionen Nervenzellen durchzogen und gilt als „zweites Gehirn“, das über den Vagusnerv mit dem Gehirn kommuniziert. Stimuliert man den Vagusnerv, aktiviert das Neurone im Hippocampus und die Gedächtnisleistung verbessert sich. Dabei wird die Bildung neuer Neurone angekurbelt, die unsere Gedächtnis- und Lernleistung fördert.

Michael Gaebler vom Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften untersucht, wie der Körper die bewusste Wahrnehmung beeinflusst.



Foto: Kerstin Flake/Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften

Ein Team um den Psychologen und Neurowissenschaftler Scott Kanoski von der University of Southern California, Los Angeles wollte 2018 herausfinden, was passiert, wenn man die Verbindung zwischen Magen-Darm-Trakt und Gehirn unterbindet. Sie gingen davon aus, dass sich diese Verbindung zwischen dem Magen-Darm-Trakt und dem Hippocampus ursprünglich entwickelt hat, um besonders gute Nahrungsquellen wiederzufinden. Also entfernten sie Ratten einen Teil des Vagusnervs und stellten anschließend ihre räumliche Erinnerungsfähigkeit in einem Labyrinth auf die Probe. Die Ratten sollten einen Weg zurücklegen, den sie zuvor gelernt hatten. Die Tiere mit gekapptem Vagusnerv hatten viel größere Schwierigkeiten, sich zu orientieren, als die in einer Kontrollgruppe. Zudem hatten sich im Zuge des Eingriffs am Vagusnerv bei den Tieren weniger Wachstumsfaktoren im Hippocampus gebildet, die für die Erinnerung wichtig sind.

Für den Neurobiopsychologen Peter König von der Uni Osnabrück, der sich empirisch mit Embodiment beschäftigt, zeigt die Studie: Das Konnektom ist für das Bewusstsein und die Persönlichkeit eines Menschen ungemein wichtig, aber nicht ausreichend. „Wenn man etwa den Vagusnerv weglässt, hat das rekonstruierte Bewusstsein keine räumliche Erinnerung mehr.“

Nun tauscht sich das Gehirn aber nicht nur mit dem Magen-Darm-Trakt aus. Der Neurowissenschaftler Michael Gaebler vom Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig hat letztes Jahr gezeigt, dass bewusstes Wahrnehmen auch mit dem Herzschlag zusammen hängt: Für eine Studie verabreichte sein Team Probanden leichte elektrische Impulse am Finger. Die Freiwilligen sollten dabei angeben, ob sie den Reiz spürten oder nicht. Zeitgleich schauten sich die Forscher mittels Elektroenzephalografie Potenziale im Gehirn an, die direkt mit dem Herzschlag zusammenhängen. Diese „herzschlagevozierten Potenziale“ erscheinen einige Hundert Millisekunden nach jedem Zusammenziehen des Herzmuskels als charakteristische Aktivitätsschübe an verschiedenen Stellen des Großhirns.



Das US-Start-up Nectome hat ein Konservierungsverfahren entwickelt, bei dem Verbindungen zwischen Neuronen erhalten bleiben.



Zeigte nun das Gehirn einer Versuchsperson eine stärkere Reaktion auf den Herzschlag, wurde die Verarbeitung des elektrischen Reizes am Finger im Gehirn abgeschwächt – die Person nahm den Stromschlag weniger wahr. Die Vermutung der Forscher: Offenbar fokussieren wir uns in Momenten stärkerer herzschlagevozierter Potenziale mehr auf die Funktion unserer inneren Organe und weniger auf Reize aus der Außenwelt. Auch andere Studien der letzten Jahre zeigen, dass die bewusste Wahrnehmung durch körperliche Rhythmen beeinflusst wird.

Gaebler schließt daraus, dass bewusste Wahrnehmung und Erleben „verkörpert“ sind. „Einerseits, weil Wahrnehmung ein aktiver Prozess ist, der Bewegungen eines Körpers wie Augen und Hände benötigt“, sagt er. „Andererseits kennt man es aus seinem Alltag, dass die Wahrnehmung von Signalen in der Umgebung durch körperliche Zustände beeinflusst wird: Wenn man Hunger hat, wird Essbares eher wahrgenommen.“ Für König liefert die Studie von Gaebler ein weiteres starkes Argument dafür, das Gehirn nicht isoliert zu betrachten. „Bewusstsein und Kognition sind nicht nur insofern verkörpert, als das Gehirn über den Körper mit der Welt interagiert. Der Körper ist auch ein innerer Gesprächspartner des Gehirns.“ Der Körper sei also noch viel mehr Teil der Bewusstseinsprozesse als zuvor gedacht.

Der Einfluss des Herzens reicht aber noch weiter. Wenn wir die Außenwelt oder uns bewusst wahrnehmen und erleben, ist immer unser „Ich“ dabei, das etwas subjektiv und bewusst erlebt. Die kognitive Neurowissenschaftlerin Catherine Tallon-Baudry von der École Normale Supérieure in Paris vermutet, dass Herzsignale dafür sorgen, dass wir Dinge aus dieser subjektiven Ich-Perspektive erleben. Tallon-Baudry forderte 2019 in einer Studie Probanden dazu auf, sich verschiedene Szenarien vorzustellen – einen Tiger zu streicheln oder im Dschungel zu sein. Dabei sollten sie sich die Szene einmal mit sich selbst als

Protagonisten vorstellen und einmal mit einem Freund. Tatsächlich ließ sich anhand der Reaktionen im Gehirn auf den Herzschlag unterscheiden, ob Probanden gerade selbst dem imaginären Tiger gegenüberstanden oder ihr Freund.

Die Signale vom Herz zum Gehirn laufen über verschiedene anatomische Pfade etwa zur Insula, die für die Wahrnehmung des eigenen Körpers wichtig ist. Das zentrale Nervensystem überwacht kontinuierlich den Zustand der inneren Organe wie Herz oder Darm, um die Herzfrequenz und den Blutdruck zu regulieren. Offenbar helfen diese Signale dem Gehirn den eigenen Organismus als eine Einheit zu definieren. Und die Signale aus dem eigenen Körper sorgen offenbar dafür, bewusstes

» Der Körper ist ein innerer Gesprächspartner des Gehirns.«

Peter König, Universität Osnabrück

Erleben biologisch an den eigenen Organismus zu koppeln. Gut ins Bild passen da Patienten mit gestörter Selbstwahrnehmung, so genannter Depersonalisation – sie fühlen sich von ihrem Ich losgelöst. Bei ihnen sind die Reaktionen des Gehirns auf Signale des Herzens abgeschwächt.

Tallon-Baudry hält es daher für unwahrscheinlich, das Bewusstsein lediglich auf der Basis des Konnektoms digital rekonstruieren zu können. Man könnte zwar die Möglichkeit in Betracht ziehen, nicht nur das Gehirn eines Menschen zu kopieren, sondern auch alle körperlichen Signale an das Gehirn. Sie hält ein solches Vorgehen aber nicht für sehr realistisch. „Meine Ansicht ist, dass es einen lebenden Organismus und nicht ein künstliches System braucht, um Bewusstsein zu erzeugen.“

Und dann wäre da noch die ungeheuerliche Komplexität der Daten. Möglicherweise ist schon das Konnektom mit seinen 86 Milliarden Neuronen und 100 Billionen Synapsen zu komplex, um rekonstruiert und simuliert zu werden. Will man aber auch körperliche Signale ans Gehirn mit simulieren, schätzt der Neurowissenschaftler David Eagleman von der Stanford University das Volumen auf Milliarden von Billionen Variablen, die gespeichert und nachgebildet werden müssten.

Allen Einwänden zum Trotz, bleibt der Neurowissenschaftler Kenneth Hayworth weiterhin optimistisch. Er ist Mitgründer des amerikanischen Non-Profit-Unternehmens Brain Preservation Foundation, Verfechter des Mind Uploading und geht davon aus, dass man nicht alle Bewusstseinsinhalte und Erinnerungen kopieren muss, um einer Person ein digitales Nachleben zu beschern. „Mind Uploading wird einen gewissen Prozentsatz der Erinnerungen einer Person originalgetreu kopieren. Für mich persönlich sind meine Langzeiterinnerungen entscheidend für meine Identität. Aber ich wäre froh, wenn ich meinen Darm durch einen gesünderen, generischen ersetzen könnte.“ <

Foto: Amélie Laurin



Catherine Tallon-Baudry von der École Normale Supérieure in Paris glaubt, dass die Wahrnehmung des Körpers unser Bewusstsein erst ermöglicht.