

Der freie Wille auf dem Prüfstand

Schon bevor wir uns der Absicht bewusst sind, eine Bewegung auszuführen, werden motorische Zentren im Gehirn aktiv. Wieso erleben wir die Bewegung dennoch als selbstbestimmten Willensakt?

Von Sukhvinder S. Obhi und Patrick Haggard

Ein Samstagnachmittag im Winter. Jemand hat alle Hausarbeiten erledigt und macht es sich mit einem Roman und einer Tasse Tee vor dem Kamin gemütlich. Da das Tageslicht allmählich schwindet, streckt der Mensch die Hand nach dem Lichtschalter aus. Nun ist es hell genug, und er beginnt zu lesen.

Uns allen sind solche Szenen vertraut. Tagtäglich vollführen wir Handlungen, die unsere äußere Umgebung in einen bestimmten Zustand versetzen – beispielsweise ein dunkles Zimmer mit Licht versorgen. Obwohl wir solchen Handlungen kaum Aufmerksamkeit schenken, sind wir überzeugt, dass wir durch Absichten und Entscheidungen die Bewegungen unserer Arme und Hände willentlich steuern. Das hört sich ganz plausibel an, ist aber gar nicht leicht zu beweisen.

Selbst eine so simple Handlung wie Lichteinschalten setzt sich aus vielen Einzelschritten zusammen. In unserem Beispiel erkennt der Akteur, dass es im Zimmer zu dunkel zum Lesen ist, und setzt sich das Ziel, den Raum zu erhellen. Um dieses Ziel zu erreichen, beschließt er, eine Lampe einzuschalten. Genauer gesagt: Dieser Leser erzeugt die Intention, zum Schalter zu greifen, und

führt dann die entsprechende Bewegung aus. Der gesamte Handlungsablauf umfasst demnach mehrere Ereignisse – Formulieren eines Ziels, Formulieren einer Intention, Auslösen der Bewegung und tatsächliches Einschalten der Lampe.

Erzeugt die Reihenfolge, in der wir solche Ereignisse erleben, das subjektive Empfinden, gleichsam Herr im eigenen Haus zu sein? Wir sind uns offenbar einer bestimmten zeitlichen Ereignisfolge bewusst, deren Richtung den Eindruck eines Kausalzusammenhangs hervorruft: aus dem Innern unseres Geistes, in dem wir eine Intention formulieren, hinaus in den äußeren Raum, wo wir einen Lichtschalter betätigen, um den Raum zu erhellen. Dennoch könnte unser Gefühl von Verfügungsgewalt auf mehr beruhen als auf dem bloßem Hintereinander der Ereignisse. Um die neurale Grundlage menschlicher Handlungswahrnehmung zu ergründen, muss die Abfolge der subjektiven Erlebnisse wissenschaftlich untersucht werden: Folgen sie einem Muster neuraler Ereignisse mit demselben charakteristischen Ablauf?

Dabei geht es um weit mehr als um das Drücken eines Schalters. Das Gefühl der Kontrolle über unsere Handlungen spielt offenbar eine Rolle für unser bewusstes Selbstgefühl: Ich bin, weil ich meine Handlungen steuere. Aber wie entwickeln wir aus gewöhnlichen Alltagshandlungen ein Selbstgefühl als de-

ren Verursacher? Um dies zu beantworten, muss man zum einen die subjektiven Empfindungen von Menschen während solcher Handlungen untersuchen, zum anderen die entsprechenden Aktivitäten im Nervensystem und schließlich die subjektiven Erlebnisse von Personen, denen das übliche Gefühl von Kontrolle fehlt. Wie wir zeigen werden, werfen die Erkenntnisse der kognitiven Neurowissenschaften ein überraschendes Licht auf die Hirnvorgänge, die unserem Gefühl bewussten Wollens zu Grunde liegen. Offenbar steuern wir unsere Handlungen nicht mit völlig freiem Willen.

Wer ist Herr im Haus?

Im Jahre 1983 veröffentlichten Benjamin Libet und seine Mitarbeiter an der Universität von Kalifornien in San Francisco einen äußerst einflussreichen Artikel über die Quelle der Handlungskontrolle. Versuchspersonen beobachteten einen Uhrzeiger, der für einen Umlauf 2,56 Sekunden brauchte. Mit Blick auf die Uhr krümmte eine Testperson willkürlich zu einem beliebigen Zeitpunkt ein Handgelenk und gab an, bei welchem Zeigerstand ihr der Bewegungsentchluss erstmals bewusst geworden war. Libet nannte diese subjektive Einschätzung *W* für »Wille«. In anderen Durchgängen beurteilten die Versuchspersonen, wann ihre Bewegung tatsächlich be-



gonnen hatte. Dieses Urteil nannte Libet *M* nach englisch »movement«; hier soll es im Folgenden *B* für »Bewegung« heißen. Am Zeitpunkt von *W* und *B* konnten die Forscher ablesen, wann ein Proband die subjektive Bewegungsentscheidung traf und wann er sie auszuführen meinte.

Außerdem bestimmte Libet zwei objektive Parameter: die elektrische Aktivität über den motorischen Hirnarealen und die elektrische Aktivität in den an der Handbewegung beteiligten Muskeln. Über den motorischen Arealen registrierte Libet ein wohlbekanntes psychophysisches Korrelat der Bewegungsvorbereitung, das so genannte Bereitschaftspotenzial (BP), welches die deutschen Neurologen Hans Kornhuber und Lüder Deecke 1965 entdeckt hatten. Das BP lässt sich mit Hilfe eines Elektroenzephalografen ableiten; das Gerät verstärkt die

Signale von Elektroden auf dem Bereich der Schädeldecke, der über den motorischen Regionen des Stirnlappens liegt, und gibt sie als Diagramm aus. Das BP erscheint als ein allmählicher Anstieg der elektrischen Aktivität, welcher der Willkürbewegung um etwa eine Sekunde vorausgeht. Da Libet auch die elektrische Aktivität der beteiligten Armmuskeln aufzeichnete, konnte er den Beginn der Muskelaktivität im Verhältnis zum BP genau ermitteln.

Libet untersuchte nun die zeitliche Abfolge von bewusstem Erlebnis und neuraler Aktivität, indem er die subjektiven *W*- und *B*-Urteile mit dem objektiven BP und der Muskelaktivität verglich. Wie erwartet kam *W* vor *B*. Anders gesagt, die Versuchsteilnehmer nahmen die Bewegungsabsicht zeitlich früher wahr als die reale Bewegung. Dies spricht zunächst für einen analogen Zusammen-

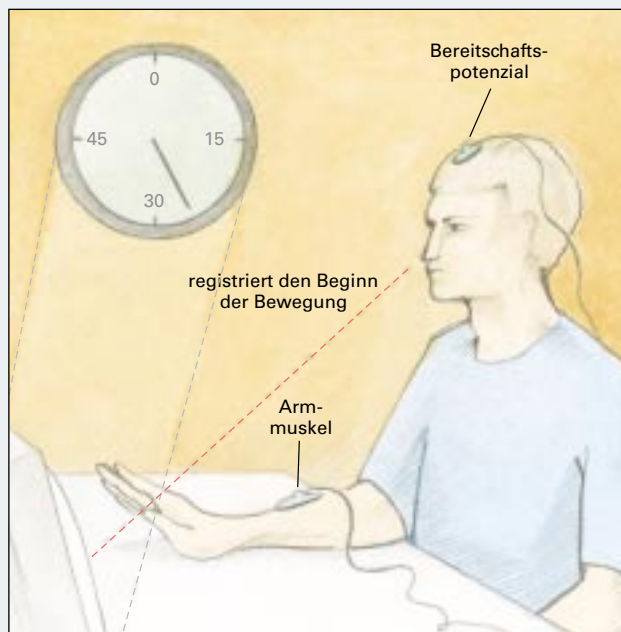
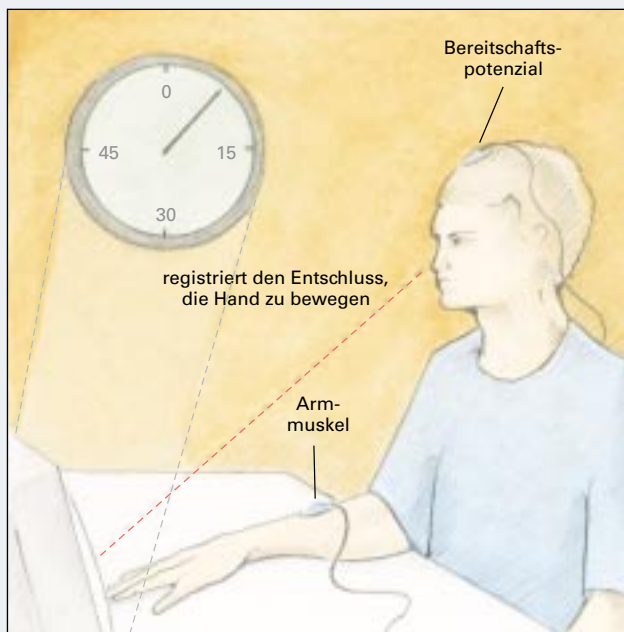
▲ Wenn es dunkel wird, machen wir Licht. Dieser simple Vorgang entpuppt sich bei genauer Analyse als komplexe Abfolge von Zielen, Intentionen und Aktionen. Überraschenderweise stimmt deren subjektiv erlebtes Nacheinander nicht mit den Hirnvorgängen überein.

hang zwischen der Abfolge der subjektiven Erfahrungen und der Abfolge der zu Grunde liegenden Hirnvorgänge. Doch Libet fand eine überraschende zeitliche Beziehung zwischen subjektiver Erfahrung und neuralen Vorgängen. Die tatsächliche neurale Bewegungsvorbereitung – das Bereitschaftspotenzial BP – setzte 300 bis 500 Millisekunden (tausendstel Sekunden) früher ein als *W*, die bewusste Wahrnehmung der Bewegungsimpulsion. Einfacher gesagt: Das ►

Der klassische Versuchsaufbau von Benjamin Libet

Während die Versuchsperson auf dem Bildschirm einen Uhrzeiger beobachtet, hebt sie willkürlich den Handrücken. In einigen Experimenten (linkes Bild) merkt sie sich die Stellung des Zeigers zu dem Zeitpunkt, in dem sie beschließt, die Hand zu bewegen. Dieser Zeitpunkt heißt *W-Urteil* (für »Wille«). In anderen

Durchgängen (rechtes Bild) registriert der Proband, wann nach seinem Empfinden die reale Bewegung einsetzt, und fällt damit ein *B-Urteil* (für »Bewegung«). In beiden Fällen wird das Bereitschaftspotenzial vom motorischen Cortex und vom Unterarmmuskel abgeleitet.



EMMA SKURNICK

▷ Gehirn bereite eine Bewegung vor, bevor der Proband bewusst beschlossen hatte, sie auszuführen! Demnach scheint die bewusste Empfindung einer Intention eher die Wirkung einer vorbereitenden motorischen Gehirnaktivität zu sein als deren Ursache. Wie Libet selbst anmerkte, stand dieser Befund in diametralem Gegensatz zum klassischen Begriff der Willensfreiheit.

Nach neueren Erkenntnissen hängt das Bewusstwerden einer Intention eher mit einer speziellen Komponente des BP zusammen, dem lateralisierten Bereitschaftspotenzial (LBP). Während das BP bei jeder motorischen Aktivität in beiden Hirnhälften auftritt, entsteht das LBP nur in einer Hemisphäre – und zwar in derjenigen, die der Seite der intendierten Handlung entgegengesetzt ist. Da die linke Hirnhälfte die Motorik der rechten Körperhälfte steuert und umgekehrt, ist das LBP wegen seiner Asymmetrie ein engeres Korrelat der Bewegungsvorbereitung als das BP. Zudem entwickelt sich das LBP rund 500 Millisekunden vor der realen Bewegung – und somit erst nach dem allgemeinen BP.

1999 führte einer von uns (Haggard) gemeinsam mit Martin Eimer am Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung in München ein Experiment vom Libet-Typ durch, bei dem zwischen BP und LBP differenziert wurde. Wie sich zeigte, hängt das bewusste Erleben einer Bewegungsintention stärker vom LBP ab als vom BP. Dies spricht dafür, dass das Bewusstwerden einer Absicht mit der Auswahl einer konkreten Bewegung verbunden ist – und nicht mit dem Vorhaben, einfach irgendeine Bewegung auszuführen. In unserem Beispiel könnte das subjektive Erleben, das dem Einschalten des Lichts vorausgeht, mit der Entscheidung zusammenhängen, welche Hand nach dem Schalter ausgestreckt werden soll.

Nicht freier Wille, sondern »freies Nichtwollen«

Wie auch immer ein Wissenschaftler diese Daten drehen und wenden mag – das Gehirn wird offenbar aktiv, bevor der Mensch die Intention einer Bewegung bewusst erlebt. Heißt das: Bewusstseinsvorgänge spielen bei der Steuerung

von Handlungen überhaupt keine Rolle? Zwar wecken Libets Resultate gewisse Zweifel, ob bewusste Prozesse Aktionen verursachen, doch dies schließt nicht aus, dass Bewusstseinsvorgänge Handlungen beeinflussen, indem sie bereits begonnene Hirnvorgänge modifizieren. Immerhin tritt die Bewegungsintention einige hundert Millisekunden vor der tatsächlichen Ausführung ins Bewusstsein; also vermag der Mensch das Ausführen bestimmter Handlungen noch zu verhindern. Anscheinend hat Libet den freien Willen durch das freie Nichtwollen ersetzt.

In gewissem Sinn zeigen Libets Befunde, dass das Gehirn sozusagen vor dem Startschuss losläuft, denn die bewegungsbezogene neurale Aktivität setzt ein, bevor die Person die Bewegungsintention erlebt. Libet entdeckte noch einen weiteren Fehlstart: Das subjektive Urteil der Probanden darüber, wann die Bewegung einsetzte, erfolgte im Mittel 86 Millisekunden vor dem Beginn der elektrischen Aktivität in den entsprechenden Muskeln. Demnach muss unser subjektives Erleben des Bewegungsbe-

ginnns ebenfalls von einem prämotorischen Vorgang stammen – von etwas, das stattfindet, bevor die Muskeln sich zusammenziehen. Zwar bezweifelten einige Forscher die Gültigkeit der Zeitangaben von Libets Probanden, doch seine Ergebnisse machten bleibenden Eindruck und wurden als ernster Einwand gegen eine vom Geist zum Körper führende Kausalkette interpretiert. Mittlerweile bestätigen zahlreiche weitere Studien das Phänomen der antizipatorischen Handlungsbewusstheit.

Anscheinend verläuft der Kausalzusammenhang zwischen unseren Intentionen und unseren Aktionen nicht in der intuitiv erlebten Richtung. Doch wenn wir uns unserer Handlungen nicht zur richtigen Zeit bewusst werden, was nehmen wir stattdessen wahr? Diese Frage droht uns mitten in das Minenfeld zu führen, das die philosophische Debatte um den freien Willen umgibt. Darum möchten wir uns lieber einer wissenschaftlich zugänglicheren Frage widmen: Wie entsteht unser bewusstes Empfinden eines freien Willens aus der Hirntätigkeit?

Vorweggenommene und wahrgenommene Bewegung

Unsere Urteile über den Zeitablauf unserer Bewegungen sind offenbar unpräzise und voreilig. Am Erleben eines Handlungsbeginns können mehrere prämotorische Prozesse beteiligt sein – unter anderem Willensakt, Intention und Vorbereitung. Wenn wir im Alltag Bewegungen ausführen, absolviert unser Gehirn verschiedene Verarbeitungsschritte. Nachdem ein Ziel feststeht, wählt unser Nervensystem ein geeignetes Bewegungsprogramm aus. Die Aufgabe, Steuersignale für einen Bewegungsablauf zu erzeugen, erfordert intensive Berechnungen; das lässt sich an dem relativ beschränkten Bewegungsrepertoire selbst modernster Roboter studieren. Da unsere bewusste Bewegungsabsicht mit dem Einsetzen des LBP zusammenhängt, ist unser Bewegungsbewusstsein offenbar mit der Planung einer bestimmten Aktion verbunden.

Das für Bewegungsplanung zuständige Hirnareal ist der prämotorische Cortex. Er sendet Signale an den primären motorischen Cortex – auch MI genannt –, welcher seinerseits Motoneuronen im Rückenmark aktiviert. Diese wiederum innervieren bestimmte Mus-

keln, welche schließlich die Bewegung ausführen.

Um dem neuronalen Substrat unseres Handlungsbewusstseins auf die Spur zu kommen, führte einer von uns (Haggard) gemeinsam mit Elena Magno, die jetzt am Trinity College in Dublin forscht, modifizierte Libet-Experimente durch. Wenn die Versuchspersonen ein Signal hörten, drückten sie eine Taste, und das Gerät maß ihre Reaktionszeit. Zusätzlich schätzten die Probanden ihre Reaktionszeit ein, indem sie die Stellung eines Uhrzeigers zum vermeintlichen Zeitpunkt des Tastendrückens angaben.

Der Clou dieser Experimente war aber der Einsatz der transkraniellen Magnetstimulation (TMS). Dabei wirkt ein starkes, rasch variierendes Magnetfeld durch die Schädeldecke auf eine bestimmte Großhirnregion ein und stört

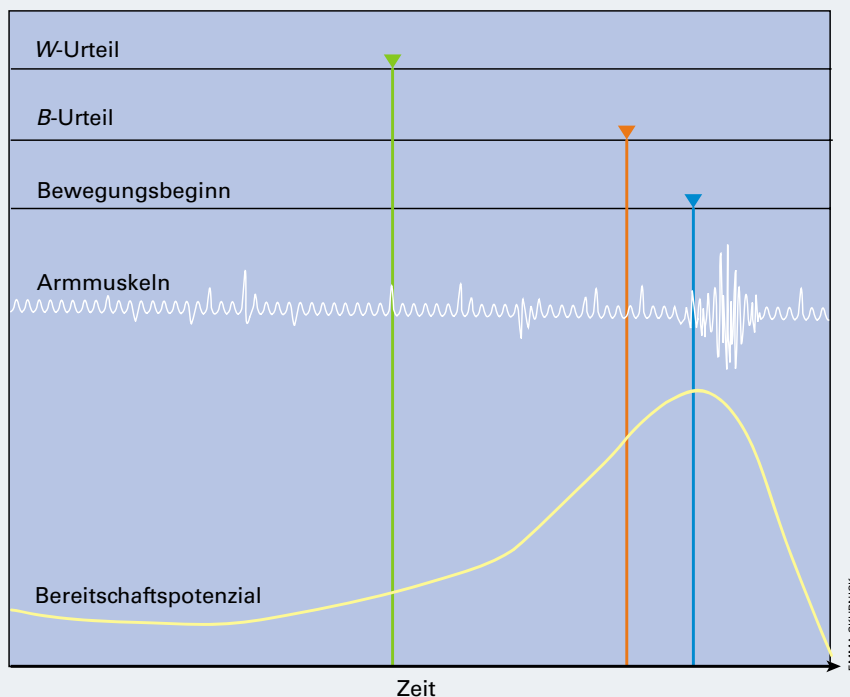
dort die neurale Verarbeitung. Haggard und Magno stimulierten mittels TMS entweder den primären motorischen Cortex MI oder das unmittelbar davor liegende supplementär-motorische Areal (SMA), das Bewegungen plant. Die Störung durch TMS erfolgte etwa 75 Millisekunden vor der mutmaßlichen Reaktion des Probanden. Die TMS sollte den tatsächlichen oder subjektiven Zeitpunkt der Bewegung verschieben und dadurch enthüllen, welche Region – MI oder SMA – vorwiegend am Bewusstwerden der Bewegung oder an der Bewegung selbst beteiligt ist.

Das Experiment war erfolgreich. TMS über dem Areal MI verzögerte die tatsächliche Bewegung um durchschnittlich 201 Millisekunden, die subjektiv geschätzte um 74 Millisekunden. Hingegen verzögerte TMS über dem SMA die

Antizipiert das Gehirn den Entschluss?

Wie die Experimente zeigen, beginnt sich das Bereitschaftspotenzial schon vor der Handbewegung aufzubauen. Etwa zu dieser Zeit glaubt die Versuchsperson, die Entscheidung für eine Bewegung zu fällen (*W*, grün). Etwa 100 Millisekunden vor der realen Aktion glaubt die Versuchsperson, die Bewegung habe begonnen (*B*, orangerot). Schließlich fängt das Handgelenk an, sich zu bewegen (blau), wie das Feuern der Neuronen im Unterarm

belegt. Zwar findet die bewusste Bewegungsintention (*W*) vor dem bewussten Bewegungserlebnis (*B*) statt, aber die tatsächliche neurale Bewegungsvorbereitung – das Bereitschaftspotenzial – geht beidem voraus. Auch setzte das subjektive Gefühl des Bewegungsbeginns (*B*) früher ein, als die Muskeln tätig wurden. Demnach verläuft die Kausalkette von Intention zu Aktion nicht in der intuitiv empfundenen Richtung.



▷ Bewegung im Schnitt um 113 und deren bewusste Wahrnehmung um 54 Millisekunden. Unter der zweiten Bedingung war dem Probanden die Veränderung der Reaktionszeit stärker bewusst, obwohl sie tatsächlich geringer ausfiel. Dies spricht dafür, dass das Bewusstwerden einer Bewegung zumindest teilweise zwischen SMA und MI stattfindet.

Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung war Itzhak Fried, der heute an der Universität von Kalifornien in Los Angeles tätig ist, schon 1991 gelangt. Er wollte bei Patienten mit schwerer Epilepsie klinisch abklären, welche Hirnregionen besonders stark an den Anfällen beteiligt waren. Da das Gehirn schmerzunempfindlich ist, führte Frieds Team Elektroden direkt in verschiedene Hirnareale ein und reizte diese elektrisch. Wenn das SMA stimuliert wurde, fühlten manche Patienten den Drang, eine Bewegung auszuführen, oder antizipierten deren Beginn. Wurde der elektrische Reiz intensiviert, führten die Patienten mit dem Körperglied, das sie zuvor hatten bewegen wollen, echte Bewegungen aus.

Alles in allem passen diese Befunde sehr gut zu aktuellen neurowissenschaftlichen Theorien der Sensomotorik. Demnach repräsentieren interne Modelle im Gehirn die gegenwärtigen, ge-

wünschten und erwarteten Zustände der Gliedmaßen und der Außenwelt. Bevor eine bestimmte Bewegung ausgeführt wird, wandert diese Information in ein so genanntes Vorwärtsmodell, das die künftige Bewegung und das dabei erzeugte sensorische Feedback simuliert. Das vorweggenommene sensorische Feedback wird mit einer gespeicherten Repräsentation der gewünschten sensorischen Rückmeldung verglichen – das heißt mit einem Modell, welches frühere Erfahrungen mit derselben Handlung zusammenfasst und angibt, wie sich eine Bewegung anfühlen sollte. So werden Abweichungen korrigiert, noch bevor die eigentliche Bewegung beginnt.

Zeitabstand und Willenserlebnis

Solche internen Vorwärtsmodelle erklären die blitzschnellen Korrekturen bei motorisch Geübten – aber auch die weniger glanzvollen Leistungen Ungeübter, die offenbar nicht über optimierte interne Modelle verfügen. Man bedenke, dass diese Vorausverarbeitung vor einer realen Bewegung stattfindet. Wenn wir uns bewegen, wird uns möglicherweise gar nicht die tatsächliche Bewegung bewusst, sondern die vorweggenommene.

Obwohl wir versuchen, das Minenfeld der Willensfreiheit zu meiden, kom-

men wir nicht ganz daran vorbei. Manche Theorien behaupten, es müsse eine bestimmte zeitliche Abfolge in der Wahrnehmung von Ereignissen geben, damit ein freier Wille erlebt wird. Einer von uns (Haggard) und seine Mitarbeiter nahmen diesen Aspekt genauer unter die Lupe: Wie beeinflussen Zeitabstände zwischen Schlüsselereignissen beim Produzieren und Steuern der Bewegung das Gefühl, die Kontrolle auszuüben? Wir ermittelten den objektiven und subjektiven Zeitverlauf willkürlicher und unfreiwilliger Bewegungen sowie deren sensorische Konsequenzen.

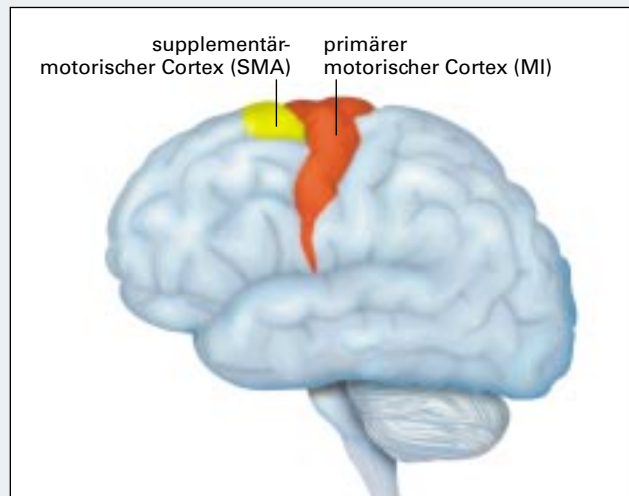
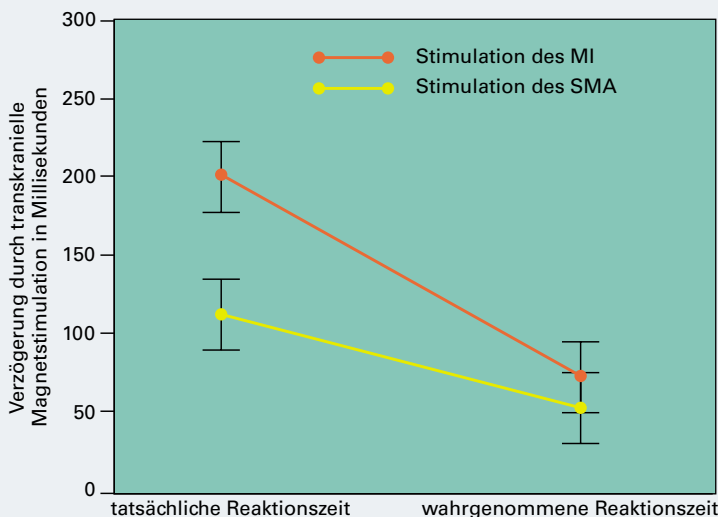
Zunächst lieferte ein Ansatz vom Libet-Typ Basisdaten über die wahrgenommenen Zeitpunkte eines freiwilligen oder erzwungenen Tastendrucks mit dem linken Zeigefinger. Um die unfreiwillige Bewegung zu erzeugen, drückte ein Motor den Finger auf die Taste. Ein durch TMS erzeugtes Zucken des rechten Zeigefingers lieferte Basisdaten über den wahrgenommenen Zeitpunkt einer sensorischen Konsequenz.

In den eigentlichen Experimenten wurden stets zwei solche Basisereignisse gekoppelt – eine Handlung und eine Folge davon. Erstere hing mit dem linken Finger zusammen, Letztere war das Zucken des rechten Fingers, das durch

Wo Bewegungen geplant und ausgelöst werden

Im Gehirn (rechts) plant der supplementär-motorische Cortex (SMA, blau) Bewegungen, und der primäre motorische Cortex (MI, rot) löst sie aus. Sobald ein akustisches Signal ertönt, drücken die Probanden eine Taste und registrieren den Zeitpunkt, zu dem sie den Beginn der Bewegung wahrnehmen. Außer-

dem wird die tatsächliche Reaktionszeit gemessen, während SMA oder MI mittels transkranieller Magnetstimulation (TMS) gestört werden. Aus den Resultaten (links) schließen die Forscher, dass das Bewusstwerden der Bewegung zwischen SMA und MI stattfindet.

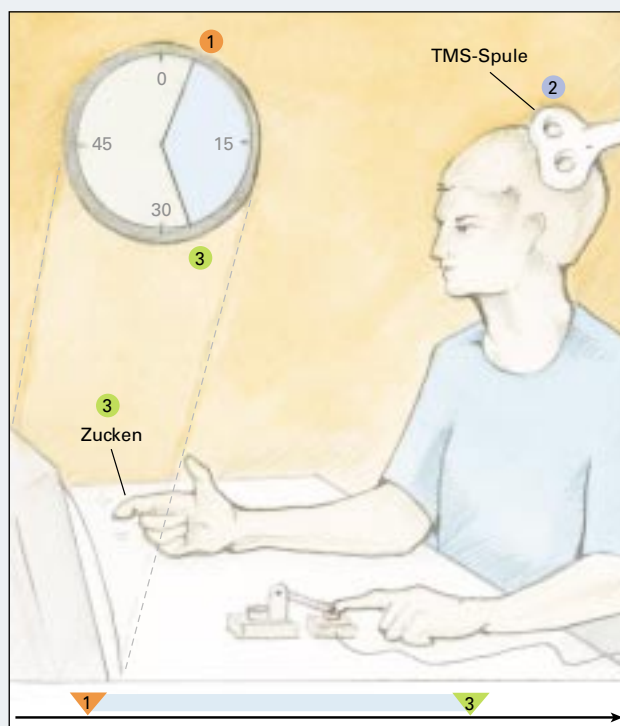
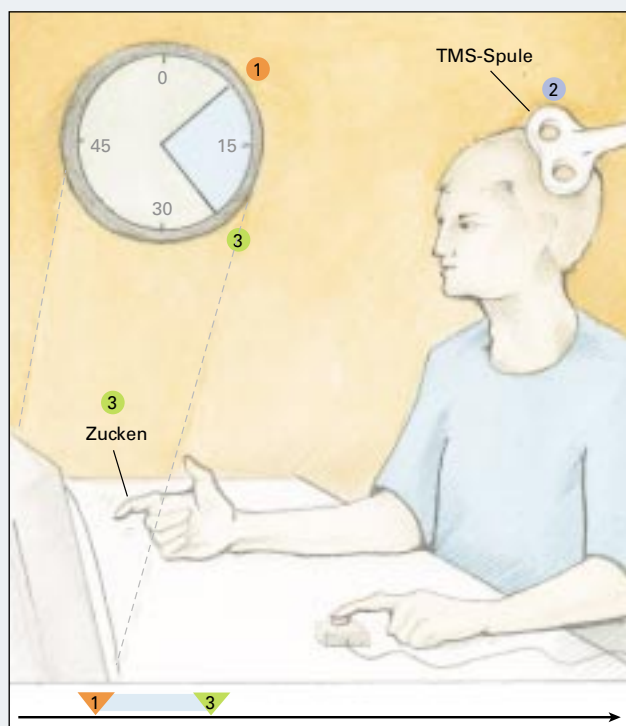


LINKS: EMMA SKURNICK; RECHTS: SIGANIM / SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Willkürliche und erzwungene Handlungen

Unser Eindruck, eine Bewegung geschehe aus freien Stücken, scheint mit den – wirklichen oder vermeintlichen – Ergebnissen der Bewegung verknüpft zu sein. Die Versuchsperson registriert auf einer Uhr, wann sie mit dem linken Zeigefinger eine Taste drückte (linkes Bild, 1). Die Taste löste über TMS (2) ein Zucken des rechten Zeigefingers aus, und die Testperson bemerkte auch diesen Zeitpunkt (3). In anderen Experimenten (rechtes Bild) drückte ein Motor den linken Zeigefinger nieder.

Wiederum registrierte die Person den wahrgenommenen Zeitpunkt des – diesmal unfreiwilligen – Tastendrucks und des Zuckens im anderen Finger. Bei der freiwilligen Handlung erschien der Abstand zwischen Tastendruck und Fingerzucken dem Probanden kürzer als beim erzwungenen Tastendrücken. Diese Resultate sprechen für eine Art Bindungsmechanismus, der intentionale Handlungen zeitlich näher an ihre wahrgenommenen Wirkungen heranzieht.



den Tastendruck ausgelöst wurde. Wenn die Versuchsperson eine freiwillige Handlung ausführte, schien diese später zu geschehen – und der somatische Effekt früher einzusetzen – als unter den Basisbedingungen. Bei unfreiwilligen Bewegungen wurde hingegen die Handlung relativ früher erlebt und die Wirkung später. Das heißt, die beiden wahrgenommenen Ereignisse – Aktion und sensorische Konsequenz – lagen bei Willkürbewegungen scheinbar zeitlich näher zusammen, bei erzwungenen Bewegungen dagegen weiter auseinander.

Diese Ergebnisse deuten auf eine Art Bindungsmechanismus hin, der willentliche Handlungen zeitlich enger an ihre wahrgenommenen Wirkungen annähert. Vielleicht erzeugt der menschliche Geist unsere Erfahrung, selbst zu handeln, indem er eine enge zeitliche Verknüpfung zwischen Intentionen, Aktionen und

Konsequenzen herstellt. Demnach ist nicht bloß die wahrgenommene Ereignisabfolge dafür verantwortlich, dass wir uns selbst als treibende Kraft empfinden, sondern vor allem die wahrgenommene Zeitspanne zwischen diesen Ereignissen. Anscheinend müssen sie innerhalb eines bestimmten subjektiven Zeitfensters stattfinden, damit wir sie als verbunden erleben. Somit könnte ein geeignetes Experiment das Gehirn so überlisten, dass es Kausalität wahrnimmt, wo keine ist, oder umgekehrt.

Vermeintliche Handlungsabsicht

Daniel Wegner verwirklichte diese Idee gemeinsam mit Thalia Wheatley, die derzeit an den amerikanischen National Institutes of Health arbeitet. Zwei Versuchspersonen saßen vor einem Bildschirm und sollten gemeinsam einen Cursor über virtuelle Objekte bewegen.

Einer der beiden Teilnehmer war in Wahrheit ein Komplize des Versuchsleiters, was die eigentliche Testperson jedoch nicht wusste. Diese hörte über Kopfhörer Worte, die sich auf bestimmte Objekte auf dem Bildschirm bezogen. Beispielsweise ertönte das Wort »Schwan«, während der Cursor zum Bild eines Schwans wanderte. Allerdings steuerte in Wahrheit ausschließlich der Komplize den Cursor.

Wenn nun das relevante Wort ein bis fünf Sekunden vor der Handlung ertönte, gaben die Versuchspersonen an, sie hätten den Cursor gezielt und absichtlich gesteuert. Mit anderen Worten, sie hatten ein Willenserlebnis. Wurde das Wort jedoch 30 Sekunden vor oder eine Sekunde nach der Handlung dargeboten, blieb der – fälschliche – Eindruck einer willentlichen Handlung aus. Die Forscher sahen darin einen klaren Be-



▲ In Stanley Kubricks Filmklassiker von 1964 »Dr. Seltsam oder Wie ich lernte, die Bombe zu lieben« muss Peter Sellers seine rechte Hand hindern, ihm an die Gurgel zu gehen. Tatsächlich gibt es das so genannte Fremde-Hand-Syndrom, bei dem sich eine Hand der Steuerung durch den Willen entzieht. Diese Störung entsteht häufig nach einer einseitigen Schädigung des medialen frontalen Cortex. Dort liegen Hirnareale, die Bewegungen planen und ausführen; ihre Schädigung könnte dazu führen, dass eine Hand quasi ihren eigenen Willen bekommt.

▷ weis, dass das menschliche Gehirn das Gefühl von Handlungsvollmacht erst nach Abschluss der Handlung konstruiert. Vermutlich gibt eine geeignete Abfolge von Intentionen, Aktionen und Konsequenzen dem Gehirn im Nachhinein ein Gefühl von Kontrolle.

Andererseits könnte das Gehirn das Kontrollgefühl auch als direktes Resultat der neuralen Ereignisse erzeugen, die einer Bewegung vorausgehen. In der Tat sprechen einige Studien deutlich gegen die reine Rekonstruktion im Nachhinein, denn bereits vor der Bewegung kann ein starker Eindruck von Absicht und Urheberschaft existieren. Insbesondere Frieds Arbeit von 1991 liefert Indizien dafür. Wie bereits erwähnt reizte Fried

den supplementär-motorischen Cortex mit schwachen Strompulsen, worauf manche Patienten von dem Wunsch oder Drang berichteten, die Hand oder den ganzen Arm zu bewegen. Bei sukzessive erhöhter Stromstärke wurde die gewünschte Bewegung tatsächlich ausgelöst.

Demnach scheint sich das bewusste Gefühl einer Intention oder eines Drangs als unmittelbares Nebenprodukt der Aktivität in den motorischen Hirnarealen zu entwickeln, welche die Bewegung vorbereiten. In einer Studie am University College London

fanden einer von uns (Haggard) und Sam Clark heraus, dass die Probanden Intention und Handlung nur dann als verbunden empfanden, wenn Aktion und Effekt exakt der Intention entsprachen – nicht aber, wenn Intentionen, Handlungen und Wirkungen bloß hintereinander abliefen. Für ein Gefühl der Handlungskontrolle ist offenbar mehr nötig als nur eine bestimmte Aufeinanderfolge der Ereignisse.

Die beschriebenen Laborstudien gehen der allgemeinen Frage nach, warum Menschen glauben, Kontrolle über ihre Handlungen auszuüben. Doch manche Menschen erleben motorische Handlungen als völlig unkontrolliert. Bei drei neuropsychiatrischen Erkrankungen – Fremde-Hand-Syndrom, Nutzungsverhalten und Schizophrenie – treten drastische Störungen des Handlungsbewusstseins auf.

Wenn die eigene Hand verrückt spielt

Beim Fremde-Hand-Syndrom entzieht sich eine Hand der Willenskontrolle. Diese Hand führt zielgerichtete, aber oft unpassende Handlungen aus, ohne dass die betroffene Person dies beabsichtigt. Die Patienten sehen sich außer Stande, das als fremd empfundene Glied zu kontrollieren, und müssen es oft mit physischer Gewalt an unangemessenen Aktionen hindern. In einem oft zitierten Fall

bekam eine Frau eine Tasse Tee und erklärte unverzüglich, der Tee sei zu heiß, sie wolle ihn erst etwas abkühlen lassen. Doch kaum hatte sie diese Absicht ausgesprochen, als ihre fremde Hand nach der Tasse griff und sie zum Munde führen wollte. Die Frau musste sie mit der anderen Hand festhalten.

In einem anderen Fall versuchte die fremde Hand einer Patientin, sie zu würgen; die Frau musste sich mit der nicht betroffenen Hand dagegen wehren. Außerdem riss ihr die fremde Hand häufig gegen ihren Willen die Bettdecke weg. Gelegentlich ergriff die fremde Hand auch ein Glas, aus dem die Patientin gerade trinken wollte, und rang mit der gesunden Hand, bis das Getränk verschüttet war. Die Frau meinte, die Hand folge ihren eigenen Gesetzen und sei nicht dem Willen unterworfen.

Bei dieser Störung kann bereits der bloße Anblick eines Gegenstands eine Handlung der fremden Hand auslösen, obwohl dies nicht den Zielen und Absichten des Patienten entspricht. Was ist die Ursache?

Meist leiden die Betroffenen an einer einseitigen Schädigung des medialen frontalen Cortex oder des Corpus callosum, des Balkens, der beide Gehirnhälften verbindet; bei manchen ist sogar beides geschädigt. Im medialen frontalen Cortex liegen sowohl das SMA als auch Teile von MI. Wie erwähnt sprechen experimentelle Befunde dafür, dass unser Bewegungsbewusstsein etwas mit der Verbindung zwischen SMA und MI zu tun hat. Daher könnte eine Schädigung des SMA wie beim Fremde-Hand-Syndrom zur Folge haben, dass eine Hand »ihren eigenen Kopf« hat.

Beim Nutzungsverhalten (utilization behavior) hantieren die Patienten unkontrollierbar mit jedem Gegenstand, der ihnen unter die Augen kommt. Anders als beim Fremde-Hand-Syndrom beschränkt sich das Nutzungsverhalten nicht auf einhändige Aktionen und geht nicht mit fehlendem Bewusstsein einer Bewegungsabsicht einher. Vielmehr rationalisieren die Betroffenen häufig ihre unangemessenen Handlungen, wenn man sie danach fragt. 2002 berichtete Edoardo Boccardi am Ospedale Niguarda Ca'Granda in Mailand über einen faszinierenden Fall:

»Er zeigte auch komplexes (beidhändiges) Nutzungsverhalten, das ebenfalls hauptsächlich von seiner rechten Hand

ausging, wobei sich die linke nach einer gewissen Verzögerung anschloss. Einmal legte der Versuchsleiter absichtlich seine Brieftasche auf den Tisch, während er die Videokamera einstellte. Der Patient erblickte die Brieftasche, nahm alle Kreditkarten und andere Dokumente heraus und las laut daraus vor. Der Versuchsleiter fragte: »Wem gehört die Brieftasche?« – »Ihnen«, antwortete der Patient, etwas verblüfft über eine derart banale Frage. Er fuhr aber fort, in der fremden Brieftasche zu stöbern und persönliche Notizen, die der Versuchsleiter darin gelassen hatte, laut vorzulesen.«

Wie beim Fremde-Hand-Syndrom kennt niemand die genaue Ursache des Nutzungsverhaltens. Gesichert ist, dass diese Patienten in der Regel eine beidseitige Läsion der Frontallappen erlitten haben. Solche Läsionen könnten hemmende Prozesse außer Kraft setzen, die eine Person normalerweise daran hindern, alles in ihrer Reichweite anzufassen.

Beschönigter Kontrollverlust

Außerdem können die Patienten der Selbsttäuschung aufsitzen, sie hätten die ausgeführten Handlungen beabsichtigt. Wie Sarah-Jayne Blakemore von der Universität London vermutet, fehlt diesen Patienten das Bewusstsein innerer Ziele und Intentionen für nachfolgende Bewegungen. Die Patienten bemerken, was sie gleich tun werden, quasi erst dann, wenn es schon passiert ist. Da es vorher kein Intentionsbewusstsein gab, muss der Patient sein Verhalten im Nachhinein rationalisieren.

Auch bei Schizophrenie tritt Kontrollverlust auf. Viele dieser Patienten behaupten, eine andere Person oder eine äußere Macht verursache ihre Handlungen, Gedanken, verbalen Äußerungen oder Emotionen. Die Kranken führen Bewegungen aus, ohne sich dessen bewusst zu sein. Blakemore vermutet den Grund für diesen Ausfall des Handlungsbewusstseins in einer Störung des Vorwärtsmodells. Wie erwähnt gleicht das Gehirn eine reale Bewegung mit diesem Modell ab, und solange Voraussage und Ergebnis halbwegs übereinstimmen, entsteht im Gehirn der Eindruck, dass die Person die Handlung bewirkt hat. Ist bei einem schizophrenen Patienten der Vorhersagemechanismus defekt, so kommt keine zutreffende Prognose der Konsequenzen einer Bewegung zu Stande. Infolgedessen wirkt eine selbst erzeugte Be-

wegung für das Gehirn unerwartet – und genauso stellen es schizophrene Patienten auch dar.

Noch bleibt in vieler Hinsicht rätselhaft, wie das Gehirn an unserem Handlungsbewusstsein mitwirkt. Jedenfalls stellen die hier beschriebenen Experimente den klassischen Begriff des freien Willens in Frage. Wenn zu dem Zeitpunkt, in dem eine Person eine Handlungsintention empfindet, die neurale motorische Aktivität längst im Gange ist, müssen wir uns fragen, wodurch das Gefühl einer Absicht verursacht wird, auf das wir unseren Glauben an Kontrolle gründen.

Vielleicht entsteht dieses Gefühl aus den laufenden Rechenprozessen, die das Vorwärtsmodell erfordert. Wie aus Laborexperimenten und klinischen Untersuchungen hervorgeht, sind Nervensignale, die schon vor Ausführen einer Bewegung den vermuteten Ablauf abschätzen, entscheidend für das bewusste Erleben unserer Handlungen. Nach Meinung der meisten Hirnforscher belegen die hier dargestellten Arbeiten, dass unser Kontrollbewusstsein aus der Art und Weise entsteht, wie die motorischen Hirnareale Bewegungsinformationen verarbeiten. <



Sukhvinder S. Obhi ist Mitglied der Research Group on Action and Perception der kanadischen Institutes of Health. Er untersucht, wie das Gehirn Handlungen steuert. **Patrick Haggard** lehrt kognitive Neurowissenschaft am University College London. Er erforscht Zusammenhänge zwischen subjektivem Erleben und Hirnprozessen.



© American Scientist Magazine (www.americanscientist.org)

Illusion Freiheit. Mögliche und unmögliche Konsequenzen der Hirnforschung. Von Michael Pauen. S. Fischer, Frankfurt 2004

Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert. Von Gerhard Roth. Suhrkamp, Frankfurt 2001

The relative effects of external spatial and motoric factors on the bimanual coordination of discrete movements. Von S. S. Obhi und P. Haggard in: Experimental Brain Research, Bd. 154, S. 399, 2003

Voluntary action and conscious awareness. Von P. Haggard, S. Clark und J. Kalogerias in: Nature Neuroscience, Bd. 5, S. 382, 2002

Weblinks zu diesem Thema bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«

AUTOREN UND LITERATURHINWEISE

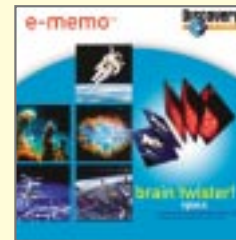


IRONPOWER – Der Powerball aus Metall

Gewicht: ca. 300 g, Ø ca. 7 cm, Farbe: silber matt eloxiert, Rotor silber, in Metallbox (9 cm x 9 cm x 8 cm). Bestell-Nr. 1845.

€ 49,90

Der IRONPOWER vereint die physikalischen Kräfte des Gyroskops mit dauerhaftestem Material, höchster Präzision und edelster Optik. Trainieren Sie Armmuskulatur, Handgelenke und Finger. Das Training steigert Muskelkondition, Greifkraft, Koordination und Durchblutung und beugt so auch Verspannungen vor. Und so funktioniert: Im IRONPOWER befindet sich ein ca. 200 g schwerer Rotor, der vom Benutzer durch Kreisbewegungen auf Touren gebracht wird. Dabei entsteht ein Drehimpuls um die Achse und es baut sich Stabilität auf, die durch das Trägheitsmoment sowie die Geschwindigkeit der Rotation verursacht wird. Verpackt ist der IRONPOWER in einer edlen Metallbox.



Braintwister Space

Bestell-Nr. 1678.

€ 15,-

Ab 8 Jahren. Testen und trainieren Sie Ihr Gedächtnis und Ihre Kombinationsgabe. 110 Spielkarten sind sowohl

auf der Vorder – als auch auf der Rückseiten mit Motiven aus Weltall und Raumfahrt bedruckt. Zwei Karten sind ein Paar, wenn beide Abbildungen – Vorder – und Rückseite – übereinstimmen. Memory für Fortgeschrittene!



Die Mathematik-Uhr

Gehäusegröße Ø 36 mm, garantiert Nickel u. PCP-frei u. wasserdicht. Original Schweizer WMC®-geprüftes Miyota-Quarz-Markenuhrwerk, schw. Leder-Armband, lebenslange Garantie, in eleganter Metall-Präsentbox. Bestell-Nr. 1770. € 74,90

Eine elegante Titan-Herrenuhr im mathem. Design. Das Ziffernblatt zeigt statt der herkömmlichen Zahlen mathematische Symbole, die in einem Beipackzettel leicht verständlich beschrieben und erklärt werden.

Ebenfalls lieferbar als Damenuhr, Ø 32 mm. Bestell-Nr. 1798. € 74,90



Science-Shop.de

vor allem Wissen

Bequem bestellen:

- direkt bei: www.science-shop.de
- per E-Mail: shop@wissenschaft-online.de
- telefonisch: 06221/9126-841
- per Fax: 0711/7252-366
- per Post: Postfach 810 680 · 70523 Stuttgart

* Bei Bestellungen in Deutschland & Österreich unter € 20,- sowie bei Bestellungen im sonst. Ausland berechnen wir € 3,50. Alle Preise inkl. Umsatzsteuer. Preise unter Vorbehalt.