

Wille und Hirn

Eine Neuinterpretation des frühen Bereitschaftspotentials im Libet-Experiment

MARC WITTMANN,¹ HAN-GUE JO,² THILO HINTERGERGER,³
STEFAN SCHMIDT⁴

Zusammenfassung – Wir berichten von einer Serie von Experimenten mit dem berühmten Libet-Paradigma zur Frage des freien Willens. Die klassischen, oft replizierten Befunde dieses experimentellen Paradigmas zeigen, wie das aus dem EEG-Signal extrahierte *Bereitschaftspotential* deutlich vor der bewussten Entscheidung, zu handeln, beginnt. Dies wird häufig als Beleg dafür genommen, dass die scheinbar willentliche Handlungsinitiierung eine Illusion ist, da ihr unbewusst neuronale Vorbereitungsprozesse vorausgehen. Wir zeigen hier, wie das frühe Bereitschaftspotential durch Mittelung von spontanen oder aufgabenbedingten EEG-Fluktuationen entsteht. Diese spontanen Fluktuationen begünstigen zwar die Handlungsausführung, sind jedoch nicht notwendigerweise

-
- 1 PD Dr. Marc Wittmann ist Psychologe und Humanbiologe. 1998 Peter-Jacobi-Preis der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Psychologie. Von 2000 bis 2004 war Wittmann Leiter des „Generation Research Program“ des Humanwissenschaftlichen Zentrums der Universität München und von 2004 bis 2009 Research Fellow am Department of Psychiatry der University of California in San Diego. Seit 2009 ist er wissenschaftlicher Angestellter des Instituts für Grenzgebiete der Psychologie und Psychohygiene e.V. (IGPP) in Freiburg i. Br. E-Mail: wittmann@igpp.de.
 - 2 Dr. Han-Gue Jo ist Neurowissenschaftler. Er promovierte an der Europa-Universität Viadrina in Frankfurt (Oder) bei Prof. Stefan Schmidt mit den hier berichteten Studien zum Libet-Experiment. Derzeit ist er wissenschaftlicher Assistent am Universitätsklinikum Freiburg. E-Mail: hangue.jo@uniklinik-freiburg.de.
 - 3 Prof. Dr. Thilo Hinterberger (Dipl. Phys., Dr. rer. nat.) ist promovierter Physiker und habilitierte in der Medizinischen Psychologie der Universität Tübingen. Seit 2011 ist er Professor für Angewandte Bewusstseinswissenschaften in der Psychosomatischen Medizin des Universitätsklinikums Regensburg. Seine Forschungstätigkeiten umfassen zahlreiche Projekte zu Themen wie der Gehirn-Computer-Kommunikation, des Neurofeedback, sowie der Neuropsychologie veränderter Bewusstseinszustände, wie Meditation, Koma, außersinnlicher Wahrnehmung oder Hypnose.
 - 4 Prof. Dr. Stefan Schmidt ist Psychologe. Neben seiner Forschungstätigkeit am Universitätsklinikum Freiburg lehrt er an der Europa-Universität Viadrina in Frankfurt (Oder) am Institut für Transkulturelle Gesundheitswissenschaften im Master-Studiengang Kulturwissenschaften – Komplementäre Medizin. E-Mail: stefan.schmidt@uniklinik-freiburg.de.

kausal an der Handlung beteiligt. Zudem deuten unsere Untersuchungen mit erfahrenen Meditierenden achtsamkeitsbasierter Praktiken darauf hin, dass diese sensitiver auf Phasenzustände der EEG-Fluktuationen reagieren.

Schlüsselbegriffe: Libet-Experiment – freier Wille – Achtsamkeit – Meditation – EEG

Free Will and the Brain: A Novel Interpretation of the Readiness Potential in the Libet Paradigm

Abstract – We report a series of experiments with the famous Libet paradigm regarding the question of free will. The classic, often replicated findings of this experimental paradigm show how the *Bereitschaftspotential* (readiness potential) – extracted from the EEG signal – clearly develops before the conscious intention to act. This finding is often taken as proof of deterministic causation of conscious deliberation. However, we show that the assessed EEG correlates result from averaging spontaneous or task-related EEG fluctuations which could promote the action but do not necessarily determine the action. Moreover, our studies with experienced meditators of mindfulness practice indicate that they are more sensitive to phase states of the EEG fluctuations.

Keywords: Libet task – free will – mindfulness – meditation – EEG

Einleitung: Freier Wille als Illusion?

Die beiden Zeitperspektiven der Vergangenheit und Zukunft sind höchst unterschiedlich mit der Vorstellung des freien Willens verbunden. Durch die Vergangenheitsperspektive lassen sich Determinanten identifizieren, die uns zu dem gemacht haben, was wir jetzt sind. Man kann biologische und psychologische Kausalketten ausmachen, die den eigenen Lebensweg entscheidend beeinflussten. Es lassen sich Faktoren bestimmen, wie Anlage und Erziehung, Zufall und Notwendigkeit, die dazu beigetragen haben, an welchem Ort man lebt, welchen Beruf man ergriffen hat, welche(n) Partner(in) und Freunde einen umgeben, welche Vorlieben man hat. Wäre ich als Kind durch Adoption in einer anderen Familie aufgewachsen ..., hätte ich mich für eine andere Stadt als Studienort entschieden..., hätte ich den Zug verpasst ..., der Lebensweg wäre ganz anders verlaufen.

Umgekehrt verhält es sich mit der Sicht auf die Zukunft. Da ist kein fester Lebensweg vorgezeichnet. Ich könnte mich für Weg *a* oder aber für Weg *b* entscheiden. Ich empfinde eine Freiheit der Entscheidungsmöglichkeiten für verschiedene Optionen. Aus meiner gegenwärtigen Perspektive auf die Zukunft gibt es einen Möglichkeitsraum und ich entscheide ganz frei, welche Richtung mein Leben nehmen wird. Aber auch rückblickend, wenn ich mich an eine vergangene Situation erinnere, denke ich, ich hätte damals anders handeln können. Ich war frei in meiner Entscheidung. Der Philosoph Peter Bieri (2013: 19) erklärt die beiden unterschied-

lichen Sichtweisen von Determinismus und Willensfreiheit mit der Außen- vs. Innenperspektive, die man einnehmen kann. Von außen betrachtet, kann ich die kausalen Vorbedingungen als Motive meines Handelns identifizieren. Von innen betrachtet, jetzt in der Situation, in der ich mich für Kaffee oder Tee, Sofa oder Joggen entscheide, sieht es hingegen anders aus: Gerade weil meine Entscheidung nicht im voraus feststeht, denke ich darüber nach, was ich will. Und ich habe das Gefühl der freien Entscheidungsmöglichkeit.

Beide Sichtweisen sind adäquate Beschreibungen: (1) der von außen betrachteten Realität sowie (2) der inneren Erfahrung. Der Konflikt entsteht erst dadurch, dass, von außen betrachtet, im gegenwärtigen wissenschaftlichen Weltbild, alles eine Ursache haben muss. Es gibt Kausalketten, die die Motive meines Handelns bestimmen. Ich handle so, weil x vorausging, was mich jetzt determiniert. So sind Normen in sozialen Situationen ein starker Prädiktor für Verhalten. Ein Einwand könnte zwar lauten, dass es die Möglichkeit gibt, diese Normen zu ignorieren. Es lassen sich aber immer Antezedenzen formulieren: Der psychische Druck der sozialen Norm führt zur Anpassung; oder aber die Persönlichkeit und bestimmte Vorerfahrungen bestimmen darüber, warum sich eine(r) der Norm widersetzt. In beiden Fällen, so das deterministische Argument, ist die Handlung vorbestimmt. Auf die neurophysiologische Ebene übertragen kann man die Vorbestimmtheit der Entscheidung folgendermaßen beschreiben: Einer Entscheidung für Handlung a („freies Wollen“) gehen bestimmte Hirnprozesse voraus. Aber auch wenn ich die Handlung a unterbreche, ich mich dagegen entscheide („freies Nicht-Wollen“), gehen dieser Entscheidung auch wieder bestimmte andere Hirnprozesse voraus (Filevich, Kühn & Haggard, 2013).

Dass der freie Wille eine Illusion sei, ist für viele Hirnforscher Gewissheit. Spätestens seit den empirischen Untersuchungen zum freien Willen durch Benjamin Libet Mitte der 1980er Jahre wird auf neurowissenschaftliche Untersuchungen verwiesen, die neuronale Aktivität identifizieren, welche unseren bewussten Entscheidungen nicht nur zeitlich vorausgehen, sondern diese kausal bewirken würden. Das neuronale Ereignis geht zeitlich dem Erleben der Entscheidung voraus und damit bestimmt das nicht bewusst erlebte neuronale Ereignis die Entscheidung. Der freie Wille ist demnach eine innere Erfahrung, die durch das Methodeninventar der äußeren Perspektive als Illusion entlarvt wird (Wegner & Wheatley, 1999). Prägnant hat dies Sam Harris (2012: 5) in einem Essay formuliert: “Free will is an illusion. Our wills are simply not of our own making. Thoughts and intentions emerge from background causes of which we are unaware and over which we exert no conscious control. We do not have the freedom we think we have.”

Die unvoreingenommene Lektüre der Literatur zum Thema „freier Wille“ bringt uns allerdings schnell zu zwei problematischen Aspekten dieser Illusions-These. Der erste Aspekt ist stärker konzeptioneller und wissenschaftstheoretischer Natur, der zweite Aspekt ist stärker empirischer Art und bezieht sich auf die Interpretation von Resultaten. Konzeptionell wird

kritisiert, dass die Vorstellung von Kausalität in der Hirnforschung der klassischen Mechanik entlehnt sei (Falkenburg, 2012). Die Vorstellung einer strikt notwendigen Beziehung zwischen Ursache *A* und Wirkung *B* ließe sich leicht auf zwei Billardkugeln anwenden. Auf Gehirnprozesse ließen sich aber eher probabilistische Wirkzusammenhänge anwenden, die aber den jeweiligen Einzelfall eines Ereignisses nicht hinreichend erklären könnten. Übertragen auf typische Erklärungsmuster in der Hirnforschung gibt es identifizierte Hirnprozesse *A*, die einer bewussten Entscheidung *B* vorhergehen und Ereignis *A* stößt Ereignis *B* wie eine Billardkugel an. Wir werden zeigen, dass diese Argumentation im bekanntesten experimentellen Paradigma zur Willkürmotorik, dem Libet-Experiment, problematisch ist.

Es gibt vielfältige Kritikpunkte am Aufbau und der Interpretation der Experimente zu Willkürhandlungen, auf die wir nicht näher eingehen werden (siehe etwa Klemm, 2010, oder Guggisberg & Mottaz, 2013). Konzeptionell-analytische Ansätze, wie etwa die von Bennett & Hacker (2003: 230), kommen zum Schluss, dass es bei der Handlungsinitiierung im Libet-Experiment gerade nicht um durch ‚innere Gefühle‘ kausal bewirkte Handlungen geht, sondern um vorbestimmte, durch das experimentelle Setting beeinflusste unwillkürliche Bewegungen. Letztendlich geht es in der Debatte auch um die Unterscheidung zwischen zwei „Welten“, die inkompatibel scheinen: (1) einer naturwissenschaftlich gedeuteten Welt der neurophysiologischen Ereignisse, die in sich kausal geschlossen mit Ursache-Wirkungszusammenhängen beschrieben wird und (2) einer erfahrungsgeleiteten psychologischen Welt, in der es Gründe und Intentionen für Handlungen gibt, die zunächst nichts mit neuronalen Ereignissen zu tun haben (Flohr, 2005). Der entscheidende Punkt ist hier, ob und wie sich erfahrungsweltliche Intentionalität neurobiologisch naturalisieren lässt.

Wir wollen uns hier auf die neurophysiologischen Belege der Illusions-These des freien Willens konzentrieren und die Ergebnisse eigener empirischer Studien mit Hilfe des paradigmatischen Libet-Experimentes (1983) vorstellen. Unsere Resultate legen nahe, dass die vor der Willensentscheidung registrierten Hirnpotentialschwankungen nicht kausal mit der Handlungsintention verbunden sind, wie dies oft ganz selbstverständlich angenommen wird. Im Folgenden sollen ausschnittsweise wesentliche Resultate von vier Studien zusammengefasst werden, die zeigen, dass das mit der „freien Willensentscheidung“ einhergehende Bereitschaftspotential nicht zwingend kausal mit der Handlungsausführung zusammenhängen muss (Jo *et al.*, 2013, 2015; Jo, Wittmann, Borghardt, Hinterberger & Schmidt, 2014; Jo, Wittmann, Hinterberger & Schmidt, 2014).

Das Libet-Experiment

Seit den Freiburger Studien von Kornhuber und Deecke (1965) ist bekannt, dass einer Willkürhandlung, etwa einer selbst initiierten Bewegung des Handgelenks oder des Fingers, ein

Bereitschaftspotential (BP; engl. *readiness potential*, RP) vorausgeht, ein im EEG gemessenes, sich langsam ins Negative veränderndes Hirnpotential, das kurz vor einer Bewegungsausführung gipfelt. Dieses BP gliedert sich in zwei Komponenten, das frühe BP oder BP1 und das späte BP oder BP2. Das frühe BP beginnt ca. 2,0 bis 1,5 Sekunden vor der Willkürhandlung und lokalisiert sich beidseitig im supplementären motorischen Areal; das späte BP hat eine etwas stärkere Steigung, beginnt ca. 0,5 Sekunden vor der Handlung und wird im kontralateralen primären motorischen Kortex gefunden (Deeke, 2015; Shibasaki & Hallett, 2006).

In den Arbeiten von Libet und Kollegen (1983) wurde das BP nun zusammen mit einer weiteren Komponente analysiert: der Moment der bewussten Entscheidung zur Bewegung. In der klassischen Libet-Aufgabe beobachten Probanden und Probandinnen eine Uhr mit einem sich schnell bewegenden Zeiger (siehe Abbildung 1; aus Jo, 2014). Wenn die Probanden wahrnehmen, dass sie „jetzt“ den Finger bewegen wollen (Abb. 1: „Decision“), also eine gefühlte Intention bemerken, sollen sie sich die Zeit, welche die Uhr gerade anzeigt, merken und diese anschließend berichten. Damit lässt sich eine Zeitangabe über den Moment der Handlungsintention machen und dieser „subjektive Moment“ mit objektiven Parametern, den gemessenen Hirnpotentialen, in ein zeitliches Verhältnis bringen.

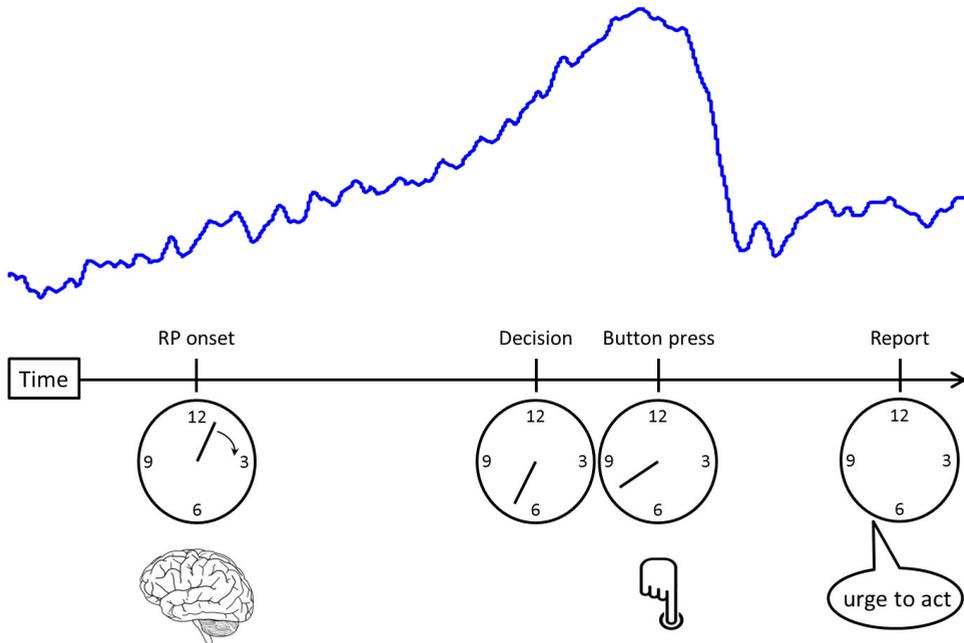


Abb. 1: Schematische Abfolge eines Durchgangs im Libet-Experiment (aus Jo, 2014; Details siehe Text)

Abbildung 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Aufgabe, wie er von der Probandin wahrgenommen wird: Erst kommt es zur gefühlten Entscheidung („*decision*“), dann drückt sie die Taste („*button press*“) und danach berichtet sie die Zeigerstellung als sie die Intention, die gefühlte Entscheidung zur Bewegung hatte („*report urge to act*“). Während der Libet-Aufgabe wird das EEG gemessen und man kann die Hirnpotentiale, wie sie sich vor der motorischen Aktion zeigen, sichtbar machen. Dies bedeutet, dass die verschiedenen Ereignisse, wie der an der Uhr abgelesene Zeitpunkt der Entscheidung sowie der Druck auf die Antworttaste zu den Hirnströmen (die Linie in Abb. 1) in einen zeitlichen Verlauf gebracht werden können. Dabei zeigt sich, dass sich ca. 2 Sekunden vor dem Tastendruck ein Bereitschaftspotential aufzubauen beginnt („*RP onset*“), das mit dem Tastendruck gipfelt. Dieser Kurvenverlauf war Kornhuber und Deeckes (1965) Hauptbefund. Das zusätzliche Resultat aus der Libet-Studie (wie es sich in Dutzenden von Studien replizieren ließ) ist aber die zeitliche Verortung der „gefühlten Entscheidung“ (in Abb. 1 „*decision*“). Das Bereitschaftspotential beginnt bereits deutlich (etwa 1,5 Sekunden) vor der willentlichen Entscheidung zum Tastendruck. Dieses zeitliche Verhältnis von (1) Beginn des Bereitschaftspotentials und (2) Willensentscheidung wird in der Literatur häufig als der Beleg für die Illusion des freien Willens genommen. Die Ursache *Bereitschaftspotential* geht kausal der Wirkung *Willensentscheidung* voraus. Das Bereitschaftspotential bewirkt die Willensentscheidung. Wenn wir einen Willen spüren, sind damit verbundene Gehirnprozesse bereits angelaufen oder abgelaufen.

Methodische Details: Determinanten des Bereitschaftspotentials

In unseren zwischen 2013 und 2015 publizierten Studien replizierten wir das Libet-Experiment mit einem wie oben beschriebenen Versuchsaufbau im EEG-Labor der Arbeitsgruppe von Stefan Schmidt an der Universitätsklinik Freiburg. Hirnaktivität wurde mit einem 64-Kanal EEG-Verstärker gemessen (alle technischen Details lassen sich in den angegebenen Publikationen finden). Ziel war es, über eine genaue Replikation des Experimentalaufbaus die Natur des gemessenen EEG-Signals in einem Zeitfenster von 2,5 Sekunden vor Tastendruck bis 1 Sekunde danach zu analysieren.

Wie in der Literatur beschrieben hat man den Eindruck (siehe die Linie in Abb. 1), die Hirnaktivität würde innerhalb der Zeitspanne vor der Willensentscheidung monoton ansteigen. Würde sie einen gewissen Schwellenwert übersteigen (etwa kurz vor oder am Gipfel der Kurve), käme es zur bewussten Entscheidung. So die Annahme bei der Kausalinterpretation von Ursache (Hirnvorgänge) und Wirkung (bewusster Wille). Nun gibt es aber zwei wichtige Umstände dieser Messung zu beachten, die in der bisherigen Interpretation des Libet-Experiments nicht berücksichtigt wurden. Zum einen handelt es sich beim Bereitschaftspotential in Abbildung 1 um eine über meist 40 Einzeldurchgänge gemittelte Hirnpotentialkurve. Die implizite aber unbe-

stättigte Annahme ist hierbei, dass sich ein entsprechender monotoner Anstieg in jedem einzelnen Durchgang findet, dieser aber im Rauschen des Gesamt-EEGs nicht zu erkennen ist. Der zweite Umstand bezieht sich auf den Fakt, dass diese Messung nicht vor einem Ruhezustand des Gehirns stattfindet. Tatsächlich zeigt das EEG u. a. eine langsame, globale und unregelmäßige Spontanfluktuation (Abbildung 2), die als *slow cortical potential* (SCP) bezeichnet wird.

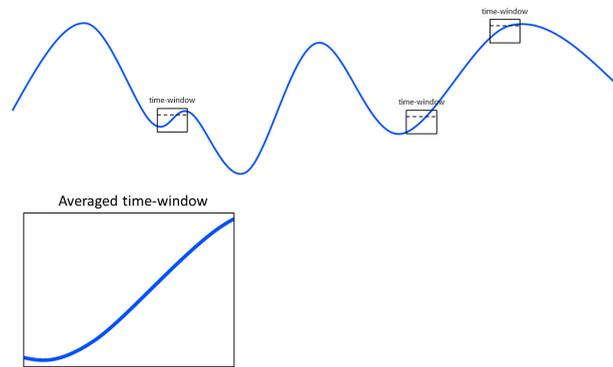


Abb. 2: Eine Sequenz von Zeitfenstern als Durchgänge des Libet-Experiments („time window“) bei den langsamen Hirnpotentialen, die gemittelt („averaged time-window“) das typische Bereitschaftspotential ergeben (aus Jo, 2014; Details siehe Text).

Auf diesem Hintergrund wird deutlich, dass jeder der 40 Durchgänge mit einem Zeitfenster von 2.5 Sekunden vor dem Tastendruck nur einen kleinen Ausschnitt des SCP darstellt („time-window“ in Abb. 2). Mittelt man alle diese Zeitfenster der 40 Durchgänge, ergibt sich die Kurve in Abbildung 1 (schematisch auch das „averaged time-window“ in Abb. 2). In unserem ersten Experiment mit 13 Versuchspersonen und jeweils 40 Durchgängen (Jo *et al.*, 2013) ergab sich die gemittelte Kurve in Abbildung 3: Die Potentialschwankung W ist im Libet-Experiment entstanden (W steht für „Willing“); die Potentialschwankung T steht für ein Kontrollexperiment, in dem die Probandin die Uhr betrachten musste bis ein Ton (T) präsentiert wurde, worauf die Probandin angeben musste, zu welchem Zeitpunkt auf der Uhr der Ton erfolgte. Dieses Kontrollexperiment zeigt, dass das alleinige Betrachten der Uhr und das Warten auf den Ton kein Bereitschaftspotential mit ansteigendem Verlauf ergibt. Der Ton ruft ein akustisch evoziertes Potential her-

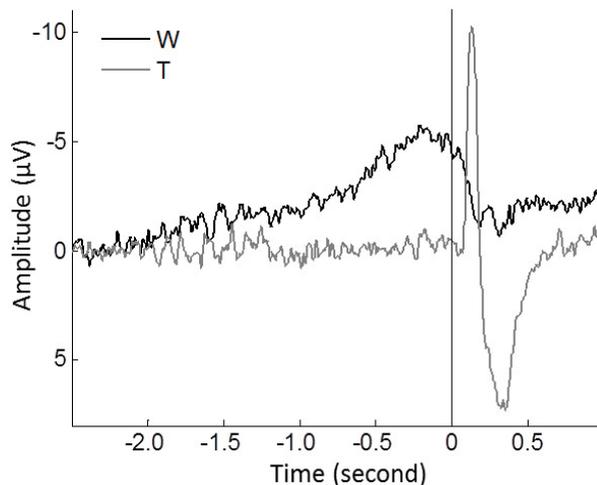


Abb. 3: Empirisch ermittelte Bereitschaftspotentiale in unserem Libet-Experiment (aus Jo, 2014; Details siehe Text).

vor – den plötzlichen Ausschlag der Amplitude nach oben. Nur bei der willentlich gesteuerten motorischen Aktion (W) zeigt sich das vorausgehende Bereitschaftspotential.

Das SCP ist durch Potentialschwankungen mit abwechselnd auf- und absteigenden Flanken gekennzeichnet (spontane EEG-Fluktuationen, Abb. 2). Wäre der Zeitpunkt der Willkürhandlung unabhängig von den Fluktuationen des SCPs, dann müssten sich dessen Schwankungen über viele Durchgänge herausmitteln, sowie dies auch für andere Frequenzen im EEG geschieht. Nun ist aber aus der Literatur bekannt, dass eine Fluktuation des SCP in die Negativität mit einer höheren Reaktionsbereitschaft und auch mit einer verbesserten sensorischen Diskrimination verbunden ist (Born *et al.*, 1982, Devrim *et al.*, 1999). Bezogen auf das dem SCP unterliegende Modell sind negative Potentialzustände mit negativen Ladungsverschiebungen in den apikalen Dendriten der kortikalen Pyramidenzellen verbunden, die wiederum mit einer Herabsetzung der Schwellenwerte für Aktionspotentiale verbunden die Wahrscheinlichkeit einer Bewegungsinitiierung erhöhen.

Aaron Schurger und Kollegen (Schurger *et al.*, 2012) haben eine theoretische Simulation durchgeführt, bei der sie von der Annahme ausgegangen sind, dass eine Willkürhandlung dann erfolgt, wenn eine bestimmte Schwelle an Negativität im SCP überschritten wird. Wie in Abbildung 2 exemplarisch dargestellt, würde sich unter dieser Annahme eine Kurve aufbauen, welche die gleiche Form wie das Bereitschaftspotential hat, ohne dass diese dabei eine kausale Ursache der nachfolgenden Bewegung sein muss. In unseren Experimenten haben wir dieses

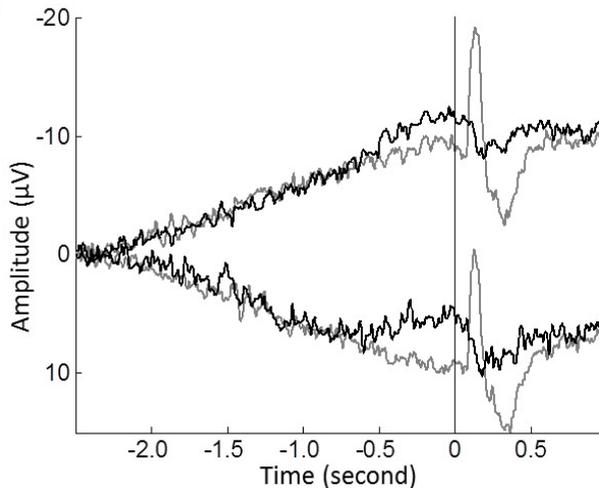


Abb. 4: Gemittelte Zeitfenster mit negativen (nach oben) und positiven (nach unten) Steigungen der Hirnpotentiale (aus Jo, 2014; Details siehe Text).

Modell empirisch bestätigt. Dazu haben wir nicht, wie sonst, alle Durchgänge gemittelt, sondern die einzelnen Durchgänge zuerst hinsichtlich einer positiven oder negativen Steigung sortiert. Die Analyse unserer Daten zeigt, dass einem Tastendruck häufiger eine negative Steigung vorausgeht und seltener eine positive. Konkret zeigt sich, dass 32,8% der Willkürentscheidungen eine positive Potentialschwankung vorausgeht (die absteigende untere schwarze Linie in Abb. 4). Dies ergibt gemittelt eine Kurve, die die gleiche Form wie das frühe Bereitschaftspotential hat, aber in die

entgegengesetzte Richtung zeigt. Da aber offensichtlich insgesamt zwei Drittel der Willkürentscheidungen während einer negativen Flanke des SCP erfolgen, ergibt sich im Mittel über alle 40 Durchgänge der typische sich ins Negative steigende Potentialverlauf. In der Kontrollbedingung, dem oben erläuterten Ton-Experiment (T), ist dagegen kein Unterschied in der Häufigkeit von gleichzeitig registrierten negativen oder positiven Verläufen zu erkennen (nahezu 50% für beide Fälle). Die extern getriggerte Tonbedingung ist unabhängig von den Fluktuationen des SCP. Nur bei der Aufgabe zur Willkürmotorik dominiert die aufsteigende negative Flanke.

Die Deutung eines monoton ansteigenden negativen Potentials im Libet-Experiment ist demnach komplexer als bisher gedacht. Zwar ist die Negativität überproportional mit der Willkürhandlung verbunden (im Gegensatz zur passiven Bedingung), der willkürliche Tastendruck findet in einem Drittel der Fälle jedoch auch während des positiven Anteils des SCP statt. Auch der Moment der gefühlten Entscheidungszeit („*Decision*“ in Abb. 1) unterscheidet sich nicht zwischen den positiven und negativen Fällen. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass der negative Verlauf des *frühen* Bereitschaftspotentials zumindest zu einem maßgeblichen Teil aus einem ungleichen Verhältnis von negativen und positiven Potentialverläufen vor der bewussten Entscheidung resultiert. Das *späte* Bereitschaftspotential scheint von diesem Umstand nicht betroffen zu sein, wie man in Abbildung 4 an den Unterschieden zwischen grauer und schwarzer Kurve, in den letzten 500 ms erkennen kann.

Diese Daten zeigen zweierlei. Erstens geht einer Willkürhandlung in einem Drittel der Fälle offensichtlich kein Bereitschaftspotential voraus. Zum anderen lässt sich ein Zusammenhang zwischen SCP-Fluktuationen und dem Entstehen des frühen Bereitschaftspotentials aufzeigen. Die ansteigende Negativität des frühen Bereitschaftspotentials ist demnach keine kausale Ursache für die Ausführung der motorischen Handlung, sondern lediglich ein Korrelat. Sie spiegelt die Erwartung eines Handlungsaktes wieder, welche innerhalb der Aufgabenstellung bereits vorgegeben ist. Bezogen auf den Verlauf des SCP könnte man eher davon sprechen, dass sich die spontanen EEG-Fluktuationen probabilistisch auf die „freie“ Willensentscheidung auswirken. Das heißt, es ist eher wahrscheinlich, dass es zur Intention und Handlung kommt, wenn sich das SCP in einem ansteigenden negativen Verlauf befindet.

Die negative Ablenkung im Bereitschaftspotential ist demnach nicht, wie häufig interpretiert, ein neuronales Korrelat für Willkürentscheidungen, sondern erleichtert eine potentiell in wenigen Sekunden anstehende Bewegung.

Achtsamkeit und Willkürmotorik

Der umgangssprachliche Begriff der Achtsamkeit meint eine Sorgfalt in der Wahrnehmung und im Denken, eine besondere Aufmerksamkeit für innerpsychische Vorgänge und Ereignisse in

der Außenwelt. Eine weiterführende Bedeutung hat der Begriff in den letzten Jahren durch das Aufkommen des aus dem Buddhismus entlehnten Konzeptes der *Achtsamkeit* erfahren (siehe auch Schmidt, 2014, 2015). Eine erhöhte Achtsamkeit kann durch Formen meditativer Praxis eingeübt werden, bei der der Fokus auf den gegenwärtigen Moment gelenkt wird ohne dabei zu urteilen und zu bewerten. Bei den meditativen Achtsamkeitsübungen geht es also u. a. um Präsenz als das Gewahrsein des gegenwärtigen Moments (Wittmann & Schmidt, 2014). Studien zur Achtsamkeitsmeditation zeigen in der Tat, wie sich verschiedene Aufmerksamkeitskomponenten durch regelmäßige und ausdauernde Meditationsübungen verbessern lassen (Hölzel *et al.*, 2011). Manche der positiven Veränderungen stellen sich schon nach wenigen Wochen ein, wie die Fähigkeit zur Daueraufmerksamkeit, also über einen längeren Zeitraum schnell und genau auf verschiedene Reize zu reagieren, sowie zur fokussierten Aufmerksamkeit, also sich nicht von Störreizen ablenken zu lassen.

In weiteren Studien untersuchten wir daher Personen, die über eine langjährige und intensive Erfahrung in achtsamkeitsbasierter Meditation verfügten. Die Frage war, ob sich eine erhöhte Achtsamkeit auf die gemessenen Parameter im Libet-Experiment auswirken würde. Wir wählten dabei zwei Zugänge. Zum einen untersuchten wir einen buddhistischen Meditationslehrer, Tilmann Borghardt, auch Lama Lhündrup genannt, der auf eine 35 Jahre dauernde spirituelle Meditationserfahrung zurückblicken kann. Um sich ein Bild von der außerordentlichen Erfahrung zu machen: Lhündrup Borghardt hat 21 Jahre als buddhistischer Mönch in einem Kloster gelebt und u.a. zehn Jahre lang

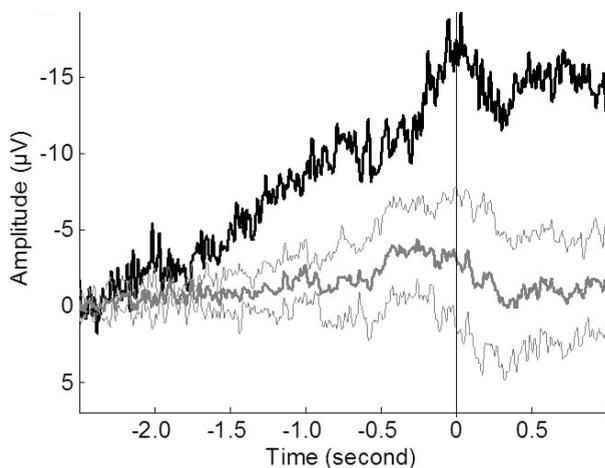


Abb. 5: Das stärker ausgeprägte Bereitschaftspotential des Meditationsmeisters (schwarze Linie) im Vergleich zu drei Personen, vergleichbar in Ausbildung und Alter, aber ohne Meditationserfahrung (aus Jo, 2014; Details siehe Text).

zwölf Stunden am Tag meditiert (zu Inhalten der Meditationserfahrung Lhündrup Borghardts, siehe Wittmann, 2015). Zum anderen untersuchten wir eine Gruppe von 20 Meditierenden mit moderater Erfahrung – im Durchschnitt meditierten die Personen seit 10 Jahren und 7 Stunden pro Woche in den letzten 8 Wochen. Wir verglichen sowohl die Leistung des Meditationslehrers als auch die 20 Meditierenden mit einer vergleichbaren Gruppe von Menschen ohne jede Meditationserfahrung.

Verglichen mit fünf Kontrollpersonen zeigte der hoch

erfahrene Meditationslehrer ein wesentlich stärker ausgeprägtes Bereitschaftspotential, d.h. eine größere Amplitude von über -12 Mikrovolt gegenüber von über -3 Mikrovolt bei den Kontrollpersonen (Jo *et al.*, 2014; siehe Abb. 5). In der weiteren Auswertung zeigte sich, dass dieser Unterschied darauf zurückzuführen war, dass Lhündrup Borghardt häufiger während der aufsteigenden negativen Flanke des SCP die Willkürhandlung zeigte. Nach den weiter oben gemachten Erörterungen führt eine häufigere Handlungsintention während des negativen Kurvenverlaufs der SCP zu einer stärkeren Amplitude und zu einem steileren Bereitschaftspotential. Wir interpretieren diesen Befund dahingehend, dass die generell erhöhte Achtsamkeit für innere Vorgänge bei dem Meditationsmeister einhergeht mit der Fähigkeit, den optimalen Moment für eine Handlungsausführung zu erspüren. Nach den theoretischen Ausführungen oben ist solch ein optimaler Moment während der negativen Flanke des SCP zu finden. Man kann also tatsächlich sagen, dass der erfahrene Meditationslehrer eine erhöhte Achtsamkeit für innere Bewegungen hat.

In der Gruppe der 20 erfahrenen Meditierenden zeigte sich eine Korrelation zwischen dem Bereitschaftspotential und dem Zeitpunkt der gefühlten Handlungsintention, der an der Experimentaluhr abgelesen wurde. Dieser Zusammenhang stellte sich bei der Kontrollgruppe nicht ein (Jo *et al.*, 2015). Je steiler die Flanke des Bereitschaftspotentials bei den Meditierenden, desto früher berichten sie von der Handlungsintention. Wir stellen demnach einen Zusammenhang zwischen dem subjektiven Gefühl gleich die Taste drücken zu wollen und dem Bereitschaftspotential fest. Es handelt sich um ein neuronales Korrelat der bewussten Steuerung von Handlung. Und diese Relation zwischen neuronalen Prozessen und bewusster Erfahrung ist nur bei den erfahrenen Meditierenden festzustellen. Wir interpretieren diesen Befund wieder mit einer größeren Sensibilität für innere Bewegungen, die nach den theoretischen Überlegungen Ausdruck der Herabsetzung von Schwellenwerten für Aktionspotentiale ist, die eine Handlung erleichtern können. Nach unseren Befunden ist die erhöhte Achtsamkeit der Meditierenden mit einer anstrengungsloseren sensomotorischen Verarbeitung verbunden. Auch hier denken wir nicht im Kontext einer Kausalbeziehung zwischen *A* (dem Bereitschaftspotential) und *B* (bewusster Handlungsinitiierung), sondern im Sinne einer korrelativen Funktionsbeziehung: Während der negativen Phase der SCP sind Handlungsmöglichkeiten erleichtert und erfahrene Meditierende profitieren von ihrer erhöhten Achtsamkeit für das Aufspüren dieser inneren Vorgänge.

Diskussion

Die Debatte um den freien Willen wird in zwei verschiedenen Wissenskulturen geführt. In der philosophischen Debatte wird die Möglichkeit und Unmöglichkeit des freien Willens konzeptuell erörtert. Empirische Forscher aus der Psychologie und den Neurowissenschaften untersu-

chen die Randbedingungen von Willensentscheidungen experimentell, wie etwa die Forschung um den Berliner Neurowissenschaftler John-Dylan Haynes (siehe etwa: Soon *et al.*, 2008). Eine dritte Debattenkultur sei nur am Rande erwähnt. Sie wird durch Hirnforscher gespeist, die den freien Willen als Illusion entlarvt haben wollen und ihre Meinung im Feuilleton und in populärwissenschaftlichen Büchern verbreiten. Dabei haben sie selbst am Amphibienhirn oder am Sehsystem der anästhesierten Katze geforscht und niemals auch nur ansatzweise an Experimenten zur Willensäußerung. In die Debatten von Philosophen und populärwissenschaftlich argumentierenden Hirnforschern gehen selbstverständlich die empirischen Befunde zum freien Willen ein. Allerdings ist eine Interpretation dieser Forschungsergebnisse nur möglich, wenn man selbst daran „hands on“ arbeitet. Am Beispiel des Libet-Experimentes haben wir aufgezeigt, wie das Bereitschaftspotential einer Interpretation nur zugänglich wird, wenn man die Daten regelgerecht analysiert. Und dies kann nur gelingen in der Beschäftigung mit der Sachlage, den Methoden und den Daten selbst. Nur über die Durchführung und Auswertung des Experimentes lässt sich ein Verständnis der „Sache“ gewinnen.

Das heißt umgekehrt nicht, dass wir als empirische Forscher eine Antwort auf die Frage des freien Willens gefunden hätten. Wir argumentieren weder konzeptionell-philosophisch, noch behaupten wir, generell Argumente für oder gegen den freien Willen empirisch gewonnen zu haben. Natürlich wissen wir, dass es eine Vielzahl an unbewussten Antezedenzen gibt, die unser Verhalten mit steuern. Die Forschung hat auch zeigen können, wie leicht man sich täuschen und ein fremdverursachtes Ereignis fälschlicherweise für ein selbstverursachtes halten kann (Wegner, 2002). Einen logischen Fehlschluss kann man bei Deterministen dennoch häufig feststellen: Aus der Tatsache, dass es unbewusste Einflussfaktoren gibt, sowie aus der Erfahrung heraus, dass es Situationen gibt, die uns deterministisch leiten (sprachlogisch sind dies Existenzsätze der Form „es gibt ein x “), kann man nicht schließen, dass alle unsere Entscheidungen vorbestimmt sind (Allsätze von der Form „alle x sind“). Es gibt Situationen, wie etwa Vertreter des Kompatibilismus betonen, bei denen wir davon sprechen können, dass wir nach durchdachten längeren Überlegungen zu einer Entscheidung kommen können, die unserem Willen entspreche (Mele, 2014). Der Zeitfaktor ist sicherlich wichtig in dieser Diskussion, da kurzfristige Entscheidungen eher automatisiert ablaufen (drücke ich den Knopf oder nicht), während langfristige Entscheidungen (soll ich Medizin oder Psychologie studieren) eher selbstgesteuert, bewusst und überlegt und mit dem freien Willen vereinbar ablaufen können. Dies ist allerdings eine andere Diskussionsebene.

Wir können hier nur konstatieren, dass das Libet-Experiment, welches in nahezu jeder wissenschaftlichen Debatte zum freien Willen erwähnt wird, bezogen auf seinen spezifischen Aufbau und die Auswertung der EEG-Fluktuationen, kein experimentelles Paradigma darstellt, um die Frage des freien Willens zu beantworten. Der Befund eines nicht kausalen, sondern korrelativen oder auch probabilistischen Zusammenhanges zwischen Hirnpotentialen und

Handlungsintentionen eröffnet aber ein Fenster für weitere Forschung zur Frage von Entscheidungskriterien, die an Willkürhandlungen beteiligt sind. Denn unsere Studien können klar das bisherige Argument einer deterministischen Sichtweise widerlegen.

Literatur

- Bennett, M. R., & Hacker, P. M. S. (2003). *Philosophical Foundations of Neuroscience*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Bieri, P. (¹¹2013). *Das Handwerk der Freiheit*. Frankfurt/M.: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Born, J., Whipple, S. C., & Stamm, J. (1982). Spontaneous cortical slow-potential shifts and choice reaction time performance. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 54, 668–676.
- Deecke, L. (2015). Experimente über Handlungsbereitschaft – 50 Jahre Bereitschaftspotential. *Klinische Neurophysiologie*, 46, 19–27.
- Devrim, M., Demiralp, T., Kurt, A., & Yücesir, İ. (1999). Slow cortical potential shifts modulate the sensory threshold in human visual system. *Neuroscience Letters*, 270, 17–20.
- Falkenburg, B. (2012). *Mythos Determinismus. Wieviel erklärt die Hirnforschung?* Heidelberg: Springer Spektrum.
- Filevich, E., Kühn, S., & Haggard, P. (2013). There is no free won't: Antecedent brain activity predicts decisions to inhibit. *PLoS one* 8, e53053.
- Flohr, H. (2005). Der Raum der Gründe. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 53, 685–690.
- Guggisberg, A. G., & Mottaz, A. (2013). Timing and awareness of movement decisions: Does consciousness really come too late? *Frontiers in Human Neuroscience*, 7 (385).
- Harris, S. (2012). *Free will*. New York: Free Press.
- Hölzel, B. K., Lazar, S. W., Gard, T., Schuman-Olivier, Z., Vago, D. R., & Ott, U. (2011). How does mindfulness meditation work? Proposing mechanisms of action from a conceptual and neural perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 6, 537–559.
- Jo, H.-G., Hinterberger, T., Wittmann, M., Borghardt, T. L., & Schmidt, S. (2013). Spontaneous EEG fluctuations determine the readiness potential: Is preconscious brain activation a preparation process to move? *Experimental Brain Research*, 231, 495–500.
- Jo, H.-G. (2014). The inner sense of free will: Conscious intention and neural substrates. Doctoral dissertation, Faculty of Social and Cultural Sciences, European University Viadrina.
- Jo, H.-G., Wittmann, M., Borghardt, T. L., Hinterberger, T., & Schmidt, S. (2014). First-person approaches in neuroscience of consciousness: Brain dynamics correlate with the intention to act. *Consciousness and Cognition*, 26, 105–116.

- Jo, H.-G., Wittmann, M., Hinterberger, T., & Schmidt, S. (2014). The readiness potential reflects intentional binding. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8 (42).
- Jo, H.-G., Hinterberger, T., Wittmann, M., & Schmidt, S. (2015). Do meditators have higher awareness of their intentions to act? *Cortex*, 65, 149-158.
- Klemm, W.R. (2010). Free will debates: Simple experiments are not so simple. *Advances in Cognitive Psychology*, 6, 47-65.
- Kornhuber, H.H., & Deecke, L. (1965). Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflügers Archiv für die Gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 284, 1-17.
- Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., & Pearl, D.K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). *Brain*, 106, 623-642.
- Mele, S.R. (2014). *Free*. Oxford: Oxford University Press.
- Schmidt, S. (2014). Was ist Achtsamkeit? Herkunft, Praxis und Konzeption. *Sucht*, 60, 13-19.
- Schmidt, S. (2015). Der Weg der Achtsamkeit. Vom historischen Buddhismus zur modernen Bewusstseinskultur. In Hölzel, B., & Brähler, C. (Eds.), *Achtsamkeit mitten im Leben: Anwendungsgebiete und wissenschaftliche Perspektiven* (S. 21-42). München: O. W. Barth.
- Schurger, A., Sitt, J.D., & Dehaene, S. (2012). An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement. *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A.*, 109, E2904–E2913.
- Shibasaki, H., & Hallett, M. (2006). What is the Bereitschaftspotential? *Clinical Neurophysiology*, 117, 2341-2356.
- Soon, C. S., Brass, M., Heinze, H. J., & Haynes, J.D. (2008). Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature Neuroscience*, 11, 543-545.
- Wegner, D.M., & Wheatley, T. (1999). Sources of the experience of will. *American Psychologist*, 54, 480-492.
- Wegner, D.M. (2002). *The Illusion of Conscious Will*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wittmann, M., & Schmidt, S. (2014). Mindfulness meditation and the experience of time. In Schmidt, S., & Walach, H. (Eds.), *Meditation – Neuroscientific Approaches and Philosophical Implications (Studies in Neuroscience, Consciousness and Spirituality 2)* (S. 199–210). Berlin & Heidelberg: Springer.
- Wittmann, M. (2015). *Wenn die Zeit stehen bleibt: Kleine Psychologie der Grenzerfahrungen*. München: C.H. Beck.