

Aus der Psychiatrischen Universitätsklinik der Charité
im St. Hedwig-Krankenhaus
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Das Gefühl der Urheberschaft von Handlungen.
Ergebnisse eines elektrophysiologischen Experimentes.

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Ivan Nenchev

aus Sofia, Bulgarien

Datum der Promotion: 6. September 2019

Vorwort

Hiermit wird darauf hingewiesen, dass die Inhalte dieser Arbeit teilweise in der Publikation "Whodunnit? Electrophysiological Correlates of Agency Judgements." (Autoren: Simone Kühn*, Ivan Nenchev*, Patrick Haggard, Marcel Brass, Jürgen Gallinat, Martin Voss, erschienen am 14.12.2011 in Plos One (Impact factor 2.806)) (Kühn et al. 2011) veröffentlicht worden sind.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	2
Abkürzungsverzeichnis.....	4
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	5
Abstract	6
Zusammenfassung:	8
Einleitung.....	10
Methoden	28
Ergebnisse.....	36
Diskussion	44
Bibliographie:.....	55
Anhang 1.....	61
Anhang 2.....	62
Anhang 3.....	63
Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation	66
Lebenslauf.....	67
Publikationsliste:	69
Danksagung.....	70

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	univariate Analyse der Kovarianz
BP	Bereitschaftspotential
EEG	Elektroenzephalographie
EKP	ereigniskorreliertes Potential
EOG	Elektrookulogramm
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
MP	motor potential
MRCP	movement-related cortical potential
NS	negative slope
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
ROI	region of interest
SCP	slow cortical potentials
SKID I	das Strukturierte Klinische Interview für DSM-IV. Achse I
TPJ	temporoparietal junction

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1. Typen von Ereignissen	11
Abbildung 2. Schematische Darstellung einer Ereigniskette	13
Abbildung 3. Komparator-Modell	17
Abbildung 4. Urheberchaftsgefühl und Urheberchaftsurteil	18
Abbildung 5. Komponenten des EKPs	26
Abbildung 6. Schematische Darstellung des experimentellen Ablaufs	29
Abbildung 7. Darstellung der verwendeten Elektrodenpositionen	30
Abbildung 8. Plots der Grand Average der EKPs	36
Abbildung 9. Plot der Grand Average der EKPs	37
Abbildung 10. Plots der Grand Average der EKPs	38
Abbildung 11. Plot der Grand Average der EKPs	39
Abbildung 12. Plots der Grand Average der EKPs	40-41
Abbildung 13. Plots der Grand Average der EKPs	42
Tabelle 1. Beispiele über Handlungen und die Urheberchaft	12
Tabelle 2. Übersicht der durchgeführten Analysen	34

Abstract

“Sense of agency” refers to the feeling that oneself is responsible for those external events that are directly produced by one’s own voluntary actions. Recent theories distinguish between a non-conceptual “feeling” of agency linked to changes in the processing of self-generated sensory events, and a higher-order “judgment” of agency, which attributes sensory events to the self. In the current study (Kühn et al. 2011), we explore the neural correlates of the judgment of agency by means of electrophysiology. We measured event-related potentials to tones that were either perceived or not perceived as triggered by participants’ voluntary actions, and related these potentials to later judgments of agency over the tones. We investigated whether N1, P3a and the movement-related cortical potentials, as potential electrophysiological markers of first-step feeling of agency processing predict the outcome of the later agency judgment.

The experimental design was based on Sato and Yasuda. Participants learned that certain actions resulted in certain consequences in the environment (tones). They were then introduced to an ambiguous context in which tone congruency and delay were manipulated. The participants had to judge whether presented tones were self-generated or externally produced. Replicating earlier findings on predictive sensory attenuation, we found that the N1 component was attenuated for congruent tones that corresponded to the learned action-effect mapping as opposed to incongruent tones that did not correspond to the previously acquired associations between actions and tones. In addition, it was found that the N1 attenuation depends on learning. We then focused our analysis on the most ambiguous condition, namely, congruent tones presented with 300 ms delay. We divided these identical trials according to the judgments of whether each individual tone was self- or externally-produced. The P3a component, but not the N1, directly reflected the judgment of agency: deflections in this component were greater for tones judged as self-generated than for tones judged as externally produced. No significant correlation could be found between the agency judgments and the movement-related cortical potentials.

The fact that the outcome of the later agency judgment was predictable based on the P3a component demonstrates that agency judgments incorporate early information processing components and are not purely reconstructive, post-hoc evaluations generated at the time of judgment.

Zusammenfassung:

Das Gefühl der Urheberschaft von Handlungen („*sense of agency*“) beschreibt das Gefühl, selbst verantwortlich für Konsequenzen eigener Handlungen in der Umwelt zu sein. In theoretischen Modellen wird zwischen einem impliziten Urheberschaftsgefühl, das mit der Verarbeitung selbst-generierter sensorischer Reize in Zusammenhang steht, und einem expliziten Urheberschaftsurteil, bei welchem ein sensorischer Reiz dem Selbst zugeschrieben wird, unterschieden. In der vorliegenden Studie (Kühn et al. 2011) untersuchten wir die neuronalen Korrelate expliziter Urheberschaftsurteile mittels Elektroenzephalographie (EEG). Mit einem akustischen Reiz assoziierte ereigniskorrelierte Potentiale (ERP), die entweder als durch einen eigenen Tastendruck ausgelöst oder als fremdproduziert erlebt wurden, korrelierten wir mit den darauffolgenden expliziten Urheberschaftsurteilen. So konnten wir untersuchen, ob N1-, P3a- und die bewegungsabhängigen kortikalen Potentiale als potenzielle elektrophysiologische Marker für das implizite Urheberschaftsgefühl spätere explizite Urheberschaftsurteile prädizieren können.

Das experimentelle Design basierte auf einem von Sato und Yasuda entwickelten Experiment. Zu Beginn des Experiments (Lernphase, *mapping*) lernten die Probanden eine Handlung-Effekt-Sequenz (linker bzw. rechter Tastendruck – hochfrequenter bzw. niederfrequenter Ton). Im eigentlichen Experiment wurde dann eine Ambiguität bezüglich der Urheberschaft hergestellt. Die Töne wurden kongruent oder inkongruent zu der Lernphase und mit drei zeitlichen Intervallen zum Tastendruck (100, 300 und 600 ms) präsentiert. Die Probanden sollten beurteilen (Urheberschaftsurteil), ob die gehörten Töne aus den eigenen Handlungen resultierten oder unabhängig davon, durch den Computer generiert auftraten.

Wir replizierten einen bekannten Effekt prädiktiver sensorischer Attenuierung, bei dem die Amplitude der N1-Komponente bei Tönen, die der gelernten Handlung-Effekt-Sequenz entsprachen (Kongruenz) im Gegensatz zu solchen, bei denen die gelernte Sequenz nicht beibehalten wurde, vermindert war. Zusätzlich konnten wir zeigen, dass dieser N1-Effekt von Lernprozessen abhängig ist. Bei Analyse der

experimentellen Bedingung mit der höchsten Ambiguität – kongruenten Tönen mit 300 ms Intervall zwischen Tastendruck und Ton – wurden dann die identischen Einzeldurchgänge ausschließlich nach den subjektiven, expliziten Urteilen über die Urheberschaft (Selbst- oder Computer-generiert) unterteilt. Die P3a-, jedoch nicht die N1-Komponente, schien hier im Zusammenhang mit den Urheberschaftsurteilen zu stehen: Die P3a-Komponente war für Töne attenuiert, die als selbstproduziert empfunden wurden. Keine signifikante Korrelation konnte zwischen den bewegungsabhängigen kortikalen Potentialen und den Urheberschaftsurteilen gefunden werden.

Die Tatsache, dass die späteren expliziten Urheberschaftsurteile durch die Amplitude der P3a Komponente des ERP prädizierbar war, spricht dafür, dass Urheberschaftsurteile unter anderem auch durch neurale Ereignisse, die zeitlich sehr nah am Stimulus liegen, beeinflusst werden und somit nicht ausschließlich einen rekonstruktiven, post-hoc Prozess darstellen.

Einleitung

Zu Beginn werden die relevanten philosophischen Hintergründe vorgestellt, die die konzeptuelle Grundlage für den experimentellen Teil der Arbeit bilden. Es werden sowohl das klassische Modell über die Urheberschaft von Handlungen von Donald Davidson als auch die zeitgenössische Theorie über das Gefühl der Urheberschaft von Synofzik erörtert. Die Hypothesen, die sich daraus ableiten lassen, sollen dann im weiteren Verlauf der Arbeit experimentell mittels ereigniskorrelierten Potentialen geprüft werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Experiment durchgeführt, in dem Probanden eine Handlung ausführten (Tastendruck) und damit Effekte in der Umwelt (Töne) produzierten. Zuerst lernten die Probanden eine Handlungs-Effekt-Sequenz (linker bzw. rechter Tastendruck produziert einen hochfrequenten bzw. niederfrequenten Ton). Nach der Lernphase wurden die Probanden instruiert, dass die Töne, die sie hören, entweder von ihnen selbst oder von einem Experimentator, der die Aufgabe gleichzeitig durchführt, produziert sein können. Nach jedem Ton wurden die Probanden aufgefordert, ein Urheberschaftsurteil zu treffen. Die Töne waren in Wirklichkeit computergeneriert und wurden kongruent oder inkongruent zu der Lernphase und mit drei zeitlichen Intervallen zum Tastendruck (100, 300 und 600 ms) präsentiert, um Unsicherheit für das Gefühl der Urheberschaft zu erzeugen.

1.1. Die Urheberschaft als Tatsache. Definition von Urheberschaft und Handlung gemäß Donald Davidson

In dem Aufsatz „Agency“ von 1968 behandelt Donald Davidson (Davidson 2001) das Problem der Urheberschaft und untersucht das Verhältnis zwischen dem Urheber, dem Ereignis und den Umständen, unter denen dem Urheber ein Ereignis als Handlung zugeschrieben werden kann. Dieser Text, der mehrere Jahrzehnte vor der gegenwärtigen neurowissenschaftlichen Diskussion über die Urheberschaft entstanden ist, erscheint aus

mindestens zwei Gründen wichtig. Mit der These, dass Handlungen intentional und primitiv sind, beschäftigt sich Davidson einerseits mit der Intentionalität und führt Körperbewegungen in die Diskussion über die Urheberschaft ein. Diese zwei Domänen stehen im Mittelpunkt der neurowissenschaftlichen Forschung von heute. Andererseits nimmt er Stellung zur Frage der Hirnaktivität in Anbetracht der Urheberschaft.

Ereignisse sind Veränderungen, die raumzeitlich lokalisiert sind (Keil 2000). Dementsprechend sind Handlungen eine spezielle Subklasse von Ereignissen, die durch die Anwesenheit eines Urhebers gekennzeichnet sind.

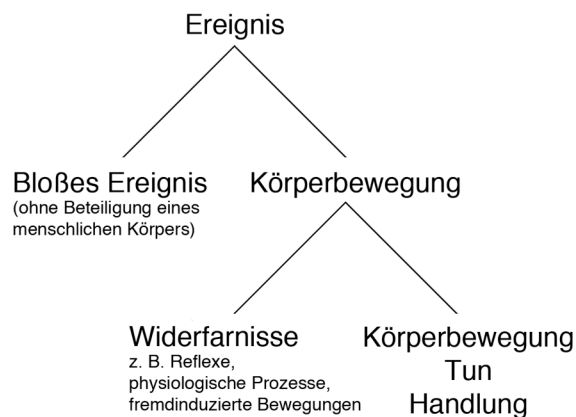


Abbildung 1. Typen von Ereignissen

Auf der Suche nach einer möglichen Lösung des Problems, wie man eine Handlung als solche identifiziert, stellt Davidson zu Beginn seines Aufsatzes die These auf, dass kein sicheres grammatikalisches Kriterium für die Urheberschaft (z. B. das Genus oder die Transitivität des Verbs) existiert. Er schlägt vor, dass das wesentliche Merkmal der Urheberschaft die Intentionalität ist. Die Intentionalität impliziert die Urheberschaft. Im Gegensatz dazu impliziert die Urheberschaft nicht zwingend die Intentionalität. Um eine bestimmte Klasse von Handlungen in diese Definition zu integrieren, nämlich Fehler, die nicht intentional sind, erweitert Davidson seine Aussage und geht davon aus, dass man Urheber einer Handlung ist, wenn das, was man tut, unter einem gewissen Aspekt

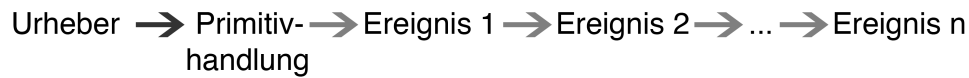
beschrieben werden kann, der es intentional macht. Im Falle von Fehlern war die Intention, etwas anderes zu machen. Somit schließt er das Ergebnis der Handlung (erwartet oder unerwartet, richtig oder fehlerhaft) von der Definition aus. In der folgenden Tabelle werden Beispiele gezeigt:

	Intentionalität	Beispiel
Handlung / Urheberschaft	+	Ich habe den Kaffee weggekippt.
Handlung / Urheberschaft	-	Ich habe den Kaffee weggekippt. Ich dachte aber, in der Tasse sei Tee.
Ereignis / keine Urheberschaft	-	Ich habe den Kaffee ausgekippt, nachdem jemand gegen meine Hand gestoßen ist.

Tabelle 1. Beispiele von Handlungen und Urheberschaft

Die Urheberschaft wird also als Beziehung zwischen einer Person und einer Handlung dieser Person definiert. Das Kriterium der Urheberschaft ist im semantischen Sinne die Intentionalität, der sprachliche Ausdruck der Urheberschaft ist extentional, d. h. das Verhältnis zwischen Urheber und Handlung bleibt trotz der unterschiedlichen sprachlichen Beschreibungen bestehen.

In einem zweiten Schritt versucht Davidson die Urheberschaft ohne Intentionalität zu analysieren, da „Urheberschaft“ ein einfacherer und allgemeinerer Begriff als „Intention“ ist. Er führt an dieser Stelle die Idee der Ursache bzw. Kausalität ein. Wenn der Urheber eine Kette von Ereignissen auslöst, kann man mittels der Ereigniskausalität das Verhältnis zwischen den einzelnen Ereignissen untersuchen. Die Ereigniskausalität beruht auf klar definierten Gesetzen (z. B. denen der Physik). Es gibt allerdings ein Ereignis, das sich dieser Analyse entzieht und an erster Stelle in der Ereigniskette, d. h. dem Urheber am nächsten, steht. Dieses nennt Davidson „Primitivhandlung“. Primitivhandlungen sind Handlungen, die nicht durch kausale Zusammenhänge mit anderen Handlungen des Urhebers erklärt werden können. Alle Primitivhandlungen sind laut Davidson körperliche Bewegungen.



Ereigniskausalität

Abbildung 2. Schematische Darstellung einer Ereigniskette

In der Argumentation über die Primitivhandlungen, die als Körperbewegungen definiert sind, nimmt Davidson Stellung zur Frage der Hirn- und Muskelaktivität, die hinter diesen Körperbewegungen steht. Zerebrale Ereignisse können nicht als Handlungen an sich benannt werden, weil die Person in der Regel nichts davon weiß und daher diese nicht als intentional bezeichnet werden können. Davidson geht in der Argumentation so weit, dass er behauptet, dass der Urheber nicht von der Existenz seines Gehirnes wissen muss, um zu handeln. Die zerebralen Ereignisse und die Muskelaktivität werden also als Voraussetzungen für die Handlung betrachtet.

Mittels der Ereigniskausalität kann das Verhältnis zwischen den einzelnen Ereignissen untersucht werden. Sie greift aber nicht, wenn man das Verhältnis zwischen Urheber und Primitivhandlung darstellen möchte. Auch wenn die Kausalität ein zentraler Begriff in der Untersuchung der Urheberschaft darstellt, betrifft die Kausalität die Effekte der Handlungen und nicht deren Ursachen. So ist die Aussage, dass ein Urheber eine Handlung verursacht, laut Davidson nur eine andere Beschreibung der Handlung und keine Erklärung der Urheberschaft. Er verzichtet darauf, von „Urheberschaftskausalität“ zu sprechen, weil er diesen Begriff als erklärungsschwach betrachtet.

Zum Schluss des Aufsatzes kommt Davidson zu dem Ergebnis, dass die Primitivhandlungen, also jene, die eine Person ausführt, ohne etwas anderes im Voraus getan zu haben, sowie die einfachen Körperbewegungen die einzigen Handlungen sind, die es gibt. Die Person tut nichts Weiteres, als ihren Körper in Bewegung zu setzen, alles andere ist der Natur überlassen. Eine neue Definition der Handlung wird präsentiert. Wenn ein Ereignis eine Handlung ist, dann ist diese in bestimmten Beschreibungen

primitiv oder in anderen Beschreibungen intentional. Also gibt es keine anderen Handlungen als Primitivhandlungen. Es gibt nur andere Beschreibungen der Ereignisse. Das Zusammenfallen aller Handlungen in Primitivhandlungen, das durch den Akkordeneffekt gekennzeichnet ist (Feinberg 1965; Bratman 2006), führt zu einer Vereinfachung des Problems der Urheberschaft. Die Urheberschaft ist die Verbindung bzw. das Verhältnis zwischen einer Person und einem Ereignis, welches eine Handlung ist, die diese Person ausführt. Dieses Verhältnis bleibt trotz der unterschiedlichen Beschreibungen bestehen.

In seinen theoretischen Überlegungen setzt Davidson den Schwerpunkt auf die Körperbewegung als den ausschlaggebenden Punkt für die Urheberschaft. So könnte man annehmen, dass die konkreten Effekte der Körperbewegung in der Umwelt sekundär sind. Seine theoretischen Überlegungen dienen in der vorliegenden Arbeit dazu, das Interesse auf die körperliche Bewegung im Sinne einer Handlung (Tastendruck) zu lenken. Konkret wird u. a. empirisch getestet, ob das elektrophysiologische Korrelat der Handlungen an sich mit den expliziten Urheberschaftsurteilen korreliert.

1.2. Die Urheberschaft als Gefühl

1.2.1 Allgemeines zum Gefühl der Urheberschaft. Definition

Im Unterschied zur Urheberschaft als Tatsache wurde in den letzten Jahren u. a. durch eine Vielzahl an neurowissenschaftlichen Studien und philosophischen Texten das so genannte *Gefühl* der Urheberschaft (*sense of self-agency*) ein wichtiges Thema. Ausgehend von vielen Symptomen in der Psychopathologie, bei denen anscheinend ein solches Gefühl verloren geht (Frith 2005), wurde dieses Phänomen als eigenständige Einheit isoliert. Der Begriff „Gefühl der Urheberschaft“ bezieht sich auf das subjektive Empfinden der Urheberschaft, also den Eindruck, dass man selbst die eigenen Handlungen verursacht (Gallagher 2000). Der Urheber hat die Kontrolle über die eigenen Handlungen und somit über Ereignisse, die in der

Umwelt passieren. Das Gefühl der Urheberschaft ist ein komplexes Geschehen, welches dem Agenten eine Perspektive auf den Handlungsfluss der Urheberschaft gibt (Wong 2012).

Viele Autoren konzeptualisieren das Gefühl der Urheberschaft auf zwei Ebenen, die sich durch den Grad der möglichen Introspektion unterscheiden. So beschreibt Gallagher zum Beispiel das Gefühl der Urheberschaft ersten Grades als präreflexives Minimum und dasjenige zweiten Grades als Introspektion. Frith (Frith 2005) spricht von dem Gefühl der Urheberschaft auf einer basalen Ebene als das Empfinden, dass die eigenen Handlungen Effekte in der Umwelt verursachen. Abstrakter betrachtet führt die eigene Intention zum Handeln zu Effekten auf die Umwelt. De Vignemont (de Vignemont und Fournier 2004) schlägt auch ein Zweistufen-Modell des Gefühls der Urheberschaft vor, welches auf dem Zusammenspiel von *top-down*- und *bottom-up*-Mechanismen beruht.

Dieses Gefühl ist schwer greifbar und befindet sich an der Grenze des Bewusstseins, es bleibt im Alltagserleben sehr oft unbemerkt und ist daher schwer greifbar (Haggard 2005, Libet 1985). Es wird als „phänomenologisch dünn“ beschrieben (Gallagher 2012). Die Untersuchung dieses Phänomen stellt eine Herausforderung für die wissenschaftliche Forschung dar. Haggards entwickelt das Konzept von *intentional binding* (Haggard, Clark und Kalogeras 2002) als implizites Maß für das Gefühl der Urheberschaft. Dieses Konzept beruht auf der Tatsache, dass der zeitliche Abstand zwischen eigenen Handlungen und deren Effekten subjektiv kürzer empfunden wird im Vergleich zum Abstand fremdproduzierter Handlungen. Eine andere Möglichkeit, das explizite Gefühl der Urheberschaft zu untersuchen, ist, die Probanden direkt nach deren Urheberschaftsurteilen zu fragen.

Die Frage, wie das Gefühl der Urheberschaft überhaupt entsteht und ob das ein prospektives oder ein retrospektives Phänomen ist, führte zur Entwicklung einer Vielzahl von Theorien. Aufbauend auf frühen Tierexperimenten in den 50er Jahren ist das so genannte Komparator-Modell entstanden. Eine zeitgenössische Theorie der Urheberschaft, die das Komparator-Modell kritisiert, betrachtet das Gefühl der Urheberschaft als ein multifaktorielles Geschehen mit der Abwägung von Hinweisen

(*clues*) auf unterschiedlichen Ebenen. Im Gegensatz dazu betrachten extreme Sichtweisen das Gefühl der Urheberchaft als Illusion (Wegner 2003, 2002). Die theoretischen Entwicklungen, die für das Experiment in dieser Arbeit relevant sind, werden im Folgenden kurz skizziert.

1.2.2. Reafferenzprinzip und Begleitentladung

Von Holst und Mittelstaedt postulierten im Jahre 1950 (von Holst und Mittelstaedt 1950) das so genannte Reafferenzprinzip im Rahmen von experimentellen Überlegungen über die optokinetischen Reflexe bei Tieren. Die Reafferenz wird als eine durch die aktive Bewegung vom Effektor zurück in das ZNS kommende Afferenz definiert, die mit einer Efferenzkopie des motorischen Kommandos verglichen wird. Das Zusammenspiel zwischen Efferenzkopie und Reafferenz dient zur Koordination und zur Automatisierung komplexer Bewegungsabläufe. Von Holst und Mittelstaedt prophezeiten, dass das Reafferenzprinzip als „eine Brücke zwischen niederer Nervenphysiologie und höherer Verhaltenslehre“ dienen wird.

Im gleichen Jahr beschreibt Sperry (Sperry 1950) eine so genannte Begleitentladung (*corollary discharge*) als Erklärungsmodell für die spontane optokinetische Antwort bei dem Fisch *Sphaeroides spengleri*, nachdem eine chirurgische Rotation vom Bulbus oculi durchgeführt wurde. In diesem Modell entsteht gleichzeitig mit dem motorischen Bewegungskommando eine Begleitentladung, die dafür sorgt, dass der Effekt der Augenmitbewegung auf die Wahrnehmung der Umwelt annulliert wird. Ohne diese Begleitentladung würde jede Augenbewegung zu der Wahrnehmung einer Bewegung des Umweltbildes führen. Sowohl das Reafferenzprinzip von Holst und Mittelstaedt als auch die Begleitentladung von Sperry dienen als Grundlagen für die späten Theorien über das Gefühl der Urheberchaft.

1.2.3. Komparator Modell und das Gefühl der Urheberschaft

Die Prinzipien der Efferenzkopie und der Begleitentladung wurden von Frith (Frith 2005, 2012) und Wolpert (Wolpert, Ghahramani, and Jordan 1995; Daniel M Wolpert, Ghahramani und Flanagan 2001) übernommen, um das Gefühl der Urheberschaft zu erklären. Frith postuliert einen so genannten Komparator als eine Art Vergleichsapparat und Kontrollstelle im motorischen System. Im System entsteht ein Bewegungskommando, welches zu einer Muskelkontraktion führt, die ihrerseits eine Sensation bzw. sensorischen Input produziert. Somit erreicht das motorische System einen neuen Zustand (*actual state*, tatsächlicher Zustand). Durch eine Efferenzkopie vom Kommando wird gleichzeitig eine sensorische Vorhersage in einem internen Vorwärtsmodell (*internal forward model*) gemacht, die zur Herstellung einer Prädiktion zum Zustand des Systems (*predicted state*, Prädiktionszustand) dient. In dem Komparator werden diese zwei Zustände des Systems (*actual state* und *predicted state*) verglichen. Das dient in erster Stelle zur Korrektur des Bewegungskommandos. In Friths theoretischen Überlegungen über bestimmte Symptome der Schizophrenie wird angenommen, dass der Komparator zur Herstellung eines Gefühls der Urheberschaft führt.

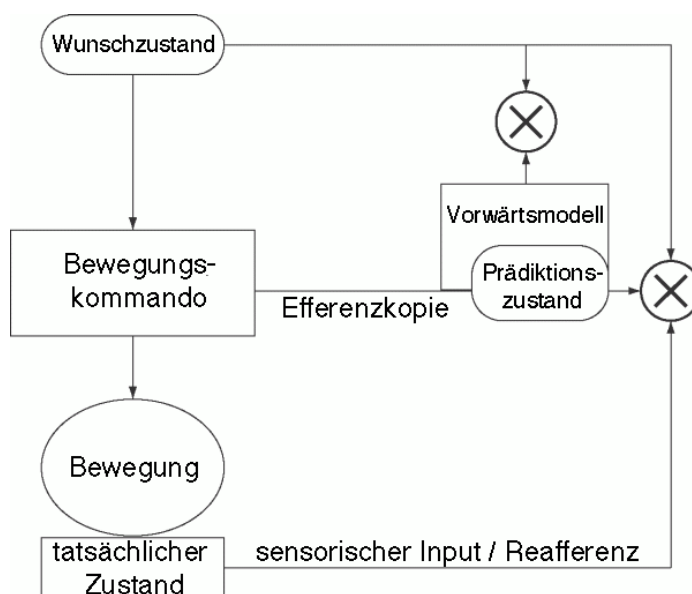


Abbildung 3. Komparator-Modell

Wenn nämlich *estimated actual state* und *predicted state* übereinstimmen, wird eine Bewegung als selbstproduziert empfunden.

Es gibt allerdings viele Experimente, die zeigen, dass das Gefühl der Urhebererschaft ohne Efferenzkopie, Reafferenz oder sogar illusorisch entstehen kann (z. B. Fourneret et al. 2002; Farrer et al. 2003; Blakemore, Wolpert und Frith 1998; Blakemore, Frith und Wolpert 1999; Wegner 2003; Wegner, Sparrow und Winerman 2004).

1.2.4. Urheberchaftsgefühl und Urheberchaftsurteil im Modell von Synofzik

Synofzik, Vosgerau und Newen (Synofzik, Vosgerau, and Newen 2008) kritisieren das Komparator-Modell und entwickeln eine eigene Theorie zum Gefühl der Urhebererschaft, die auf der zweischrittigen Verarbeitung multifaktorieller Hinweise beruht. Zuerst wird eine präzisere Definition des Begriffs Gefühl der Urhebererschaft gegeben, nämlich als die Wahrnehmung, dass man die eigenen Handlungen selber initiiert. Sie unterscheiden zwischen „Urheberchaftsgefühl“ (*feeling of agency*) und „Urheberchaftsurteil“ (*judgment of agency*).

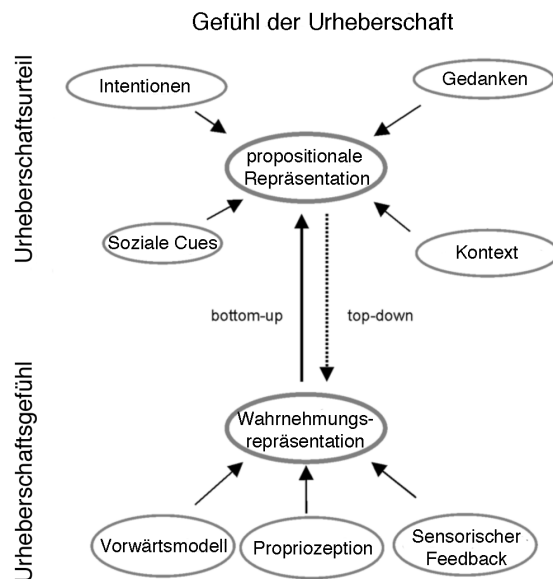


Abbildung 4. Urheberchaftsgefühl und Urheberchaftsurteil

Das Urheberschaftsgefühl wird als primär perzeptiv beschrieben und beruht auf basalen, nicht-konzeptionellen Prozessen, die eine Handlung als eigen oder nicht-eigen klassifizieren. An dieser Stelle ist ein Anderer als Instanz und möglicher alternativer Handlungsurheber nicht repräsentiert. Dieses Phänomen entsteht durch die Übereinstimmung von Prädiktionen und sensomotorischem und visuellem Input und führt zum Gefühl eines kohärenten und harmonischen Handlungsablaufs (Vastano, Pozzo und Brass 2017). Im Falle einer fehlenden Übereinstimmung der unterschiedlichen Faktoren werden die Handlungsabläufe als bizarr, seltsam und nicht komplett eigenproduziert empfunden.

Das explizite Urheberschaftsurteil wird als konzeptionell betrachtet und entsteht durch die höhergradige Verarbeitung von Ereignissen. Dabei wird das Urheberschaftsgefühl mit weiteren Faktoren wie Glaubenssätzen, Gedanken und Intentionen sowie mit dem Kontext verglichen. Eine Entscheidung über die Urheberschaft wird anhand der Wichtung dieser multifaktoriellen Indikatoren gefällt. Die Rationalisierung dessen, ob man der Urheber einer Handlung ist, hängt also nicht nur von einer Übereinstimmung der sensorischen Reafferenz und der motorischen Efferenzkopie wie im Komparator-Modell ab, sondern bezieht weitere Faktoren mit ein, die über das motorische System hinausgehen.

Ob ein Zusammenhang zwischen dem Urheberschaftsgefühl und dem expliziten Urheberschaftsurteil für eine Handlung besteht, ist nicht sicher geklärt. Es ist denkbar, dass die expliziten Urheberschaftsurteile mit dem Urheberschaftsgefühl in Zusammenhang stehen oder alternativ einen rekonstruktiven, post-hoc Prozess darstellen. In dieser Arbeit möchte ich diese Frage angehen.

Nachdem ich die theoretischen Hintergründe der Arbeit vorgestellt habe, wird es im Folgenden um die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale gehen. Dabei werde ich die für die Studie relevante EKP-Komponenten N1 und P3 sowie die bewegungsabhängigen kortikalen Potentiale (BP und MP) beschreiben.

1.3. Ereigniskorrelierte Potentiale

1.3.1. Elektroenzephalographie

Die Elektroenzephalographie stellt eine Methode zur Messung der summarischen elektrischen Aktivität der Nervenzellen im Hirnrindensbereich dar. Dabei entsteht ein Elektroenzephalogramm (EEG) als graphische Darstellung der Membranpotentialschwankungen einer Vielzahl von Neuronen, die mittels Elektroden auf der Kopfhaut abgeleitet wird. Das EEG eignet sich besonders gut zum Forschungszweck, da die Methode nicht invasiv sowie für den Probanden praktisch risikofrei ist und bei vollem Bewusstsein durchgeführt werden kann.

1.3.2. Ereigniskorrelierte Potentiale

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP, *event related potentials, ERP*) sind Hirnpotentiale, die nach optischen, akustischen oder somatosensorischen Stimuli entstehen, die mit einer bestimmten Aufgabenstellung verbunden sind und eine bestimmte Entscheidung oder eine motorische Reaktion erfordern (Jörg und Hielscher 1997). Im Vergleich zu fMRT und PET weisen die EKP zwei wesentliche Vorteile auf. Sie stellen ein direktes Maß für neuronale Aktivierung dar und sind nicht von neurovaskulärer Kopplung abhängig. Zudem bieten die EKP eine präzise zeitliche Auflösung im Bereich von Millisekunden an und eignen sich somit gut dazu, schnelle Änderungen in der neuronalen Aktivität zu messen. Als wesentlicher Nachteil der Methodik gilt die relativ schlechte räumliche Auflösung der neuronalen Prozesse.

Die EKP sind in der Regel von niedriger Amplitude (5-10 μV) als das restliche EEG (30-60 μV), so dass sie in den Roh-EEG-Daten in Einzeldurchläufen nicht erkennbar sind. Um die EKPs von der übrigen elektrischen Hirnaktivität zu trennen und darzustellen, werden also mehrere EEG-Segmente gemittelt, so dass die Hintergrundaktivität der Spontan-EEG deutlich reduziert wird. Nach der Mittelung

bleiben die EKPs unverändert und können in Latenz und Amplitude vermessen werden.

Es wird angenommen, dass die unterschiedlichen Komponenten der EKP elektrophysiologische Korrelate neurokognitiver Verarbeitung darstellen und spezifische Elemente der Informationsverarbeitung repräsentieren. Diese Komponenten sind negative oder positive Spannungsfluktuationen, die in einer bestimmten Reihenfolge und Latenzzeit um sensorische oder motorische Ereignisse stattfinden.

1.3.3. N1

N1 ist die erste negative Potentialschwankung, die ungefähr 100 ms nach dem Stimulus erscheint. N1 wird als „exogene“ Komponente im EKP betrachtet, da sie hauptsächlich von der Reizqualität (Modalität, Intensität, Dauer und Frequenz) abhängig ist. N1 tritt ähnlich bei visuellen und auditiven Reizen auf und wird als Ausdruck einer „Orientierungsreaktion“ (Sokolov und Vinogradova 1975) angenommen. Die N1-Amplitude ist maximal über den frontozentralen und zentrozentralen Ableitungen. In der Literatur ist eine Verminderung der N1-Amplitude für selbstproduzierte im Vergleich zu fremdproduzierten Stimuli beschrieben, die „N1-Attenuierung“ bzw. „N1-Suppression“ genannt wird. Diese Suppression wird als eine Art „Wissen“ über die eigenen Handlungen gedeutet (Bendixen, SanMiguel und Schröger 2012; Schafer und Marcus 1973). Eine mögliche Erklärung für diesen Effekt ist, dass selbstproduzierte Stimuli keine ausführliche Verarbeitung benötigen, da sie erwartet sind und keine neue Information mit sich bringen. Alternativ wird spekuliert, dass das Wissen über die Konsequenzen eigener Handlungen eine Antizipation verursacht und deshalb die Stimulusverarbeitung abgeschwächt wird. Es könnte also angenommen werden, dass die N1-Attenuierung ein Marker für das frühe Urheberchaftsgefühl wäre. Die tatsächlichen Ursachen der N1-Attenuierung sind bisher nicht bekannt. Beide Erklärungsversuche stellen allerdings prädiktive Phänomene dar.

1.3.4. P300

Die große positive Welle, die ihre höchste Amplitude ca. 300 ms nach dem Stimulus erreicht, wird P300 genannt und wurde erstmalig von Sutton (Sutton et al. 1965) beschrieben. P300 zählt zu den am meisten untersuchten Komponenten der EKP (Huang, Chen und Zhang 2015; Polich 2007). Trotzdem bleibt der neuronale Ursprung von P300 unklar. P300 wird im Gegensatz zu N1 als „endogene“ Komponente betrachtet, da sie nicht direkt von der Stimulusqualität, sondern vom psychischen Zustand der Probanden und der Bedeutung des Stimulus bzw. der Informationsverarbeitungsprozesse abhängig ist. Die Amplitude der P300 hängt von bestimmten Variablen ab, u. a. von der Wahrscheinlichkeit eines Zielstimulus in einer Reihe von Stimuli oder von der Stimulusrelevanz in Bezug auf einen Kontext. Beim P300 unterscheidet man eine frühe und eine späte Komponente, die entsprechend P3a und P3b genannt werden (Polich 2007). Die parieto-occipital lokalisierte P3b wird durch aufgabenrelevante deviante Stimuli wie in Target-Aufgaben, wo einige Target-Stimuli in einer Reihe von Stimuli zu identifizieren sind, ausgelöst. In dieser Studie wären keine Veränderungen in der Amplitude von P3b zu erwarten, da keiner der präsentierten Stimuli als ein Target zu betrachten wäre. Die eher frontozentral lokalisierte P3a wird im Gegensatz dazu durch ungewöhnliche oder saliente Stimuli hervorgerufen und wird als ein Korrelat für unwillkürliche Aufmerksamkeitsprozesse angesehen (Soltani und Knight 2000; Herrmann und Knight 2001). In dem aktuellen Experiment wird geprüft, ob P300 mit dem expliziten Urheberschaftsurteil in Zusammenhang steht. Nur wenige Studien haben den Zusammenhang zwischen P3a und das Gefühl der Urheberschaft untersucht (Kühn et al. 2011; Bednark und Franz 2014; Ghio, Scharmach und Bellebaum 2018) und zeigten signifikante Unterschiede im Bereich dieser Komponente.

1.3.5. Das bewegungsabhängige kortikale Potential

Kornhuber und Deecke (Kornhuber und Deecke 1965) entdeckten, dass willkürlichen Bewegungen eine langsame negative elektroenzephalographische Aktivität vorausgeht, die bewegungsabhängiges kortikales Potential (*movement-related cortical potentials, MRCPs*) genannt wird und aus einigen Komponenten besteht. Das erste langsame Segment, das als frühes Bereitschaftspotential (BP) bezeichnet wird (*early readiness potential*), beginnt ungefähr 2000 ms vor der Bewegung. Ungefähr 400 ms vor der Bewegung zeigt sich eine steile negative Welle, die als späteres BP (*late readiness potential, negative slope NS*) bezeichnet wird. Die prämotorische Positivität (*pre-motor positivity, PNP*) und das motorische Potential (*motor potential, MP*) wurden als zwei weitere Komponenten der MRCPs beschrieben (Deecke, Scheid und Kornhuber 1969).

Es ist bekannt, dass das BP durch viele Faktoren, u. a. Aufmerksamkeit, Geschwindigkeit, Komplexität der Aufgabe, Präzision und Selektion der Bewegung beeinflusst werden können.

Es ist sicher, dass beide Komponenten für die Vorbereitung und Durchführung einer Bewegung zuständig sind, weil diese bei unwillkürlichen Bewegungen nicht auftreten (Shibasaki und Hallett 2006). Das frühe BP wird durch kognitive Prozesse wie Grad der Aufmerksamkeit und Selektion der Bewegung beeinflusst. Im Gegensatz dazu hängt das spätere BP von Eigenschaften der Bewegung an sich, wie Präzision und Komplexität, ab. Es wird angenommen, dass das frühere BP unbewusste Prozesse, die eine Bewegung vorbereiten, repräsentiert, und dass das spätere BP den bewussten Willen zum Handeln darstellt (Libet et al. 1983; Verbaarschot, Farquhar und Haselager 2015).

Diese Vorbereitung beinhaltet die notwendigen neuronalen Prozesse und Etappen für die Durchführung der Handlung. Kürzlich wurde eine alternative Hypothese für die Rolle des BPs entwickelt. Laut Schurger et al. (Schurger, Sitt und Dehaene 2012) repräsentiert das BP einen Entscheidungsprozess. Schmidt et al. (Schmidt et al. 2016) formulierten die SCP-Sampling-Hypothese (*slow cortical*

potentials sampling hypothesis) und postulierten, dass der innere Drang zu handeln bei einer negativen Deflektion der SCP häufiger stattfindet, und dass dementsprechend das BP der tatsächlichen Bereitschaft zu handeln entspricht.

Nur wenige Studien untersuchen den Zusammenhang zwischen dem impliziten Gefühl der Urheberschaft und dem BP und dem MP (Jo et al. 2014; Goldberg, Busch und van der Meer 2017; Chambon, Sidarus und Haggard 2014; Sidarus, Vuorre und Haggard 2017b). Es gibt keine Studien, die überprüfen, ob das BP und das MP das explizite Urheberschaftsurteil präzisieren.

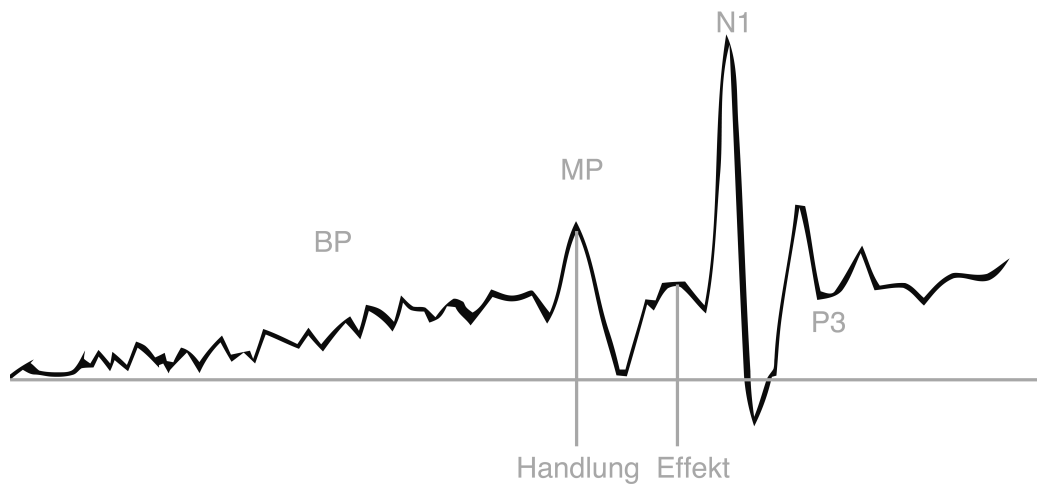


Abbildung 5. Komponenten des EKPs

In der vorliegenden Arbeit möchte ich untersuchen, ob sowohl N1 und P3a als auch das BP und MP als frühe Marker der Prozesse, die dem Gefühl der Urheberschaft zugrunde liegen, betrachtet werden können. Auch wenn die Veränderungen im Bereich dieser Komponenten vielseitig erforscht sind, gibt es nur wenige Studien, die N1, P3a, BP und MP in Zusammenhang mit dem Urheberschaftsurteil untersuchen.

1.4. Ziele der Studie, Hypothesen

Im experimentellen Teil der Arbeit wird geprüft, ob die expliziten Urheberschaftsurteile, die deutlich später als die Handlung und deren Effekte in der Umwelt stattfinden, auf Informationsverarbeitung beruhen, die gleichzeitig mit der Handlungs-Effekt-Sequenz stattfinden. Konkreter formuliert wurden die N1 und P3a von Tönen und das bewegungsabhängige kortikale Potential als mögliche Marker für das Urheberschaftsgefühl untersucht. Wir gehen in dieser Arbeit davon aus, dass N1 unbewusste sensomotorische Prozesse und P3a eine sehr frühe kognitive Verarbeitung von der Erwartung und Unheimlichkeit des Stimulus darstellen. Zudem nehmen wir an, dass das bewegungsabhängige kortikale Potential die Handlungsvorbereitung (BP) und Handlungsdurchführung (MP) abbildet und in Anbetracht der theoretischen Überlegungen von Donald Davidson als Repräsentation für die Primitivhandlung betrachtet werden kann. Wenn diese Marker als Prädiktoren der späteren Urheberschaftsurteile gelten können, würde das nahelegen, dass diese Urheberschaftsurteile von dem frühen Urheberschaftsgefühl abhängig sein könnten. Um dieser Frage nachzugehen, wurde ein Experiment durchgeführt, in dem Probanden eine Handlung ausführten (Tastendruck) und damit Effekte in der Umwelt (Töne) produzierten. Zuerst lernten die Probanden eine Verbindung (*mapping*) zwischen einer Handlung (linker bzw. rechter Tastendruck) und einen Effekt dieser Handlung (hochfrequenter bzw. niederfrequenter Ton). In einem ersten experimentellen Design hatten die Probanden eine kurze Lernphase (120 Durchgänge), in einem zweiten experimentellen Design hatten die Probanden eine deutlich längere Lernphase (300 Durchgänge). Nach der Lernphase wurden die Probanden instruiert, dass die Töne, die sie hören, entweder von ihnen selbst oder von einem Experimentator, der die Aufgabe gleichzeitig durchführt, produziert sein können. In Wirklichkeit waren alle Töne computergeneriert. Nach jedem Ton wurden die Probanden aufgefordert, mittels einer visuell analogen Skala ein Urheberschaftsurteil zu treffen. Die Töne wurden kongruent oder inkongruent zu der Lernphase und mit drei zeitlichen Intervallen zum Tastendruck (100, 300 und 600 ms)

präsentiert, um Unsicherheit für das Gefühl der Urheberschaft zu erzeugen.

Um die klassische sensorische Attenuierung zu demonstrieren und damit zu zeigen, dass die Handlungs-Effekt-Sequenz aus der Lernphase richtig verinnerlicht wurde, wurden die EKPs für kongruente und inkongruente Töne verglichen. Um zu erforschen, ob die expliziten Urheberschaftsurteile auf früherer Informationsverarbeitung, die durch N1, P3a, BP und MP im ERP dargestellt ist, beruhen könnten, verglichen wir identische Testdurchgänge, die gemäß der Urheberschaftsurteile in zwei Gruppen unterteilt wurden, nämlich als selbstproduziert und als fremdproduziert empfundene Handlungs-Effekt-Sequenzen. Wenn die Urheberschaftsurteile nur retrospektiv und unabhängig von der Informationsverarbeitung nach dem Handlungseffekt getroffen würden, dann wäre kein Unterschied in den EKPs für eigen- und fremdproduzierte Handlungs-Effekt-Sequenzen zu erwarten. Falls die späten Urheberschaftsurteile im Gegensatz dazu von der frühen Informationsverarbeitung abhängig wären, wären Unterschiede in den EKPs zu erwarten, nämlich eine Attenuierung für die als selbstproduziert eingeschätzten Handlungs-Effekt-Sequenzen.

Hypothesen:

1. Es bestehen signifikante Amplitudenunterschiede im Bereich der N1 für Töne, die als selbstproduziert oder als fremdproduziert empfunden worden sind. Wir erwarten eine größere N1-Amplitude für die Töne, die als fremdproduziert empfunden worden sind.
2. Es bestehen signifikante Amplitudenunterschiede im Bereich der P3a für Töne, die als selbstproduziert oder als fremdproduziert empfunden worden sind. Wir erwarten eine größere P3a-Amplitude für die Töne, die als fremdproduziert empfunden worden sind.
3. Es bestehen signifikante Amplitudenunterschiede im Bereich des bewegungsabhängigen kortikalen Potentials (BP und MP) für Tastendrucke, die Töne auslösen, die als selbstproduziert oder als fremdproduziert empfunden worden sind.

- 3.1. Wir erwarten eine größere Amplitude des MPs für Handlungs-Effekt-Sequenzen, die als fremd empfunden worden sind.
- 3.2. Wir erwarten eine größere Amplitude des BPs für Handlungs-Effekt-Sequenzen, die als fremd empfunden worden sind.

Methoden

2.1. Probanden

Sechszwanzig gesunde Probanden (Alter zwischen 22 und 52 Jahren, Mittelwert 35 Jahre, 18 weiblich und 18 männlich, Tabelle mit den demographischen Daten s. Anhang 1) nahmen an der Studie teil und wurden mittels einer Anzeige im Internet rekrutiert. Die Probanden wurden vor der Teilnahme an der Studie mündlich aufgeklärt und gaben eine schriftliche Einwilligungserklärung ab. Sie konnten jederzeit die Teilnahme am Experiment abbrechen. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Charité Universitätsmedizin Berlin bewilligt und wurde gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Als Einschlusskriterien galten: Alter zwischen 18 und 65 Jahren, uneingeschränkter oder korrigierter Visus, ein unauffälliges Ruhe-EEG während einer Ableitungsdauer von mindestens fünf Minuten, Ausschluss eines Substanzabusus (ausgenommen Nikotin), Ausschluss neurologischer und psychiatrischer Störungen und Ausschluss eines Schädel-Hirn-Traumas in der Anamnese. Das Strukturierte Klinische Interview für DSM-IV Achse I (SKID I) wurde vor der Teilnahme am Experiment durchgeführt, um das Vorliegen psychischer Krankheiten auszuschließen. Alle Probanden bekamen eine finanzielle Entschädigung in Höhe von 15 Euro für die Teilnahme an der Studie.

2.2. Experimentelles Design

Die Probanden saßen in einem bequemen Stuhl in einem etwas abgedunkelten, stillen Raum. Die visuellen Stimuli wurden auf einem PC-Bildschirm gezeigt, die akustischen Stimuli wurden mittels Kopfhörer präsentiert. Das experimentelle Design basiert auf dem Design von Sato und Yasuda (Sato und Yasuda 2005). In einer initialen Vorbereitungsphase für die Studie wurde das Experiment mit einer Lernphase (*mapping*) von 120 Trainingsdurchgängen durchgeführt (experimentelles

Design 1 mit kurzem *mapping*). Im Verlauf wurde das Design optimiert, so dass die Probanden innerhalb von 300 Trainingsdurchgängen die Verbindung zwischen Handlung und Handlungseffekt verinnerlichten (experimentelles Design 2 mit langem *mapping*). Die Probanden wurden dann instruiert, eine linke Taste (die linke Alt-Taste auf der Tastatur) mit dem linken Zeigefinger bzw. eine rechte Taste (die rechte Alt-Taste auf der Tastatur) mit dem rechten Zeigefinger in einer zufälligen Reihenfolge zu drücken, immer wenn ein weißes Quadrat auf dem PC-Bildschirm für 200 ms präsentiert wurde. 100 ms nach jedem Tastendruck wurde ein Ton mit einer Frequenz von 400 Hz oder von 800 Hz mit der Dauer von 200 ms präsentiert. In dieser Zeit konnten die Probanden die Lautstärke der Kopfhörer, die zur Präsentation der Töne dienten, auf ein angenehmes Niveau einstellen. Das Intervall zwischen den einzelnen Durchgängen variierte zwischen 2000, 2500 und 3000 ms. Die Zuordnung von Tastendrücken und Tönen war konsistent für jeden Probanden und ausbalanciert zwischen den unterschiedlichen Probanden. Nachdem die Lernphase beendet wurde, wurde eine EEG-Haube aufgesetzt und das eigentliche Experiment fing an. Die Probanden wurden angewiesen, die rechte oder linke Alt-Taste in einer willkürlichen Ordnung zu drücken, nachdem das weiße Quadrat auf dem PC-Bildschirm gezeigt wurde, wie in der Lernphase. In einer so genannten Cover-Story wurde ihnen erzählt, dass ein hinter einer spanischen Wand am benachbarten Rechner sitzender Mitarbeiter gleichzeitig Tasten drückt und Töne produziert. Die Töne, die die Probanden hörten, konnten also entweder von ihnen selbst oder von diesem Experimentator produziert werden. In Wirklichkeit führte der Experimentator keine Handlungen durch. Die Töne wurden vom Rechner produziert und gleichzeitig in Bezug auf Kongruenz und zeitlichen Abstand vom Tastendruck manipuliert. In der kongruenten Bedingung waren die Töne die gleichen wie in der Lernphase (z. B. linker Tastendruck – hochfrequenter Ton, rechter Tastendruck – niederfrequenter Ton). In einer inkongruenten Bedingung wurde nach dem Tastendruck der konträre Ton präsentiert (z. B. linker Tastendruck – niederfrequenter Ton). Zudem wurden die Töne mit einer zeitlichen Latenz von 100 ms, 300 ms und 600 ms präsentiert. Somit entstanden insgesamt sechs unterschiedliche Bedingungen (kongruente Töne mit

100 ms zeitlichem Abstand, kongruente Töne mit 300 ms zeitlichem Abstand und kongruente Töne mit 600 ms zeitlichem Abstand und entsprechend inkongruente Töne mit 100 ms zeitlichem Abstand, inkongruente Töne mit 300 ms zeitlichem Abstand und inkongruente Töne mit 600 ms zeitlichem Abstand). Die Kongruenz und die zeitliche Latenz zwischen Tastendruck und Ton wurden manipuliert, um eine Unsicherheit im Gefühl der Urhebererschaft zu verursachen. Nach jedem Durchgang wurden die Probanden aufgefordert, auf einer visuellen Analogskala mittels einer Computermaus zu beurteilen, ob sie oder der Experimentator die Handlung-Effekt-Sequenz produziert haben („wer hat den Ton produziert?“, 1 = „ich“, 100 = „jemand anderes“). Es wurden sechs experimentelle Blöcke, bestehend aus 60 Durchgängen, durchgeführt. Nach jedem experimentellen Block wurde das Mapping aus der Lernphase aufgefrischt (20 Durchgänge). Nach jedem Block hatten die Probanden die Möglichkeit, eine kurze Pause zu machen. Das Experiment wurde mit der Software Presentation programmiert und gezeigt. Der gesamte Untersuchungsablauf pro Versuchsperson nahm drei bis vier Stunden in Anspruch. Die Instruktionen, die die Probanden bekommen haben, sind in Anhang 2 und Anhang 3 zu sehen.

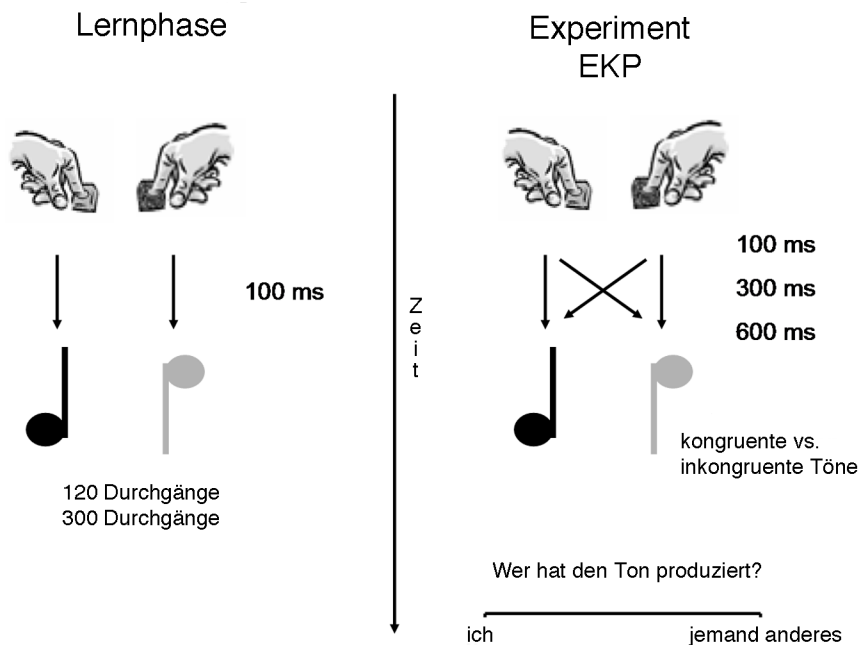


Abbildung 6. Schematische Darstellung des experimentellen Ablaufs

2.3. EEG- und ERP-Ableitung

Das EEG wurde mittels 31 Elektroden, die auf einer elastischen EEG-Haube (Ready-to-use 32Ch-EasyCap for BrainAmp) montiert waren, abgeleitet und mit der Software BrainVision Recorder der Firma Brain Products aufgenommen. Das internationale 10-20 Setting wurde benutzt (Elektroden Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, FC5, FC6, FC1, FC2, T7, C3, Cz, FCz, C4, T8, TP9, CP5, CP1, CP2, CP6, TP10, P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz, O2). Als Referenzelektrode für das EEG-Signal wurde FCz benutzt. Die Impedanz der Elektroden wurde während der Ableitung unter 4 K Ω gehalten. Das Elektroofokulogramm (EOG) wurde mittels einer bipolaren Montage abgeleitet. Das vertikale EOG wurde mittels zweier Elektroden, die oberhalb und unterhalb des linken Auges platziert wurden, gemessen.

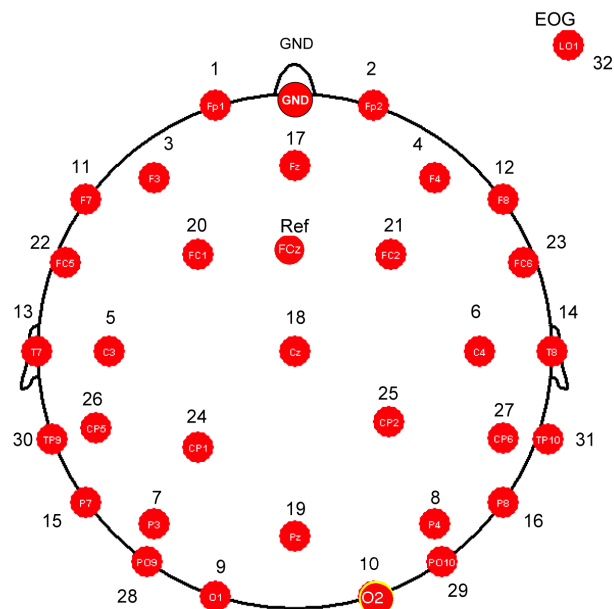


Abbildung 7. Darstellung der verwendeten Elektrodenpositionen nach dem 10-20-System

2.4. Datenanalyse

Das EEG-Signal wurde mittels der Software BrainVision Analyzer der Firma Brain Products analysiert. Das Signal wurde zuerst offline an zwei Elektroden, die am linken und rechten Mastoid lagen, referenziert. Im darauffolgenden Schritt wurden die Daten mit einem Bandpassfilter zwischen 0,1 und 30 Hz gefiltert, um das Signal-Rausch-Verhältnis zu optimieren. Die EKPs wurden dann anhand der Stimuli segmentiert. Die Segmente umfassten EEG-Signale von -200 ms bis zu 1000 ms vor bzw. nach dem Stimulus für die Auswertung der N1 und P3a, bzw. von -2000 ms bis zu 1000 ms nach dem Stimulus für die Auswertung des BPs und des MPs. Eine Baseline-Korrektur wurde für das Zeitfenster von -200 ms bis 0 ms, bzw. für das Zeitfenster -2000 ms bis -1800 ms, durchgeführt. Die Segmente wurden von den weiteren Analysen ausgeschlossen, wenn die Standardabweichung der Elektroden $\pm 20\mu\text{V}$ überschritt oder wenn die Standardabweichung der EOG für das gleiche Zeitfenster $\pm 40\mu\text{V}$ überschritt. Die restlichen artefaktfreien Segmente wurden für jede unterschiedliche Bedingung gemittelt. Die Daten wurden im Anschluss statistisch ausgewertet. Zudem wurden die einzelnen EKPs summiert und anschließend das arithmetische Mittel gebildet, um die gemittelten EKPs zu erhalten. Dieser Schritt wurde für jeden Probanden und für jede Bedingung vollzogen. Für die graphische Darstellung der EKPs wurden Grand Average aus den Daten aller Probanden berechnet.

Die erste Analyse, die durchgeführt wurde, verglich den Unterschied zwischen den EKPs für die kongruenten und inkongruenten Durchgänge gepoolt für alle zeitlichen Abstände. Hierfür wurden die Daten aus dem Experiment mit kürzerer Lernphase (120 Durchgänge) und die aus dem Experiment mit längerer Lernphase (300 Durchgänge) getrennt analysiert. In dieser Analyse zeigte sich, dass stärkere Effekte bei längerer Lernphase auftraten und offenbar die Probanden eine längere Lernphase benötigten. Aus diesem Grund wurden dann in den weiteren Analysen nur die Daten aus dem Experiment mit der längeren Lernphase genutzt.

Die zweite Analyse zielte darauf ab, zu untersuchen, ob die EKPs die expliziten Urheberschaftsurteile entsprechend Hypothesen 1 und 2 prädizierten. Dafür wurden die EKPs aus der Bedingung mit kongruenten Tönen, die mit dem mittleren zeitlichen Abstand von 300 ms präsentiert wurden, mittels einer medianen Aufteilung auf der Urheberschaftsskala in selbst- und fremdproduziert unterteilt. Diese Analyse konzentrierte sich auf die kongruenten Töne mit einem mittleren Abstand, da hier die Unsicherheit über die Urheberschaft deutlich erhöht ist und die inkongruenten Töne als mögliche Quelle der Fehlerbeseitigung ausgeschlossen sind.

Die dritte Analyse untersuchte das bewegungsabhängige kortikale Potential, nämlich das BP und das MP, für den Tastendruck in der Bedingung des mittleren zeitlichen Abstands (300 ms). Um entsprechend Hypothesen 3.1 und 3.2 zu prüfen, ob die späten Urheberschaftsurteile auf der elektrischen Hirnaktivität beruhen, die um den Tastendruck stattfindet und somit nicht von der Kongruenz der Töne abhängig ist, wurden alle selbst- und alle fremdproduzierten Töne in dieser Bedingung verglichen.

2.5. Statistische Auswertung

Die Analyse konzentrierte sich auf N1, P3a, BP und MP der fronto-zentralen ROI (die Elektroden F3, Fz, F4, FC1, FCz und FC2 wurden eingeschlossen und als eine mittlere Amplitude berechnet (Bäss, Jacobsen und Schröger 2008; Horváth, Winkler und Bendixen 2008)). Ausgehend von unseren Apriori-Hypothesen, dass die inkongruenten Töne eine größere N1-Amplitude als die kongruenten Töne hervorrufen und dass die Töne, die als fremdverursacht empfunden wurden, eine größere Amplitude der N1 oder P3a als die als eigenverursacht empfundenen Töne hervorrufen werden, wurden zwei (*repeated measures*) ANOVAs durchgeführt:

- 1) Eine ANOVA, die die Faktoren Komponente (N1 vs. P3a) und Kondition (kongruente vs. inkongruente Töne) untersucht. Mittels dieser ANOVA wurde die in der Literatur bereits bekannte N1-Attenuierung gezeigt:

- a) für das experimentelle Design mit kürzerer Lernphase, und

b) für das experimentelle Design mit längerer Lernphase.

2) eine zweite ANOVA, die die Faktoren Komponente (N1 vs. P3a) und Kondition (selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne) untersucht.

In der zweiten ANOVA wurden kongruente Töne, die mit einer mittleren Latenz präsentiert wurden, analysiert, da diese Durchgänge die höchste Ambiguität bezüglich der Urheberschaft beinhalteten. Die Zuordnung der Durchgänge in zwei Gruppen (als selbst- und fremdproduziert empfundene Töne) erfolgte gemäß einer medianen Aufteilung aller Urheberschaftsurteile für jeden Probanden. In dieser Analyse wurden Hypothesen 1 und 2 getestet.

Zusätzlich wurden das BP und das MP der mittleren Latenz untersucht. Ausgehend von der Hypothese 3, dass die Urheberschaftsurteile von diesen Potentialen abhängig sind, wurde die Kongruenz der Töne nicht berücksichtigt. Die motorischen Potentiale aller Durchgänge, die von den Probanden als selbstproduziert empfunden wurden, wurden mit den Durchgängen verglichen, die als fremdproduziert empfunden wurden.

3) Eine dritte ANOVA verglich die Faktoren Komponente (MP vs. P3a) und Kondition (selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne).

4) Eine vierte ANOVA verglich die Faktoren Komponente (BP vs. P3a) und Kondition (selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne).

Tabelle 2. Übersicht der durchgeführten Analysen

	Experiment mit kürzerer Lernphase 19 Probanden	Experiment mit längerer Lernphase 17 Probanden	Hypothese
Explorative Analysen			
kongruente vs. inkongruente Töne für alle Durchgänge	ANOVA 1a) N1 vs. P3a	ANOVA 1b) N1 vs. P3a	
Konfirmatorische Analysen und entsprechende Hypothesen			
selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne für nur kongruente Töne aus Durchgängen mit der mittleren Latenz		ANOVA 2) N1 vs. P3a	Hypothese 1 (N1) Hypothese 2 (P3a)
selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne für alle Töne aus allen Durchgängen der mittleren Latenz		ANOVA 3) MP vs. P3a ANOVA 4) BP vs. P3a	Hypothese 3.1. (MP) Hypothese 3.2. (BP)

In der rechten Spalte ist angegeben, welche Hypothesen mit der betreffenden Analyse getestet wurden.

Ergebnisse

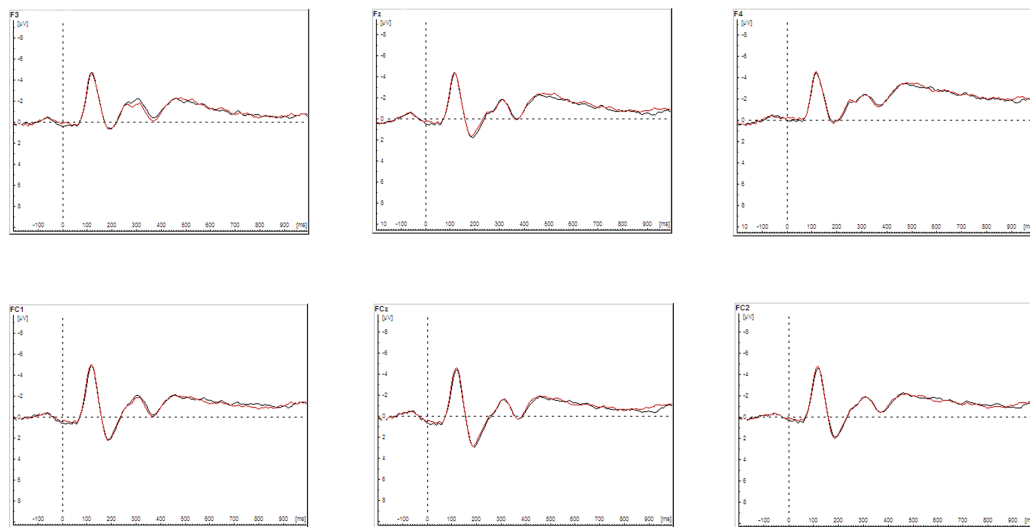
Hier wird die statistische Analyse der EKPs von den unterschiedlichen Bedingungen dargestellt. Die Analyse der Amplituden der EKPs aus dem experimentellen Design mit kürzerer Lernphase zeigten keine signifikanten Ergebnisse. Die Analyse der Amplituden der EKPs aus dem experimentellen Design mit der längeren Lernphase ergaben eine signifikante N1-Attenuierung für die kongruenten Töne für alle zeitlichen Abstände sowie eine signifikant größere P3a-Amplitude für die dem Anderen zugeschriebenen Töne für den mittleren zeitlichen Abstand. Die Analyse der motorischen Potentiale ergab auch keine signifikanten Unterschiede.

Die statistischen Ergebnisse und die grafische Darstellung der EKPs werden im folgenden Teil detailliert gezeigt. Die Amplituden der unterschiedlichen EKP-Komponenten wurden in μV gemessen. Die N1-Amplitude wurde bestimmt aus den gemittelten Segmenten als dem Mittelwert im Zeitfenster zwischen 110 und 130 ms nach dem Beginn des Tones. Die P3a-Amplitude wurde als Mittelwert für das Zeitfenster 370 und 390 ms bestimmt. Die Amplitude des motorischen Potentials wurde für das Zeitfenster -310 und -290 ms vor dem Stimulus entnommen. Die Amplitude des BPs wurde für das Zeitfenster -810 und -790 ms gemessen.

In den folgenden Plots werden die *Grand Averages* der EKPs dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit in ms angegeben. Der Ton erscheint in 0 ms (punktierte vertikale Linie). Auf der y-Achse ist die Amplitude des Potentials in μV angegeben. Auf den Abbildungen sind die Elektroden aus dem ROI, nämlich F3, Fz, F4, FC1, FCz und FC2, dargestellt.

1a) Explorative Analyse und graphische Darstellung der ERPs aus dem experimentellen Design mit kürzerer Lernphase; kongruente vs. inkongruente Töne

Die Analyse der N1- und P3a-Komponenten der EKPs, die für kongruente und inkongruente Töne entstanden sind, zeigte einen signifikanten Effekt der Komponente ($F(1,18) = 100,7, p < 0,001$) und keine signifikante Interaktion der Faktoren Komponente und Kondition ($F(1,18) = 0,162, p = 0,69$). Eine N1-Attenuierung für die EKPs aus der Bedingung mit den kongruenten Tönen konnte hier nicht gezeigt werden.



kongruente Töne (schwarz)
inkongruente Töne (rot)

Abbildung 8. Plots der Grand Average der EKPs, experimentelles Design mit kürzerer Lernphase, kongruente Töne (schwarz) und inkongruente Töne (rot)

1b) Explorative Analyse und graphische Darstellung der ERPs aus dem experimentellen Design mit längerer Lernphase; kongruente vs. inkongruente Töne

Die Analyse der N1- und P3a-Komponenten der EKPs, die für kongruente und inkongruente Töne entstanden sind, zeigte einen Haupteffekt der Komponente ($F(1,16) = 94.46$, $p < 0.001$) und eine signifikante Interaktion der Faktoren Komponente und Kondition ($F(1,16) = 5.87$, $p < 0.05$). Es zeigte sich ein deutlicher Unterschied bei der N1- und nicht bei der P3a-Komponente für die kongruenten und inkongruenten Töne. Die post-hoc-t-Tests ergaben einen signifikanten Unterschied bei der N1- Komponente ($t(16) = 2.32$, $p < 0.05$) und nicht bei der P3a-Komponente ($t(16) = 20.92$, $p = 0.37$). Die Anwesenheit der sensorischen N1-Attenuierung bei den kongruenten Tönen im Unterschied zu den inkongruenten Tönen zeigt, dass die Teilnehmer im Experiment die Verbindung zwischen Tastendruck und Ton verinnerlicht haben.

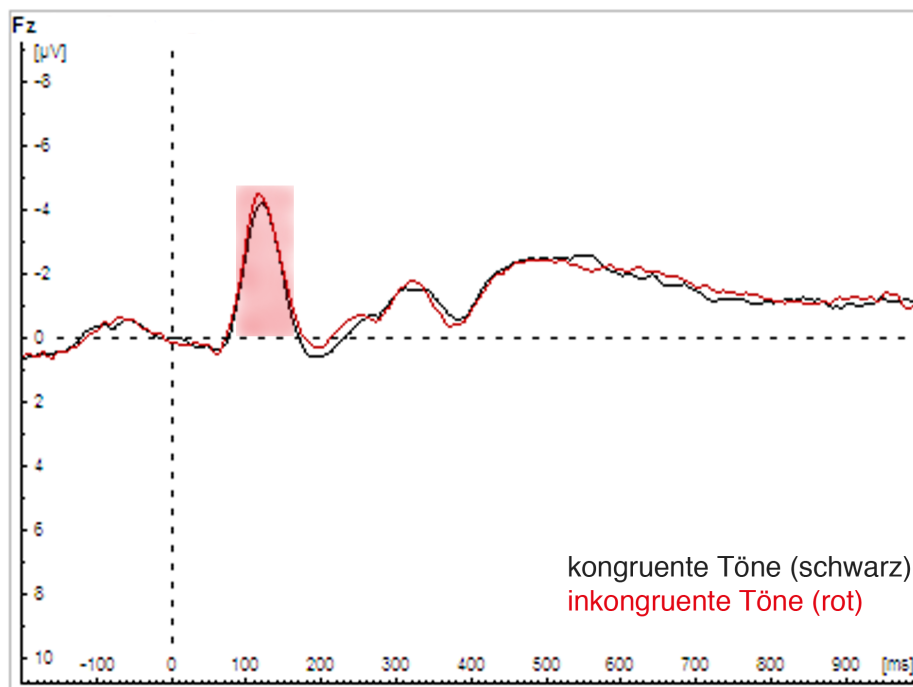
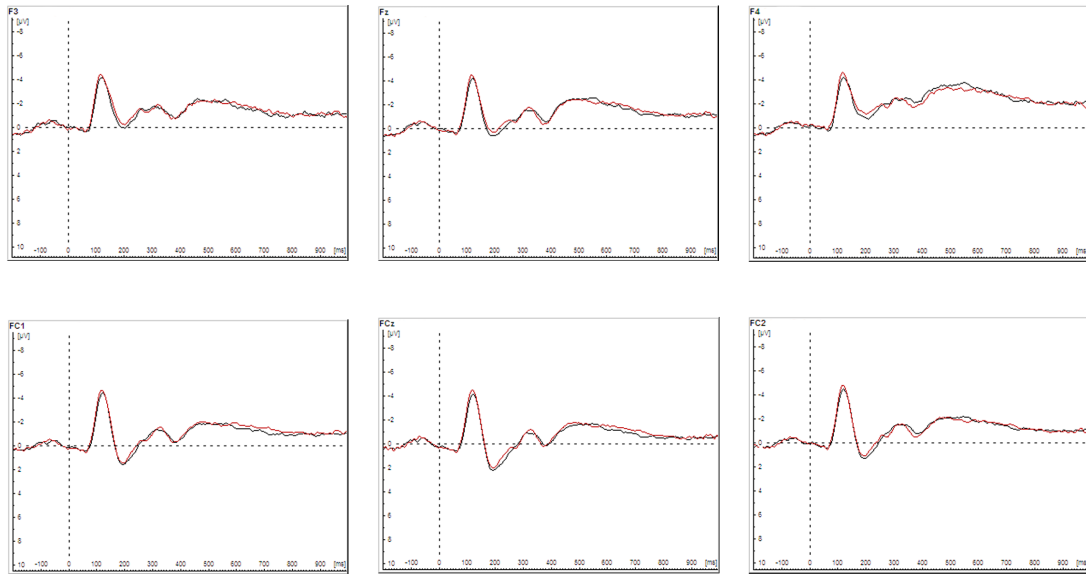


Abbildung 9. Plot der Grand Average der EKPs, experimentelles Design mit längerer Lernphase



kongruente Töne (schwarz)
inkongruente Töne (rot)

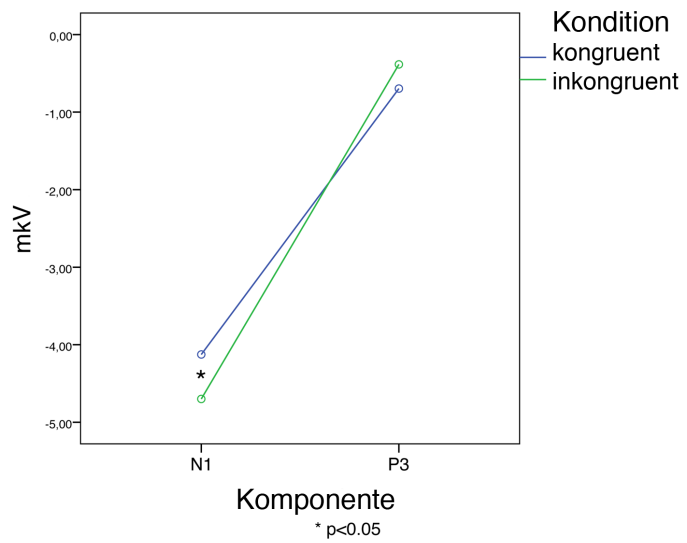


Abbildung 10. Grand Average EKP-Plot, N1-Attenuierung für die kongruenten Töne

2) Konfirmatorische Analyse und graphische Darstellung der EKPs für selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne für nur kongruente Töne aus Durchgängen mit der mittleren Latenz entsprechend Hypothese 1 und Hypothese 2

Die auf den Urheberrechtsurteilen basierende Analyse zeigte einen Haupteffekt der Komponente ($F(1,16) = 84.54, p < 0.001$) und eine signifikante Interaktion der Faktoren Komponente und Kondition ($F(1,16) = 5.45, p < 0.05$). Es wurde ein deutlicher Unterschied bei der Amplitude der P3a-Komponente und nicht der N1-Amplitude für die Selbst- bzw. Fremdzuschreibung der Urheberschaft festgestellt. Die Post-hoc-t-Tests zeigten einen signifikanten Unterschied in den beiden Konditionen für die P3a-Amplitude, wobei die P3a-Amplitude für die als selbstproduziert empfundenen Töne (im Vergleich zu den als fremdproduziert empfundenen Tönen) attenuiert war ($t(16) = 22.13, p < 0.05$). In der Amplitude der N1 konnten keine signifikanten Unterschiede für die zwei Konditionen gefunden werden ($t(16) = 20.03, p = 0.98$). Somit kann Hypothese 1 widerlegt und Hypothese 2 bestätigt werden.

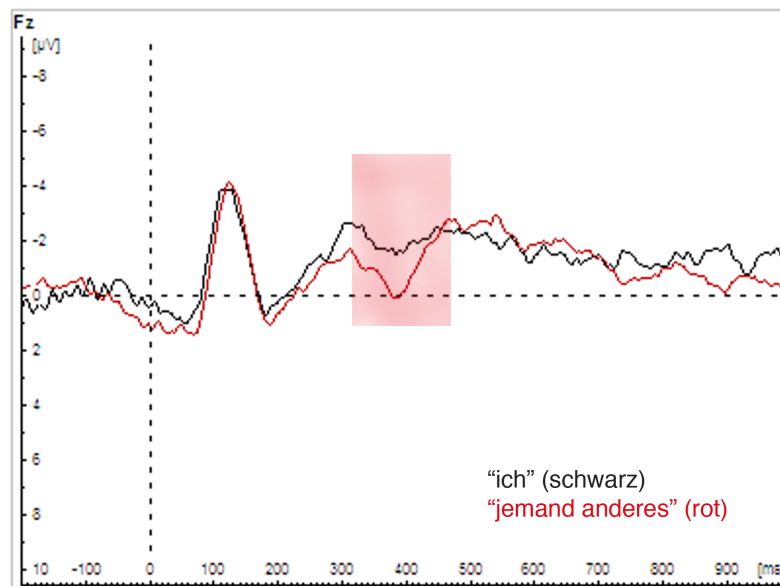
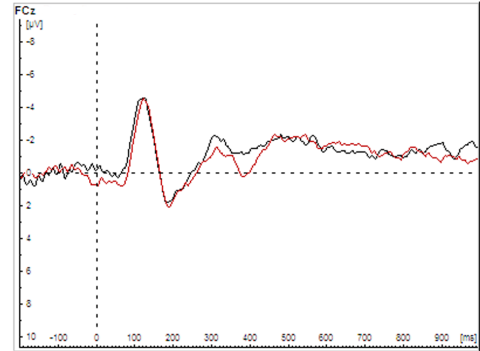
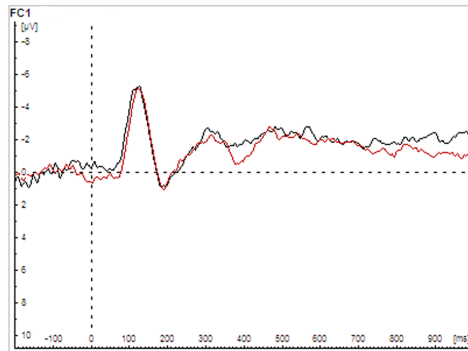
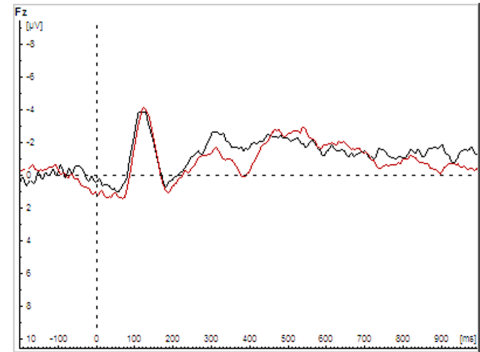
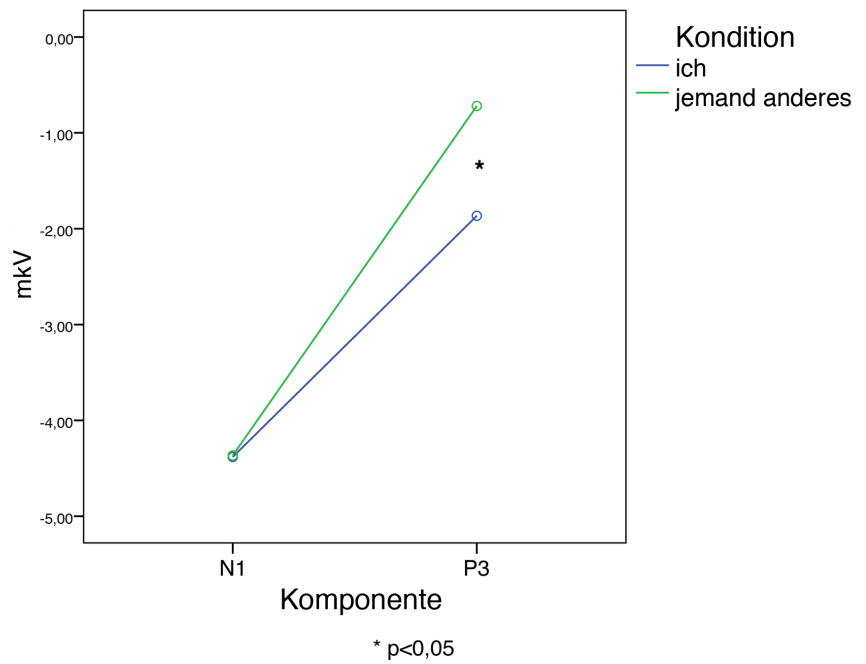
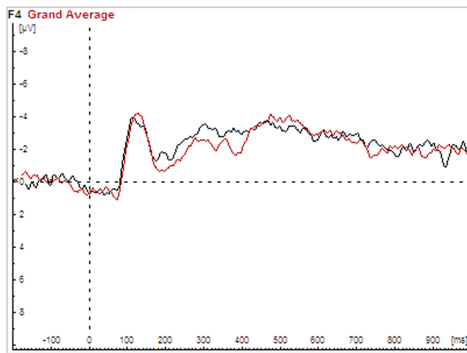
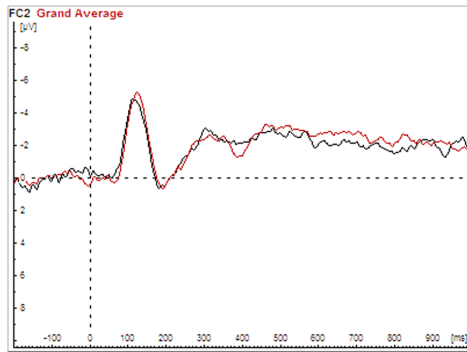


Abbildung 11. Plot der Grand Average der EKPs, experimentelles Design mit längerer Lernphase, selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne.



“ich” (schwarz)
 “jemand anderes” (rot)

Abbildung 12. Grand Average EKP-Plots, P3-Attenuierung für als eigenproduziert empfundene Töne

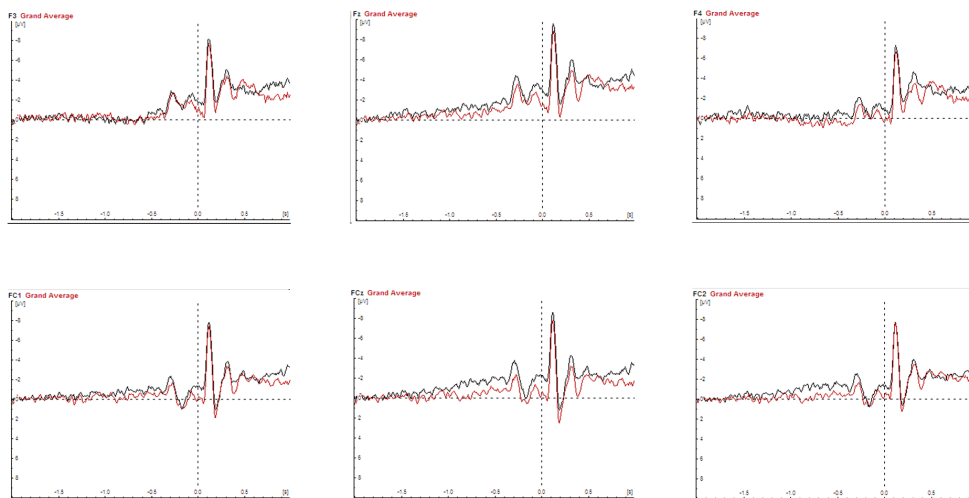


3) Konfirmatorische Analyse und graphische Darstellung des MPs für selbst- vs. fremdzugeschriebenen Töne unabhängig von der Tonkongruenz aus Durchgängen mit der mittleren Latenz

Die Analyse des MPs und der P3a-Komponenten der EKPs, die für kongruente und inkongruente Töne entstanden sind, zeigte keinen signifikanten Effekt der Komponente ($F(1,16) = 0,002$, $p = 0,976$) und keine signifikante Interaktion der Faktoren Komponente und Kondition ($F(1,16) = 0,077$, $p = 0,785$). Mit diesem Ergebnis wird Hypothese 3.1 widerlegt.

4) Statistische Analyse und graphische Darstellung des BPs für selbst- vs. fremdzugeschriebene Töne unabhängig der Tonkongruenz aus Durchgängen mit der mittleren Latenz

Die Analyse des BPs und der P3a-Komponenten der EKPs, die für kongruente und inkongruente Töne entstanden sind, zeigte keinen signifikanten Effekt der Komponente ($F(1,16) = 3,796$, $p < 0,069$) und keine signifikante Interaktion der Faktoren Komponente und Kondition ($F(1,16) = 0,965$, $p = 0,341$). Somit wird Hypothese 3.2 widerlegt.



eigenproduzierte Töne (schwarz)
fremdproduzierte Töne (rot)

Abbildung 13. Plots der Grand Average der EKPs, bewegungsabhängige Potentiale BP und MP

Diskussion

Dem theoretischen Modell von Synofzik (Synofzik, Vosgerau und Newen 2008) über das Gefühl der Urheberschaft (*sense of self-agency*) zufolge werden ein implizites Urheberschaftsgefühl (*feeling of agency*) und ein explizites Urheberschaftsurteil (*judgement of agency*) voneinander unterschieden. In dieser Studie wurde geprüft, ob Urheberschaftsurteile, die eine Handlungs-Effekt-Sequenz betreffen, mittels elektrophysiologischer Marker prädiziert werden können. Konkret wurde untersucht, ob die Urheberschaftsurteile in einer Verbindung mit neuronalen Prozessen stehen, die mit den Handlungen und deren Effekten zusammenhängen, oder diese Urteile erst zu einem späteren Zeitpunkt retrospektiv dann gemacht werden, wenn die Urheberschaft erfragt wird. Nachdem ein basales Gefühl der Urheberschaft für Handlungen während einer Lernphase hergestellt wurde, wurde Unsicherheit über die Urheberschaft mittels einer Manipulation der Effekte der Handlungen erzeugt. Es wurden sowohl das BP und das motorische Potential (Komponente des bewegungsabhängigen kortikalen Potentials und Marker für die Vorbereitung und Durchführung der Handlung) als auch die N1- und P3a-Komponenten des EKPs (Marker für die Verarbeitung des Handlungseffekts) untersucht. Im folgenden Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der Analysen dieser Komponenten diskutiert.

4.1. N1-Attenuierung und Lernphase

Die N1-Attenuierung für kongruente Töne konnte repliziert werden. Dieser Effekt war von einem Lernprozess abhängig und trat in dem experimentellen Design mit der längeren Lernphase auf.

In einer initialen Lernphase wurde eine Verbindung zwischen Handlung

(Tastendruck) und Effekt (Ton) in der Umwelt hergestellt. Um sicherzustellen, dass diese Verbindung verinnerlicht wurde, wurden die elektrophysiologischen Korrelate von den Handlungs-Effekt-Sequenzen aus dem darauffolgenden Experiment verglichen, die identisch (kongruent) oder konträr (inkongruent) mit der Lernphase waren. Als elektrophysiologischer Marker für diese Verbindung wurde die EKP-Komponente N1 verwendet. Es ist in unterschiedlichen experimentellen Paradigmen eine sensorische Attenuierung für selbstproduzierte Ereignisse gezeigt worden (Horvath 2015; Waszak, Cardoso-Leite und Hughes 2012). Es wird angenommen, dass die N1-Attenuierung von den bereits bestehenden Assoziationen zwischen Handlung und Handlungseffekt abhängig ist.

Die N1-Komponente des EKPs für Töne wird durch auditive Stimuli hervorgerufen, und es wird angenommen, dass sie aus dem auditiven Kortex stammt (Hari et al. 1980; Näätänen und Picton 1987). In früheren Studien ist bereits eine N1-Attenuierung beschrieben worden, wenn die Probanden die selbstproduzierten Töne nach einem konstanten Zeitabstand erwarten und hören, verglichen mit willkürlich präsentierten Tönen (Bäss, Jacobsen und Schröger 2008; Baess et al. 2009, 2011; Schafer und Marcus 1973) (Bendixen, SanMiguel und Schröger 2012; Hughes, Desantis und Waszak 2013; Caspar et al. 2016; Horváth 2015; Aliu, Houde und Nagarajan 2009). Ähnlich wurde eine N1-Attenuierung für visuelle Stimuli gezeigt, wenn die Probanden und nicht ein Rechner diese Stimuli produzieren (Gentsch und Schütz-Bosbach 2011).

Somit kann angenommen werden, dass die N1-Attenuierung ein Marker für Prozesse darstellt, die auf einer basalen Ebene „eigen“ und „nicht-eigen“ unterscheiden.

Das Experiment in dieser Studie wurde anfänglich mit einer Lernphase von 120 Lerndurchgängen durchgeführt (experimentelles Design mit kürzerer Lernphase im Ergebnisteil der Arbeit). In der Analyse von kongruenten und inkongruenten EKPs für Töne aus dem darauffolgenden experimentellen Teil konnten keine signifikanten Unterschiede im Bereich der N1-Komponente nachgewiesen werden. Erst als die Lernphase in einem verbesserten experimentellen Paradigma (experimentelles

Design mit längerer Lernphase im Ergebnisteil) auf 300 Lerndurchgänge verlängert wurde, konnte eine signifikante N1-Attenuierung gezeigt werden. Das spricht dafür, dass die Assoziation zwischen Handlung und Effekt in der Umwelt erst nach einer ausreichend langen Lernphase experimentell hergestellt werden kann. Die Beobachtung, dass Lerneffekte bei 300 Lerndurchgängen auftreten, ist auch in anderen Studien gemacht worden (Spengler, von Cramon und Brass 2009; Elsner und Hommel 2001; Beckers, De Houwer und Eelen 2002; Hommel 2004; Flach et al. 2006). Entsprechend der theoretischen Überlegungen von Haggard (Haggard 2017) über den Erwerb der Urheberschaft kann angenommen werden, dass ein Gefühl der Urheberschaft möglicherweise erst nach einer Lernetappe auftreten kann, die ausreichend lang sein muss. In einer für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit sehr interessanten Studie (Mifsud und Whitford 2017) wurde die N1-Amplitude für Töne verglichen, die durch Tastendrucke, Pusten oder Augenbewegungen ausgelöst wurden. Die N1-Attenuierung wurde nur für die ersten zwei Bedingungen gefunden. Für die EKPs von Tönen, die durch Augenbewegungen hervorgerufen wurden, konnten keine Unterschiede im Bereich der N1 nachgewiesen werden. Die Autoren stellen die These auf, dass nur solche Bewegungen, die normalerweise akustische Sensationen produzieren, eine N1-Attenuierung hervorrufen. Dieses Ergebnis spricht auch dafür, dass die N1-Effekte auf bereits bestehenden Assoziationen beruhen.

Die Ursachen für die N1-Attenuierung sind nicht sicher bekannt. Drei Hypothesen versuchen dieses Phänomen zu erklären. Laut Horvath (Horváth 2015) kann jede Hypothese unterschiedliche Studiendaten erklären, allerdings gibt es gegenwärtig keine, die alle Ergebnisse miteinbeziehen kann. Die Aufmerksamkeitshypothese bezieht sich auf die Tatsache, dass die Aufmerksamkeit der Probanden auf die Tonverarbeitung gerichtet wird und erklärt die Attenuierung für aufgabenirrelevante Töne. Unerwartete Töne oder aufgabenrelevante Töne wecken mehr Aufmerksamkeit und führen zu einer größeren N1-Amplitude. In der aktuellen Studie werden die Töne kongruent oder inkongruent zu der Lernphase präsentiert, so dass man spekulieren kann, dass die inkongruenten Töne als unerwartet empfunden werden und somit mehr Aufmerksamkeit erwecken.

Die zweite Hypothese beruht auf dem bereits erwähnten Komparator-Modell. Die sensorische Attenuierung basiert auf internen Vorwärtsmodellen (*internal forward models*) (Bäss, Jacobsen und Schröger 2008), die einen tatsächlichen sensorischen Input mit einem durch eine Kopie des motorischen Kommandos kalkulierten sensorischen Input vergleichen. Wenn diese zwei Inputs übereinstimmen, wird die Wahrnehmung des tatsächlichen sensorischen Inputs moduliert und abgeschwächt und die N1-Komponente des EKPs attenuiert. Diese Hypothese legt nahe, dass es sich bei der beobachteten Attenuierung um ein neurales Korrelat mit dem Gefühl der Urhebererschaft handelt. Sie basiert auf einer möglichen Handlungs-Ton-Beziehung; allerdings fehlt dafür der Beweis (Horváth 2015, 59).

Die Hypothese der Präaktivierung behauptet, dass die N1-Attenuierung sensorische Schablonen aktiviert, die mit dem sensorischen Effekt der Stimulation interferieren. In der Hypothese wird behauptet, dass Handlungen durch deren sensorischen, aufgabenrelevanten Effekt repräsentiert werden. Die Theorie der Ereigniskodierung (*Theory of Event Coding*) postuliert, dass Handlungen durch deren distale Konsequenzen kodiert werden. In Experimenten wird allerdings gezeigt, dass aufgabenirrelevante Ereignisse auch repräsentiert werden und sogar in bestimmten Bedingungen an Handlungen gekoppelt werden. Ausgehend von dieser Hypothese haben wir uns entschieden, nach jedem experimentellen Block eine kurze Trainingsphase einzubauen, in der die Probanden die Handlungs-Effekt-Sequenz und das Gefühl der Urhebererschaft auffrischen. In Übereinstimmung mit dieser Hypothese können die Ergebnisse von Ghio et al. (Ghio, Scharmach und Bellebaum 2018) oder Poonian et al. (Poonian et al. 2015) betrachtet werden. Die Autoren zeigten, dass N1 nicht nur für selbstproduzierte, sondern auch für beobachtete Handlungen reduziert ist.

4. 2. P3a, N1 und die Urheberschaftsurteile

Nur P3a, aber nicht N1 können Urheberschaftsurteile präzisieren. P3a kann die Urheberschaftsurteile dann präzisieren, wenn die Urteile im Zustand von Ambiguität gefällt werden müssen.

Um das Ausmaß zu untersuchen, wie stark die späteren Urheberschaftsurteile auf der frühen Informationsverarbeitung (N1 und P3a) in Zusammenhang stehen, wurden identische Durchgänge mit kongruenten Tönen, die mit einer mittleren Latenz (300 ms) präsentiert wurden, analysiert, da diese Durchgänge das höchste Ausmaß an Ambiguität beinhalten (Fukushima et al. 2013). Gemäß der späteren Urheberschaftsurteile wurden diese EKPs in zwei Gruppen unterteilt, nämlich EKPs der selbst- und fremdzugeschriebenen Töne aus dieser Kondition, und miteinander verglichen. Wenn das Urheberschaftsgefühl und das Urheberschaftsurteil also auf unterschiedliche Informationsquellen und Informationsverarbeitungsprozesse angewiesen sind und Urheberschaftsurteile nur eine retrospektive Konfabulation darstellen, so sind keine Unterschiede in den EKPs zu erwarten. Wenn es aber einen Übergang in der Informationsverarbeitung vom Urheberschaftsgefühl zum Urheberschaftsurteil gäbe, dann wäre eine Attenuierung der EKP-Komponente für die selbstzugeschriebenen Töne zu erwarten. Im Bereich der N1-Komponente wurden in dieser Analyse keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Somit wurde Hypothese 1 der vorliegenden Arbeit widerlegt. Es wurde allerdings eine signifikante Korrelation zwischen der P3a-Amplitude und den späteren Urheberschaftsurteilen gefunden, nämlich eine größere P3a-Amplitude für die fremdzugeschriebenen Töne. Somit konnte Hypothese 2 bestätigt werden. Man kann also annehmen, dass unter ambiguen / unklaren Bedingungen das Urheberschaftsgefühl nicht auf Prozessen basiert, die in N1 abgebildet sind. P3a dagegen scheint an dem Prozess der Urheberschaftszuschreibung beteiligt zu sein.

Im Einklang mit den hier vorgestellten Ergebnissen sind ähnliche P3a-Effekte auch durch Bednark und Franz (Bednark und Franz 2014) in einem EEG-Experiment

mit visuellen Stimuli repliziert worden. Die Autoren vergleichen die expliziten Urheberschaftsurteile in drei Bedingungen mit unterschiedlichem Grad von Kontiguität zwischen Handlung und Effekt in der Umwelt. Eine signifikant größere P3a-Amplitude konnte für hoch ambigüe Stimuli, die als fremdproduziert empfunden wurden, nachgewiesen werden. Diese Autoren betrachten P3a als einen von mehreren Hinweisen (*cues*), die am Urheberschaftsurteil beteiligt sind.

In einem anderen experimentellen Paradigma vergleichen Ghio et al. (Ghio, Scharmach und Bellebaum 2018), ohne die expliziten Urheberschaftsurteile zu erfragen, die EKPs für Töne, die einerseits selbstproduziert sind und andererseits Resultat einer von den Probanden nur beobachteten Bewegung sind. Sie fanden eine Attenuierung der P3a-Komponente für selbstproduzierte Töne im Unterschied zu den nicht selbstproduzierten Tönen. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass P3a mit der Selbst-Fremd-Differenzierung in Zusammenhang steht.

Die genaue Bedeutung der P3a ist nicht sicher geklärt. Diese Komponente wird als herausragender elektrophysiologischer Marker beschrieben, der auf Aufmerksamkeitsprozesse (Verleger 1988) in der Informationsverarbeitung reagiert. Eine P3a-Zunahme wird mit Stimuli, die unerwartet auftreten oder seltsam erscheinen, in Zusammenhang gebracht. Im Gegensatz dazu führen erwartete Stimuli zu einer P3a-Abnahme (Herrmann und Knight 2001). Aus den vorhandenen Ergebnissen können wir nichts darüber schlussfolgern, warum manche Töne dem Probanden seltsam oder unerwartet erscheinen. Wir beobachten allerdings, dass das Auftreten einer größeren P3a eine Fremdzuschreibung der Töne prädiziert. Wir nehmen an, dass die Unterschiede in der Amplitude von P3a für physikalisch identische Töne (kongruent mit der Lernphase und mit 300 ms Latenz) möglicherweise auf Fluktuationen der Aufmerksamkeit zurückzuführen sind. Wenn die Probanden während eines Durchganges leicht abgelenkt sind, können die Töne leichter als seltsam oder unerwartet erscheinen. Weitere Forschung wird benötigt, um den psychischen Prozess zu untersuchen, der einer P3a-Abnahme für die selbst zugeschriebenen Handlungseffekte zugrunde liegen.

Frühe EKP-Studien nannten den parietalen und temporalen Kortex als

Ursprungsort der P3a (Linden 2005; Mulert et al. 2004; Tarkka und Stokic 1998). Die hier beschriebene Verbindung zwischen P3a und Urheberschaftsurteilen entspricht einer Vielzahl von fMRT-Studien, die das Gefühl der Urheberschaft mit dem TPJ assoziieren (Chl   Farrer et al. 2008; Spengler, von Cramon und Brass 2009; Sperduti et al. 2011).

In der vorliegenden Arbeit wird deutlich, dass Veränderungen in der P3a-Amplitude nicht unbedingt gleichzeitig mit Veränderungen der N1-Amplitude stattfinden. Früher wurde bereits gezeigt, dass P3a ohne eine gleichzeitige Zunahme von N1 hervorgerufen werden kann (Herrmann und Knight 2001). Eine Dissoziation zwischen P3a und weitere EKP-Komponenten ist auch bekannt (Rinne et al. 2006).

Timm et al. (Timm et al. 2016) untersuchten gezielt die N1-Komponente in Zusammenhang mit dem Urheberschaftsurteil in einem alternativen experimentellen Paradigma mit einer sensorischen Illusion. Es wurde gezeigt, dass eine N1-Attenuierung für selbstproduzierte Töne unabhängig von den Urheberschaftsurteilen zu finden ist. Deswegen nehmen die Autoren an, dass die N1-Attenuierung das Gefühl der Urheberschaft nicht beeinflusst.

Weller et al. (Weller et al. 2017) beschreiben auch eine Dissoziation zwischen dem Gefühl der Urheberschaft und der sensorischen Attenuierung, die sie im Bereich der P2-Komponente finden.

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen behaupten Hubl et al. (2014) und Bhler et al. (2016) eine N1-Attenuierung in der verbalen Domäne bei der Anwesenheit von Urheberschaft. Genauer betrachtet handelt es sich in deren Paradigma nicht um Urheberschaftsurteile, die von den Probanden abgegeben werden, sondern um spezialdefinierte Konditionen im Experiment, nämlich um Wrter, die vom Probanden gesprochen und dann gehört werden. Somit können diese Ergebnisse im Licht der beschriebenen N1-Attenuierung für selbstproduzierte sensorische Reize und nicht in Bezug auf das Gefühl der Urheberschaft betrachtet werden.

Die zitierten Studien und die eigenen Daten sprechen gegen einen stark gekoppelten Prozess der Informationsverarbeitung von auditiven Stimuli, der mit N1 anfängt und in P3a übergeht. Die Tatsache, dass eine P3a-Veränderung beim

Urheberschaftsurteil ohne eine gleichzeitige Veränderung im N1 stattfindet, spricht dafür, dass die Informationsverarbeitung zumindest teilweise auf unterschiedlichen Ebenen stattfindet und parallel verläuft.

4.3. MP, BP und die Urheberschaftsurteile

In diesem Experiment wurde keine signifikante Korrelation zwischen dem Urheberschaftsurteil und dem BP oder dem MP gefunden.

Den Handlungen, die man ausführt, geht eine elektrische Hirnaktivität voraus, die etwa 2000 ms vor der Handlung anfängt. Das BP entspricht der Handlungsvorbereitung und dem MP der Handlungsdurchführung. Eine direkte Verbindung zwischen der Handlung und der Urheberschaft ist bereits in Donald Davidsons Theorie postuliert worden. Wenn man Davidsons Theorie folgt, wäre es denkbar, dass ein Urheberschaftsurteil, ohne einen Handlungseffekt in Betracht zu ziehen, gefällt werden kann. Um zu prüfen, ob die elektrophysiologischen Prozesse, die der Handlung (in diesem Experiment: dem Tastendruck) unterliegen, nämlich das BP und das MP, in einem Zusammenhang mit dem Urheberschaftsurteil stehen, wurden die EKPs für alle Töne, die als selbst- oder fremdproduziert empfunden werden, verglichen. In dieser Analyse wurde absichtlich die Kongruenz der Töne, so wie sie in der Lernphase verinnerlicht wurde, außer Acht gelassen. Die Analyse zeigte allerdings keine signifikanten Unterschiede im Bereich des bewegungsabhängigen kortikalen Potentials. Dieses Ergebnis spricht zumindest dafür, dass die Zusammenhänge zwischen Urheberschaftsurteil einerseits und Handlung und Handlungseffekt andererseits vielseitig sind. Es wäre denkbar, dass die Handlung einen direkten Einfluss auf das Urheberschaftsurteil hat, welches sich nicht auf der Ebene des BPs und des MPs darstellen lässt.

In der aktuellen Forschung gibt es keine Studien, die das BP und das MP, die als Marker für die Handlungsvorbereitung und -durchführung angenommen werden

können, in Zusammenhang mit expliziten Urheberschaftsurteilen untersucht haben. Man kann aber Studien finden, die das implizite Urheberschaftsgefühl und die motorische Hirnaktivität erforscht haben. Die Ergebnisse sind nicht eindeutig.

Dogge et al. (Dogge et al. 2012) zeigten in einem Experiment über *intentional binding*, dass das Gefühl der Urheberschaft vom sensorischen Input der Handlungseffekte und nicht vom motorischen Kommando abhängig ist. Sowohl willkürliche als auch unwillkürliche Bewegungen können das *intentional binding* hervorrufen und somit ein Gefühl der Urheberschaft verursachen. Laut den Autoren spricht diese Tatsache dafür, dass das Gefühl der Urheberschaft vom sensorischen Input der Handlungseffekte und nicht vom motorischen Kommando abhängig ist.

Im Gegensatz dazu zeigen Jo et al. (Jo et al. 2014), dass das BP eine signifikante Rolle in der Effektverarbeitung im Sinne des Gefühls der Urheberschaft spielt. Diese Studie hebt erstmalig die Wichtigkeit des BPs in der Entstehung von *intentional binding* hervor. Goldberg et al. (Goldberg, Busch und van der Meer 2017) zeigten auch eine Korrelation zwischen dem BP und dem impliziten Gefühl der Urheberschaft, das durch das *intentional binding* abgebildet wurde. Di Russo et al. (Di Russo et al. 2017) stellen die These auf, dass das BP nicht nur die rein „motorische“ Planung der Handlungsdurchführung beinhaltet, sondern auch kognitive Prozesse abbildet.

Es gibt zusätzlich einige Studien, die eine prospektive Entstehung vom Urheberschaftsgefühl mit der Durchführung oder Selektion der Handlung in Zusammenhang bringen (Chambon, Sidarus und Haggard 2014; Barlas und Obhi 2013; Sidarus, Vuorre und Haggard 2017a).

Die Gründe für das negative Ergebnis im aktuellen Experiment können an verschiedenen Stellen gesucht werden. Im Anbetracht der Theorie von Davidson scheint die Urheberschaft für die Primitivhandlung per definitionem immer gegeben zu sein, da die körperliche Integrität und auch die einfachen Körperbewegungen gegenüber einem anderen möglichen Urheber immun sind. So erübrigt sich die Frage nach der Urheberschaft, sobald man eine Handlung als Primitivhandlung identifiziert hat. Wenn man den experimentellen Ablauf in der hier vorgestellten Studie genauer

betrachtet, kann man allerdings zumindest einen Problempunkt feststellen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Tastendrucke im Experiment keine Primitivhandlungen darstellen, da diese extern durch einen sensorischen Stimulus (weißes Quadrat auf dem PC-Bildschirm) getriggert sind. Zusätzlich ist es bekannt, dass das BP deutlich größer erscheint, wenn die Handlungen spontan durch den Probanden ausgeführt werden (Jahanshahi et al. 1995). In einer zukünftigen Arbeit kann ein verbessertes experimentelles Design entwickelt werden, in der die Probanden spontan den Tastendruck tätigen.

Zudem zeigt die Erforschung des bewegungsabhängigen kortikalen Potentials für Fingerbewegungen eine gewisse Lateralisierung in Abhängigkeit davon, ob die Bewegung durch die rechte oder die linke Hand ausgeführt wird (Tarkka und Hallett 1991). In diesem Experiment wurden die Probanden instruiert, unwillkürlich den rechten oder linken Zeigefinger zu betätigen. In einem zukünftigen Experiment kann man die Bewegung einer Hand verwenden.

Als eine weitere Möglichkeit für dieses Ergebnis kann die genaue Formulierung der Frage im experimentellen Ablauf betrachtet werden. Den Probanden wird die Frage „wer hat den Ton produziert?“ gestellt. Es kann angenommen werden, dass diese Frage die Aufmerksamkeit auf den Handlungseffekt lenkt. Alternativ könnte in einem anderen Paradigma direkt die Urheberschaft für den Tastendruck in Frage gestellt werden.

An letzter Stelle kann die Analyse der EKPs als eine mögliche Fehlerquelle diskutiert werden. In der aktuellen Arbeit wurden die EKPs für Töne analysiert, wobei das BP und MP zusätzlich dargestellt wurden. In einer zukünftigen Arbeit könnten EKPs, die direkt mit der Bewegung synchronisiert sind, untersucht werden (Berchicci, Spinelli und Di Russo 2016).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie, dass die expliziten Urheberschaftsurteile für Handlungen mehr auf den Effekten dieser Handlungen und auf Lernprozessen als auf der Handlungsplanung und -durchführung beruhen. Bereits im Moment der sensorischen Erstverarbeitung des Handlungseffekts können Hinweise gefunden werden, dass „selbst“ von „fremd“ unterschieden werden

kann. So ein Prozess wird in der N1-Attenuierung repräsentiert und basiert auf bereits vorhandenen Assoziationen zwischen Handlung und Effekt. Eine präzisere Unterscheidung von „selbst“ und „fremd“ vor allem bei hoher Ambiguität bezüglich der Urhebererschaft findet im Bereich der P3a-Komponente ca. 300 ms nach dem Handlungseffekt statt und korreliert mit den deutlich späteren, bewussten Urheberchaftsurteilen. Beide Prozesse verlaufen zumindest teilweise getrennt voneinander. Die Rolle des bewegungsabhängigen kortikalen Potentials für die Urheberchaftsurteile bedarf weiterer Forschung.

Bibliographie:

- Aliu, Sheye O., John F. Houde, and Srikantan S. Nagarajan. 2009. "Motor-Induced Suppression of the Auditory Cortex." *Journal of Cognitive Neuroscience* 21 (4): 791–802. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21055>.
- Baess, Pamela, János Horváth, Thomas Jacobsen, and Erich Schröger. 2011. "Selective Suppression of Self-Initiated Sounds in an Auditory Stream: An ERP Study: Selective Suppression of Self-Initiated Sounds." *Psychophysiology* 48 (9): 1276–83. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01196.x>.
- Baess, Pamela, Andreas Widmann, Anja Roye, Erich Schröger, and Thomas Jacobsen. 2009. "Attenuated Human Auditory Middle Latency Response and Evoked 40-Hz Response to Self-Initiated Sounds." *The European Journal of Neuroscience* 29 (7): 1514–21. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.06683.x>.
- Barlas, Zeynep, and Sukhvinder S. Obhi. 2013. "Freedom, Choice, and the Sense of Agency." *Frontiers in Human Neuroscience* 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00514>.
- Bäss, Pamela, Thomas Jacobsen, and Erich Schröger. 2008. "Suppression of the Auditory N1 Event-Related Potential Component with Unpredictable Self-Initiated Tones: Evidence for Internal Forward Models with Dynamic Stimulation." *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology* 70 (2): 137–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.06.005>.
- Beckers, Tom, Jan De Houwer, and Paul Eelen. 2002. "Automatic Integration of Non-Perceptual Action Effect Features: The Case of the Associative Affective Simon Effect." *Psychological Research* 66 (3): 166–73. <https://doi.org/10.1007/s00426-002-0090-9>.
- Bednark, Jeffery G., and Elizabeth A. Franz. 2014. "Agency Attribution: Event-Related Potentials and Outcome Monitoring." *Experimental Brain Research* 232 (4): 1117–26. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3821-4>.
- Bendixen, Alexandra, Iria SanMiguel, and Erich Schröger. 2012. "Early Electrophysiological Indicators for Predictive Processing in Audition: A Review." *International Journal of Psychophysiology* 83 (2): 120–31. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.08.003>.
- Berchicci, M., D. Spinelli, and F. Di Russo. 2016. "New Insights into Old Waves. Matching Stimulus- and Response-Locked ERPs on the Same Time-Window." *Biological Psychology* 117: 202–15. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.04.007>.
- Blakemore, S. J., C. D. Frith, and D. M. Wolpert. 1999. "Spatio-Temporal Prediction Modulates the Perception of Self-Produced Stimuli." *Journal of Cognitive Neuroscience* 11 (5): 551–59.
- Blakemore, Sarah-J., Daniel M. Wolpert, and Chris D. Frith. 1998. "Central Cancellation of Self-Produced Tickle Sensation." *Nature Neuroscience* 1 (7): 635–40. <https://doi.org/10.1038/2870>.
- Bratman, Michael E. 2006. "What Is the Accordion Effect?" *The Journal of Ethics* 10 (1/2): 5–19.

- Caspar, Emilie A., Andrea Desantis, Zoltan Dienes, Axel Cleeremans, and Patrick Haggard. 2016. "The Sense of Agency as Tracking Control." Edited by Simone Schütz-Bosbach. *PLOS ONE* 11 (10): e0163892. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163892>.
- Chambon, Valérian, Nura Sidarus, and Patrick Haggard. 2014. "From Action Intentions to Action Effects: How Does the Sense of Agency Come About?" *Frontiers in Human Neuroscience* 8 (May). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00320>.
- Davidson, Donald. 2001. *Essays on Actions and Events*. Oxford University Press. <http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/0199246270.001.0001/acprof-9780199246274>.
- Deecke, L., P. Scheid, and H. H. Kornhuber. 1969. "Distribution of Readiness Potential, Pre-Motion Positivity, and Motor Potential of the Human Cerebral Cortex Preceding Voluntary Finger Movements." *Experimental Brain Research* 7 (2): 158–68.
- Di Russo, F., M. Berchicci, C. Bozzacchi, R. L. Perri, S. Pitzalis, and D. Spinelli. 2017. "Beyond the 'Bereitschaftspotential': Action Preparation behind Cognitive Functions." *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 78 (July): 57–81. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.019>.
- Dogge, Myrthel, Marloes Schaap, Ruud Custers, Daniel M. Wegner, and Henk Aarts. 2012. "When Moving without Volition: Implied Self-Causation Enhances Binding Strength between Involuntary Actions and Effects." *Consciousness and Cognition* 21 (1): 501–6. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.10.014>.
- Elsner, B., and B. Hommel. 2001. "Effect Anticipation and Action Control." *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance* 27 (1): 229–40.
- Farrer, C., N. Franck, J. Paillard, and M. Jeannerod. 2003. "The Role of Proprioception in Action Recognition." *Consciousness and Cognition* 12 (4): 609–19. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00047-3](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00047-3).
- Farrer, Chloé, Scott H. Frey, John D. Van Horn, Eugene Tunik, David Turk, Souheil Inati, and Scott T. Grafton. 2008. "The Angular Gyrus Computes Action Awareness Representations." *Cerebral Cortex* 18 (2): 254–61. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm050>.
- Feinberg, Joel. 1965. "Action and Responsibility." In *Philosophy in America*, edited by Max Black, 134–160. Ithaca: Cornell University Press.
- Flach, Rüdiger, Magda Osman, Anthony Dickinson, and Cecilia Heyes. 2006. "The Interaction between Response Effects during the Acquisition of Response Priming." *Acta Psychologica* 122 (1): 11–26. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.09.001>.
- Fourneret, Pierre, Jacques Paillard, Yves Lamarre, Jonathan Cole, and Marc Jeannerod. 2002. "Lack of Conscious Recognition of One's Own Actions in a Haptically Deafferented Patient." *Neuroreport* 13 (4): 541–47.
- Frith, Chris. 2005. "The Self in Action: Lessons from Delusions of Control." *Consciousness and Cognition* 14 (4): 752–70. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2005.04.002>.
- . 2012. "Explaining Delusions of Control: The Comparator Model 20years On." *Consciousness and Cognition, Beyond the Comparator Model*, 21 (1): 52–54. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.06.010>.

- Fukushima, Hirokata, Yurie Goto, Takaki Maeda, Motoichiro Kato, and Satoshi Umeda. 2013. "Neural Substrates for Judgment of Self-Agency in Ambiguous Situations." Edited by Cristina Becchio. *PLoS ONE* 8 (8): e72267. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072267>.
- Gallagher, Shaun. 2000. "Philosophical Conceptions of the Self: Implications for Cognitive Science." *Trends in Cognitive Sciences* 4 (1): 14–21. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01417-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01417-5).
- . 2012. "Multiple Aspects in the Sense of Agency1." *New Ideas in Psychology* 30 (1): 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2010.03.003>.
- Gentsch, Antje, and Simone Schütz-Bosbach. 2011. "I Did It: Unconscious Expectation of Sensory Consequences Modulates the Experience of Self-Agency and Its Functional Signature." *Journal of Cognitive Neuroscience* 23 (12): 3817–28. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00012.
- Ghio, Marta, Katrin Scharmach, and Christian Bellebaum. 2018. "ERP Correlates of Processing the Auditory Consequences of Own versus Observed Actions." *Psychophysiology* 55 (6): e13048. <https://doi.org/10.1111/psyp.13048>.
- Goldberg, Michael, Niko Busch, and Elke van der Meer. 2017. "The Amount of Recent Action-Outcome Coupling Modulates the Mechanisms of the Intentional Binding Effect: A Behavioral and ERP Study." *Consciousness and Cognition* 56 (November): 135–49. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.07.001>.
- Haggard, Patrick. 2017. "Sense of Agency in the Human Brain." *Nature Reviews. Neuroscience* 18 (4): 196–207. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.14>.
- Haggard, Patrick, Sam Clark, and Jeri Kalogeras. 2002. "Voluntary Action and Conscious Awareness." *Nature Neuroscience* 5 (4): 382–85. <https://doi.org/10.1038/nn827>.
- Hari, R., K. Aittoniemi, M. -L. Järvinen, T. Katila, and T. Varpula. 1980. "Auditory Evoked Transient and Sustained Magnetic Fields of the Human Brain Localization of Neural Generators." *Experimental Brain Research* 40 (2): 237–40. <https://doi.org/10.1007/BF00237543>.
- Herrmann, Christoph S, and Robert T Knight. 2001. "Mechanisms of Human Attention: Event-Related Potentials and Oscillations." *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 25 (6): 465–76. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(01\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(01)00027-6).
- Holst, Erich von, and Horst Mittelstaedt. 1950. "Das Reafferenzprinzip." *Naturwissenschaften* 37 (20): 464–76. <https://doi.org/10.1007/BF00622503>.
- Hommel, Bernhard. 2004. "Coloring an Action: Intending to Produce Color Events Eliminates the Stroop Effect." *Psychological Research* 68 (2–3): 74–90. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0146-5>.
- Horváth, János. 2015. "Action-Related Auditory ERP Attenuation: Paradigms and Hypotheses." *Brain Research* 1626 (November): 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.03.038>.
- Horváth, János, István Winkler, and Alexandra Bendixen. 2008. "Do N1/MMN, P3a, and RON Form a Strongly Coupled Chain Reflecting the Three Stages of Auditory Distraction?" *Biological Psychology* 79 (2): 139–47. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2008.04.001>.
- Huang, W.-J., W.-W. Chen, and X. Zhang. 2015. "The Neurophysiology of P 300--an Integrated Review." *European Review for Medical and Pharmacological Sciences* 19 (8): 1480–88.

- Hughes, Gethin, Andrea Desantis, and Florian Waszak. 2013. "Attenuation of Auditory N1 Results from Identity-Specific Action-Effect Prediction." *European Journal of Neuroscience* 37 (7): 1152–58. <https://doi.org/10.1111/ejn.12120>.
- Jahanshahi, M., I. H. Jenkins, R. G. Brown, C. D. Marsden, R. E. Passingham, and D. J. Brooks. 1995. "Self-Initiated versus Externally Triggered Movements. I. An Investigation Using Measurement of Regional Cerebral Blood Flow with PET and Movement-Related Potentials in Normal and Parkinson's Disease Subjects." *Brain: A Journal of Neurology* 118 (Pt 4) (August): 913–33.
- Jo, Han-Gue, Marc Wittmann, Thilo Hinterberger, and Stefan Schmidt. 2014. "The Readiness Potential Reflects Intentional Binding." *Frontiers in Human Neuroscience* 8: 421. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00421>.
- Jörg, Johannes, and Horst Hielscher, eds. 1997. *Evozierte Potentiale in Klinik Und Praxis: Eine Einführung in VEP, SEP, AEP, MEP, P 300 Und PAP*. 4th ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. [//www.springer.com/gp/book/9783540618676](http://www.springer.com/gp/book/9783540618676).
- Keil, Geert. 2000. *Handeln Und Verursachen*. Klostermann.
- Kornhuber, H. H., and L. Deecke. 1965. "[CHANGES IN THE BRAIN POTENTIAL IN VOLUNTARY MOVEMENTS AND PASSIVE MOVEMENTS IN MAN: READINESS POTENTIAL AND REAFFERENT POTENTIALS]." *Pflugers Archiv Fur Die Gesamte Physiologie Des Menschen Und Der Tiere* 284 (May): 1–17.
- Kühn, Simone, Ivan Nenchev, Patrick Haggard, Marcel Brass, Jürgen Gallinat, and Martin Voss. 2011. "Whodunnit? Electrophysiological Correlates of Agency Judgements." *PLOS ONE* 6 (12): e28657. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028657>.
- Libet, B., C. A. Gleason, E. W. Wright, and D. K. Pearl. 1983. "Time of Conscious Intention to Act in Relation to Onset of Cerebral Activity (Readiness-Potential). The Unconscious Initiation of a Freely Voluntary Act." *Brain: A Journal of Neurology* 106 (Pt 3) (September): 623–42.
- Linden, David E. J. 2005. "The P300: Where in the Brain Is It Produced and What Does It Tell Us?" *The Neuroscientist* 11 (6): 563–76. <https://doi.org/10.1177/1073858405280524>.
- Mifsud, Nathan G., and Thomas J. Whitford. 2017. "Sensory Attenuation of Self-Initiated Sounds Maps onto Habitual Associations between Motor Action and Sound." *Neuropsychologia* 103 (August): 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.07.019>.
- Mulert, Christoph, Lorenz Jäger, Robert Schmitt, Patrick Bussfeld, Oliver Pogarell, Hans-Jürgen Möller, Georg Juckel, and Ulrich Hegerl. 2004. "Integration of FMRI and Simultaneous EEG: Towards a Comprehensive Understanding of Localization and Time-Course of Brain Activity in Target Detection." *NeuroImage* 22 (1): 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.10.051>.
- Näätänen, Risto, and Terence Picton. 1987. "The N1 Wave of the Human Electric and Magnetic Response to Sound: A Review and an Analysis of the Component Structure." *Psychophysiology* 24 (4): 375–425. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1987.tb00311.x>.
- Polich, John. 2007. "Updating P300: An Integrative Theory of P3a and P3b." *Clinical Neurophysiology* 118 (10): 2128–48. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>.

- Poonian, Simandeeep K., Jessica McFadyen, Jessica Ogden, and Ross Cunnington. 2015. "Implicit Agency in Observed Actions: Evidence for N1 Suppression of Tones Caused by Self-Made and Observed Actions." *Journal of Cognitive Neuroscience* 27 (4): 752–64. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00745.
- Rinne, Teemu, Anna Särkkä, Alexander Degerman, Erich Schröger, and Kimmo Alho. 2006. "Two Separate Mechanisms Underlie Auditory Change Detection and Involuntary Control of Attention." *Brain Research* 1077 (1): 135–43. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.01.043>.
- Sato, Atsushi, and Asako Yasuda. 2005. "Illusion of Sense of Self-Agency: Discrepancy between the Predicted and Actual Sensory Consequences of Actions Modulates the Sense of Self-Agency, but Not the Sense of Self-Ownership." *Cognition* 94 (3): 241–55. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.04.003>.
- Schafer, E. W., and M. M. Marcus. 1973. "Self-Stimulation Alters Human Sensory Brain Responses." *Science (New York, N.Y.)* 181 (4095): 175–77.
- Schmidt, Stefan, Han-Gue Jo, Marc Wittmann, and Thilo Hinterberger. 2016. "‘Catching the Waves’ - Slow Cortical Potentials as Moderator of Voluntary Action." *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 68: 639–50. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.023>.
- Schurger, Aaron, Jacobo D. Sitt, and Stanislas Dehaene. 2012. "An Accumulator Model for Spontaneous Neural Activity Prior to Self-Initiated Movement." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (42): E2904–2913. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210467109>.
- Shibasaki, Hiroshi, and Mark Hallett. 2006. "What Is the Bereitschaftspotential?" *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 117 (11): 2341–56. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.04.025>.
- Sidarus, Nura, Matti Vuorre, and Patrick Haggard. 2017a. "How Action Selection Influences the Sense of Agency: An ERP Study." *NeuroImage* 150 (April): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.02.015>.
- . 2017b. "How Action Selection Influences the Sense of Agency: An ERP Study." *NeuroImage* 150 (April): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.02.015>.
- Sokolov, E. N., and O. S. Vinogradova, eds. 1975. *Neuronal Mechanisms of the Orienting Reflex*. Hillsdale, N.J. : New York: L. Erlbaum Associates ; distributed by the Halsted Press Division of Wiley.
- Soltani, Maryam, and Robert T. Knight. 2000. "Neural Origins of the P300." *Critical Reviews & Trade; in Neurobiology* 14 (3–4). <https://doi.org/10.1615/CritRevNeurobiol.v14.i3-4.20>.
- Spengler, Stephanie, D. Yves von Cramon, and Marcel Brass. 2009. "Was It Me or Was It You? How the Sense of Agency Originates from Ideomotor Learning Revealed by fMRI." *NeuroImage* 46 (1): 290–98. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.01.047>.
- Sperduti, Marco, Pauline Delaveau, Philippe Fossati, and Jaqueline Nadel. 2011. "Different Brain Structures Related to Self- and External-Agency Attribution: A Brief Review and Meta-Analysis." *Brain Structure and Function* 216 (2): 151–57. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0298-1>.

- Sperry, R. W. 1950. "Neural Basis of the Spontaneous Optokinetic Response Produced by Visual Inversion." *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 43 (6): 482–89. <https://doi.org/10.1037/h0055479>.
- Synofzik, Matthias, Gottfried Vosgerau, and Albert Newen. 2008. "Beyond the Comparator Model: A Multifactorial Two-Step Account of Agency." *Consciousness and Cognition* 17 (1): 219–39. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.03.010>.
- Tarkka, I. M., and M. Hallett. 1991. "Topography of Scalp-Recorded Motor Potentials in Human Finger Movements." *Journal of Clinical Neurophysiology: Official Publication of the American Electroencephalographic Society* 8 (3): 331–41.
- Tarkka, I. M., and D. S. Stokic. 1998. "Source Localization of P300 from Oddball, Single Stimulus, and Omitted-Stimulus Paradigms." *Brain Topography* 11 (2): 141–51.
- Timm, Jana, Marc Schönwiesner, Erich Schröger, and Iria SanMiguel. 2016. "Sensory Suppression of Brain Responses to Self-Generated Sounds Is Observed with and without the Perception of Agency." *Cortex* 80 (July): 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.03.018>.
- Vastano, Roberta, Thierry Pozzo, and Marcel Brass. 2017. "The Action Congruency Effect on the Feelings of Agency." *Consciousness and Cognition* 51 (May): 212–22. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.002>.
- Verbaarschot, Ceci, Jason Farquhar, and Pim Haselager. 2015. "Lost in Time...: The Search for Intentions and Readiness Potentials." *Consciousness and Cognition* 33 (May): 300–315. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.01.011>.
- Verleger, Rolf. 1988. "Event-Related Potentials and Cognition: A Critique of the Context Updating Hypothesis and an Alternative Interpretation of P3." *Behavioral and Brain Sciences* 11 (3): 343–56. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00058015>.
- Vignemont, F de, and P Fournieret. 2004. "The Sense of Agency: A Philosophical and Empirical Review of the 'Who' System." *Consciousness and Cognition* 13 (1): 1–19. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00022-9](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00022-9).
- Wegner, Daniel M. 2002. *The Illusion of Conscious Will*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Wegner, Daniel M. 2003. "The Mind's Best Trick: How We Experience Conscious Will." *Trends in Cognitive Sciences* 7 (2): 65–69. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00002-0).
- Wegner, Daniel M., Betsy Sparrow, and Lea Winerman. 2004. "Vicarious Agency: Experiencing Control over the Movements of Others." *Journal of Personality and Social Psychology* 86 (6): 838–48. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.6.838>.
- Weller, Lisa, Katharina A. Schwarz, Wilfried Kunde, and Roland Pfister. 2017. "Was It Me? – Filling the Interval between Action and Effects Increases Agency but Not Sensory Attenuation." *Biological Psychology* 123 (February): 241–49. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.12.015>.
- Wolpert, D. M., Z. Ghahramani, and M. I. Jordan. 1995. "An Internal Model for Sensorimotor Integration." *Science (New York, N.Y.)* 269 (5232): 1880–82.
- Wolpert, Daniel M, Zoubin Ghahramani, and J.Randall Flanagan. 2001. "Perspectives and Problems in Motor Learning." *Trends in Cognitive Sciences* 5 (11): 487–94. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01773-3](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01773-3).
- Wong, Hong Yu. 2012. "A Measure of My Agency?" *Consciousness and Cognition, Beyond the Comparator Model*, 21 (1): 48–51. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.017>.

Anhang 1

Demographische Daten der Probanden

Proband	Alter (Jahre)	Geschlecht männlich (1), weiblich (2)	Muttersprache Deutsch (1)	Händigkeit Rechts (1) Links (2)
1	26	2	1	1
2	45	1	1	1
3	31	2	2	1
4	33	2	1	2
5	48	1	1	1
6	25	1	1	1
7	23	1	1	1
8	43	1	1	1
9	37	2	1	1
10	40	1	2	1
11	42	2	1	1
12	29	1	2	1
13	42	1	1	2
14	50	2	1	1
15	26	2	2	1
16	30	1	1	1
17	37	2	2	1
18	27	2	1	2
19	52	1	1	1
21	43	2	1	1
22	27	2	2	1
24	22	2	1	1
25	25	1	1	1
26	27	1	1	2
28	45	1	1	1
29	47	2	1	1
30	23	2	2	1
31	44	2	1	1
32	30	1	2	1
33	32	1	1	1
36	31	1	2	1
37	39	1	2	1
39	30	2	2	1
40	27	2	1	1
41	51	2	1	1
42	28	1	2	1

Anhang 2

Hinweise vor dem Experiment:

Danke, dass Sie an unserem EEG Experiment teilnehmen möchten.

Das Experiment wird zwei bis zweieinhalb Stunden dauern. Wir brauchen ungefähr 45 Minuten, um die Elektroden auf dem Kopf anzubringen. Zu diesem Zweck werden wir Ihnen eine Elektrodenhaube aufsetzen und in die Elektroden Gel spritzen, das eine bessere Leitfähigkeit erzeugt. Das Experiment an sich dauert dann eine bis eineinhalb Stunden. Nach dem Experiment können Sie, wenn Sie möchten, ihre Haare bei uns im Labor waschen.

Es wäre schön, wenn Sie am Vortag und am Tag der Messung

- möglichst wenig zu sich nehmen, was Sie stark anregt (z.B. Kaffee, schwarzer Tee, Cola...) oder beruhigt (Schlaf- und Beruhigungsmittel);

- keinen oder nur wenig Alkohol trinken und keine sonstigen Drogen zu sich nehmen.

Wenn es Ihnen möglich ist, wäre es schön, wenn Sie Ihre Haare am Vortag, nicht am Tag des Experimentes waschen könnten und am Tag der Messung auf Haargel, Haarspray sowie aufwändige Frisuren verzichten.

Da wir auch eine Elektrode im Gesichtsbereich setzen, empfiehlt es sich, möglichst wenig Make-up an diesem Tag zu verwenden.

Wie bereits erwähnt haben wir alle notwendigen Utensilien für die Haarwäsche nach der Messung, besonderes Stylingzubehör sollten Sie sich jedoch bei Bedarf selbst mitbringen (z.B. Haarspray, Gel, Make-up, Hautpflege).

Sollten Sie normalerweise Kontaktlinsen tragen, würden wir Sie bitten, an diesem Tag eine Brille zu tragen, da sonst während des Versuchs die Augen trocken werden könnten und häufiges Blinzeln die EEG-Signale stört.

Anhang 3

Instruktion

Sie nehmen im Folgenden an einem Elektroencephalographie-Experiment teil.

Zu Beginn möchten wir Sie bitten, wann immer ein weißes Quadrat auf dem Bildschirm erscheint, so schnell wie möglich die rechte oder linke Taste zu drücken.

Bitte entscheiden Sie sich zufällig und ungefähr gleich häufig für die rechte wie die linke Taste; anschließend hören Sie einen Ton, den Sie aber nicht weiter beachten müssen.

Während der Messung bitten wir Sie nach jedem Tastendruck einzuschätzen, ob Sie das Gefühl hatten, dass Sie den Ton erzeugt haben oder der Versuchsleiter.

Diese Einschätzung geben Sie bitte auf folgender Skala an, auf die Sie mit Hilfe der Maus klicken. Der Zeiger ist ein roter Balken.



Klicken Sie weiter auf der linken Seite an, wenn Sie davon überzeugt sind, dass Sie den Ton erzeugt haben. Klicken Sie weiter auf der rechten Seite an, wenn Sie denken, dass Sie den Ton nicht erzeugt haben, sondern „jemand anders“ nämlich der

Versuchsleiter.

Bitte nehmen Sie erst Ihre rechte Hand zur Maus, wenn die Skala schon auf dem Bildschirm zu sehen ist. Die Bewegung würde sonst das Signal stören.

Bitte versuchen Sie nicht zu blinzeln. Wenn es sich nicht vermeiden lässt, blinzeln Sie bitte während der Einschätzung, ob Sie oder der Versuchsleiter den Ton erzeugt haben.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Ivan Nenchev, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Das Gefühl der Urheberschaft von Handlungen. Ergebnisse eines elektrophysiologischen Experimentes“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Mein Anteil an der ausgewählten Publikation entspricht dem, der in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben ist. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Publikation: Simone Kühn*, Ivan Nenchev*, Patrick Haggard, Marcel Brass, Jürgen Gallinat, Martin Voss, Whodunnit? Electrophysiological Correlates of Agency Judgements, Plos One 2011 *Those authors contributed equally to this work.

Beitrag im Einzelnen:

1. Rekrutierung von Probanden mittels einer Anzeige;
2. Durchführung der Studie bei 36 Probanden:
 - 2.1. Aufklärung der Probanden über die Studie;
 - 2.2. Erhebung der soziodemographischen Parameter;
 - 2.3. Durchführung von SKID I bei den Probanden;
 - 2.4. Vermittlung der Instruktion des Experiments;
 - 2.5. Aufnahme der EEG-Daten.
3. Auswertung der EEG-Daten mittels Brain Vision Analyzer und SPSS.
4. Literatursichtung und Teilnahme an der Verfassung des Manuskripts, Erstellung von Bildern und Graphiken.
5. Unterstützung von S. Kühn an der Gestaltung des Ablaufs der Studie.

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Publikationsliste:

Simone Kühn*, **Ivan Nenchev***, Patrick Haggard, Marcel Brass, Jürgen Gallinat, Martin Voss, Whodunnit? Electrophysiological Correlates of Agency Judgements, Plos One 2011 *The authors contributed equally to this work.

Nenchev I, Kühn S, Gallinat J, Haggard P, Brass M and Voss M (2011). Electrophysiological correlates of agency judgements. *Front. Hum. Neurosci. Conference Abstract: XI International Conference on Cognitive Neuroscience (ICON XI)*. doi: 10.3389/conf.fnhum.2011.207.00549

Diese Arbeit wurde zusätzlich als Poster auf der Konferenz ICON XI (XI International Conference on Cognitive Neuroscience, 2011) und auf dem Kongress Neuropsychoanalysis: Minding the Body (The 12th International Neuropsychoanalysis Congress, 2011) vorgestellt.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen entgegen bringen, deren Mithilfe für die Anfertigung dieser Promotion von besonderer Bedeutung war:

Meinem Dank gilt zunächst Prof. Dr. Jürgen Gallinat und Prof. Dr. Felix Bempohl, meinem ersten und zweiten Doktorvater, für die kontinuierliche Unterstützung.

Ich danke weiterhin meinen Betreuern Dr. Martin Voss und Prof. Simone Kühn für die Einführung in die Methodik, die Unterstützung bei der Auswertung, den konstruktiven Austausch und die Inspiration für die wissenschaftliche Tätigkeit.

Ich möchte mich zudem bei den Probanden bedanken, die an der Studie teilgenommen haben.

Ich danke meinen Eltern, Anna Kaneva-Nencheva und Nencho Nenchev, die mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglichten und mich bis heute in meinen Vorhaben unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt auch Benjamin Wilck und Myriam Mitelman.

