My-Aktivität als Marker empathischer Prozesse

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Matthias Hoenen
aus Düsseldorf

Düsseldorf, September 2015

aus dem Institut für Experimentelle Psychologie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Gedruckt mit der Genehmigung der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referentin: Prof. Dr. Bettina M. Pause

Korreferent: Prof. Dr. Martin Heil

Tag der mündlichen Prüfung: 20.01.2016

Fotografie der Installation „~ Waves of Mu ~“ der Künstlerin Amy Caron. Dargestellt ist der Thalamus (Schreibtisch und Person), der möglicherweise an der Generierung von My-Rhythmen beteiligt ist. Ziel der Installation war es ein interaktives Erleben der normalerweise trocken und formalisiert präsentierten Forschung zum Spiegelneuronensystem zu ermöglichen. Dieses Projekt regte mich zu einer weiteren Auseinandersetzung mit dem My-Rhythmus an. Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Künstlerin.

Inhalt

Inhalt 4
1 Zusammenfassung 6
2 Abstract 9
3 Einleitung 11
4 Theoretischer und Empirischer Hintergrund 13
4.1 Empathie 13
4.1.1 Definition 13
4.2 Das Perception-Action Model 14
4.2.1 Empathie im Rahmen des Perception-Action Model 16
4.3 My-Aktivität 17
4.3.1 Die Familie der Alpha-Rhythmen 17
3.3.2 Eigenschaften der My-Aktivität 18
4.3.3 My-Aktivität und soziale Wahrnehmung 19
4.4 Ableitung der Fragestellung 20
4.4.1 Studie 1: “Somatosensory mu-activity reflects imagined pain intensity of others.” 23
4.4.2 Studie 2: “Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes.” 24
4.4.3 Studie 3: “Non-antropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level.” 25
4.4.4 Studie 4: “Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study” 25
5 Methode 26
5.1 Der Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen 26
5.2 Überführung der EEG-Daten aus der Zeit-Domäne in die Frequenzdomäne 27
5.2.1 Die Fourier-Analyse 27
5.2.2 Die Wavelet-Analyse 29
5.3 Aufbereitung der Frequenz- und Zeitfrequenzspektren 29
5.4 Graphische Darstellung und Auswertung der Frequenz- und Zeitfrequenzspektren 30
6 Überblick über die Studien 31
6.1 Studie 1: “Somatosensory mu-activity reflects imagined pain intensity of others.” 31
6.2 Studie 2: “Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes” 32
6.3 Studie 3: “Non-anthropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level” 33
6.4 Studie 4:” Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study.” 34
6 Zusammenfassende Diskussion 36

7 Literaturverzeichnis 39
8 Danksagung 49
9 Publikationen in Zeitschriften mit peer-review Prozess 51
9.1 Publikationen im Rahmen des Promotionsvorhabens 51
9.2 Weitere Publikationen 52
9.3 Manuskript für Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study 53

1 Zusammenfassung

Empathie bezeichnet die Fähigkeit Informationen über den affektiven Zustand eines anderen Individuums zu erlangen. Hierbei spielen sowohl automatische Prozesse wie emotionale Ansteckung, als auch kognitive Prozesse wie Perspektivübernahme eine Rolle. Das *Perception-Action Model* der Empathie geht davon aus, dass das eigene Verhalten und das beobachtete Verhalten anderer gemeinsame neuronale Repräsentationen besitzen und diese gemeinsamen Repräsentationen die Grundlage empathischen Erlebens bilden. Die physiologische Basis dieser gemeinsamen Repräsentationen ist das Spiegelneuronensystem. Über die elektroenzephalographische My-Aktivität (Oszillationen im Bereich von 8-13 Hz) kann die Aktivität des Spiegelneuronensystems quantifiziert werden.

Bisherige Studien untersuchten den Zusammenhang von My-Aktivität mit empathischen Prozessen hauptsächlich am Modell der Schmerzempathie. Dieses Modell erfasst jedoch Empathie nicht vollständig, da hier vorrangig automatische empathische Prozesse wie emotionale Ansteckung abgebildet werden, Empathie jedoch auch kognitive Komponenten wie Perspektivübernahme beinhaltet. Zusätzlich ergeben sich methodische Probleme, da die in diesem Paradigma verwendeten Aufgaben und Stimuli keine Differenzierung zwischen Spiegelmechanismen und anderen Prozessen zulassen. In der vorliegenden Arbeit soll daher untersucht werden, ob My-Aktivität auch durch kognitive Prozesse wie Perspektivübernahme und Mitgefühl moduliert werden kann. Hierfür werden Verfahren angewandt, die es ermöglichen zwischen dem Einfluss von empathischen Prozessen und anderen Prozessen zu trennen. Darüber hinaus werden Paradigmen verwendet, die zeigen können, dass die My-Aktivität durch die soziale und affektive Bedeutung der Stimuli und nicht durch perzeptuelle Eigenschaften der Stimuli beeinflusst wird. Hierzu wird über die Studien hinweg der Abstraktionsgrad der Stimuli erhöht.

In Studie 1 wurde überprüft, ob My-Aktivität die Schmerzhaftigkeit beobachteter Handlungen widerspiegelt und ob Perspektivübernahme diesen Effekt beeinflussen kann. Es konnte gezeigt werden, dass die My-Aktivität nicht ausschließlich durch die tatsächlich dargestellte Schmerzhaftigkeit moduliert wird, sondern auch durch die vorgestellte Schmerzhaftigkeit der Handlung für die beobachtete Person. Es wird geschlossen, dass My-Aktivität auch empathische Prozesse wie Perspektivübernahme abbildet.

In Studie 2 wurde überprüft, ob die My-Aktivität während der Beobachtung neutraler Handlungen durch empathische Gefühle gegenüber der handelnden Person moduliert werden kann. Es konnte gezeigt werden, dass My-Aktivität durch empathische Gefühle (Mitgefühl) für einen Akteur moduliert werden kann. Es wird geschlossen, dass unabhängig von der Bedeutung einer Handlung allein durch Empathie gegenüber der handelnden Person automatische empathische Prozesse auf Ebene des Spiegelneuronensystems moduliert werden können.

In Studie 3 wurde überprüft, ob My-Aktivität auch sensitiv für Bewegungen nicht-anthropomorpher Objekte ist, wenn diese durch eine soziale Interaktion personalisiert werden. Es konnte gezeigt werden, dass die My-Aktivität auch sensitiv für nicht-anthropomorphe Objekte ist, wenn ihnen eine soziale Bedeutung zugeschrieben wird. Es wird geschlossen, dass die Wahrnehmung eines Objektes als soziale Entität, unabhängig von seiner visuellen Erscheinung, ausreicht, um das Spiegelneuronensystem zu aktivieren.

In Studie 4 wurde überprüft, ob die My-Aktivität sensitiv für Spuren menschlichen Verhaltens (Pinselstriche) ist, und ob die Sensitivität für Verhaltensspuren mit den empathischen Fähigkeiten von Personen kovariiert. Es konnte gezeigt werden, dass die My-Aktivität sensitiv für die Komplexität von Objekten ist, die Verhaltensspuren beinhalten, nicht jedoch für die Komplexität von Objekten, die keine Verhaltensspuren beinhalten. Darüber hinaus korreliert die Differenzierung in der My-Aktivität zwischen Objekten mit und ohne Verhaltensspuren mit den empathischen Fähigkeiten des Betrachters. Dies schlägt eine Brücke von

neurowissenschaftlichen Empathiekonzepten zu dem ursprünglichen Konzept der Empathie als ästhetische Einfühlung.

Die Studien zeigen, dass My-Aktivität nicht nur sensitiv für basale empathische Prozesse ist, sondern auch durch kognitive empathische Prozesse moduliert werden kann. Dass das Spiegelneuronensystem selbst in die Wahrnehmung abstrakter Objekte involviert ist und hierbei empathische Prozesse eine Rolle spielen, verdeutlicht die Flexibilität des Spiegelneuronensystems und hebt hervor, dass die soziale und affektive Bedeutung (unabhängig von den perzeptuellen Charakteristika beobachteter Objekte) eine wichtige Rolle in der empathischen Wahrnehmung spielt.

2 Abstract

Empathy is regarded as the ability to gain information about the affective state of other individuals. Empathy includes automatic processes like emotional contagion as well as cognitive processes like perspective taking. The perception-action model of empathy assumes that one's own behaviors and others' behaviors share common neuronal representations and that these representations form the basis of empathic experience. The physiological substrate of these common representations is the mirror neuron system. Electroencephalographic mu-activity (oscillations in the frequency-range of 8-13 Hz) can be used to quantify the activity of the mirror neuron system.

Previous studies investigating the relation between mu-activity and empathic processes commonly used empathy for pain as a model. However, this approach appears as reductionist, because it primarily relates to automatic empathic processes, despite empathy encompassing controlled cognitive processes like perspective taking. Further, due to methodological limitations, given by the specific tasks and stimuli commonly used, this approach does not allow for a discrimination of mirroring mechanisms versus other processes, such as attention modulation. Therefore, in this thesis it is investigated whether mu-activity can be modulated by cognitive processes like perspective taking or compassion. Methods allowing for the disentanglement of empathic processes from other processes are used for this purpose. Further, paradigms are used, which can show, that mu-activity is modulated by the empathic meaning of the stimuli and not by their perceptual features. For this purpose the abstractness of the stimuli is increased over the studies presented.

In study 1 it was investigated whether mu-activity reflects the painfulness of observed actions and whether this effect would be modulated by perspective taking. The results show that mu-activity is indeed modulated by the imagined degree of pain the observed individual

itself feels, and not only the degree of pain the observer would feel in the same situation. It is concluded, that mu-activity is indicative of cognitive processes like perspective taking.

In study 2 it was investigated whether mu-activity during the observation of neutral actions is subject to empathic feelings for the observed individual. It could be shown that mu-activity varies with empathic feelings (compassion) for another individual. Thus, irrespective of the actual meaning of an action, automatic empathic processes at the level of the mirror neuron system can be modulated through empathic feelings for a person.

In study 3 it was investigated whether mu-activity is sensitive to movements of a non-anthropomorphic object, when the object is personalized during a social interaction. It could be shown that movements of the non-anthropomorphic object indeed elicit mu-activity, when a social meaning is ascribed to it. It is concluded, that the perception of an object as a social entity, irrespective of its visual appearance, is sufficient to activate the mirror neuron system.

In study 4 it was investigated, whether mu-activity is sensitive for traces of human actions (brush strokes), and whether the sensitivity for traces of actions varies with the empathic abilities of individuals. It could be shown that mu-activity is sensitive to the complexity of objects with action traces, but not to the complexity of objects without action traces. Furthermore, the difference in mu-activity between objects with and without action traces correlates with the empathic abilities of the observer. This finding links empathy back to the original concept of *Einfühlung*, as a concept of aesthetics and art perception.

Together, the results show that mu-activity is not only sensitive to basic empathic processes, but is modulated through cognitive empathic processes. The flexibility of the mirror neuron system and its sensitivity to the affective and social meaning of objects (regardless of their perceptual features), is illustrated by the fact that the mirror neuron system is even involved in the perception of abstract objects, when they are placed in a social context.

3 Einleitung

Empathie bezeichnet einen Zustand, in dem einem Individuum Informationen über den affektiven Zustand eines anderen Individuums vorliegen. Neben dem aktiven Hineinversetzen in die Perspektive einer anderen Person sind auch automatische Prozesse an Empathie beteiligt: Ausgehend vom Effekt der emotionalen Ansteckung (die Emotion einer anderen Person wird unbewusst übernommen) und der emotionalen Mimikry (die Beobachtung eines Gesichtsausdrucks führt beim Beobachter zu Aktivität in den Muskelgruppen, die für den Gesichtsausdruck notwendig sind) wird angenommen, dass der Mensch das gezeigte Verhalten eines anderen Individuums auf neuronaler Ebene simuliert und so an Informationen über den Zustand des Anderen gelangt.

Das sogenannte Spiegelneuronensystem bildet die neuronale Grundlage dieser Simulationsprozesse. Das Spiegelneuronensystem besteht aus Gehirnarealen, die sowohl aktiv sind, wenn eine Handlung selbst ausgeführt oder eine Emotion selbst erlebt wird, als auch wenn die Handlung oder Emotion bei einer anderen Person beobachtet wird. Die gemeinsame neuronale Repräsentation von Erleben und Beobachtung ermöglicht es den Zustand einer anderen Person nachzufühlen.

Bei dem My-Rhythmus handelt es sich um Oszillationen im humanen Elektroenzephalogramm, deren Amplitude invers mit der Aktivität des Spiegelneuronensystems verknüpft ist. Die Messung des My-Rhythmus bildet daher ein nicht-invasives Verfahren, um den Zustand des Spiegelneuronensystems abzubilden. In Übereinstimmung mit der Theorie, dass das Spiegelneuronensystem in empathische Prozesse involviert ist, kann der My-Rhythmus über empathische Prozesse moduliert werden. Forschung in diesem Bereich beschränkt sich jedoch vor allem auf automatische Prozesse wie emotionale Ansteckung und Schmerzempathie. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu prüfen, ob My-Aktivität auch durch höhere kognitive Prozesse (Perspektivübernahme und Mitgefühl) und abstrakte Formen der Empathie (Vermensch-

lichung von Gegenständen und ästhetische Einfühlung bei abstrakter Kunst) moduliert werden kann.

Besonderer Wert wird bei den Studien darauf gelegt, Modulationen der My-Aktivität von Modulationen der Alpha-Aktivität (die im gleichen Frequenzband gemessen wird) abzugrenzen. Alpha-Aktivität ist sensitiv für Aufmerksamkeitsprozesse und die kognitive Beanspruchung eines Individuums. Sowohl Aufmerksamkeitsprozesse als auch die kognitive Beanspruchung sind mit empathischen Prozessen konfundiert. Es werden daher Aufgaben verwendet und Studiendesigns gewählt, die eine Dissoziation von Alpha- und My-Aktivität erlauben, und durch Verwendung gleicher Stimuli in allen Bedingungen, Aufmerksamkeitsprozesse aufgrund der Stimuli konstant halten.

Im Theoretischen und Empirischen Hintergrund (Kapitel 4) wird zunächst das Konstrukt Empathie erläutert und in die Teilaspekte aufgeschlüsselt, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden (Kapitel 4.1). Anschließend wird über das *Perception-Action Model* der Empathie der Zusammenhang zwischen empathischen Prozessen und dem Spiegelneuronensystem hergestellt (Kapitel 4.2). In Kapitel 4.3 wird My-Aktivität als Maß für die Aktivität des Spiegelneuronensystems eingeführt und ein kurzer Überblick über den aktuellen Forschungsstand zur Verknüpfung von My-Aktivität mit empathischen Prozessen gegeben. Abschließend wird die Fragestellung der vorliegenden Arbeit erläutert und ein kurzer Überblick über die Studien gegeben.

Im Kapitel Methoden (Kapitel 5) wird der Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen als Maß für empathische Persönlichkeitseigenschaften vorgestellt (Kapitel 5.1) Anschließend wird ein Überblick über die zur Aufbereitung der elektroenzephalographischen Daten verwendeten Methoden gegeben (Kapitel 5.2 und 5.3)

In Kapitel 6 (Überblick über die Studien) wird ein ausführlicher Überblick über die Studien gegeben. In Kapitel 7 (Zusammenfassende Diskussion) werden dann die Ergebnisse der Einzelstudien in ihrem Zusammenwirken betrachtet.

4 Theoretischer und Empirischer Hintergrund

4.1 Empathie

4.1.1 Definition

Das Wort Empathie stammt nur indirekt vom dem altgriechischen Wort ἐμπάθεια (*empátheia*) ab, das sich mit Leidenschaft übersetzen lässt. Tatsächlich ist der Begriff in der Neuzeit als Rückübersetzung des deutschen Wortes *Einfühlung* aus dem Englischen (*Empathy*; Titchener, 1909) entstanden, das von dem deutschen Ästhetik-Forscher Theodor Lipps (1906) geprägt wurde. Ursprünglich verwendete Lipps das Wort Einfühlung, um zu beschreiben, wie ästhetischen Objekten (z.B. Architektur, abstrakte Kunstwerke), Gefühle, Wille und Aktivität zugeordnet werden. Später dehnte er den Begriff der Einfühlung auf menschliche Handlungen und Emotionen aus (Gladstein, 1984; Lipps, 1906).

In der modernen Psychologie wird Empathie für eine Vielzahl von Phänomenen verwendet, die teilweise überlappen. Gemeinsam haben die Konzepte, dass Empathie als ein Zustand bezeichnet wird, in dem Informationen über den affektiven Zustand einer anderen Person vorliegen. Hierdurch grenzt sich Empathie von dem stark überlappenden Konzept der *Theory of Mind* ab, das sich generell mit Informationen über den mentalen Zustand einer anderen Person auseinandersetzt (z.B. Handlungsziele oder Motive für eine Handlung).

Die Konzepte von Empathie lassen sich danach unterteilen, ob sie beschreiben, wie Informationen über den Gefühlszustand einer anderen Person erlangt und repräsentiert werden oder ob sie beschreiben, wie diese Information Verhalten motivieren kann (Batson, 2009). Informationen über den Gefühlszustand einer anderen Person können über drei Klassen von Prozessen erlangt werden: 1) Aufgrund von Alltagserfahrungen und tradiertem Wissen bilden Menschen Theorien über das Verhalten und die Motive anderer Menschen, die dazu genutzt werden, den Gefühlszustand einer anderen Person vorherzusagen (Theorie-Theorie, z.B. *Empathic Accuracy*; Ickes, 1993). 2) Menschen versuchen die Situation eines anderen Menschen zu simulieren, indem sie entweder sich selbst in die Situation der Person hineinversetzen

(Rollenübernahme; Mead, 1967) oder versuchen, die Sichtweise der anderen Person einzunehmen (Simulationstheorie und Perspektivübernahme; Batson, Early, & Salvarani, 1997). 3) Automatische Prozesse führen dazu, dass der affektive Zustand der anderen Person nachgefühlt wird (emotionale Ansteckung und Affektive Empathie; Hodges & Wegner, 1997; Zahn-Waxler, Robinson, & Emde, 1992). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Übertragung einer Emotion nicht ausreicht, um von Empathie zu sprechen, da Empathie Wissen über die Quelle der Emotion (die andere Person) voraussetzt (Batson et al., 1991; Decety & Jackson, 2004).

Neurophysiologische Studien zeigen, dass unterschiedliche Systeme an kognitiver und affektiver Empathie beteiligt sind. So sind während Aufgaben, die vor allem kognitive Empathie und *Theory of Mind* beanspruchen, der Präfrontalkortex, insbesondere der ventromediale präfrontale Gyrus aktiv, während bei Aufgaben, die affektive Empathie beanspruchen, der inferiore frontale Gyrus und limbische Strukturen aktiv sind (Shamay-Tsoory, Aharon-Peretz, & Perry, 2009; Vignemont & Singer, 2006).

Die Auftrennung in zwei distinkte Systeme ist jedoch problematisch, da im realen Leben beide Systeme miteinander interagieren und die unterschiedlichen Aktivierungen auch auf die unterschiedlichen Forschungsparadigmen (z.B. verwendete Stimuli) zurückgeführt werden können (Zaki & Ochsner, 2012).

4.2 Das Perception-Action Model

Im Rahmen des *Perception-Action* Modells der Empathie (Preston & de Waal, 2002) lassen sich empathische Prozesse über neuronale Spiegelmechanismen erklären. Es bildet daher die theoretische Grundlage, um My-Aktivität als Marker für die Aktivität des Spiegelneuronensystems mit empathischen Prozessen in Verbindung zu bringen.

Das *Perception-Action Model* der Empathie (Preston & de Waal, 2002) begründet sich in der *Perception-Action* Theorie der Wahrnehmung von Prinz (1997). Die *Perception-Action*

Theorie der Wahrnehmung geht davon aus, dass bei der Planung und Ausführung einer Handlung die gleichen Gehirnareale aktiv sind wie bei der Beobachtung einer Handlung. Es kommt, so die Annahme, zu einer inneren Simulation der beobachteten Handlung, wie bereits 1906 von Lipps postuliert wurde (siehe Kapitel 4.1). Evidenz für diese Theorie ergibt sich aus der Entdeckung der Spiegelneurone bei Makaken (*macaca nemestrina*; Di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese, & Rizzolatti, 1992). Spiegelneurone bezeichnen eine Klasse von visuomotorischen Neuronen im Areal F5 des Makaken, die sowohl aktiv sind, wenn eine Handlung beobachtet wird, als auch wenn die Handlung selbst ausgeführt wird. Das menschliche Homolog zum Areal F5 bilden die Brodmann Areale 44 (Broca Areal) und 6 (Prämotorischer Kortex und Supplementärmotorischer Kortex), die auch in empathische Prozesse involviert sind (Morin & Grèzes, 2008; Rizzolatti & Craighero, 2004; Vignemont & Singer, 2006).

Beim Menschen gibt es vor allem indirekte Evidenz für Spiegelneurone, da in der Regel nur die Summenaktivität von Neuronenverbänden gemessen wird und bis auf Ausnahmen keine Einzelzellableitungen möglich sind. Es existieren jedoch zwei Studien mit Epilepsie-Patienten, die sowohl Motorneurone als auch Neurone im anterioren cingulären Kortex (die die affektive Dimension von Schmerz kodieren) mit Spiegelneuronencharakteristik nachweisen konnten (Hutchison, Davis, Lozano, Tasker, & Dostrovsky, 1999; Mukamel, Ekstrom, Kaplan, Iacoboni, & Fried, 2010). Auf der Ebene neuronaler Netzwerke deutet eine Reihe von bildgebenden und elektrophysiologischen Studien darauf hin, dass auch beim Menschen Areale sowohl bei der Ausführung als auch bei der Beobachtung von Handlungen aktiv sind (z.B.: Buccino et al., 2001; Fadiga et al., 1999; Iacoboni et al., 1999; für ein *Review* siehe Rizzolatti & Craighero, 2004). Diese Studien können jedoch nicht differenzieren, ob es sich tatsächlich um eine distinkte Klasse von Spiegelneuronen handelt oder um Netzwerke (aber nicht einzelnen Neurone innerhalb der Netzwerke), die sowohl an der Ausführung als auch Beobachtung von Handlungen beteiligt sind.

Der Mechanismus der gemeinsamen Repräsentation von ausgeführten und beobachteten Handlungen lässt sich auf Sinneswahrnehmungen und Emotionen ausdehnen. So sind beispielsweise bei taktiler Berührung (Keysers et al., 2004), Schmerz (Jackson, Meltzoff, & Decety, 2005; Singer et al., 2004) und Ekel (Wicker et al., 2003) die gleichen neuronalen Netzwerke sowohl aktiv, wenn diese selbst erlebt werden, als auch wenn sie bei anderen Personen beobachtet werden.

4.2.1 Empathie im Rahmen des Perception-Action Model

Das *Perception-Action Model* von Preston und de Waal (2002) beschreibt Empathie als neurophysiologischen Prozess, der unabhängig davon ist, ob affektive oder kognitive Komponenten der Empathie vorrangig für das empathische Empfinden sind. Sie definieren Empathie als einen Prozess, der durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet ist:

> *„Attended perception of the object's state automatically activates the subject's representations of the state, situation, and object, and that activation of these representations automatically primes or generates the associated autonomic and somatic responses, unless inhibited."*
> (Preston & de Waal, 2002, S.4)

Empathie ist also ein Zustand, der dadurch hervorgerufen wird, dass automatisch die Repräsentationen des emotionalen Zustands aktiviert werden, wenn die Aufmerksamkeit auf den Zustand der anderen Person gerichtet wird. Unter Repräsentationen verstehen Preston und de Waal (2002) hierbei sämtliche neuronale und physiologische Aktivität, die notwendig ist, um einen bestimmten Zustand zu erleben (Preston, 2007). Hierin überlappt das *Perception-Action Model* mit der Theorie der somatischen Marker von Damasio (2005). In beiden Modellen werden durch eine Wahrnehmung die entsprechenden Repräsentationen aktiviert, die wiederum mit Gefühlen und Empfindungen verknüpft sind. Neuronale Grundlage dieser gemeinsamen Repräsentation bildet das Spiegelneuronensystem.

Obwohl das *Perception-Action Model* automatische Prozesse beschreibt, ist es auch mit kognitiven Theorien der Empathie vereinbar. Nach Preston und de Waal (2002) bildet das *Perception-Action* Netzwerk eine evolutionär alte Komponente der Empathie, der evolutionär jüngere kognitive Komponenten nachgeschaltet sind, die eine Inhibition der automatischen Reaktion und dadurch ein größeres Verhaltensrepertoire ermöglichen.

4.3 My-Aktivität

Über die elektroenzephalographische My-Aktivität lässt sich die Aktivität des Spiegelneuronensystems abbilden. Da im Rahmen des *Perception-Acti*on Models der Empathie das Spiegelneuronensystem die neuronale Grundlage empathischer Prozesse bildet, sollte My-Aktivität auch sensitiv für empathische Prozesse sein. Im Folgenden wird zuerst die Familie der Alpharhythmen, zu der die My-Aktivität gehört, beschrieben. Anschließend werden die Eigenschaften der My-Aktivität charakterisiert und der Zusammenhang von My-Aktivität mit sozialer und empathischer Wahrnehmung aufgezeigt.

4.3.1 Die Familie der Alpha-Rhythmen

Die My-Aktivität gehört zu der Familie der Alpha-Rhythmen. Die Familie der Alpha-Rhythmen bezeichnet rhythmische Oszillationen im Elektroenzephalogramm (EEG) und Magnetenzephalogramm (MEG), die in einem Frequenzbereich zwischen 8-13 Hz spontan im Ruhezustand auftreten.

Die neurophysiologische Ursache für die Alpha-Rhythmen ist ungeklärt und es existieren konkurrierende Modelle (Buzsáki, 2006). Das Schrittmacher-Modell geht davon aus, dass Alpha-Rhythmen durch distinkte Neuronenpopulationen im Kortex oder Thalamus erzeugt werden, die wiederum andere Neurone anregen (Buzsáki, 2011). Eine zweite Klasse von Modellen geht davon aus, dass die Alpha-Rhythmen durch systemimmanente Eigenschaften größerer neuronaler Netzwerke entstehen. So wird beispielsweise angenommen, dass Alphaaktivität aufgrund der Summenaktivität nicht-linear gekoppelter Oszillatoren auftritt (Wiener, 1961). Filter-Modelle gehen davon aus, dass neuronale Systeme eine intrinsische Filtercha-

rakteristik besitzen, die zu einer relativen Verstärkung der Alpha-Frequenzen in einem chaotischen Signal führt (Nunez, 2000).

Ursprünglich wurde angenommen, dass die Alpha-Rhythmen während des Ruhezustands des Gehirns auftreten (Compston, 2010; Pfurtscheller, Stancák, & Neuper, 1996). Jüngere Theorien nehmen an, dass der Alpha-Rhythmus in nicht-aufgabenrelevanten Kortexarealen auftritt, die aktiv inhibiert werden, um ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis zu gewährleisten (Klimesch, Doppelmayr, Schwaiger, Auinger, & Winkler, 1999; Ray & Cole, 1985a, Ray & Cole, 1985b). Alpha-Rhythmen hängen jedoch nicht nur mit verringerter Aktivität in Kortexarealen zusammen, sondern scheinen auch eine Rolle bei internalen mentalen Operationen und dem Informationsaustausch zwischen Kortexarealen zu spielen (Pineda, 2005; Stein & Sarnthein, 2000).

3.3.2 Eigenschaften der My-Aktivität

Die Eigenschaften des My-Rhythmus wurden das erste Mal von Gastaut und Bert (1954) unter der Bezeichnung *rhytme en arceau* beschrieben. In der Literatur findet sich auch die Bezeichnung Rolandischer Rhythmus, die auf den Entstehungsort des Rhythmus, die rolandische Fissur verweist. Der My-Rhythmus wird an den zentralen Elektrodenpositionen (häufig die Elektroden C3 und C4 des 10/10 Systems) über dem sensomotorischen Kortex abgeleitet und weißt eine somatotope Organisation auf (Pfurtscheller, Neuper, Andrew, & Edlinger, 1997).

Die Oszillationen des My-Rhythmus haben eine Dauer von ca. 2 Sekunden und treten spontan auf, wenn sich der Proband im (motorischen) Ruhezustand befindet (Gastaut & Bert, 1954; Pineda, 2005). Führt der Proband einen Motorakt aus (Arroyo et al., 1993; Kuhlman, 1978) oder wird taktil gereizt (Gaetz & Cheyne, 2006), ist die Amplitude des My-Rhythmus reduziert (My-Suppression). My-Aktivität ist negativ mit der BOLD-Aktivität in Regionen, die dem Spiegelneuronensystem zugeordnet werden, korreliert (sensomotorischer Kortex und inferiorer Parietallappen; Arnstein, Cui, Keysers, Maurits, & Gazzola, 2011; Braadbaart, Wil-

liams, & Waiter, 2013; Perry & Bentin, 2009; Ritter, Moosmann, & Villringer, 2009). Dies deutet darauf hin, dass während einer Verringerung der My-Aktivität eine asymmetrische Aktivierung der neuronalen Netzwerke im sensomotorischen Kortex vorliegt (Pineda, 2005).

Eine Verbindung zwischen My-Aktivität und dem Spiegelneuronensystem wurde erstmals von Altschuler (1997) postuliert. Dieser Zusammenhang wird angenommen, da der My-Rhythmus in seiner Phänomenologie der des Spiegelneuronensystems ähnelt: My-Suppression tritt nicht nur auf, wenn Handlungen beobachtet werden, oder taktile Stimulation erfolgt, sondern auch wenn Handlungen oder taktile Stimulation anderer beobachtet oder vorgestellt werden (Muthukumaraswamy & Johnson, 2004; Muthukumaraswamy, Johnson, & McNair, 2004). Auch auf anatomischer Ebene kann ein Zusammenhang zwischen My-Aktivität und dem Spiegelneuronensystem angenommen werden. So ist der sensomotorische Kortex, in dem My-Rhythmen generiert werden, Teil des Spiegelneuronensystems (Pineda, 2008) und My-Aktivität ist negativ mit der Aktivität des Spiegelneuronensystem korreliert (Braadbaart et al., 2013). Daher wird angenommen, dass die Suppression der My-Aktivität während der Beobachtung von Handlungen ein spezifisches Maß für die Aktivität des Spiegelneuronensystems ist (Oberman, McCleery, Ramachandran, & Pineda, 2007).

4.3.3 My-Aktivität und soziale Wahrnehmung

Im Rahmen des *Perception-Action* Modells wird angenommen, dass das Spiegelneuronensystem an der sozialen Wahrnehmung beteiligt ist (für *Reviews* siehe: Gallese, Keysers, & Rizzolatti, 2004; Keysers & Gazzola, 2006; Rizzolatti & Fabbri-Destro, 2008). Entsprechend sollte My-Aktivität als Maß für die Aktivität des Spiegelneuronensystems sensitiv für soziale Information sein und durch empathische Prozesse moduliert werden.

Tatsächlich zeigt sich stärkere My-Suppression auf beobachtete Handlungen, wenn die Intention und Emotionalität der Handlung festgestellt werden soll (Perry, Troje, & Bentin, 2010). Darüber hinaus wird My-Aktivität durch soziale Faktoren wie Gruppenzugehörigkeit (Gutsell & Inzlicht, 2010) und soziale Interaktion (Oberman et al., 2007; Perry, Stein, & Ben-

tin, 2011) moduliert. Des Weiteren zeigen Personengruppen mit Störungen empathischer Fähigkeiten eine geringere My-Suppression auf beobachtete Handlungen (z.B. Autismus und Schizophrenie; Bernier, Dawson, Webb, & Murias, 2007; Oberman et al., 2005; Oberman, Ramachandran, & Pineda, 2008; Singh, Pineda, & Cadenhead, 2011).

Der Zusammenhang zwischen empathischen Prozessen und My-Aktivität wurde vor allem im Paradigma der Schmerzempathie untersucht. Hierbei zeigt sich, dass die My-Suppression stärker ausfällt, wenn schmerzhafte Stimulation beobachtet wird (Cheng, Yang, Lin, Lee, & Decety, 2008; Mu, Fan, Mao, & Han, 2008; Perry, Bentin, Bartal, Lamm, & Decety, 2010; Whitmarsh, Nieuwenhuis, Barendregt, & Jensen, 2011; Yang, Decety, Lee, Chen, & Cheng, 2009). Diese Reduktion der My-Aktivität wird auf die Rekrutierung von Neuronen im somatosensorischen Kortex zurückgeführt, die die Intensität des beobachteten Schmerzes abbilden und hierdurch ein Nachempfinden des Schmerzes ermöglichen.

Korrelative Studien mit Schmerzempathie-Paradigma, die My-Aktivität mit *Trait*-Empathiemaßen verbinden, zeigen ein sehr uneinheitliches Bild und lassen daher in ihrer Gesamtbetrachtung keine Rückschlüsse zu: Je nach Studie finden sich keine Korrelationen mit Empathiemaßen (Whitmarsh et al., 2011), nur Korrelationen mit *Personal Distress* bei Frauen (Yang, Decety, Lee, Chen, & Cheng, 2009) oder Korrelationen mit *Perspective Taking* (Cheng, Yang, Lin, Lee, & Decety, 2008).

4.4 Ableitung der Fragestellung

Korrelative Studien, die versuchten My-Aktivität mit Empathie als Persönlichkeitseigenschaft in Verbindung zu bringen, zeigen ein sehr uneinheitliches Bild (Woodruff et al., 2011). Experimentelle Studien wiederum beschränken sich auf den Bereich der Schmerzempathie. Das Paradigma der Schmerzempathie birgt jedoch zwei Probleme:

1) Über Schmerzempathie wird das Konstrukt der emotionalen Ansteckung operationalisiert. Hierbei handelt es sich um eine basale automatische Komponente der

Empathie. Da Empathie jedoch auch kognitive Fähigkeiten wie Perspektivübernahme beinhaltet, kann der Ansatz das Gesamtkonstrukt Empathie über Schmerzempathie zu operationalisieren als reduktionistisch betrachtet werden (Zaki & Ochsner, 2012).

2) Die im Rahmen des Schmerzempathie-Paradigmas verwendeten Stimuli (schmerzhafte und nicht-schmerzhafte Situationen) unterscheiden sich inhärent in ihrer Salienz, da potentiell gefährliche Situationen (schmerzhafte Situationen) überlebensrelevanter sind als gefahrlose Situationen (nicht-schmerzhafte Situation). Somit binden die schmerzhaften Situationen mehr Aufmerksamkeit. Da Aufmerksamkeitsprozesse die Alpha-Aktivität modulieren, die im gleichen Frequenzband wie die My-Aktivität gemessen wird, können Aufmerksamkeitseffekte im Alpha-Band Effekte auf die My-Aktivität überlagern. Verstärkt wird die Konfundierung mit Aufmerksamkeitsprozessen dadurch, dass passive Paradigmen verwendet werden, bei denen die Stimuli nur betrachtet (und bewertet) werden sollen.

Einige Studien haben versucht, den Einfluss höherer kognitiver Fähigkeiten auf die My-Aktivität im Rahmen der Schmerzempathie zu untersuchen. Bei diesen Studien handelt es sich jedoch entweder um quasiexperimentelle Designs, oder Designs die keine Dissoziation von Aufmerksamkeitsprozessen, kognitiver Beanspruchung und empathischen Prozessen zulassen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt daher zwei Ziele:

1) Es soll überprüft werden, ob neben basalen Prozessen wie der Schmerzempathie auch höhere empathische Prozesse die My-Aktivität modulieren können. Die Verknüpfung von basalen Prozessen wie Schmerzempathie und Handlungsbeobachtung mit höheren empathischen Fähigkeiten wie Perspektivübernahme und Mitgefühl ermöglicht zum einen eine lebensnahe Untersuchung empathischer Prozesse als die Betrachtung der Einzelkomponenten (Zaki & Ochsner, 2012).

Zum anderen kann hierdurch geprüft werden, ob das Spiegelneuronensystem nur die Grundlage für weitere empathische Prozesse bildet, oder auch Rückkopplungen von höheren Ebenen zum Spiegelneuronensystem stattfinden.

2) Die Studien sollen es ermöglichen mit den Aufgaben und Stimuli konfundierte Prozesse, die die Alpha-Aktivität beeinflussen von Einflüssen empathischer Prozesse auf die My-Aktivität abzugrenzen. Hierzu werden zum einen Aufgaben und Designs verwendet, die eine klare Dissoziation der unterschiedlichen Prozesse zulassen. Zum anderen werden die Aufgaben so gestaltet, dass das gleiche Stimulusmaterial in allen Bedingungen Anwendung findet, um Konfundierungen mit dem Stimulusmaterial auszuschließen. Des Weiteren wird in jeder Studie die okzipitale Alpha-Aktivität als Kontrolle für Aufmerksamkeitseffekte (Woodruff, Daut, Brower, & Bragg, 2011) mit erhoben.

Über die bisherige Forschung hinausgehend soll auch untersucht werden, inwieweit empathische Prozesse unter der Verwendung abstrakten Stimulusmaterials die My-Aktivität beeinflussen können. Über Paradigmen, die abstrakte Stimuli verwenden, kann einerseits geprüft werden, wie spezifisch bzw. flexibel das Spiegelneuronensystem ist und wo die Grenzen des empathischen Empfindens liegen. Daher wird über die Studien hinweg der Abstraktionsgrad des verwendeten Stimulusmaterials erhöht (siehe Abbildung 2).

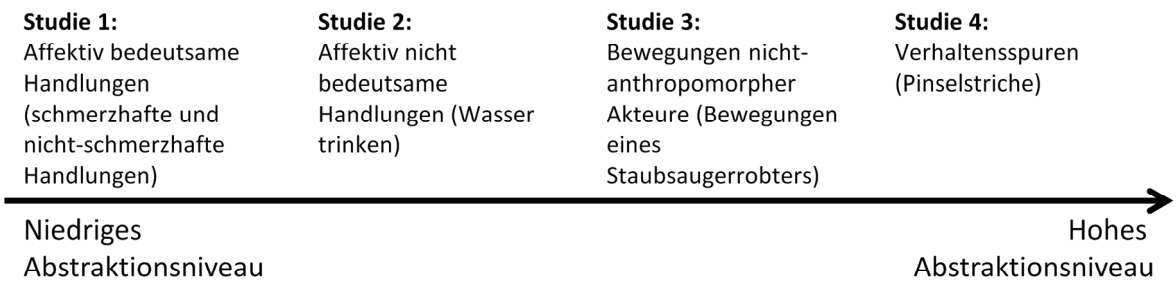


Abbildung 2: Abstraktionsniveau der Stimuli, auf die My-Suppression gemessen wurde.

4.4.1 Studie 1: "Somatosensory mu-activity reflects imagined pain intensity of others."

Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (2015). Somatosensory mu-activity reflects imagined pain intensity of others. *Psychophysiology*. Advance online publication.

My-Suppression ist während der Beobachtung schmerzhafter Stimulation stärker ausgeprägt, als wenn eine nicht-schmerzhafte Stimulation beobachtet wird (Cheng et al., 2008; Mu et al., 2008; Perry et al., 2010; Yang et al., 2009). Dies wird als ein Korrelat emotionaler Ansteckung gedeutet. Eine Modulation dieses automatischen Prozesses durch kognitive Mechanismen ist notwendig, da eine automatische Affektansteckung zu Vermeidungs- und Fluchtreaktionen führen kann, die eine situationsangemessene Reaktion verhindern können (Preston & Waal, 2002). Übereinstimmend mit dieser Theorie konnten Studien zeigen, dass die My-Suppression auf beobachtete schmerzhafte Stimulation durch Perspektivübernahme-Aufgaben und Erfahrung modelliert werden kann (Cheng et al., 2008; Perry et al., 2010).

Bisherige Studien können jedoch nicht aufzeigen, dass die Verringerung der My-Aktivität auf die nachempfundene Schmerzhaftigkeit zurückzuführen ist. Dies liegt zum einen darin begründet, dass schmerzhafte Stimuli inhärent Aufmerksamkeitsprozesse beeinflussen, da sie eine Gefahrensituation darstellen. Zum anderen sind bei Perry et al. (2010) Konfundierungen mit der Perspektivübernahme-Aufgabe möglich, da die Aufgabe mit den Stimuli-Kategorien verschränkt ist (schmerzhafte Stimulation soll als nicht-schmerzhaft und nicht-schmerzhafte Stimulation als schmerzhaft für die beobachtete Person vorgestellt werden).

In Studie 1 soll daher überprüft werden, ob die My-Aktivität die vorgestellte Schmerzhaftigkeit widerspiegelt, oder durch konfundierte Aufmerksamkeitsprozesse und/oder die kognitive Anstrengung moduliert wird. Hierzu wird ein Design verwendet, dass eine Dissoziation dieser Prozesse zulässt: Unabhängig von der auf den Bildern dargestellten Schmerzhaftigkeit von Handlungen erhalten Probanden die Aufgabe, sich vorzustellen, dass die Handlungen als nicht-schmerzhaft oder besonders schmerhaft empfunden werden, oder dass die

Schmerzwahrnehmung der auf den Bildern dargestellten Schmerzhaftigkeit entspricht. Wenn die My-Aktivität die vorgestellte Schmerzhaftigkeit widerspiegelt, sollte sich ihre Amplitude mit ansteigender vorgestellter Schmerzhaftigkeit verringern.

4.4.2 Studie 2: "Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes."

Hoenen, M. Schain, C., & Pause, B. M. (2013). Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes. Social Neuroscience, 8(5), 515-524.

Wie in Kapitel 4.4 dargestellt, konzentriert sich die Forschung zu Zusammenhängen von My-Aktivität und Empathie auf das Paradigma der Schmerzempathie. Schmerzempathie bildet jedoch nur ein Teilkonstrukt von Empathie ab, da es nur automatische passive Prozesse abbildet. Empathie beinhaltet jedoch auch Gefühle für das Gegenüber (z.B. Mitgefühl; Batson, 2009).

In Studie 2 soll daher geprüft werden, ob durch ein empathisches *Priming* für den beobachteten Akteur die Stärke der My-Suppression auf neutrale Handlungen des Akteurs moduliert werden kann. Durch die Verwendung neutraler Handlungen wird die My-Suppression ausschließlich durch die Beziehung zum Akteur (Mitgefühl) moduliert, nicht durch den Bedeutungsgehalt der Handlung. Durch die Verwendung von Videos statt statischer Bilder sowie einer Kontrollbedingung, in der die Probanden selbst handeln sollen, wird zudem die externe Validität der Studie erhöht.

Es wird angenommen, dass die My-Suppression auf neutrale Handlungen eines Akteurs stärker ausfällt, wenn ein empathisches *Priming* für den Akteur stattfand.

4.4.3 Studie 3: "Non-antropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level."
Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (2016). Non-antropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level. *Computers in Human Behavior*, 57, 182-186.

Bisherige Studien können zeigen, dass sich sowohl auf Ebene des subjektiven Erlebens als auch auf neuronaler Ebene empathische Prozesse für zoomorphe Roboter induzieren lassen. (Rosenthal-von der Pütten et al., 2014; Rosenthal-von der Pütten, Krämer, Hoffmann, Sobieraj, & Eimler, 2013). In Studie 3 soll geprüft werden, wo die Grenzen des Empathie-Empfindens liegen. Da My-Aktivität nur sensitiv für anthropomorphe bzw. zoomorphe Objekte und Bewegungen ist, kann geprüft werden, ob eine Induktion von Mitgefühl für ein nicht-anthropomorphes Objekt das Spiegelneuronensystem für seine Bewegungen sensitiviert und somit eine Art von *Vermenschlichung* des Objekts stattfindet (Oberman et al., 2007; Ward, Olsen, & Wegner, 2013). Hierzu wird das *Empathiepriming* aus Studie 2 auf Staubsaugerroboter übertragen. Der Roboter wird in einer Bedingung wie ein Gegenstand und in einer anderen Bedingung aggressiv behandelt. Anschließend wird die My-Suppression auf neutrale Bewegungen des Roboters gemessen. Es wird angenommen, dass die My-Suppression stärker ausgeprägt ist, wenn die Interaktion mit dem Roboter als aggressiv wahrgenommen wird.

4.4.4 Studie 4: "Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study"
Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (2015). *Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study.* Manuskript eingereicht zur Publikation bei *Psychological Science.*

Das ursprüngliche Konzept der Empathie von Lipps (1906) bezieht sich auf die ästhetische Wahrnehmung von Kunstwerken. Nach Lipps kommt es zu einem inneren Nachfühlen des Kunstwerkes. Tatsächlich konnten Studien zeigen, dass My-Aktivität sensitiv für abstrak-

te Kunstwerke ist, die Verhaltenspuren (z.B. Pinselstriche) beinhalten (Sbriscia-Fioretti et al., 2013; Umiltá, Berchio, Sestito, Freedberg, & Gallese, 2012). Auch in Studien aus dem Bereich der Psycholinguistik findet diese Theorie Anwendung (Schrift und Sprache als Verhaltensspuren). In bisherigen Studien ist jedoch die Anwesenheit von Verhaltensspuren mit einer erhöhten Komplexität (im Vergleich zu den Kontrollstimuli) konfundiert und ihre Aussagekraft daher eingeschränkt.

In Studie 4 wird daher die visuelle Komplexität der Stimuli unabhängig von der Anwesenheit von Verhaltensspuren moduliert. Hierdurch wird eine Dissoziation von visueller Komplexität und der Anwesenheit von Verhaltensspuren möglich. Über die Messung der okzipitalen Alpha-Aktivität wird zudem ermöglicht, auch auf elektrophysiologischer Ebene Prozesse des visuellen Systems und des Spiegelneuronensystems voneinander abzugrenzen. Es wird die Annahme geprüft, dass My-Aktivität ausschließlich sensitiv für die Komplexität von Grafiken ist, die Verhaltensspuren beinhalten, nicht jedoch für die Komplexität von Grafiken ohne Verhaltensspuren. Des Weiteren ermöglicht die Verwendung abstrakter Stimuli die Prüfung der Hypothese, dass die empathischen Fähigkeiten mit der Sensitivität des Spiegelneuronensystems korrelieren.

5 Methode

5.1 Der Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen

Der Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen (SPF) stellt eine deutschsprachige Adaptation des *Interpersonal Reactivity Index* (IRI) dar, dem meist verwendeten Fragebogen zur Erfassung von *Trait*-Empathie (Davis, 1983; Paulus, 2009). Der SPF erfasst vier verschiedene Konstrukte von Empathie: *Fantasy* erfasst die Fähigkeit, die Gefühle von fiktiven Personen (z.B. aus Romanen und Filmen) nachzufühlen. Hohe Werte auf dieser Skala gehen mit gesteigerter physischer Erregung einher (Paulus, 2009; Stotland, 1978). *Perspective Taking* bildet die Fähigkeit ab, spontan die Sichtweise anderer Personen einnehmen zu können und hat so-

mit einen starken Bezug zu interpersonellen Fähigkeiten. *Empathic Concern* und *Personal Distress* bilden ab, wie auf das wahrgenommene Leid anderer reagiert wird. *Empathic Concern* misst fremdorientierte Gefühle wie Mitleid und Sorge für leidende Personen, während *Personal Distress* eigenfokussierte Gefühle, wie das Unwohlsein in engen interpersonalen Situationen misst. *Personal Distress* wird auch als Maß für Emotionsregulation interpretiert (Baron-Cohen & Wheelwright, 2004; Paulus, 2009). Nach Paulus (2009) bildet *Perspective Taking* kognitive Empathiekomponenten ab, während *Fantasy*, *Empathic Concern* und *Personal Distress* affektive Komponenten von Empathie widerspiegeln.

Der SPF enthält im Gegensatz zum IRI keine negativ formulierten Items. Hierdurch konnte eine klarere Faktorenstruktur erzielt werden. Jedoch zeigen auch beim SPF die Faktoren mittlere Korrelationen untereinander (Paulus, 2009). Neuere Studien deuten darauf hin, dass sich die Faktoren des SPF, mit Ausnahme von *Empathic Concern*, in zwei Subfaktoren zerlegen lassen (Koller & Lamm, 2015). Aufgrund von nur vier Items pro Faktor bzw. zwei Items pro Subfaktor wird dadurch eine Interpretation der Faktoren erschwert.

5.2 Überführung der EEG-Daten aus der Zeit-Domäne in die Frequenzdomäne

Das quantisierte EEG-Signal liegt als eine Reihe diskreter Werte in der Zeitdomäne (Spannung über Zeit) vor. Unterschiede in der Stärke einzelner Frequenzen lassen sich jedoch einfacher bestimmen, wenn die Signale in der Frequenzdomäne vorliegen. Hierzu ist eine Transformation der Daten notwendig. In der vorliegenden Arbeit wurden hierfür die Verfahren der Fourier-Analyse und der Wavelet-Analyse verwendet. Die Kombination beider Verfahren ermöglicht zum einen eine hohe Frequenzauflösung im Alphaband (Fourier-Analyse) als auch eine Prüfung von Veränderungen im zeitlichen Verlauf (Wavelet-Analyse).

5.2.1 Die Fourier-Analyse

Durch die Fourier-Analyse kann ein beliebiges periodisches Signal durch eine Summe von harmonischen Kosinusfunktionen dargestellt werden. Hierbei wird jede der harmonischen Schwingungen (ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz) durch ihre Amplitude, Frequenz und Phasenverschiebung charakterisiert. Die Grundfrequenz und damit die Frequenzauflösung der Fourier-Analyse ergibt sich aus dem Kehrwehrt der Signallänge 1/T. Hieraus folgt, dass die zeitliche Auflösung und die Freqenzauflösung der Fourieranalyse in einem inversen Verhältnis zueinander stehen: Je kürzer das Auswertungsintervall gewählt wird, desto höher ist die zeitliche Auflösung, aber desto geringer ist die Frequenzauflösung. Die Wahl eines geeigneten Auswertungsfensters stellt also immer einen Kompromiss aus Zeit- und Frequenzauflösung dar.

Da zeitdiskrete Daten vorliegen, findet das Verfahren der diskreten Fast-Fourieranalyse Anwendung. Der Fast-Fourier-Algorithmus reduziert für den Fall dass $N=2^x$ Datenpunkte vorliegen den Rechenaufwand von N^2 auf $N \log_2(N)$ Rechenoperationen (Hoffmann, 1998).

Die Fourieranalyse geht von einem periodischen Signal aus. Das EEG stellt jedoch kein periodisches Signal dar. Durch die Diskontinuität, die zwischen Anfangs- und Endpunkt des Auswertungsfensters entsteht, kommt es zu dem sogenannten Leck-Effekt (*Leakage*), der zu einer Verschmierung (*smearing*) des Frequenzspektrums führt. Der Leck-Effekt lässt sich durch eine Faltung des auszuwertenden Signals mit einer passenden Fensterfunktion reduzieren. Die Faltung führt dazu, dass Anfangs- und Endpunkt des Signals auf Null gezogen werden und hierdurch keine Diskontinuität mehr besteht. Jedoch wird durch die Fensterung die Frequenzauflösung reduziert und ein Teil der Daten in der Analyse untergewichtet. Diese Nachteile sind jedoch vertretbar, da aufgrund der Einteilung des EEGs in distinkte funktionelle Frequenzbänder ein Übersprechen der einzelnen Bänder vermieden werden sollte. Durch die Verwendung eines Hann-Fensters kann ein akzeptabler Kompromiss zwischen der Reduktion des *Leakage*-Effekts und der Verringerung der Frequenzauflösung erreicht werden.

5.2.2 Die Wavelet-Analyse

Die Fourieranalyse ist nicht sensitiv für zeitliche Veränderungen der Frequenzspektren und eignet sich daher vor allem für quasistationäre Signale. Im Gegensatz hierzu ermöglicht die Wavelet-Analyse die Darstellung des Frequenzspektrums über die Zeit. Hierbei wird eine Auswertungsfunktion (das Wavelet) entlang der Zeitachse über das auszuwertende Signal geschoben und mit ihm multipliziert. Durch eine Stauchung des Wavelets kann die zu analysierende Frequenz bestimmt werden. Zeit- und Frequenzauflösung stehen auch hier in einem inversen Verhältnis. Jedoch ist bei der Waveletanalyse die Frequenzauflösung nicht durch die Länge des Auswertungsfensters, sondern durch die Länge des Wavelets determiniert. Da die Länge des Wavelets für hohe Frequenzen abnimmt, nimmt die Zeitauflösung mit der Höhe der Frequenz zu und die Frequenzauflösung ab. Für die Analyse von EEG-Daten findet in der Regel das Morlet-Wavelet Anwendung. Hierbei handelt es sich um eine Cosinus-Funktion, die mit einer Gauss-Funktion multipliziert wurde.

Zu beachten ist, dass es am Anfang und Ende des Auswertungsfensters zu Verfälschungen des Zeit-Frequenzspektrums kommt, da das Wavelet über das Signal hinaus geschoben wird.

5.3 Aufbereitung der Frequenz- und Zeitfrequenzspektren

Durch anatomische Unterschiede zwischen den Teilnehmer/innen (z.B. Dicke der Schädeldecke) sowie unvermeidbare Unterschiede im Messaufbau (z.B. unterschiedliche Impedanzen des Elektroden-Kopfhautübergangs) wird Fehlervarianz in die Daten (Amplitude der My-Aktivität) eingestreut. Zusätzliche Fehlervarianz innerhalb der Probanden entsteht durch Zeiteffekte auf psychologischer Ebene (z.B. Ermüdung) und durch Effekte innerhalb des Messaufbaus (z.B. Verringerung der Impedanzen des Elektroden-Kopfhautübergangs über die Zeit). Diese Fehlervarianzen lassen sich durch eine Standardisierung der Daten reduzieren, indem nur relative Veränderungen innerhalb eines Probanden zwischen zwei möglichst dicht beieinander liegenden Messzeitpunkten betrachtet werden.

Als Standardisierungsverfahren bietet sich die Berechnung des sogenannten My-Suppressions-Index (Oberman et al., 2005) an. Hierbei handelt es sich um das logarithmierte Verhältnis der My-Aktivität während der Experimentalbedingung zur My-Aktivität während einer *Baselineperiode*. Durch die Berechnung der relativen Veränderung der My-Aktivität zu einer *Baseline* werden die Daten vergleichbarer, da die Fehlervarianz reduziert wird. Des Weiteren findet bereits ein impliziter Vergleich zwischen Experimentaldaten und *Baseline* statt, der es (bei geeigneter Wahl der Baseline) erlaubt zu prüfen, ob es zu einer Veränderung der My-Suppression durch die interessierenden Eigenschaften des Stimulus kam. Durch die die Bildung des Logarithmus des Verhältnisses wird das Problem gelöst, das Verhältnisdaten inhärent rechtsschief verteilt sind und somit eine Normalverteilung der Daten ermöglicht.

5.4 Graphische Darstellung und Auswertung der Frequenz- und Zeitfrequenzspektren

Zur Berechnung des My-Suppressions-Index wurde ein Macro für den *BrainVision Analyzer* 2.04 (Brainproducts GmbH) programmiert. Dieses greift auf die Matrizen der (Zeit-) Frequenzspektren im BrainVision Analyzer zu und berechnet für jeden Datenpunkt des Spektrums den Suppressionsindex. Die Suppressionsindices werden wiederum als (Zeit-) Frequenzspektren visualisiert und ermöglichen so eine bessere visuelle Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Probanden.

Über ein weiteres Macro können T-Werte für einen Vergleich gegen eine Konstante (Einstichproben-T-Test) oder gegen ein weiteres Datenset (T-Test für abhängige Stichproben) berechnet und als (Zeit-) Frequenzspektrum dargestellt werden. Hierdurch wird die Streuung der Daten mit einbezogen und eine visuelle Kontrolle der Datenqualität und experimenteller Effekte ermöglicht. Zudem lässt sich über den T-Wert sowohl die Alpha-Fehlerwahrscheinlichkeit als auch die Effektstärke für die Vergleiche berechnen und als Spektrum darstellen. Im Gegensatz zu herkömmlichen (Zeit-) Frequenzdarstellungen lassen sich so visuell Unterschiede in der *spektralen Power* zwischen verschiedenen Bedingungen

beurteilen. Dies ermöglicht eine visuelle Lokalisation von Effekten in der Frequenz- und Zeitdimension, um den zeitlichen Verlauf der Effekte zu bestimmen und die Spezifizität der Effekte für das Alpha-Band zu überprüfen.

6 Überblick über die Studien

6.1 Studie 1: "Somatosensory mu-activity reflects imagined pain intensity of others."

Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (2015). Somatosensory mu-activity reflects imagined pain intensity of others. *Psychophysiology*. Advance online publication.

In Studie 1 soll überprüft werden, ob die My-Aktivität die vorgestellte Schmerzhaftigkeit beobachteter Handlungen widerspiegelt, oder durch konfundierte Aufmerksamkeitsprozesse und/oder die kognitive Anstrengung moduliert wird. (Siehe Kapitel 4.4.1).

Hierzu betrachteten 30 Teilnehmer/innen Bilder von alltäglichen Handlungen mit schmerzhaftem und nicht-schmerzhaftem Ausgang, während sie sich vorstellen sollten, dass die abgebildete Person über ein verringertes, normales oder gesteigertes Schmerzempfinden verfügt. My-Aktivität wurde über die Power im Frequenzband von 8-13 Hz an den zentralen Elektroden (C3, Cz, C4) operationalisiert. Zur Kontrolle von Aufmerksamkeitseffekten wurde zudem die Alpha-Aktivität (8-13 Hz) an den okzipitalen Elektroden erfasst (O1, Oz, O2).

Es konnte gezeigt werden, dass die My-Suppression auf die Betrachtung der Bilder mit der Stärke des vorgestellten Schmerzempfindens kovariiert: Je stärker das vorgestellte Schmerzempfinden ist, desto stärker fiel die My-Suppression aus. Okzipitale Alphaaktivität, die Aufmerksamkeitsprozesse abbildet (Woodruff et al., 2011), wurde durch die Vorstellung eines veränderten Schmerzempfindens nicht moduliert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Veränderungen in der My-Aktivität das vorgestellte Schmerzempfinden reflektieren und nicht sekundär durch Aufmerksamkeitsprozesse oder die kognitive Belastung durch die Perspektivübernahme-Aufgabe moduliert wird. Die Studie

kann zudem zeigen, dass My-Aktivität nicht nur automatische Prozesse widerspiegelt, sondern auch durch höhere empathische Prozesse wie Perspektivübernahme moduliert werden kann. Dies stützt die Kritik von Zaki und Ochsner (2012) an neuropsychologischen Empathiemodellen, die affektive und kognitive Empathie als getrennte Prozesse betrachten oder Prozesse des Spiegelneuronensystems als reine Vorstufe für höhere empathische Prozesse betrachten.

6.2 Studie 2: "Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes"

Hoenen, M. Schain, C., & Pause, B. M. (2013). Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes. Social Neuroscience, 8(5), 515-524.

In Studie 2 soll geprüft werden, ob ein empathisches *Priming* für einen beobachteten Akteur die Stärke der My-Suppression auf neutrale Handlungen des Akteurs modulieren kann (Siehe Kapitel 4.4.2).

Hierzu betrachteten 28 Teilnehmer/innen Videos, die emotional neutrale Handlungen (Wasser trinken) zeigten. Vor den Handlungen berichteten die Akteure von einem traurigen (Empathie-Priming) oder neutralen Lebensereignis (Kontrollbedingung). In einer weiteren Bedingung führten die Teilnehmer/innen die Handlung selbst aus. Die My-Aktivität während der beobachteten und selbst ausgeführten Handlungen wurde über die Power im Frequenzband von 8-13 Hz an den zentralen Elektroden (C3, Cz, C4) operationalisiert. Zur Kontrolle von Aufmerksamkeitseffekten wurde zudem die Alpha-Aktivität (8-13 Hz) an den okzipitalen Elektroden erfasst (O1, Oz, O2).

Es konnte gezeigt werden, dass die My-Suppression auf die beobachteten Handlungen stärker ausfällt, wenn ein *Empathiepriming* für den Akteur durchgeführt wurde. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die My-Suppression auf die beobachtete Handlung im Vergleich

zur My-Suppression während einer selbstausgeführten Handlung zunahm, als je emotionaler das *Priming* wahrgenommen wurde.

Es kann das erste Mal gezeigt werden, dass My-Aktivität unabhängig von der Bedeutung der gezeigten Handlung allein durch Empathie gegenüber der beobachteten Person moduliert werden kann. Durch das empathische *Priming* wird Mitgefühl für die beobachtete Person, und somit soziale Nähe, aufgebaut. Die soziale Nähe wiederum ist dafür ursächlich, dass auf die Person stärker reagiert wird (Gutsell & Inzlicht, 2010). Dies stützt die Ergebnisse aus Studie 1, dass die Aktivität des Spiegelneuronensystems nicht nur durch die Bedeutung der beobachteten Handlung moduliert wird, sondern auch durch empathische Gefühle gegenüber der beobachteten Person.

6.3 Studie 3: "Non-anthropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level"

Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (2016). Non-antropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level. *Computers in Human Behavior*, 57, 182-186.

In Studie 3 soll untersucht werden, ob My-Aktivität auch für Bewegungen nicht-anthropomorpher Akteure sensibilisiert werden kann, wenn das Objekt durch eine soziale Interaktion vermenschlicht wird (Siehe Kapitel 4.4.3).

Hierzu beobachteten 57 Teilnehmer/innen Bewegungen eines nicht-anthropomorphen Staubsaugerroboters. Die Bewegungsabfolge des Roboters wurde durch eine Interaktion zwischen Roboter und Besitzer des Roboters unterbrochen. Eine Gruppe von Teilnehmer/innen (n = 30) beobachtete eine aggressive Interaktion, während die andere Gruppe (n = 27) eine sachliche Interaktion beobachtete. Die My-Aktivität während der Beobachtung der Roboterbewegungen vor und nach der Interaktion wurde über die Power im Frequenzband von 8-13 Hz an den zentralen Elektroden (C3, Cz, C4) operationalisiert. Zur Kontrolle von Aufmerksamkeits-

effekten wurde zudem die Alpha-Aktivität (8-13 Hz) an den okzipitalen Elektroden erfasst (O1, Oz, O2).

Es konnte gezeigt werden, dass die My-Aktivität während der Beobachtung des Staubsaugers nach der Interaktion umso schwächer ausfiel, je aggressiver die Interaktion wahrgenommen wurde und je mehr Mitleid für den Roboter empfunden wurde. In Übereinstimmung mit der Theorie von Ward et al. (2013) scheint soziale Interaktion mit einem Objekt hinreichend, um es auf neuronalem Level als Lebewesen zu repräsentieren.

Es handelt sich um die erste Studie, die zeigen konnte, dass das Spiegelneuronensystem auch durch nicht-anthropomorphe Bewegungen aktiviert werden kann. Die Wahrnehmung eines Objektes als soziale Entität scheint also unabhängig von seiner visuellen Erscheinung auszureichen, um das Spiegelneuronensystem zu aktivieren. Dass das Spiegelneuronensystem durch soziale Interaktion für bisher unbekannte Bewegungsmuster sensibilisiert werden konnte, spricht dafür, dass die Spiegelmechanismen genetisch angelegt sind und sich die gemeinsamen Repräsentationen nicht notwendig über Lernmechanismen bilden (Press, 2011).

6.4 Studie 4:" Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study."

Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (eingereicht). *Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study.* Manuskript eingereicht zur Publikation bei *Psychological Science*.

In Studie 4 sollen Prozesse des Spiegelneuronensystems und des visuellen Systems bei der Wahrnehmung von Verhaltensspuren dissoziiert werden. Zusätzlich soll geprüft werden, ob die Sensitivität des Spiegelneuronensystems mit den empathischen Fähigkeiten einer Person zusammenhängt (siehe Kapitel 4.4.4).

Hierzu betrachteten 28 Teilnehmer/innen handgemalte Grafiken, die Verhaltensspuren beinhalten, oder computergenerierte Gegenstücke, die keine Verhaltenspuren beinhalten. Zu-

sätzlich wurde die Komplexität der Grafiken in drei Stufen variiert (Anzahl der Winkel: Linie, Dreieck, *Haus vom Nikolaus*). Darüber hinaus wird überprüft, ob die Differenz in der My-Aktivität auf handgemalte versus computergenerierte Grafiken mit den empathischen Fähigkeiten der Teilnehmer/innen (erfasst mit dem Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen) zusammen hängt. Die My-Aktivität während der Betrachtung der Grafiken wurde über die Power im Frequenzband von 8-13 Hz an den zentralen Elektroden (C3, Cz, C4) operationalisiert. Zur Kontrolle von Aufmerksamkeitseffekten wurde zudem die Alpha-Aktivität (8-13 Hz) an den okzipitalen Elektroden erfasst (O1, Oz, O2).

Es konnte gezeigt werden, dass sowohl die zentrale My-Suppression als auch die okzipitale Alpha-Suppression auf Grafiken mit Verhaltensspuren stärker ausgeprägt war als auf Grafiken ohne Verhaltensspuren. An den zentralen Elektroden hing dieser Effekt mit den empathischen Fähigkeiten der Teilnehmer/innen (*Empathic Concern* Skala des SPF) zusammen: Je höhere Werte Teilnehmer/innen auf der *Empathic Concern* Skala erreichten, desto stärker fiel die My-Suppression auf handgemalte Grafiken im Vergleich zu computergenerierten Grafiken aus. Für okzipitale Alpha-Aktivität gilt dieser Zusammenhang nicht. Darüber hinaus zeigte sich, dass die My-Suppression an der Elektrode C4 mit der Komplexität von handgemalten, nicht jedoch computergenerierten Grafiken kovariierte: Je komplexer eine handgemalte Grafik war, desto stärker fiel die Suppression auf die Grafik aus.

Diese Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass My-Aktivität als Marker für Aktivität des Spiegelneuronensystems nur für die Komplexität von Verhaltensspuren sensitiv ist und nicht generell für die Komplexität von Stimuli. Erstmals können dadurch visuelle Prozesse und Prozesse des Spiegelneuronensystems getrennt werden. Hierdurch können Theorien aus dem Bereich der Neuroästhetik und Neurolinguistik gestützt werden, nach denen das Spiegelneuronensystem eine Rolle bei der Kunstwahrnehmung und der gesprochenen Sprache und Schriftsprache spielt (D'Ausilio et al., 2009; Freedberg & Gallese, 2007; Heimann, Umilta, & Gallese, 2013). Zudem kann gezeigt werden, dass empathischere Menschen über ein sensible-

res Spiegelneuronensystem verfügen. Dies schlägt eine Brücke von moderner neurophysiologischer Forschung im Bereich der sozialen Wahrnehmung zu dem ursprünglichen Konzept der Empathie als ästhetische Einfühlung von Lipps (1906).

6 Zusammenfassende Diskussion

Zusammengenommen zeigen die Studien, dass My-Aktivität und somit die Aktivität des Spiegelneuronensystems empathische Prozesse reflektiert. Die in ihrem Artikel „*The neuroscience of empathy: progress, pitfalls and promise*“ von Zaki und Ochsner (2012) geäußerte Kritik, dass sich die neuropsychologischen Forschung zu empathischen Prozessen auf ein reduziertes Empathiemodell stützt, wurde aufgegriffen. Im Gegensatz zu vorherigen Studien, die sich vor allem auf Prozesse der affektiven Ansteckung am Modell der Schmerzempathie konzentrieren (z.B. Cheng et al., 2008; Whitmarsh et al., 2011; Yang, et al., 2009) und eine strikte Trennung von neuronalen Systemen affektiver und kognitiver Empathie annehmen (z.B. Shamay-Tsoory et al., 2009), wurde in den vorgestellten Studien gezeigt, dass auch höhere empathische Prozesse wie Perspektivübernahme und Mitgefühl auf das Spiegelneuronensystem rückwirken können. Hierdurch werden Modelle gestützt, die von einer wechselseitigen Beeinflussung automatischer affektiver Prozesse und kognitiver Prozesse ausgehen (siehe z.B.: Lombardo et al., 2010; Singer & Lamm, 2009).

Erstmals konnte gezeigt werden, dass My-Aktivität auch durch Bewegungen nicht-anthropomorpher Objekte moduliert werden kann, wenn diesen über soziale Interaktion eine soziale Entität zugeschrieben wird. Dies verdeutlicht, dass nicht ausschließlich biologische Charakteristika (z.B. biologische Bewegungen, Schmerzempfinden oder Menschenähnlichkeit; für ein *Review* siehe Press, 2011) für die Entstehung empathischer Prozesse gegenüber einem Objekt ausschlaggebend sind, sondern soziale Attribution eine ebenso große Rolle spielt (Ward et al, 2013). Dies schlägt wiederum eine Brücke zwischen aktuellen neuropsy-

chologischen Konzepten von Empathie und dem ursprünglichen Empathiekonzept von Lipps (1906), der bereits Spiegelmechanismen für abstrakte Objekte postulierte.

Dass das Spiegelneuronensystem auch auf abstrakte Reize wie nicht-anthropomorphe Roboter in einem sozialen Kontext oder geometrische Figuren, die Verhaltensspuren beinhalten reagiert, verdeutlichen wie auch die Studie von Oberman et al. (2007) die Flexibilität und Adaptivität des Spiegelneuronensystems. Gleichzeitig besteht hier jedoch die Gefahr das Konzept der Spiegelmechanismen überzustrapazieren, wenn selbst sehr abstrakte Stimuli das Spiegelneuronensystem aktivieren können. Zukünftige Forschung sollte daher die Grenzen der sozialen Wahrnehmung im Rahmen des Spiegelneuronensystems untersuchen und alternative Mechanismen prüfen, die möglicherweise auf anatomisch ähnlichen neuronalen Substraten wie das Spiegelneuronensystem beruhen (für eine ausführliche Kritik am Konzept des Spiegelneuronensystems siehe: Hickok, 2009).

Auch auf methodischer Ebene zeigen die Ergebnisse der vorgestellten Studien eine klare Verbesserung gegenüber dem bisherigen Forschungsstand. Erstmals können einer Reihe von konfundierenden Faktoren, die auf die Aktivität im 8-13 Hz-Band wirken können, ausgeschlossen werden. So kann gezeigt werden, dass die Komplexität von Aufgaben (Studie 1) und Stimuli (Studie 4) nicht ursächlich für Unterschiede in der My-Aktivität ist. Des Weiteren kann gezeigt werden, dass Unterschiede der My-Aktivität nicht auf perzeptuelle Eigenschaften der Stimuli zurückgeführt werden können, sondern den Bedeutungsgehalt der Stimuli abbilden (Studie 1, Studie 2 und Studie 3).

Zusammenfassend kann daher bestätigt werden, dass My-Aktivität empathische Prozesse abbildet. Diese Prozesse beinhalten nicht ausschließlich automatische motorische und affektive Simulation, sondern werden auch durch höhere kognitive Prozesse wie Perspek-

tivübernahme, Mitgefühl und Vermenschlichung von Objekten moduliert. Daher eignet sich My-Aktivität als valider Marker für eine Vielzahl empathischer Prozesse.

7 Literaturverzeichnis

Arnstein, D., Cui, F., Keysers, C., Maurits, N. M., & Gazzola, V. (2011). μ-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices. *Journal of Neuroscience*, *31*(40), 14243–14249. doi:10.1523/JNEUROSCI.0963-11.2011

Arroyo, S., Lesser, R. P., Gordon, B., Uematsu, S., Jackson, D., & Webber, R. (1993). Functional significance of the mu rhythm of human cortex: an electrophysiologic study with subdural electrodes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *87*(3), 76–87.

Baron-Cohen, S., & Wheelwright, S. (2004). The empathy quotient: an investigation of adults with Asperger syndrome or high functioning autism, and normal sex differences. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *34*(2), 163–175.

Batson, C. D. (2009). These things called empathy: eight related but distinct phenomena. In J. Decety & W. Ickes (Eds.), *The Social Neuroscience of Empathy* (pp. 3–16). The MIT Press.

Batson, C. D., Batson, J. G., Slingsby, J. K., Harrell, K. L., Peekna, H. M., & Todd, R. M. (1991). Empathic joy and the empathy-altruism hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *61*(3), 413–426.

Batson, C. D., Early, S., & Salvarani, G. (1997). Perspective taking: imagining how another feels versus imaging how you would feel. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *23*(7), 751–758. doi:10.1177/0146167297237008

Bernier, R., Dawson, G., Webb, S., & Murias, M. (2007). EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder. *Brain and Cognition*, *64*(3), 228–237. doi:10.1016/j.bandc.2007.03.004

Braadbaart, L., Williams, J. H. G., & Waiter, G. D. (2013). Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? *International Journal of Psychophysiology*, *89*(1), 99–105. doi:10.1016/j.ijpsycho.2013.05.019

Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., … Freund, H.-J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *The European Journal of Neuroscience*, *13*(2), 400–404.

Buzsáki, G. (2006). *Rhythms of the brain*. Oxford, New York: Oxford University Press.

Cheng, Y., Yang, C.-Y., Lin, C.-P., Lee, P.-L., & Decety, J. (2008). The perception of pain in others suppresses somatosensory oscillations: A magnetoencephalography study. *NeuroImage*, *40*(4), 1833–1840. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.01.064

Compston, A. (2010). The Berger rhythm: potential changes from the occipital lobes in man, by E.D. Adrian and B.H.C. Matthews (From the Physiological Laboratory, Cambridge). *Brain*, *133*(1), 3–6. doi:10.1093/brain/awp324

D'Ausilio, A., Pulvermüller, F., Salmas, P., Bufalari, I., Begliomini, C., & Fadiga, L. (2009). The motor somatotopy of speech perception. *Current Biology*, *19*(5), 381–385. doi:10.1016/j.cub.2009.01.017

Damasio, A. R. (2005). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. London, New York: Penguin.

Davis, M. H. (1983). Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, *44*(1), 113–126. doi:10.1037//0022-3514.44.1.113

Decety, J., & Jackson, P. L. (2004). The functional architecture of human empathy. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, *3*(2), 71–100. doi:10.1177/1534582304267187

Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, *91*(1), 176–180.

Fadiga, L., Buccino, G., Craighero, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Pavesi, G. (1999). Cortico-spinal excitability is specifically modulated by motor imagery: a magnetic stimulation study. *Neuropsychologia*, *37*(2), 147–158.

Freedberg, D., & Gallese, V. (2007). Motion, emotion and empathy in esthetic experience. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(5), 197–203. doi:10.1016/j.tics.2007.02.003

Gaetz, W., & Cheyne, D. (2006). Localization of sensorimotor cortical rhythms induced by tactile stimulation using spatially filtered MEG. *NeuroImage*, *30*(3), 899–908. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.10.009

Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(9), 396–403. doi:10.1016/j.tics.2004.07.002

Gastaut, H. J., & Bert, J. (1954). EEG changes during cinematographic presentation; moving picture activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *6*(3), 433–444.

Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B., & Keysers, C. (2007). The anthropomorphic brain: the mirror neuron system responds to human and robotic actions. *NeuroImage*, *35*(4), 1674–1684. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.02.003

Gladstein, G. A. (1984). The historical roots of contemporary empathy research. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, *20*(1), 38–59. doi:10.1002/1520-6696(198401)20:1<38::AID-JHBS2300200106>3.0.CO;2-1

Gutsell, J. N., & Inzlicht, M. (2010). Empathy constrained: Prejudice predicts reduced mental simulation of actions during observation of outgroups. *Journal of Experimental Social Psychology*, *46*(5), 841–845. doi:10.1016/j.jesp.2010.03.011

Heimann, K., Umilta, M. A., & Gallese, V. (2013). How the motor-cortex distinguishes among letters, unknown symbols and scribbles. A high density EEG study. *Neuropsychologia*, *51*(13), 2833–2840. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2013.07.014

Hickok, G. (2009). Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. Journal of Cognitive Neuroscience, 21(7), 1229–1243. doi:10.1162/jocn.2009.21189

Hodges, S., & Wegner, D. M. (1997). Automatic and controlled empathy. In W. J. Ickes (Ed.), *Empathic Accuracy* (pp. 311–339). New York: Guilford.

Hutchison, W. D., Davis, K. D., Lozano, A. M., Tasker, R. R., & Dostrovsky, J. O. (1999). Pain-related neurons in the human cingulate cortex. *Nature Neuroscience*, *2*(5), 403–405. doi:10.1038/8065

Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science (New York, N.Y.)*, *286*(5449), 2526–2528.

Ickes, W. (1993). Empathic Accuracy. *Journal of Personality*, *61*(4), 587–610. doi:10.1111/j.1467-6494.1993.tb00783.x

Jackson, P. L., Meltzoff, A. N., & Decety, J. (2005). How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy. *NeuroImage*, *24*(3), 771–779. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.09.006

Keysers, C., & Gazzola, V. (2006). Towards a unifying neural theory of social cognition. In *Progress in Brain Research. Understanding Emotions* (pp. 379–401). Elsevier.

Keysers, C., Wicker, B., Gazzola, V., Anton, J.-L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2004). A touching sight: SII/PV activation during the observation and experience of touch. *Neuron*, *42*(2), 335–346.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Auinger, P., & Winkler, T. (1999). 'Paradoxical' alpha synchronization in a memory task. *Cognitive Brain Research*, *7*(4), 493–501.

Koller, I., & Lamm, C. (2015). Item response model investigation of the (German) interpersonal reactivity index empathy questionnaire. *European Journal of Psychological Assessment*, *31*(3), 211–221. doi:10.1027/1015-5759/a000227

Kuhlman, W. N. (1978). Functional topography of the human mu rhythm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *44*(1), 83–93.

Lipps, T. (1906). *Ästhetik: Psychologie des Schönen und der Kunst*. Hamburg, Leipzig: Leopold Voss. Retrieved from https://archive.org/details/sthetikpsycholo02lippgoog

Lombardo, M. V., Chakrabarti, B., Bullmore, E. T., Wheelwright, S. J., Sadek, S. A., Suckling, J., & Baron-Cohen, S. (2010). Shared neural circuits for mentalizing about the self and others. Journal of Cognitive Neuroscience, 22(7), 1623–1635. doi:10.1162/jocn.2009.21287

Mead, G. H. (1967). *Mind, self, and society: From the standpoint of a social behaviorist*. *Works of George Herbert Mead: Vol. 1*. Chicago [u. a.]: The University of Chicago Press.

Morin, O., & Grèzes, J. (2008). What is "mirror" in the premotor cortex? A review. *Clinical Neurophysiology*, *38*(3), 189–195. doi:10.1016/j.neucli.2008.02.005

Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions. *Current Biology*, *20*(8), 750–756. doi:10.1016/j.cub.2010.02.045

Muthukumaraswamy, S. D., & Johnson, B. W. (2004). Changes in rolandic mu rhythm during observation of a precision grip. *Psychophysiology*, *41*(1), 152–156. doi:10.1046/j.1469-8986.2003.00129.x

Muthukumaraswamy, S. D., Johnson, B. W., & McNair, N. A. (2004). Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Cognitive Brain Research*, *19*(2), 195–201. doi:10.1016/j.cogbrainres.2003.12.001

Mu, Y., Fan, Y., Mao, L., & Han, S. (2008). Event-related theta and alpha oscillations mediate empathy for pain. *Brain Research*, *1234*, 128–136. doi:10.1016/j.brainres.2008.07.113

Nunez, P. L. (2000). Toward a quantitative description of large-scale neocortical dynamic function and EEG. *The Behavioral and Brain Sciences*, *23*(3), 371-98; discussion 399-437.

Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, *24*(2), 190–198. doi:10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014

Oberman, L. M., McCleery, J. P., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2007). EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots. *Neurocomputing*, *70*(13-15), 2194–2203. doi:10.1016/j.neucom.2006.02.024

Oberman, L. M., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2008). Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or unfamiliar stimuli: The mirror neuron hypothesis. *Neuropsychologia*, *46*(5), 1558–1565. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.01.010

Paulus, C. (2009). *The Saarbrueck Personality Questionnaire on Empathy: Psychometric evaluation of the German version of the Interpersonal Reactivity Index*. Retrieved from http://www.uni-saarland.de/fak5/ezw/personal/paulus/empathy/SPF_Artikel.pdf

Perry, A., & Bentin, S. (2009). Mirror activity in the human brain while observing hand movements: a comparison between EEG desynchronization in the mu-range and previous fMRI results. *Brain Research*, *1282*, 126–132. doi:10.1016/j.brainres.2009.05.059

Perry, A., Bentin, S., Bartal, I. B.-A., Lamm, C., & Decety, J. (2010). “Feeling” the pain of those who are different from us: Modulation of EEG in the mu/alpha range. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *10*(4), 493–504. doi:10.3758/CABN.10.4.493

Perry, A., Stein, L., & Bentin, S. (2011). Motor and attentional mechanisms involved in social interaction—Evidence from mu and alpha EEG suppression. *NeuroImage*, *58*(3), 895–904. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.06.060

Perry, A., Troje, N. F., & Bentin, S. (2010). Exploring motor system contributions to the perception of social information: Evidence from EEG activity in the mu/alpha frequency range. *Social Neuroscience*, *5*(3), 272–284. doi:10.1080/17470910903395767

Pfurtscheller, G., Neuper, C., Andrew, C., & Edlinger, G. (1997). Foot and hand area mu rhythms. *International Journal of Psychophysiology*, *26*(1-3), 121–135.

Pfurtscheller, G., Stancák, A., & Neuper, C. (1996). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band--an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. *International Journal of Psychophysiology*, *24*(1-2), 39–46.

Pineda, J. A. (2005). The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing". *Brain Research Reviews*, *50*(1), 57–68. doi:10.1016/j.brainresrev.2005.04.005

Pineda, J. A. (2008). Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: Does it solve the development, correspondence, and control problems in mirroring? *Behavioral and Brain Functions: 4*, 47. doi:10.1186/1744-9081-4-47

Press, C. (2011). Action observation and robotic agents: learning and anthropomorphism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *35*(6), 1410–1418. doi:10.1016/j.neubiorev.2011.03.004

Preston, S. D. (2007). A perception-action model for empathy. In T. F. D. Farrow & P. W. R. Woodruff (Eds.), *Empathy in Mental Illness* (pp. 428–447). Cambridge: Cambridge University Press.

Preston, S. D., & Waal, F. B. M. de. (2002). Empathy: Its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, *25*(1), 1-20; discussion 20-71.

Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(2), 129–154. doi:10.1080/713752551

Ray, W. J., & Cole, H. W. (1985a). EEG activity during cognitive processing: influence of attentional factors. *International Journal of Psychophysiology*, *3*(1), 43–48.

Ray, W. J., & Cole, H. W. (1985b). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science (New York, N.Y.)*, *228*(4700), 750–752.

Ritter, P., Moosmann, M., & Villringer, A. (2009). Rolandic alpha and beta EEG rhythms' strengths are inversely related to fMRI-BOLD signal in primary somatosensory and motor cortex. *Human Brain Mapping*, *30*(4), 1168–1187. doi:10.1002/hbm.20585

Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 169–192. doi:10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230

Rizzolatti, G., & Fabbri-Destro, M. (2008). The mirror system and its role in social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(2), 179–184. doi:10.1016/j.conb.2008.08.001

Rosenthal-von der Pütten, A. M., Schulte, F. P., Eimler, S. C., Sobieraj, S., Hoffmann, L., Maderwald, S., … Krämer, N. C. (2014). Investigations on empathy towards humans and robots using fMRI. *Computers in Human Behavior*, *33*, 201–212. doi:10.1016/j.chb.2014.01.004

Rosenthal-von der Pütten, A. M., Krämer, N. C., Hoffmann, L., Sobieraj, S., & Eimler, S. C. (2013). An experimental study on emotional reactions towards a robot. *International Journal of Social Robotics*, *5*(1), 17–34. doi:10.1007/s12369-012-0173-8

Sbriscia-Fioretti, B., Berchio, C., Freedberg, D., Gallese, V., UmiltÃ, M. A., & Di Russo, F. (2013). ERP modulation during observation of abstract paintings by Franz Kline. *PLoS ONE*, *8*(10), e75241. doi:10.1371/journal.pone.0075241

Shamay-Tsoory, S. G., Aharon-Peretz, J., & Perry, D. (2009). Two systems for empathy: a double dissociation between emotional and cognitive empathy in inferior frontal gyrus versus ventromedial prefrontal lesions. *Brain*, *132*(3), 617–627. doi:10.1093/brain/awn279

Singer, T., & Lamm, C. (2009). The social neuroscience of empathy. Annals of the New York Academy of Sciences, 1156(1), 81–96. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04418.x

Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science (New York, N.Y.)*, *303*(5661), 1157–1162. doi:10.1126/science.1093535

Singh, F., Pineda, J., & Cadenhead, K. S. (2011). Association of impaired EEG mu wave suppression, negative symptoms and social functioning in biological motion processing in first episode of psychosis. *Schizophrenia Research*, *130*(1-3), 182–186. doi:10.1016/j.schres.2011.04.004

Stein, A. von, & Sarnthein, J. (2000). Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, *38*(3), 301–313.

Stotland, E. (1978). *Empathy, fantasy, and helping*. *Sage library of social research: Vol. 65*. Beverly Hills, Calif: Sage Publications.

Titchener, E. B. (1909). *Lectures on the experimental psychology of the thought-processes*. New York: Macmillan. Retrieved from https://archive.org/details/cu31924024573176

Umilta', M. A., Berchio, C., Sestito, M., Freedberg, D., & Gallese, V. (2012). Abstract art and cortical motor activation: an EEG study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*. doi:10.3389/fnhum.2012.00311

Vignemont, F. de, & Singer, T. (2006). The empathic brain: how, when and why? *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(10), 435–441. doi:10.1016/j.tics.2006.08.008

Ward, A. F., Olsen, A. S., & Wegner, D. M. (2013). The harm-made mind: Observing victimization augments attribution of minds to vegetative patients, robots, and the dead. *Psychological Science*, *24*(8), 1437–1445. doi:10.1177/0956797612472343

Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J.-P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in my insula. *Neuron*, *40*(3), 655–664. doi:10.1016/S0896-6273(03)00679-2

Wiener, N. (1961). *Cybernetics; or, Control and Communication in the Animal and the Machine* (2nd ed.). New York: M.I.T. Press.

Whitmarsh, S., Nieuwenhuis, I. L. C., Barendregt, H. P., & Jensen, O. (2011). Sensorimotor alpha activity is modulated in response to the observation of pain in others. *Frontiers in Human Neuroscience*, *5.* doi:10.3389/fnhum.2011.00091

Woodruff, C. C., Daut, R., Brower, M., & Bragg, A. (2011). Electroencephalographic α-band and β-band correlates of perspective-taking and personal distress. *NeuroReport*, *22*(15), 744–748. doi:10.1097/WNR.0b013e32834ab439

Woodruff, C. C., Martin, T., & Bilyk, N. (2011). Differences in self- and other-induced Mu suppression are correlated with empathic abilities. *Brain Research*, *1405*, 69–76. doi:10.1016/j.brainres.2011.05.046

Yang, C.-Y., Decety, J., Lee, S., Chen, C., & Cheng, Y. (2009). Gender differences in the mu rhythm during empathy for pain: An electroencephalographic study. *Brain Research*, *1251*, 176–184. doi:10.1016/j.brainres.2008.11.062

Zahn-Waxler, C., Robinson, J. L., & Emde, R. N. (1992). The development of empathy in twins. *Developmental Psychology*, *28*(6), 1038–1047. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.28.6.1038

Zaki, J., & Ochsner, K. (2012). The neuroscience of empathy: progress, pitfalls and promise. *Nature Neuroscience*, *15*(5), 675–680. doi:10.1038/nn.3085

8 Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei meiner Promotionsbetreuerin Prof. Pause für ihre Unterstützung und Anleitung während der letzten Jahre bedanken. Insbesondere möchte ich mich für die vielen Freiräume bedanken, die es mir ermöglichten eigene Ideen zu entwickeln und umzusetzen und auch meine eigenen Fehler zu machen. Gleichzeitig wurden aber auch immer hilfreiche Grenzen gesetzt und durch nützlichen Rat meine Kanten geschliffen.

Des Weiteren möchte ich mich bei Prof. Heil für die Übernahme der Mentoren- und Gutachter-Rolle und seine hohe Ansprechbarkeit, auch in sehr kurzfristigen und spontanen Belangen bedanken.

Ebenso schulde ich meinen Kolleginnen Carolin Jungbluth, Charlotte Sachse, Dunja Storch und Katrin Lübke sowie meinem Kollegen Lukas Meister meinen Dank. Die Diskussionen über inhaltliche und methodische Aspekte meiner Arbeit, als auch die moralische Unterstützung waren während der letzten Jahre extrem hilfreich und fruchtbar. Insbesondere Katrin Lübke, die mich seit meinem Studium, über die Diplomarbeit hinaus begleitet, hat mit ihrer Ansprechbarkeit in allen Belangen mich sehr auf meinem Weg durch die Promotion unterstützt. Bei Lisa Körner bedanke ich mich für ihre Unterstützung als Studentische Hilfskraft, bei der Erhebung der Studien, den freundschaftlichen Rückhalt sowie auch für das Korrekturlesen der Arbeit.

Auch bei Cécile und Nina möchte ich mich für den großen Rückhalt, die fruchtbaren Diskussionen während der Anfangsphase der Promotion bedanken. Schön, dass wir die ersten Schritte in die Wissenschaft gemeinsam gehen konnten.

Prof. Gloger-Tippelt hatte zwar keinen direkten Einfluss auf diese Arbeit. Nichtsdestotrotz gebührt ihr mein Dank, da sie mich während meiner Hilfskrafttätigkeit für sie durch ihre Arbeit als Wissenschaftlerin darin bestätigte, dass der Weg in die Wissenschaft der richtige ist und mich während meines Studiums vielfältig unterstützte.

Meinen Eltern möchte ich für die Unterstützung und den Rückhalt während Promotion, Studium und der Zeit davor danken. Ich erinnere mich noch, wie ich mit meinen Eltern im Grundschulalter, Ausflüge in den botanischen Garten machten, ich mich über die wirre kleine Stadt namens Universität wunderte, man sie mir erklärte und ich dachte, dass ich nie so ein Doktor werden würde. Nun werde ich es, wohl auch dank der Ausflüge. Dank für so vieles.

Zuletzt auch mein Dank an meine Lebensgefährtin Antonia, die während meiner Promotionszeit viel Stress aufgefangen hat und aushalten musste. Danke, dass du mich das Stück Weg begleitet hast und mir immer Rückhalt gabst, wenn alles zu viel wurde.

9 Publikationen in Zeitschriften mit peer-review Prozess

9.1 Publikationen im Rahmen des Promotionsvorhabens

Studie 1:

Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (2015). Somatosensory mu-activity reflects imagined pain intensity of others. *Psychophysiology*. Advance online publication. DOI: 10.1111/psyp.12522

Matthias Hoenen ist hauptverantwortlich für Design, Durchführung und Auswertung der Studie sowie hauptverantwortlich für die Erstellung der Veröffentlichung.

Studie 2:

Hoenen, M., Schain, C., & Pause, B. M. (2013). Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes. *Social Neuroscience*, 8(5), 515-524. DOI: 10.1080/17470919.2013.833550

Matthias Hoenen ist hauptverantwortlich für Design, Durchführung und Auswertung der Studie sowie hauptverantwortlich für die Erstellung der Veröffentlichung.

Studie 3:

Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (2016). Non-antropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level. *Computers in Human Behavior*, 57, 182-186. DOI: 10.1016/j.chb.2015.12.034.

Matthias Hoenen ist hauptverantwortlich für Design, Durchführung und Auswertung der Studie sowie hauptverantwortlich für die Erstellung der Veröffentlichung.

Studie 4:

Hoenen, M., Lübke, K. T., & Pause, B. M. (eingereicht). *Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study.* Manuskript eingereicht zur Publikation bei *Psychological Science*.

Matthias Hoenen ist hauptverantwortlich für Design, Durchführung und Auswertung der Studie sowie hauptverantwortlich für die Erstellung der Veröffentlichung.

Die Richtigkeit der Angaben zum inhaltlichen Anteil, den Matthias Hoenen an den oben genannten Studien hat, wird von der Betreuerin Frau Prof. Bettina M. Pause bestätigt.

9.2 Weitere Publikationen

Hoenen, M., Müller, K., Pause, B. M., & Lübke, K. T. (2015). *Fancy citrus, feel good: Positive judgment of citrus odor, but not the odor itself, is associated with elevated mood during the experience of helplessness.* Manuskript eingereicht zur Publikation bei *Frontiers in Psychology*.

Lübke, K. T., Croy, I., **Hoenen, M.**, Gerber, J., Pause, B. M. & Hummel T. (2014). Does Human Body Odor Represent a Significant and Rewarding Social Signal to Individuals High in Social Openness? *PLoS ONE* 9(4): e94314. DOI: 10.1371/journal.pone.0094314

Lübke, K. T., **Hoenen, M.** & Pause, B. M. (2012). Differential processing of social chemosignals obtained from potential partners in regards to gender and sexual orientation. *Behavioural Brain Research*, 228, 375 - 387. DOI: 10.1016/j.bbr.2011.12.018

9.3 Manuskript für Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study

Running Head: μ-SUPPRESSION IS SENSITIVE FOR ACTION TRACES

Sensitivity of the human mirror neuron system for abstract traces of actions: an EEG-study

Matthias Hoenen

University of Düsseldorf

Katrin T. Lübke

University of Düsseldorf

Bettina M. Pause

University of Düsseldorf

Author Note

Matthias Hoenen, Institute of Experimental Psychology, University of Düsseldorf; Katrin T. Lübke, Institute of Experimental Psychology, University of Düsseldorf; Bettina M. Pause, Institute of Experimental Psychology, University of Düsseldorf.

Parts of this research were presented at the 40th Annual Meeting of the German Society for Psychophysiology and Its Application in Luebeck, Germany, 2014.

Corresponding author: Bettina Pause, University Düsseldorf, Universitätsstr. 1, D-40225 Düsseldorf, Germany; phone +49-211-81-14384; fax +49-211-81-12019; E-mail: bettina.pause@hhu.de.

Abstract

Theories of neuroesthetics assume, that the observation traces of actions used in creating an artwork (e.g. brush marks) induces simulation of these actions in the sensorimotor-cortex of the observer. The aim of the current study is to dissociate the response of the sensorimotor-cortex from visual processes.

Twenty-eight participants observed handmade graphics (acrylic paint on paper) of different complexity (line, triangle, shape of a house) and computer-generated counterparts. Central mu-activity, as an index of sensorimotor-cortex activity, and occipital alpha-activity, as an index of visual cortex activity were recorded in the 8-13 Hz EEG-band.

In line with the hypothesis, central mu-activity is sensitive for the complexity of handmade ($p = .006$), but not computer-generated graphics ($p > .200$). In contrast, occipital alpha-activity is sensitive for the complexity of handmade ($p < .001$) and computer-generated ($p = .001$) graphics. These results support the involvement of the sensorimotor-cortex in the recognition of action traces.

Keywords: mu-activity; mirror neuron system; action perception; neuroesthetics; art perception; electroencephalography;

1 Introduction

Theories of embodied simulation in social perception assume that humans gain knowledge about the actions, intentions, sensations, and emotions of others through automatic simulation processes within their brains (for reviews see Gallese, 2007; Gallese, Keysers, & Rizzolatti, 2004). Involved in these simulation processes is the mirror neuron system, which is activated when actions and motions are self-performed or observed. However, the mirror neuron system might not only be sensitive to observed actions, but also to the product of those actions, like sounds of actions (Gazzola, Aziz-Zadeh, & Keysers, 2006), speech (D'Ausilio et al., 2009), handwriting and scribble (Heimann, Umiltà, & Gallese, 2013). Freedberg and Gallese (2007) propose that the mirror neuron system might also play a role in the perception of art by simulating the movements used to create artwork. Two EEG studies tested this claim, utilizing mu-suppression as an index of mirror neuron activity (Umiltà, Berchio, Sestito, Freedberg, & Gallese, 2012) and event related potentials originating from Broadman Area 4 and 40, which are part of the human mirror neuron system (Sbriscia-Fioretti et al., 2013). Both studies show that the response of the mirror neuron system is stronger to handmade original abstract art, compared to computer-generated counterparts. However, while the use of original artwork within these studies resembles high ecological validity, experimental validity should be interpreted cautiously. The handmade and computer-generated stimuli differed not only in respect to their origin, but also in respect to the level of detail and complexity (e.g. smoothness of the contour or three-dimensional information like shadows; for a similar critique see: Ticini, 2013). Therefore, the results of these studies might be confounded with differences in visual complexity. Especially mu-activity, which is measured in the same frequency-band as alpha-activity (Pineda, 2005), might be affected by the level of visual complexity (Gale, Christie, & Penfold, 1971).

The aim of this study is to dissociate motor-simulation from visual processes. As in previous studies (Sbriscia-Fioretti et al., 2013; Umiltà et al., 2012), handmade and computer-

generated graphics are used. Both types of graphic were altered in their complexity. Central mu-activity, as an index of activity of the mirror neuron system (Arnstein, Cui, Keysers, Maurits, & Gazzola, 2011; Pineda, 2005), and alpha-activity as an index of visual processes were recorded (Gale et al., 1971). If central mu-suppression is sensitive to handmade stimuli only, it should be modulated by the complexity of handmade but not by computer-generated graphics. In contrast, alpha-activity should be modulated by the complexity of the graphics regardless of their origin.

2 Method

2.1 Participants

A total of 33 right-handed (assessed using Annett, 1970) volunteers participated in the study. All participants reported to be healthy, and free of neurological or psychiatric conditions. Visual acuity was assessed using Landolt rings, and was always larger than 0.90. Five participants were excluded due to technical problems (n = 3; construction noise; sweaty head resulting in excessive noise in EEG-data), outliers in the attention task (n = 1; see section 2.3) and strong motor activity while EEG was recorded (n = 1). The final sample consisted of 19 females and 9 males (N = 28) with a mean age of 25 years (SD = 6; range: 18 – 41). Participants had no special expertise in drawing pictures by hand or using a computer (drawing by hand: M = 33, SD = 30; using computers: M = 17, SD = 24; rated on computer-based visual analog scales: length 18.5 cm; 0 = *never*, 100 = *very frequently*).

Participants gave written informed consent and were compensated with course credit or € 10. The study was approved by the ethics committee of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences of the Heinrich-Heine-University Düsseldorf.

2.2 Material

A set of 144 digital color pictures was used, showing handmade or computer-generated graphics (see Fig. 1). All pictures were shown in a resolution of 600 x 800 pixels

and a color depth of 24 bit. The digitized handmade graphics were painted using a flat brush and acrylic paint on white paper. The computer-generated graphics were obtained by applying a digital texture-filter (*crystallize*: size 4; Corel Photopaint X4, Corel Corp.) on the handmade graphics, removing the brush-marks, while keeping a complex texture and the same shape as the handmade stimuli. Complexity of graphics was operationalized by the number of straight strokes necessary to draw the graphic. For the low complexity condition a straight line (1 stroke), for medium complexity an acute triangle (3 strokes), and for high complexity the shape of a house (8 strokes) were used. In order to obtain more stimuli, each graphic was painted in four different colors (red, blue, green and violet) and shown in three different rotations (0°, 120°, and 240°). To keep participants attentive during EEG-recording, they were asked to count the number of control-stimuli appearing in each block. Control-stimuli were obtained by applying a digital texture-filter (*canvas*; Corel Photopaint X4, Corel Corp.) on the handmade and computer-generated graphics.

Pictures were shown (Presentation 16, Neurobehavioral Systems Inc., CA) on a TFT monitor (resolution: 1280 × 1024 pixel; model: Terra LCD 4319; Wortmann AG, Germany) at a distance of 75 cm to the participant's eyes, covering a visual angel of 8.4° vertical and 1.0° (line) and 6.1° (triangle and house) horizontal.

Additionally, participants completed the *Saarbrueck Personality Questionnaire on Empathy* (SPQ; Paulus, 2009), a German adaptation of the Interpersonal Reactivity Index (Davis, 1983), a self-report of empathic abilities (fantasy, empathic concern, personal distress, and perspective taking). In contrast to the IRI the SPQ utilizes only four items per factor, resulting in a range of 4 – 16 per factor.

2.3 Procedure

The sessions consisted of three blocks. In each block 36 handmade and 36 computer-generated graphics and 7 to 9 control stimuli were shown in randomized order for a random duration varying between 2.25 to 2.75 s. Prior to each picture a white screen (baseline) was

presented for a random duration varying between 2.25 to 2.75 s. Between blocks the word *break* appeared, giving participants some time to relax and to move their eyes. To ensure suppression of eye-blinks during EEG recordings, the instruction *Please don't blink in* followed by a countdown from three to one (duration 3 s) was presented prior to the start of each block. To keep participants attentive during EEG-recording, they were asked to count the number of control-stimuli appearing in each block. Identification of the control-stimuli was practiced prior to the EEG-recording. Participants counted on average 6.25% (0.5) control stimuli more, than were actually presented (*SD* = 25% (2); except one participant, who counted 78% - 113% more control stimuli, than were presented and thus was excluded form analysis).

2.4 EEG recording and analysis

EEG was recorded from 16 Ag/AgCl sintered active electrodes (positions Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz and O2 of the 10/10-system and earlobes), embedded in a stretch-lycra cap (actiCAP, 32-channel standard 2 layout, Brain Products GmbH, Germany). In accordance with previous studies, electrodes C3, Cz and C4 were used to measure mu-activity, while O1, Oz and O2 served as a control for alpha-activity (e.g. (Hoenen, Schain, & Pause, 2013; Perry, Troje, & Bentin, 2010; Woodruff, Daut, Brower, & Bragg, 2011). The remaining electrodes were used to correct eye movement artifacts. Eye movements were monitored using a bipolar montage with Fp2 acting as the supraorbital electrode, and the suborbital electrode displaced 1 cm lateral from the vertical axis of the eye. The ground electrode was placed at position AFz. Data were sampled at 500 Hz (bandwidth: DC – 135 Hz) with the left earlobe as reference using a V-Amp EEG System (Brain Products GmbH, Germany).

During offline processing, data were re-referenced to averaged earlobes and filtered with a high-pass filter at 0.5 Hz (48 dB/oct), a low-pass filter at 40 Hz (48 dB/oct), and a notch filter at 50 Hz (BrainVision Analyzer 2, Brain Products GmbH, Germany). Eye movements were corrected using an independent component analysis (Jung et al., 2000).

The EEG was segmented into epochs of 1024 data points (200 - 2248 ms), beginning 200 ms after the onset of the fixation-cross (baseline) or the picture (experimental data). The epochs were visually inspected for remaining artifacts (e.g. movement artifacts), and a total of 1.8% of data were rejected. For the frequency-analysis, a non-complex Fast Fourier Transform (FFT) resulting in a frequency resolution of 0.488 Hz was used. For the FFT a Hanning-Window with $\alpha = .75$ was applied to the data.

The suppression-indices (log transformed ratio of the power during the experimental condition relative to baseline; e.g. Oberman et al., 2005) were computed for the frequency spectrum. A log-ratio of less than zero indicates suppression of power, whereas a log-ratio greater than zero indicates enhancement of power. The power within the 8-13 Hz band of each condition was averaged.

2.5 Statistical Analysis

To test for effects of the perception of action traces and the complexity of the graphics on suppression in the 8-13 Hz range a repeated-measures ANOVA was conducted to compare the suppression-indices across PRODUCTION METHOD (handmade, computer generated), COMPLEXITY (low, medium, high), LATERALITY (left, midline, right) and REGION (central, occipital) as within-subject factors. Interactions were analyzed using simple effects (Page, Braver, & MacKinnon, 2003). Main effects were analyzed using bonferroni corrected t-tests. Degrees of freedom were corrected using Greenhouse-Geisser Epsilon whenever necessary.

To test, whether the mu-suppression response is mediated by expertise in graphic production or empathic abilities, the difference scores of "suppression induced by handmade graphics" minus "suppression induced by computer-generated graphics" were correlated with the SPQ scales, and the ratings of expertise with graphic production (pearson's product-moment correlation; bonferroni-corrected).

Suppression relative to baseline was tested for each electrode for handmade and computer-generated graphics, using bonferroni-corrected t-tests against zero. Data were collapsed

across complexity, in order to reduce alpha-error accumulation. All analyses were conducted using SPSS 22 (IBM Corp., NY).

3 Results

3.1 Effects of graphic perception on suppression in the 8-13 Hz band

All electrodes, except C3 and C4 for computer-generated graphics, showed suppression relative to baseline for handmade and computer-generated graphics (all *t*s(27) < -3.27, *p*s < .036). In general, suppression was stronger in response to handmade graphics compared to computer-generated graphics (main effect PRODUCTION METHOD: $F(1, 27) = 15.76$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .369$) and high complex stimuli yielded more suppression than low complex stimuli ($t(27) = 3.19$, $p = .012$; main effect COMPLEXITY: $F(1, 27) = 20.71$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .434$). However, further interactions show that both main effects are valid for certain conditions only.

First, at central electrode sites, high and medium complex stimuli yielded stronger suppression than low complex stimuli (*t*s(27) > 2.27, *p*s < .011; COMPLEXITY × REGION: $F(2, 54) = 11.45$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .298$; see tab. 1), while at occipital electrode sites high complex and medium complex stimuli yielded stronger suppression than low complex stimuli and high complex stimuli yielded stronger suppression than medium complex stimuli (all t(27) > 2.95, ps < .007). The smaller effect of complexity on the 8-13 Hz band at central electrode sites as compared to occipital electrode sites can be explained by the production method: at central electrode sites only handmade high complex stimuli yielded more suppression than low complex stimuli ($t(27) = 3.14$, $p < .012$; COMPLEXITY × REGION × PRODUCTION METHOD: $F(2, 54) = 3.61$, $p = .045$, $\eta_p^2 = .118$; see tab. 1), while the complexity of computer-generated stimuli did not affect suppression. Specifically at electrode C4 handmade high and medium complex stimuli yielded more suppression than low complex handmade stimuli (all $t(27) > 3.38$, *ps* <

.006; COMPLEXITY × PRODUCTION METHOD × LATERALITY × REGION: $F(4, 108) = 5.00$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .156$; see tab. 1 and fig. 2). The complexity of computer-generated stimuli did not affect suppression at electrode C4.

In contrast, at occipital electrode sites high complex stimuli yielded more suppression than low complex stimuli, regardless of the production method (high complex handmade stimuli yielded more suppression than low and medium complex handmade stimuli: both ts(27) > 5.80, ps < .001; high complex computer-generated stimuli yielded more suppression than low complex computer-generated stimuli: $t(27) = 3.55$, $p = .001$).

Second, the effects of complexity of the stimuli and the production method differed between hemispheres (COMPLEXITY × LATERALITY: $F(4, 108) = 3.32$, $p = .013$, $\eta_p^2 = .109$; COMPLEXITY × LATERALITY × PRODUCTION METHOD: $F(4, 108) = 2.52$, $p = .045$, $\eta_p^2 = .085$; see tab. 1). Whereas high and medium complex handmade stimuli yielded more suppression than low complex stimuli, independent of laterality (all ts(27) > 4.30, all ps < .001), medium and high complex computer-generated stimuli yielded more suppression than low complex stimuli at left electrode sites only (both ts(27) > 2.69, ps < .037).

3.2 Correlation of 8-13 Hz suppression with expertise and empathic abilities

The higher participants scored on the empathic concern scale of the SPQ, the stronger was the suppression in the 8-13 Hz band induced by the observation of handmade stimuli compared to computer-generated stimuli at all central electrodes (correlations between the empathic concern scale and suppression difference scores [handmade minus computer-generated; negative difference scores indicate stronger suppression for handmade as compared to computer-generated stimuli]: all rs < -.564, all ps < .007; see fig. 3) but not at occipital electrodes (all rs > -.409, ps > .124). Furthermore, the correlation is significantly larger at central electrode sites ($r = -.661$) than at occipital electrode sites ($r = -.389$; $z = -1.70$, $p =$

.045; Olkin, 1967). Neither expertise in manual drawing of graphics nor expertise with computer-generated graphics had an effect on the 8-13 Hz band.

4 Discussion

The current study shows that suppression in the 8-13 Hz band is stronger suppressed in response to objects containing traces of actions as compared to artificial objects. Moreover, the results indicate that mu-activity is modulated by the complexity of action traces at central electrodes (especially electrode C4). In contrast, alpha-suppression at occipital electrodes is modulated by the complexity of the objects, regardless whether they contain traces of actions or not.

This finding supports theories claiming activation of the mirror neuron system by the perception of action traces. Umiltà et al. (2012) and Sbriscia-Fioretti et al. (2013) showed that activity related to the mirror neuron system is stronger, when original abstract art is observed relative to computer-generated counterparts. However, the design of these studies cannot differentiate between the effect induced by the perception of action traces or by differences in stimulus complexity. The current study shows a clear dissociation between visual processes reflected by occipital alpha-activity (Gale et al., 1971), and processes involving the mirror neuron system, reflected by mu-activity (Arnstein et al., 2011). While the visual system is sensitive to the complexity of the stimuli regardless of the presence of traces of action, the mirror neuron system is only sensitive to the complexity of stimuli containing traces of action. This conclusion is also supported by the finding, that significant mu-suppression at C3 and C4 is restricted to the observation of handmade graphics, resembling the results of Umiltà et al. (2012).

Especially, mu-suppression at electrode C4 is affected by the complexity of graphics containing traces of actions. This is in line with Sbriscia-Fioretti et al. (2013), who showed

stronger event-related potentials in response to original abstract art, relative to computer-generated counterparts, originating from the right motorcortex (BA 40, BA4).

The conclusion that mu-suppression reflects activity of the mirror neuron system is supported by the strong negative correlation between empathic concern and the mu-suppression elicited by handmade relative to computer-generated graphics. The higher individuals score on the empathic concern scale, the stronger is mu activity suppressed in response to handmade relative to computer-generated graphics. Empathic concern is a marker for emotional empathy, which is interlinked with the mirror neuron system (Shamay-Tsoory, Aharon-Peretz, & Perry, 2009). Therefore, the correlation strengthens evidence that individuals with high emotional empathy show a more sensitive mirror neuron system. This findings link empathy back to the original concept of Einfühlung (Titchener, 1909, p. 21; Lipps, 1906) as a concept of aesthetics and art perception.

In contrast to Umiltà et al. (2012) the current study shows not only modulation of mu-activity, but also modulation of alpha-activity. However, this finding was not unexpected, since occipital alpha-activity is known to be sensitive for visual stimuli and the complexity of those stimuli.

4.1 Conclusion

Action traces in graphics and the complexity of graphics affect suppression within the 8-13 Hz band. This is the first study that dissociates activity of the mirror neuron system from activity of the visual systems, since mu-activity is sensitive to the complexity of graphics containing natural action traces, but not to the complexity of artificial graphics. Furthermore, empathic individuals show stronger activation of the mirror neuron system in response to stimuli containing those action traces.

Acknowledgements

The authors would like to thank Annika Bartel, Tabea Thalheim, and Patrick Kreidler for their valuable assistance during data collection.

References

Annett, M. (1967). The binomial distribution of right, mixed and left handedness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *19*(4), 327–333. doi:10.1080/14640746708400109

Arnstein, D., Cui, F., Keysers, C., Maurits, N. M., & Gazzola, V. (2011). μ-Suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices. *Journal of Neuroscience*, *31*(40), 14243–14249. doi:10.1523/JNEUROSCI.0963–11.2011

Babiloni, C., Babiloni, F., Carducci, F., Cincotti, F., Cocozza, G., Del Percio, C., 2002). Human cortical electroencephalography (EEG) rhythms during the observation of simple aimless movements: A high-resolution EEG study. *NeuroImage*, *17*(2), 559–572. doi:10.1006/nimg.2002.1192

D'Ausilio, A., Pulvermüller, F., Salmas, P., Bufalari, I., Begliomini, C., & Fadiga, L. (2009). The motor somatotopy of speech perception. *Current Biology*, *19*(5), 381–385. doi:10.1016/j.cub.2009.01.017

Davis, M. H. (1983). Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, *44*(1), 113–126. doi:10.1037//0022-3514.44.1.113

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191.

Freedberg, D., & Gallese, V. (2007). Motion, emotion and empathy in esthetic experience. *Trends in cognitive sciences*, *11*(5), 197–203. doi:10.1016/j.tics.2007.02.003

Gale, A., Christie, B., & Penfold, V. (1971). Stimulus complexity and the occipital EEG. *British Journal of Psychology*, *62*(4), 527–531. doi:10.1111/j.2044-8295.1971.tb02068.x

Gallese, V. (2007). Before and below 'theory of mind': embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1480), 659–669. doi:10.1098/rstb.2006.2002

Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolati, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(9), 396–403. doi:10.1016/j.tics.2004.07.002

Gazzola, V., Aziz-Zadeh, L., & Keysers, C. (2006). Empathy and the somatotopic auditory mirror system in humans. *Current Biology : CB*, *16*(18), 1824–1829. doi:10.1016/j.cub.2006.07.072

Heimann, K., Umiltà, M. A., & Gallese, V. (2013). How the motor-cortex distinguishes among letters, unknown symbols and scribbles. A high density EEG study. *Neuropsychologia*, *51*(13), 2833–2840. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2013.07.014

Hoenen, M., Schain, C., & Pause B. M. (2013). Down-modulation of mu-activity through empathic top-down processes. *Social Neuroscience*, 8(5), 515-524. doi: 10.1080/17470919.2013.833550

Lipps, T. (1906). *Ästhetik: Die ästhetische Betrachtung und die bildende Kunst*. Voss. Retrieved from http://books.google.de/books?id=Rxk2AAAAMAAJ

Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, *24*(2), 190–198. doi:10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014

Olkin, J. (1967). Correlations revisited. In J. C. Stanley (Ed.), *Improving experimental design and statistical analysis.* (pp. 102–128). Chicago: Rand McNalley.

Page, M. C., Braver, S. S., & MacKinnon, D. P. (2003). *Levine's Guide to SPSS for Analysis of Variance* (2nd Edition). London: Lawrence Erlbaum Associates.

Paulus, C. (2009). *The Saarbrueck Personality Questionnaire on Empathy: Psychometric evaluation of the German version of the Interpersonal Reactivity Index*. Retrieved from http://www.uni-saarland.de/fak5/ezw/personal/paulus/empathy/SPF_Artikel.pdf

Perry, A., Troje, N. F., & Bentin, S. (2010). Exploring motor system contributions to the perception of social information: Evidence from EEG activity in the mu/alpha frequency range. *Social Neuroscience*, *5*(3), 272–284. doi:10.1080/17470910903395767

Pineda, J. A. (2005). The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing". *Brain research. Brain research reviews*, *50*(1), 57–68. doi:10.1016/j.brainresrev.2005.04.005

Sbriscia-Fioretti, B., Berchio, C., Freedberg, D., Gallese, V., Umiltà, M. A., & Di Russo, F. (2013). ERP Modulation during Observation of Abstract Paintings by Franz Kline. *PLoS ONE*, *8*(10), e75241. doi:10.1371/journal.pone.0075241

Shamay-Tsoory, S. G., Aharon-Peretz, J., & Perry, D. (2009). Two systems for empathy: a double dissociation between emotional and cognitive empathy in inferior frontal gyrus versus ventromedial prefrontal lesions. *Brain : a journal of neurology*, *132*(Pt 3), 617–627. doi:10.1093/brain/awn279

Ticini, L. F. (2013). Does the motor cortex differentiate between linguistic symbols and scribbles*? Frontiers in human neuroscience*, 7, 715. doi: 10.3389/fnhum.2013.00715

Titchener, E. B. (1909). *Lectures on the experimental psychology of the thought-processes*. New York: The Macmillan Company. Retrieved from http://www.archive.org/details/cu31924024573176

Umiltà, M. A., Berchio, C., Sestito, M., Freedberg, D., & Gallese, V. (2012). Abstract art and cortical motor activation: an EEG study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*. doi:10.3389/fnhum.2012.00311

Woodruff, C.C., Daut, R., Brower, M., & Bragg, A. (2011). EEG alpha- and beta-band correlates of perspective-taking and personal distress. *Neuroreport*, 22, 744-748.

Table 1

Interactions and simple effects including the factors PRODUCTION METHOD *or* COMPLEXITY.

COMP × LAT		
COMP in L	low > medium ***	
$F(2, 54) = 23.09$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .461$	low > high***	
	medium > high*	
COMP in M	low > medium **	
$F(2, 54) = 16.75$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .383$	low > high***	
COMP in R	low > medium**	
$F(2, 54) = 17.72$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .382$	low > high***	
COMP × REG		
COMP in C	low > medium*	
$F(2, 54) = 6.13$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .185$	low > high*	
COMP in O	low > medium***	
$F(2, 54) = 25.59$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .487$	low > high***	
	medium > high*	
COMP × REG × PROD		
COMP × REG in HM	COMP in C in HM	low > high*
$F(2, 54) = 11.72$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .303$	$F(2, 54) = 5.70$, $p < .001$	
	COMP in O in HM	low > medium***
	$F(2, 54) = 28.11$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .510$	low > high***
COMP × REG in CG	COMP in C in CG	
$F(2, 54) = 6.78$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .201$	n.s.	
	COMP in O in CG	low > high**
	$F(2, 54) = 9.14$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .253$	
COMP × LAT × PROD		
COMP × LAT in HM	COMP in L in HM	low > medium***
$F(4, 108) = 2.53$, $p = .041$, $\eta_p^2 = .087$	$F(2, 54) = 20.89$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .436$	low > high***

	COMP in M in HM $F(2, 54) = 15.38$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .363$; COMP in R in HM: $F(2, 54) = 18.91$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .412$	low > medium*** low > high*** low > medium*** low > high***	
COMP × LAT in CG $F(4, 108) = 3.43$, $p = .022$, $\eta_p^2 = .113$	COMP in L in CG $F(2, 54) = 8.50$, $p < .002$, $\eta_p^2 = .239$	low > medium* low > high**	
	COMP in M in CG $F(2, 54) = 4.88$, $p < .020$, $\eta_p^2 = .153$	n.s.	
	COMP in R in CG $F(2, 54) = 3.88$, $p < .040$, $\eta_p^2 = .126$	n.s.	
COMP × PROD × LAT × REG			
COMP × PROD × LAT in C: $F(4, 108) = 5.00$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .156$	COMP × PROD in R in L n.s. COMP × PROD in R in M n.s.		
	COMP × PROD in R in C: $F(2, 54) = 3.36$, $p = .042$, $\eta_p^2 = .111$	COMP in HM in R in C $F(2, 54) = 8.48$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .239$ COMP in CG in R in C n.s.	low > medium** low > high**
COMP × PROD × LAT in O n.s.			

Note: PROD = PRODUCTION TYPE; COMP = COMPLEXITY; LAT = LATERALITY; REG = REGION; HM = handmade; CG = computer-generated; L = left; M = midline; R = right; C = central; O = occipital; n.s. = not significant * p < .05; ** p < .01; *** p < .001.

Figure 1. Stimuli used in the study. The upper part depicts the handmade stimuli in different complexities (from left to right: low complexity, medium complexity, high complexity, control-stimuli). The lower part depicts the different textures of the stimuli (A: handmade, B: computer-generated, C: handmade / control, D: computer-generated / control).

Figure 2. Mu-suppression indices for each combination of PRODUCTION METHOD and COMPLEXITY at electrodes C4 and O2. The error bars represent the standard error. ** = $p < .01$; *** = $p < .001$.

Figure 3. Correlation of mu-suppression difference for handmade minus computer-generated graphics at electrode C4 with empathic concern ($r = -.612$, $p < .001$). The higher participants scored on the empathic concern scale, the stronger was mu activity suppressed through the observation of handmade relative to computer-generated graphics.

Figure 1

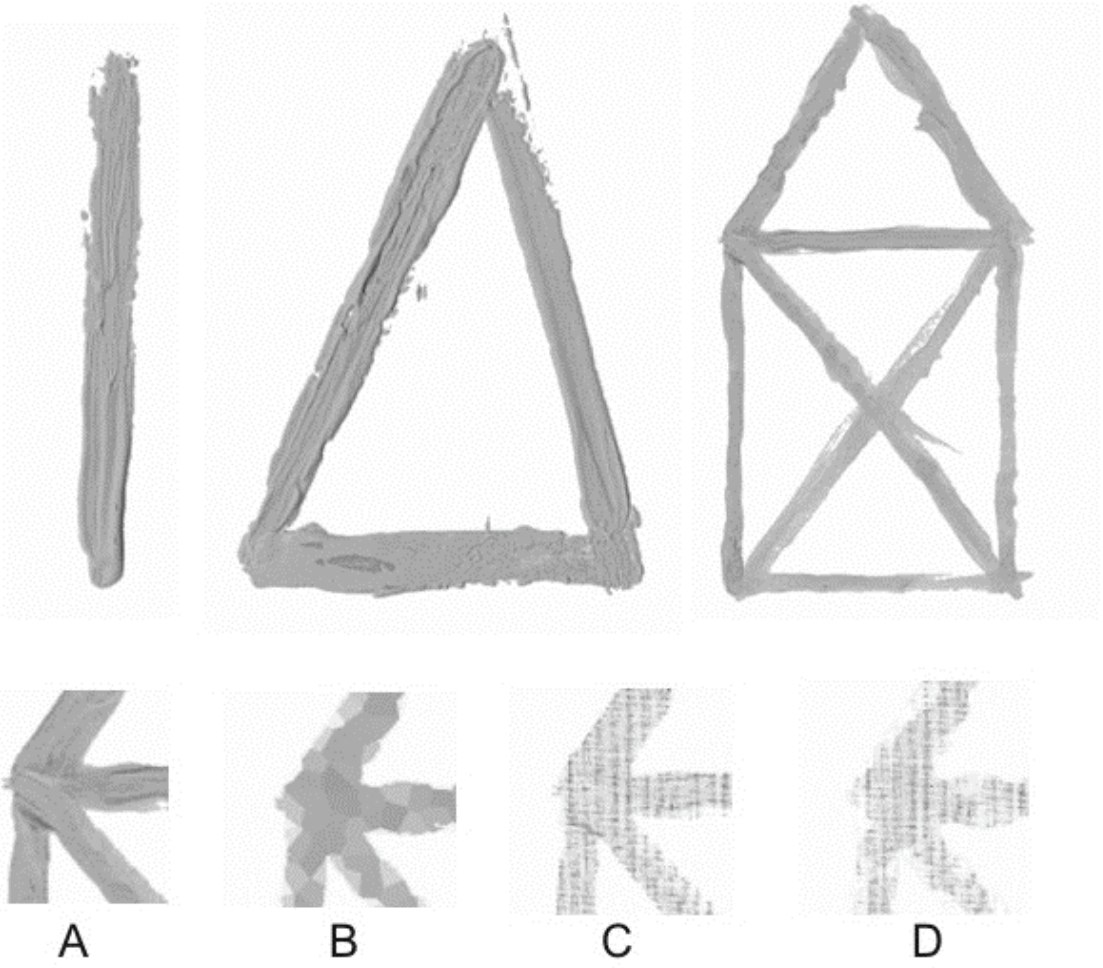


Figure 2

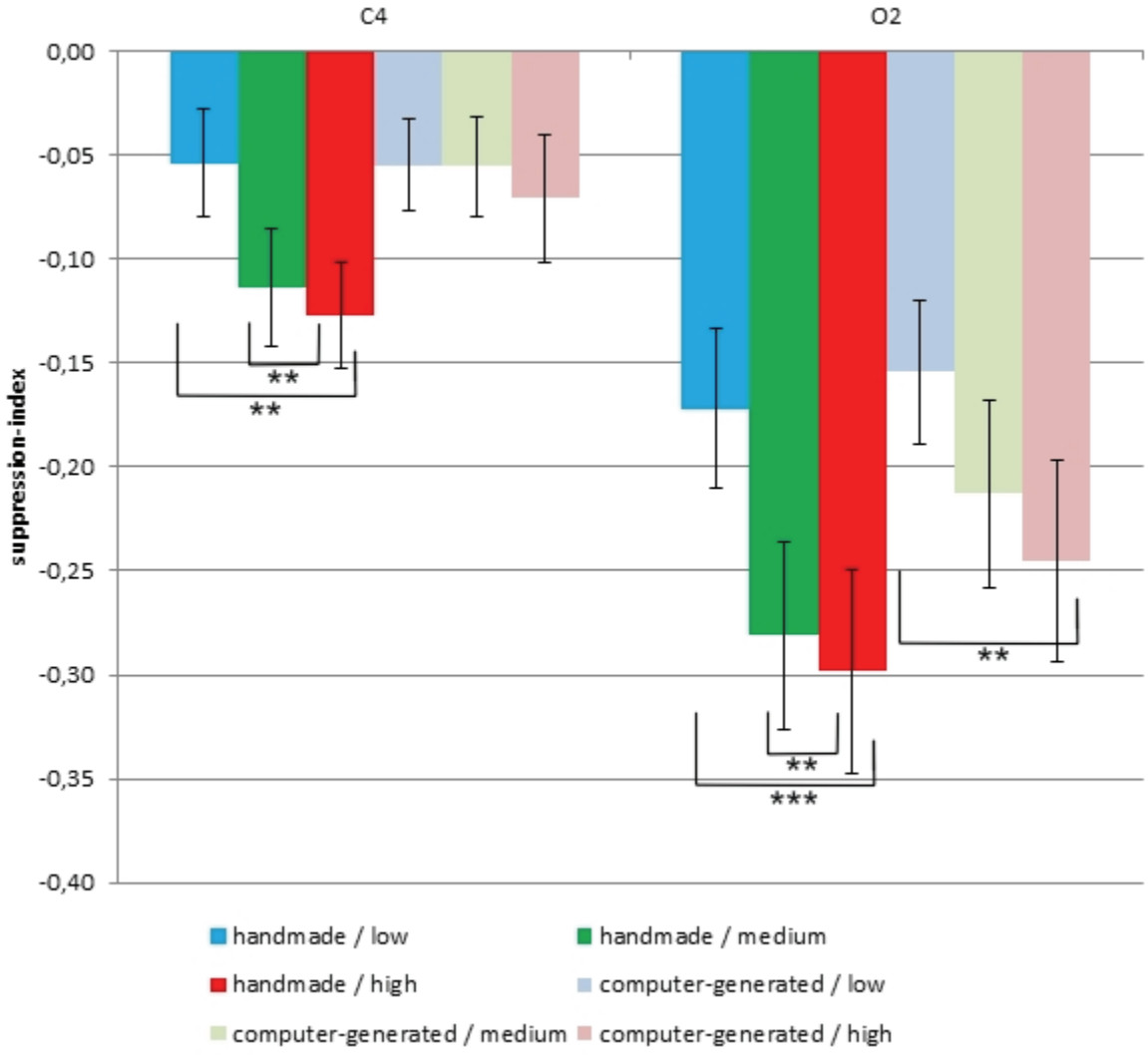
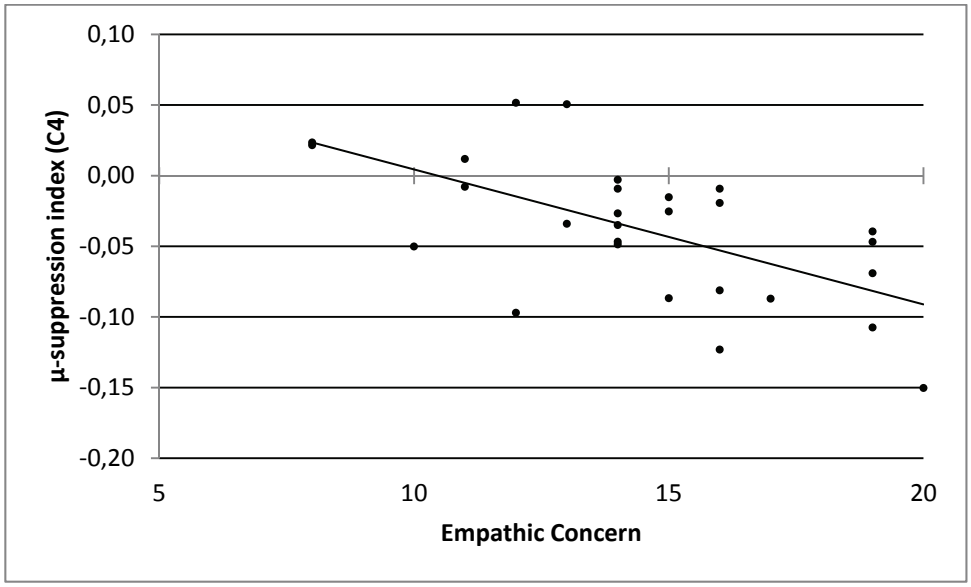

C4
O2
0,00
-0,05
-0,10
-0,15
-0,20
-0,25
-0,30
-0,35
-0,40
suppression-index
**
**
**
**
***
handmade / low
handmade / medium
handmade / high
computer-generated / low
computer-generated / medium
computer-generated / high

Figure 3


0,10
0,05
0,00
-0,05
-0,10
-0,15
-0,20
μ-suppression index (C4)
5
10
15
20
Empathic Concern

Erklärung

Ich versichere an Eides Statt, dass die Dissertation von mir selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe unter Beachtung der „Grundsätze zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf“ erstellt worden ist.

Die Dissertation wurde in vorliegender oder ähnlicher Form keiner anderen Fakultät vorgelegt und es wurden bisher keine Promotionsversuche unternommen.

Düsseldorf, 28.01.2016

Ort, Datum Unterschrift