

**Abstraktheit ist relativ:
Darstellung der kognitiven Verknüpfung von
Bewegungsbeobachtung und Sprachverstehen anhand
von Verhaltens- und EEG-Daten**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie
an der Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft
der Universität Bielefeld

vorgelegt von
Franziska Schaller
aus Bonn

Bielefeld, den 7. Dezember 2016

Erstgutachter: apl. Prof. Dr. Dr. Horst M. Müller
Zweitgutachterin: apl. Prof. Dr. Sabine Weiss

Danksagung

Viele Menschen haben mich auf dem Weg entlang dieses großen Projekts begleitet und unterstützt, an mich geglaubt und mir immer wieder Kraft zum Weitermachen gegeben.

Besonders herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Sabine Weiss und Prof. Dr. Dr. Horst M. Müller, die meine Arbeit hervorragend betreut, mich unterstützt, immer bereitwillig zugehört und viele Anregungen gegeben haben. Durch Euch habe ich in den letzten Jahren nicht nur wissenschaftlich, sondern auch für das Leben viel gelernt.

Ich danke von ganzem Herzen meinen Eltern, Monika Morban und Frank Schaller, die mich mein Leben lang in allem unterstützt haben, was ich mir in den Kopf gesetzt hatte. Ohne Eure emotionale, psychische und finanzielle Hilfe wäre ich nicht da, wo ich heute bin.

Ein besonderes DANKE gilt Fred Pendelin, der mich im letzten Jahr durch viele Höhen und Tiefen begleitet und mit unbeschreiblich viel Hingabe und Liebe an mich geglaubt hat. Danke für Deine Geduld und Dein Verständnis.

Ich danke meiner Familie, die alles ist, was man sich nur wünschen kann. Danke, dass Ihr für mich da seid und ich mich immer auf Euch verlassen kann.

Danken möchte ich auch meinem Korrektoratsteam, Monika Morban, Michaela Stolle, Jonas Schaller, Larissa Sofia Balduin, Sara Hildebrand, Stefanie Jansen und Kathrin Wulf. Ihr seid nicht nur tolle Korrektoren, sondern auch großartige Freunde. Vielen Dank für die vielen offenen Ohren!

Ich danke Robin Bökesch, der mich so viele Jahre auf meinem Weg begleitet hat – durch Dick und Dünn – und der eine große Stütze in Zeiten der Zweifel war.

Darüber hinaus möchte ich mich bei der AG Experimentelle Neurolinguistik für den kreativen Input und die Funktion als Versuchskaninchen für Vorträge und Experimente bedanken.

*„Leider lässt sich eine wahrhafte Dankbarkeit mit Worten nicht ausdrücken.“
(Johann Wolfgang von Goethe)*

Gliederung

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	2
3 Theorieteil: Philosophische und neurolinguistische Aspekte des Embodiments	5
3.1 Zur Philosophie des Geistes und Erkenntnistheorie	5
3.2 Die sprachliche Embodimenttheorie	10
3.3 Neurobiologische Strukturen mit Relevanz für die sprachliche Embodimenttheorie	19
3.3.1 Neurobiologische Strukturen der Sensorik und Motorik	19
3.3.1.1 Der primäre motorische Kortex	20
3.3.1.2 Der prämotorische Kortex	22
3.3.1.3 Das supplementär-motorische Areal	22
3.3.1.4 Der primäre somatosensorische Kortex	22
3.3.2 Das System der Spiegelneuronen	24
3.4 Forschungskontext zur sprachlichen Embodimenttheorie	29
3.4.1 Ergebnisse aus Verhaltensstudien	29
3.4.2 Ergebnisse aus elektrophysiologischen Studien	34
3.4.3 Ergebnisse aus bildgebenden Studien	39
3.4.4 Ergebnisse aus Patientenstudien	42
3.4.5 Studien mit Gebärdensprecher/Innen	45
3.4.6 Zusammenfassung bisheriger Forschungsergebnisse	48
3.5 Abstrakte Sprache und die sprachliche Embodimenttheorie	48
4 Experimentalteil	60
4.1 Einleitung	60
4.1.1 Fragestellung	60
4.1.2 Forschungskontext zum motorischen Priming	61
4.1.3 Hypothesen zu den Reaktionszeitexperimenten 1 und 2	63
4.1.4 Hypothesen zu Reaktionszeitexperiment 3	64
4.1.5 Hypothesen zum EEG-Experiment	65
4.2 Vorbereitung der Stimuli	66
4.2.1 Evaluation prototypischer Bewegungen – Reaktionszeitexperimente 1 und 2, EEG-Experiment	66
4.2.2 Erstellung des Videomaterials – Reaktionszeitexperimente 1 und 2, EEG-Experiment	69
4.2.3 Erstellung des Videomaterials – Reaktionszeitexperiment 3	69
4.2.4 Erstellung des Satzmaterials – Reaktionszeitexperimente 1 und 2, EEG-Experiment	70
4.2.5 Erstellung des Satzmaterials – Reaktionszeitexperiment 3	70
4.3 Reaktionszeitexperimente	71
4.3.1 Experiment zur Messung der Handreaktion	73
4.3.1.1 Versuchspersonen	73
4.3.1.2 Stimuli	73
4.3.1.3 Versuchsdurchführung	75

4.3.1.4 Datenanalyse.....	76
4.3.1.5 Diskussion.....	78
4.3.2 Experiment zur Messung der Fußreaktion.....	79
4.3.2.1 Versuchspersonen.....	79
4.3.2.2 Stimuli.....	79
4.3.2.3 Versuchsdurchführung.....	80
4.3.2.4 Datenanalyse.....	81
4.3.2.5 Diskussion.....	83
4.3.3 Reaktionszeit gehörloser Gebärdensprecher/Innen.....	84
4.3.3.1 Versuchspersonen.....	84
4.3.3.2 Stimuli.....	84
4.3.3.3 Versuchsdurchführung.....	85
4.3.3.4 Datenanalyse.....	86
4.3.3.5 Diskussion.....	88
4.3.4 Zusammenfassende Diskussion.....	91
4.3.4.1 Einschränkungen bezüglich der Messung der Handreaktion.....	92
4.3.4.2 Kompatibilität vs. Interferenz.....	94
4.4 EEG-Experiment.....	97
4.4.1 Versuchspersonen.....	98
4.4.2 Stimuli.....	98
4.4.3 Versuchsdurchführung.....	99
4.4.4 EEG-Ableitung.....	102
4.4.5 Datenvorbereitung.....	102
4.4.5.1 Ereigniskorreliertes Potential – N400 (EKP).....	103
4.4.5.2 Ereigniskorrelierte Synchronisierung/Desynchronisierung (ERS/ERD).....	104
4.4.5.3 Fast-Fourier-Transformation (FFT).....	107
4.4.5.4 Kohärenz.....	108
4.4.6 Datenanalyse und Ergebnisse.....	109
4.4.6.1 EKP-Analyse (N400).....	110
4.4.6.2 ERS/ERD-Analyse.....	111
4.4.6.3 FFT-Analyse.....	119
4.4.6.4 Kohärenzanalyse.....	123
4.4.7 Diskussion.....	124
4.4.7.1 Powerveränderungen während der Bewegungsbeobachtung.....	126
4.4.7.2 Powerveränderungen während der Satzverarbeitung: μ -Rhythmus.....	127
4.4.7.3 Powerveränderungen während der Satzverarbeitung: β_2 -Rhythmus.....	130
4.5 Zusammenfassung der Studienergebnisse.....	135
5 Fazit.....	138
Quellenverzeichnis.....	141
Anhang.....	151
A Stimulussätze der Reaktionszeitexperimente 1 und 2.....	151
B Stimulusmaterial des Reaktionszeitexperiments 3.....	154

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zeitstrahl zum Wechsel von Monismus und Dualismus.....	5
Abbildung 2:	Die kognitive Speicherung perzeptueller Eindrücke.....	13
Abbildung 3:	Das menschliche Gehirn aus lateraler Ansicht.....	20
Abbildung 4:	Der motorische Homunculus.....	21
Abbildung 5:	Der sensorische Homunculus.....	23
Abbildung 6:	Das Makakengehirn.....	25
Abbildung 7:	Reaktion auf das Einsetzen einer willkürlichen Fingerbewegung.....	35
Abbildung 8:	Ausrichtung der MMN.....	37
Abbildung 9:	Aktivitätsmuster im Kortex bei einer Lokalisierungsaufgabe.....	39
Abbildung 10:	Beispielstimuli für Handbewegungen in den vier Experimenten.....	45
Abbildung 11:	Somatotope Aktivierung während der Verarbeitung von Idiomen.....	57
Abbildung 12:	Bewegungserfassung per Motion-Tracking.....	67
Abbildung 13:	Versuchssituation in RT-Experiment 1.....	75
Abbildung 14:	Aufbau der Trials in RT-Experiment 1.....	76
Abbildung 15:	Mittlere RTs in Experiment 1.....	77
Abbildung 16:	Versuchssituation in RT-Experiment 2.....	80
Abbildung 17:	Aufbau der Trials in RT-Experiment 2.....	81
Abbildung 18:	Mittlere RTs in Experiment 2.....	82
Abbildung 19:	Design der Trials im dritten RT-Experiment.....	86
Abbildung 20.1:	Ergebnisse der F ₁ -Analyse im dritten RT-Experiment.....	87
Abbildung 20.2:	Ergebnisse der F ₂ -Analyse im dritten RT-Experiment.....	88
Abbildung 21:	Versuchssituation im EEG-Experiment.....	100
Abbildung 22:	Design der Videotrials im EEG-Experiment.....	101
Abbildung 23:	Anordnung der Elektroden.....	110
Abbildung 24:	Verlauf der Wertekurven für konkrete und abstrakte Nomen.....	111
Abbildung 25.1:	Absolute Powerwerte für den Verlauf der Sätze <i>Konkrete Bewegung</i> und <i>Abstrakt</i> (8-12 Hz).....	115
Abbildung 25.2:	Absolute Powerwerte für den Verlauf der Sätze <i>Abstrakte Bewegung</i> und <i>Abstrakt</i> (8-12 Hz).....	115
Abbildung 26:	Absolute Powerwerte für den Verlauf der Videos (8-12 Hz).....	116
Abbildung 27.1:	Absolute Powerwerte für den Verlauf der Sätze <i>Konkrete Bewegung</i> und <i>Abstrakt</i> (16-25 Hz).....	118
Abbildung 27.2:	Absolute Powerwerte für den Verlauf der Sätze <i>Abstrakte Bewegung</i> und <i>Abstrakt</i> (16-25 Hz).....	118
Abbildung 28:	Absolute Powerwerte für den Verlauf der Videos (16-25 Hz).....	119
Abbildung 29:	Nicht-parametrische FFT-Statistik zum Vergleich der Satztypen.....	122
Abbildung 30.1:	FFT-Vergleich der beiden Videobedingungen (μ -Rhythmus).....	122
Abbildung 30.2:	FFT-Vergleich der beiden Videobedingungen (β_2 -Rhythmus).....	123

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Evaluation der prototypischen Bewegung zum Verb <i>zeigen</i>	68
Tabelle 2: Überblick über die verschiedenen Stimulustypen in RT-Experiment 1.....	74
Tabelle 3: Überblick über die verschiedenen Stimulustypen in RT-Experiment 2.....	79
Tabelle 4: Signifikante Differenzen zwischen konkreten und abstrakten Nomen.....	111
Tabelle 5: ERD-Werte der <i>Friedman</i> - bzw. <i>Wilcoxon</i> -Teststatistiken (8-12 Hz).....	113
Tabelle 6: ERD-Werte der <i>Friedman</i> - bzw. <i>Wilcoxon</i> -Teststatistiken (16-25 Hz).....	116
Tabelle 7.1: Signifikante FFT-Powerunterschiede zwischen den drei Satztypen.....	120
Tabelle 7.2: Signifikante FFT-Powerunterschiede zwischen den zwei Videotypen.....	120
Tabelle 8.1: Ergebnisse der <i>Friedman</i> -Tests zur Überprüfung signifikanter Powerunterschiede zwischen den drei Satztypen bei der FFT-Analyse.....	121
Tabelle 8.2: Ergebnisse der <i>Wilcoxon</i> -Tests zur Überprüfung signifikanter Powerunterschiede zwischen den beiden Videotypen bei der FFT-Analyse.....	121
Tabelle 9.1: Ergebnisse der <i>rmANOVAs</i> zur Überprüfung signifikanter Kohärenzunterschiede zwischen den drei Satztypen.....	124
Tabelle 9.2: Ergebnisse der <i>rmANOVAs</i> zur Überprüfung signifikanter Kohärenzunterschiede zwischen den zwei Videotypen.....	124

Abkürzungsverzeichnis

(a)IPL	(Anterior) inferior parietal lobule
<i>A</i>	Abstrakt
<i>AB</i>	Abstrakte Bewegung
<i>ACE</i>	Action-sentence compatibility effect
<i>AD</i>	Abweichend - Distraktor
<i>ALS</i>	Amyotrophe Lateralsklerose
<i>APC</i>	Action perception circuit
<i>APT</i>	Action perception theory
<i>AS</i>	Arcuate sulcus, Sulcus arcuatus
<i>ASL</i>	American sign language
<i>BSL</i>	British sign language
<i>CAT</i>	Context availability theory
<i>DCT</i>	Dual-coding theory
<i>df</i>	degrees of freedom, Freiheitsgrad
<i>DMC</i>	Double mapping constraint
<i>EEG</i>	Elektroenzephalographie
<i>EKP</i>	Ereigniskorreliertes Potential
<i>ERD</i>	Ereigniskorrelierte Desynchronisierung
<i>ERS</i>	Ereigniskorrelierte Synchronisierung
<i>FFT</i>	Fast-Fourier-Transformation
<i>fMRT</i>	Funktionelle Magnetresonanztomographie
<i>Hz</i>	Hertz
<i>IA</i>	Inkongruent – abstrakt
<i>IAB</i>	Inkongruent – abstrakte Bewegung
<i>IH</i>	Indexikalitätshypothese
<i>IIR</i>	Infinite impulse response
<i>IKB</i>	Inkongruent – konkrete Bewegung
<i>ISI</i>	Interstimulusintervall
<i>KA</i>	Kongruent – abstrakt
<i>KAB</i>	Kongruent – abstrakte Bewegung
<i>KB</i>	Konkrete Bewegung
<i>KKB</i>	Kongruent – konkrete Bewegung
<i>M</i>	Mittelwert
<i>MEPs</i>	Motorisch evozierte Potentiale
<i>MMN</i>	Mismatch negativity
<i>ms</i>	Millisekunden
<i>MSE</i>	Mean standard error
<i>MSqE</i>	Mean square error

<i>PET</i>	Positronenemissionstomographie
<i>rmANOVA</i>	Repeated measures ANOVA
<i>RT</i>	reaction time, Reaktionszeit
<i>s</i>	Sekunden
<i>SA</i>	Still – abstrakt
<i>SAB</i>	Still – abstrakte Bewegung
<i>SD</i>	standard deviation, Standardabweichung
<i>SE</i>	standard error, Standardfehler
<i>SKB</i>	Still – konkrete Bewegung
<i>STS</i>	Sulcus temporalis superior
<i>TMS</i>	Transkranielle Magnetstimulation
<i>VPN</i>	Versuchsperson(en)
μV	Mikrovolt

1 Zusammenfassung

Die Embodimenttheorie, die sich aus der philosophischen Strömung der Erkenntnistheorie entwickelte, fällt in die Tradition einer monistischen Auffassung über die Beziehung zwischen Körper und Kognition. Dieser Auslegung zufolge stehen Körper und Kognition in wechselseitigem Verhältnis zueinander und beeinflussen sich gegenseitig. Der Ansatz ist nicht nur für die Philosophie, sondern unter anderem auch für die Kognitionswissenschaften relevant. In der vorliegenden Arbeit wird die sprachliche Embodimenttheorie als Forschungsgegenstand der (Neuro-)Linguistik fokussiert.

Die kognitive Verarbeitung von Sprache wird der sprachlichen Embodimenttheorie zufolge durch körperliche Erfahrungen eines Individuums und dessen Auseinandersetzung mit der Umwelt beeinflusst. Auf neurobiologischer Ebene manifestiert sich diese Interaktion derart, dass eine direkte Verknüpfung zwischen sensomotorisch und sprachlich relevanten Kortexarealen vorliegt. So konnten Forschungsarbeiten beispielsweise zeigen, dass während der Verarbeitung motorischer Verben (*ziehen, greifen*) die Kortexareale aktiv sind, die auch die Planung und Ausführung eines entsprechenden Bewegungsprogramms steuern.

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, inwieweit eine solche Konnexion von sprachlichen und sensomotorischen Prozessen bei der Verarbeitung abstrakter Sprache mit motorischem Bezug vorliegt (*Konsequenzen ziehen, Beruf ergreifen*). Um diese Frage zu beantworten wurden mehrere Verhaltensexperimente und ein EEG-Experiment durchgeführt, in denen Reaktionen auf konkrete und abstrakte Sätze mit Bewegungsbezug miteinander verglichen wurden. Darüber hinaus wurde speziell im EEG-Experiment ein Vergleich zwischen Antworten auf sprachliche motorische Stimuli und auf die visuelle Präsentation von Bewegungen vorgenommen, um mögliche Parallelen zwischen der Aktivierung des sensomotorischen Systems während der Sprach- und der Bewegungsverarbeitung aufzudecken.

Die Ergebnisse aus den verschiedenen Experimenten lassen darauf schließen, dass sensomotorische Kortexareale an der Verarbeitung abstrakter Sprache mit Bewegungsbezug beteiligt sind, allerdings auf andere Art oder in geringerer Intensität als während der Verarbeitung konkreter Sprache. Weiterhin sind die sensomotorischen Prozesse während der Sprach- und der Bewegungsverarbeitung nur bedingt vergleichbar. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die Relevanz sensomotorischer Kortexareale für die Verarbeitung abstrakter Sprache sowie über die Intensität der Auslegung der sprachlichen Embodimenttheorie.

2 Einleitung

Die Fragen nach dem Ursprung, der Natur und der Entwicklung von *Wissen* sind Fragen, die schriftsprachlich bis in die Antike zu Platon und Aristoteles zurückverfolgt werden können. In der philosophischen Disziplin der Erkenntnistheorie aber zum Beispiel auch in den Kognitionswissenschaften werden diese Fragen behandelt. Die kognitive Neurowissenschaft und die kognitive Psychologie als Teile der Kognitionswissenschaften untersuchen dabei neurophysiologische Aspekte der Gesamtfragen. Welche sind die neurophysiologischen und neurobiologischen Ursprünge für Wissen? Welche Strukturen müssen vorhanden sein, damit Erkenntnis erlangt werden kann? Und welche Strukturen verarbeiten dabei welche Informationen? In der historischen Entwicklung der Erkenntnistheorie festigten sich zwei konträre Hauptpositionen: der Dualismus und der Monismus. Während Vertreter einer dualistischen Weltanschauung Körper und Geist getrennt voneinander betrachten und den Geist über das Physische erheben, wird im Monismus die Ansicht vertreten, Körper und Geist seien eine Einheit und nur über diese Einheit könne Wissen erlangt werden. In den Kognitionswissenschaften hat seit etwa 1980 die Diskussion um die sogenannte Embodimenttheorie stark zugenommen, die in die Tradition einer monistischen Denkweise fällt. Dieser Theorie zufolge wird die menschliche Kognition durch Erfahrungen, vor allem körperliche Erfahrungen in Interaktion mit der Umwelt, geprägt. Körper und Geist beeinflussen sich gegenseitig. Einerseits drücken sich also körperliche Zustände in der Kognition aus. Rechtshänder ordnen beispielsweise Positives eher im rechtsgerichteten Raum ein, während Linkshänder Positives mit dem linksgerichteten Raum verbinden (Casasanto 2009). Andererseits manifestieren sich kognitive Zustände physisch, etwa durch die Mimik oder die Körperhaltung. Entsprechend der Embodimenttheorie bilden sich Wahrnehmungen in der Umwelt unmittelbar kognitiv ab. Wird beispielsweise ein Gegenstand gegriffen, löst diese motorische Handlung auch eine sensorische Wahrnehmung aus und die motorischen und sensorischen Repräsentationen in Bezug auf den Gegenstand werden kognitiv miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung bewirkt, dass sich die Repräsentationen nachfolgend gegenseitig aktivieren. Allein bei der Betrachtung des Gegenstandes werden also neben dem visuellen Eindruck weitere sensorische Repräsentationen, wie zum Beispiel in Bezug auf den Geruch, das Gewicht oder die Textur, aber auch motorische Programme aktiviert, die eine entsprechende Greifbewegung steuern. Diese Erfahrungs- und Lernverkettungen lassen sich auf abstrakte, beispielsweise emotionale, Ebenen übertragen. Erzählt jemand davon, dass er Freude bei dem Empfang eines Blumenstraußes empfand, so kann sein Gegenüber dies nur dann vollumfänglich verstehen, wenn er weiß, wie sich Freude anfühlt. Zwar kann er auch ohne das Nachempfinden dieses Gefühls eine Vorstellung des Konzepts *Freude* haben, etwa wissen, dass es sich um ein positives, erstrebenswertes Gefühl handelt und in wel-

chen Situationen Menschen üblicherweise Freude empfinden, doch ist es Teil der empathischen sozialen Interaktion, Gefühle nachspüren zu können.

Auch im kognitiven Bereich der Sprachverarbeitung ist die Embodimenttheorie relevant. Die fokussierte Fragestellung der sprachlichen Embodimenttheorie ist, inwieweit körperliche Erfahrungswerte zum Verstehen und zur Produktion von Sprache erforderlich oder hilfreich sind. Der Ratschlag, nicht auf die heiße Herdplatte zu fassen, ist nur dann verständlich, wenn der Rezipient des Ratschlags weiß, was es bedeutet, dass etwas heiß ist und dass das durch Hitze verursachte Gefühl auf der Haut unangenehm bis schmerzhaft sein kann. Der Aufforderung, hart gegen einen Ball zu treten, kann nur Folge geleistet werden, wenn klar ist, wie sich ein harter Schuss anfühlt oder zumindest, wie er ausgeführt wird. Sensorische Empfindungen und motorische Programme sind der sprachlichen Embodimenttheorie zufolge Teil der semantischen De- und Enkodierung eines sprachlichen Signals. Studien konnten eine Aktivität der entsprechenden kortikalen Areale während der Verarbeitung sensorischer oder motorischer sprachlicher Inhalte nachweisen, was für die Beteiligung dieser Areale an der Erfassung von Bedeutung spricht. Darüber, ob eine solche Beteiligung zwingend notwendig ist, oder gegebenenfalls lediglich eine hilfreiche Unterstützung darstellt, herrscht noch kein Konsens.

In dieser Arbeit wird die Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache im Kontext der sprachlichen Embodimenttheorie fokussiert. Die Verwendung konkreter bewegungsbezogener Verben in abstrakten Kontexten, wie beispielsweise in Bewegungsmetaphern, stellt eine Schnittstelle zwischen konkretem und abstraktem Sprachgebrauch und damit ein bisher unterrepräsentiertes Phänomen in den Forschungsarbeiten zur Embodimentdebatte dar. Im ersten Kapitel werden die Ursprünge des Embodimentgedankens in der philosophischen Strömung der Erkenntnistheorie erläutert. Die dabei konkurrierenden Positionen einer dualistischen oder rationalistischen Weltanschauung, wie sie von Platon, René Descartes und Immanuel Kant vertreten wurde, und der unter anderem von Aristoteles, John Locke und Gottfried Wilhelm Leibniz geäußerten monistischen oder empiristischen Perspektive, werden dazu detailliert wiedergegeben. Im zweiten Kapitel werden die zentralen Inhalte der sprachlichen Embodimenttheorie anhand der einflussreichen Theorien von George Lakoff und Mark Johnson, Lawrence Barsalou sowie Arthur Glenberg verdeutlicht. Dabei geht es nicht nur um die Darstellung der recht einheitlichen Positionen, sondern auch um die Entwicklung der Theorie und die inzwischen vorherrschende abgeschwächte Version der ursprünglichen Hypothesen. Im Anschluss erfolgt eine Beschreibung der für den weiteren Verlauf der Arbeit relevanten neurobiologischen Strukturen. Sensomotorische kortikale Systeme sind für die sprachliche Embodimenttheorie zentral und eine Beschreibung derselben erleichtert das Verständnis der entsprechenden Ausführungen. Die theoretischen Annahmen zum sprachlichen Embodiment werden von einer Vielzahl wissenschaftlicher Studienergebnisse unterstützt, weshalb im Anschluss an die neuronalen Repräsentationen eine ausführliche Vorstellung der entsprechenden Forschungsarbeiten erfolgt. Die hier durchge-

führte Studie konzentrierte sich besonders auf die Verarbeitung abstrakter Sprache vor dem Hintergrund der sprachlichen Embodimenttheorie. Dieser Thematik ist daher am Ende des Theorieteils ein eigenes Kapitel gewidmet. Anschließend wird die hier durchgeführte Studie hinsichtlich der entsprechenden Vorgehensweise und der Ergebnisse vorgestellt. Die fokussierte Fragestellung war, wie abstrakte bewegungsbezogene Sprache im Kontext der sprachlichen Embodimenttheorie verarbeitet wird. Die verhaltensbezogenen Experimente konzentrierten sich darauf, ob sich die Verarbeitung von Sätzen wie „*Ich habe die Konsequenz gezogen.*“ ebenso wie Sätzen der Form „*Ich habe die Handbremse gezogen.*“ durch eine vor dem Hören des Satzes ausgeführte passende Bewegung beeinflussen ließe. Das elektrophysiologische Experiment fokussierte die Frage, ob sich elektroenzephalographische Oszillationen, die im Zusammenhang mit beispielsweise der Ausführung einer Bewegung detektiert werden können, gleichermaßen während der Präsentation konkreter und abstrakter bewegungsbezogener Sätze verändern. Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund der sprachlichen Embodimenttheorie diskutiert.

3 Theorieteil: Philosophische und neurolinguistische Aspekte des Embodiments

3.1 Zur Philosophie des Geistes und Erkenntnistheorie

Kognition ist abhängig von körperlicher Erfahrung. Sie wird geformt durch Wahrnehmung und Bewegung (Lakoff & Johnson 1999). Diese Thesen bilden den wesentlichen Inhalt der Embodimenttheorie, wie sie durch die Kognitionswissenschaften geprägt wurde. Sie fällt damit in die philosophische Tradition der Philosophie des Geistes und der Erkenntnistheorie. Zentraler Gegenstand dieser beiden Strömungen ist das Leib-Seele- beziehungsweise das Körper-Geist-Problem, bei dem im Wesentlichen die Fragen diskutiert werden, wie sich mentale zu physischen Zuständen und Individuen zu Objekten in der Umwelt verhalten. Speziell in der Erkenntnistheorie sind zentrale Fragen, was Wissen ist und welches die Voraussetzungen dafür sind, dass Erkenntnis – also Wissen – erlangt werden kann (Grundmann 2008). Zwar ist das Wissen über *Wissen* neben der Erkenntnistheorie selbst auch Gegenstand der Kognitionswissenschaften, der Evolutionsbiologie und der Sozialwissenschaften. In diesen Disziplinen liegt der Fokus allerdings eher darauf, den neurophysiologischen Ursprung des Wissens sowie die Entwicklung desselben oder den historischen Wandel des Verständnisses von *Wissen* zu ergründen (Grundmann 2008). Die beiden in der erkenntnistheoretischen Diskussion konträren philosophischen Parteien beziehen entweder eine monistische oder eine dualistische Position, vertreten also entweder die Auffassung einer Einheit von Körper und Geist oder einer unabhängigen Koexistenz der beiden Entitäten. Je nach philosophischer Strömung, gesellschaftlichem Einfluss und wissenschaftlicher Erkenntnis geht die Tendenz dabei teilweise eher in Richtung des Monismus und teilweise eher in Richtung des Dualismus, wie im Zeitstrahl in Abbildung 1 zu sehen ist. Diese konträren Positionen lassen sich auch als Gegenüberstellung rationalistischer und empiristischer Strömungen auffassen. Dementsprechend wird vereinfacht eher der Vernunft oder der Erfahrung, alias den Sinneswahrnehmungen, eine größere Rolle beim Erkenntnisgewinn und im größeren Rahmen bei der Kognition zugeordnet.

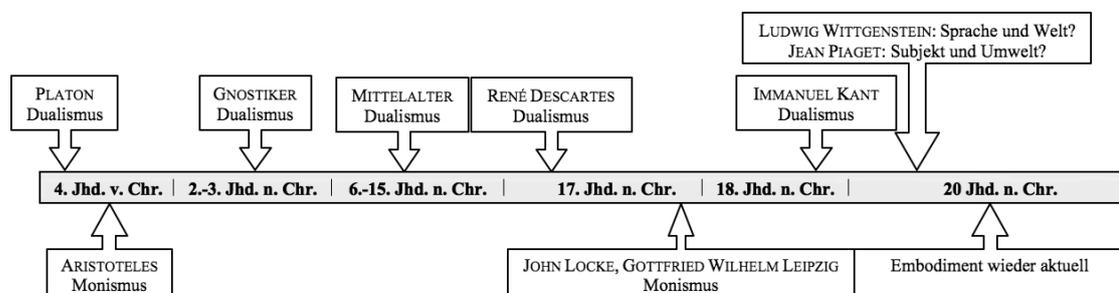


Abbildung 1: Zeitstrahl zum Wechsel von Monismus und Dualismus in einem groben Überblick über die Jahrhunderte bis hin zur aktuellen Embodimenttheorie.

Die Abhandlung zu den Fragen, in welchem Verhältnis Körper und Geist zueinander stehen, wie Erkenntnis erlangt wird und sich Kognition ausbildet, geht schriftsprachlich bis auf die Antike zurück. Neben anderen befassten sich Platon und Aristoteles mit diesem Problem. Platon war Dualist und der Ansicht, dass die Seele losgelöst vom Körper existiere, sich erst mit der Geburt mit einem Körper verbinde (Gabriel 2008). Sämtliches Wissen, das sich der Mensch im Laufe seines Lebens aneigne, gehe auf eine Betrachtung bereits bekannter Ideen zurück. Träger dieser Ideen, oder Urbilder, sei die Seele, die sie dem Körper mit der Geburt zur Verfügung stelle. Dementsprechend sei sämtliche Erkenntnis lediglich ein Wiedererkennen und somit bereits *Wissen* (Gabriel 2008, Herzberg 2011). Die Seele verarbeite laut Platon Sinneseindrücke aus der Umwelt und verhandle über diese gegebenenfalls mit der Vernunft, nämlich in den Fällen, in denen eine Wahrnehmung von der in der Seele gespeicherten Idee abweiche. Der Körper, beziehungsweise die Organe, seien lediglich Werkzeuge, anhand derer die Wahrnehmung erfolgen könne, sie schrieben dem Wahrgenommenen aber keinen Sinn zu. Dieser Prozess erfolge in der Seele (Herzberg 2011). Platons Lehre zufolge ist der Körper mit seinen wahrnehmenden Organen der Seele untergeordnet. Alle höheren kognitiven Funktionen übernimmt die Seele, die auch losgelöst vom Körper existieren kann, eventuell im Diskurs mit der Vernunft. Platons Schüler Aristoteles sprach der Wahrnehmung mehr Fähigkeiten zu, wie zum Beispiel die Wahrnehmung, dass etwas wahrgenommen wird. Die Wahrnehmung ist nach Aristoteles also selbst bereits Kognition. Sämtliche Sinne können für sich oder in ihrer Gemeinsamkeit fungieren und sind somit zu komplexeren Operationen fähig als nach Platon. Zentrum für das sensorische System, den sogenannten *Gemeinsinn*, der die Zusammenarbeit der Wahrnehmungsorgane steuere, sei das Herz (Herzberg 2011). Der Wahrnehmungsprozess umschließt nach Aristoteles einen in Folge von Bewegungen des Individuums über die Peripherie aufgenommenen sensorischen Eindruck, der im Anschluss den Gemeinsinn stimuliert. Neu bei Aristoteles war auch das Konzept des reflexiven Bewusstseins, dem Bewusstsein über die eigenen Tätigkeiten, das als Teil des Wahrnehmungsaktes aufgefasst wurde. Zu diesem Bewusstsein über die eigenen Tätigkeiten gelange das Individuum erst durch seine Interaktion mit der Umwelt. Nach Aristoteles ist die Wahrnehmung nicht nur ein Werkzeug, über das die Seele Erkenntnis erlangt. Vielmehr ist die Wahrnehmung ein komplexes System und selbst zu Erkenntnis fähig. Aristoteles sah somit eine sehr viel engere Verknüpfung zwischen Körper und Kognition als Platon. Seine erkenntnistheoretischen Überlegungen fielen eher in eine monistische statt eine dualistische Tradition. Ein Teil des Erkenntnisgewinns, nämlich der von den sensorischen Eindrücken abhängige, sei direkt an den Körper gebunden. Darüber hinaus grenzte Aristoteles das Denken als von den sensorischen Eindrücken unabhängigen Apparat zum Erkenntnisgewinn ab (Herzberg 2011).

Bis in das 17. Jahrhundert herrschte der Dualismus als Denkweise vor. Einer der bekanntesten Vertreter war der Rationalist René Descartes mit seiner Zwei-Substanzen-

Lehre. Sein Ansatz bestand darin, die Umwelt zunächst als Traumwelt zu definieren und alles Wahrgenommene anzuzweifeln (Gabriel 2008). Er zog daraus den Schluss, dass das Subjekt erst zu Erkenntnis über sich selbst gelangen müsse, bevor es sich dem Erkenntnisgewinn bezüglich seiner Umwelt und darin enthaltener Objekte zuwenden könne. Weiter stellte sich Descartes die Frage nach der Natur des Individuums und der es umgebenden Umwelt. Er definierte das Denken als die Natur des Individuums, wovon die Umwelt als *Ausdehnung* abgegrenzt wurde (Gabriel 2008). Dieser Ausdehnung gehöre auch der Körper des Subjekts an, womit die Trennung zwischen dem Körper und allem Materiellen (*res extensa*) auf der einen und dem Geist (*res cogitans*) auf der anderen Seite vollzogen war. Der carteschen Auffassung des Konzepts *Geist* ist die platonische Auffassung des Konzepts *Seele* gleichzusetzen. Die Erkenntnis, die nach Descartes anhand des Werkzeugs *Körper* erlangt werden könne, sei von geringerer Bedeutung als die Erkenntnis des Geistes, genauer des Verstandes, der allein in der Lage sei, die Wirklichkeit zu erfassen. Der Verstand würde dabei von der Einbildungskraft, den Sinnen und dem Gedächtnis unterstützt (Descartes 1972). Erkenntnisse des Körpers würden im Gegensatz dazu über physische Veränderungen der Körperoberfläche durch auf sie einwirkende Objekte, materieller oder immaterieller Art (z. B. Wärme, Kälte) gewonnen. Wie Aristoteles beschrieb Descartes (1972) die Existenz eines Gemeinsinns, der durch die vom Körper aufgenommenen Sinneseindrücke gereizt würde und seinerseits die Einbildungskraft reize. Die geistige Kraft, die dem Erkenntnisgewinn zugrunde liege, bediene sich nun der Einbildungskraft oder des Gedächtnisses (Descartes 1972).

Bekannte Vertreter einer monistischen Weltansicht, wie sie sich mit dem Ende des 17. Jahrhunderts mehr und mehr durchsetzte, waren unter anderem John Locke und Gottfried Wilhelm Leibniz. Locke (1962) nahm an, dass alle unsere Erkenntnisse auf unsere Sinneswahrnehmungen zurückzuführen seien, Geist und Körper also interagierten. Ausgangspunkt für ihn war unter anderem, den Verstand selbst zum Untersuchungsgegenstand zu machen (Gabriel 2008). Der Annahme des Konzepts angeborener Ideen, wie sie von Platon diskutiert wurde, stand Locke kritisch gegenüber (Locke 1962). Er unterschied zwischen theoretischen Prinzipien oder Grundgedanken, zu denen er beispielsweise mathematische und logische Grundsätze zählte, und praktischen Prinzipien, wie sie durch Vorschriften der Ethik oder der Religion geformt würden. Ideen nach der Definition von Platon sind Locke zufolge lediglich Bestandteile der Prinzipien. Wesentlich für die Differenzierung zwischen Platons und Lockes Auffassung der angeborenen Ideen und Prinzipien ist außerdem, dass Platon postulierte, die Ideen würden mit der Geburt in einen Körper „eingepflanzt“. Locke (1962) hingegen unterschied zwischen der angeborenen Fähigkeit Wissen zu erlangen und den Inhalten dieses Wissens, die nicht angeboren seien. Die Ideen als Teile der Prinzipien basieren nach Locke (1962) auf sinnlichen Erfahrungswerten und können sich zwischen Individuen unterscheiden. Dementsprechend sei das Wissen eines Subjekts auf den

Umfang seines Ideenschatzes begrenzt (Gabriel 2008). Durch die Interaktion mit Objekten der Umwelt gewinne das Subjekt perzeptuelle Eindrücke, die dann als Ideen im Geist gespeichert würden. Locke (1962) differenzierte weiter zwischen vier Arten von Ideen: Ideen, die sich durch die Wahrnehmung über einen einzigen Sinneskanal manifestierten, Ideen, die über verschiedene Sinne in den Geist vordrängen, Ideen, die sich allein über Reflexionsprozesse formten und Ideen, die sich als Folge perzeptuellen Inputs und Reflexion im Geist festigten. Dementsprechend definierte Locke (1962) Wahrnehmungsideen, die sich auf perzeptuelle Reize beziehen, und Reflexionsideen, die kognitive und emotionale Ideen umschließen. Sie bildeten die Bausteine des Denkprozesses. Quellen der Erkenntnis seien die Beobachtungen perzeptuell wahrnehmbarer Objekte einerseits und geistiger Operationen andererseits. Ganz entsprechend der Tradition des Embodimentgedankens vertrat Locke die Auffassung, dass ein Subjekt über Sinneswahrnehmungen die Existenz eines Objekts anerkennen könne (Gabriel 2008). Locke (1962) beschäftigte sich im Rahmen seines *Essays über den menschlichen Verstand* auch mit der Natur von Wörtern und war diesbezüglich der Ansicht, dass Wörter eine Manifestation der Ideen seien, die im Geist verankert seien. Somit hätten diese ihren Ursprung ebenfalls in Sinneswahrnehmungen. Diese Hypothese spiegelte bereits sehr stark die Grundgedanken der sprachlichen Embodimenttheorie wider, die im nächsten Kapitel vorgestellt wird. Leibnitz (1968, 1971) sprach sich im Gegensatz zu Locke (1962) für die Existenz angeborener Ideen und Prinzipien aus, die sich nicht über die Sinne erfahren ließen. So sah er beispielsweise die Vorstellung von Gott in dem Maße als angeboren an, dass auch Völker und Menschen, die isoliert lebten und damit keinen Zugang zu über Jahrtausende überlieferten Glaubensgrundsätzen hätten, an eine höhere Macht glaubten. Über die Sinne des Subjekts sei es aber in der Lage, sich dieser angeborenen Ideen und Prinzipien bewusst zu werden. Auch formten sich Gedanken zu einem Teil aus sinnlich wahrgenommenen Eindrücken. Leibnitz (1971) unterschied zwischen notwendigen Wahrheiten und tatsächlichen Wahrheiten. Erstere entspringen dem Verstand, letztere formten sich als Folge von Sinneseindrücken und Reflexion. Das Subjekt könne auf zwei Wegen zu Erkenntnis gelangen: über das Denken und über die Wahrnehmung. Leibnitz (1971) nahm somit eine Position zwischen rationalistischer und empiristischer Weltanschauung ein, da ihm zufolge sowohl die Vernunft als auch die Erfahrung Erkenntnis und somit Kognition formen.

Mit Immanuel Kants *Kritik an der reinen Vernunft* am Ende des 18. Jahrhunderts und der von Jean Piaget begründeten genetischen Epistemologie zu Beginn des 20. Jahrhunderts traten zwei Vertreter eines ausdrücklichen Dualismus in Erscheinung. Kant (1900) sprach sich dafür aus, dass zwar die Erfahrung der Ausgangspunkt für Erkenntnis sei, diese sozusagen initiere, die Erkenntnis aber nicht aus der Erfahrung entspringe. Er baute seine Überlegungen auf der Unterscheidung zwischen vier Erkenntnisarten, von ihm als *Urteile* bezeichnet, auf: den apriorischen, aposteriorischen, analytischen und synthetischen Urteilen. Apriorische Urteile seien unabhängig von

Erfahrungswerten, aposteriorische Urteile hingegen abhängig von den Erfahrungen eines Subjekts. Analytische Urteile seien auf gewisse Art intrinsisch. Dabei handele es sich folglich um Erkenntnisse, die das Subjekt aus sich selbst heraus gewinnen könne. Zu synthetischen Urteilen hingegen gelange ein Individuum über die Erfahrung (Kant 1900, Gabriel 2008). Aus diesen Annahmen geht hervor, dass Kant (1900) den Sinneswahrnehmungen zwar eine gewisse Rolle für den Erkenntnisgewinn zudachte, es ihm zufolge aber letztendlich der Verstand ist, der die Sinneswahrnehmungen als Daten zum Erkenntnisgewinn nutzt. Demnach lag bei Kant (1900) eine klare Unterordnung des Physischen unter das Psychische vor. Piaget (1973) unternahm zu Beginn des 20. Jahrhunderts den Versuch, die philosophische Erkenntnistheorie aus entwicklungspsychologischer und genetischer Perspektive zu beleuchten. So vertrat er die Ansicht, dass sich sämtliche Philosophen bei der Diskussion der Wege zur Erkenntnis zwar auf psychologische Vorgänge bezögen, entsprechende Annahmen aber rein spekulativer Natur seien (Piaget 1973). Aus genetischer Perspektive könne es laut Piaget (1973) keine angeborenen Ideen oder Prinzipien geben, die einem Subjekt zu Erkenntnis verhelfen. Die dafür notwendigen Strukturen bildeten sich vielmehr mit jeder Entwicklungsstufe weiter aus, die ein Individuum durchlaufe. Je nach Entwicklungsperiode gelange das Subjekt über einen anderen Kanal zu Erkenntnis: über sensomotorische Eindrücke in den ersten beiden Lebensjahren, über das Erlernen der Sprache und somit über Begriffe für Objekte bis zu einem Alter von sieben Jahren, über logisches und umkehrbares Denken bis zu einem Alter von elf Jahren und schließlich über hypothetisches Denken und Abstraktion (Schneider 1998). Piaget vertrat zwar die Auffassung, dass Erkenntnis über einen über das gesamte Leben andauernden Anpassungsprozess des Körpers an die Umwelt erlangt würde. Erkenntnis sei aber mehr als dieser Anpassungsprozess und das, was das Individuum wahrnehme, entspreche nicht unbedingt dem in der Umwelt tatsächlich Vorhandenen (Piaget 1973, Schneider 1998). Folglich nahm auch Piaget eine dualistisch ausgerichtete Position ein.

Ludwig Wittgenstein (2001) vertrat eine stark sprachlich geprägte Sichtweise auf die erkenntnistheoretischen Fragestellungen und beschäftigte sich damit, wie unsere Sprache im Umgang mit unserer Welt funktioniert. Er transformierte die Fragen der Erkenntnistheorie in Fragen der Sprachphilosophie, da sich das Denken ihm zufolge in Sprache vollzieht und Erkenntnis somit nur über die Sprache erlangt werden kann (Gabriel 2008). Gleichzeitig war er der Auffassung, Denken und Sein seien identisch (Schneider 1998). Sprache diene in erster Linie dazu, die Welt abzubilden und zu beschreiben (Gabriel 2008). Jeder komplexe Satz sei aus Elementarsätzen zusammengesetzt und ob der letztendlich geäußerte Satz der Wahrheit entspreche, ergebe sich aus dem Wahrheitsgehalt der Elementarsätze. Der Satz sei dadurch in der Lage, die Wirklichkeit vollumfänglich zu beschreiben (Schneider 1998). Im Umkehrschluss bedeutete dies aber auch, dass das Repertoire an Sätzen, auf das ein Subjekt zugreifen könne, gleichzeitig die Grenzen der Welt, also die Grenzen des Seins für das Subjekt darstell-

ten. Im hiesigen Kontext der sprachlichen Embodimenttheorie besonders relevant ist Wittgensteins (2001) Ansicht, dass Sprache zu einem Teil vom Individuum abhängig sei. So könnten beispielsweise Bezeichnungen für Empfindungen für den Produzenten einer Äußerung eine andere Bedeutung haben als für den Rezipienten.

Für die oben vorgestellten Positionen gegenüber dem Verhältnis von Körper und Geist und dem Verständnis davon, wie Erkenntnis gewonnen und Kognition geformt wird, wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Es handelt sich dabei um eine im Rahmen der vorliegenden Arbeit als relevant bewertete Auswahl, die lediglich in Teilen die sehr umfassende und komplexe erkenntnistheoretische Diskussion wiedergibt. Im Anschluss an diese philosophische Einbettung wird im nächsten Kapitel die Entwicklung der sprachlichen Embodimenttheorie als Weiterentwicklung der erkenntnistheoretischen Ideen vorgestellt.

3.2 Die sprachliche Embodimenttheorie

Wie in Kapitel 2.1 angesprochen, handelt es sich bei der Embodimenttheorie um eine seit ca. 1980 in vielen wissenschaftlichen Disziplinen wieder aufgekeimte Auslegung einer monistischen Erkenntnistheorie. Wesentlich ist die Auffassung, dass Kognition durch Wahrnehmung und Bewegung geformt wird und somit abhängig ist von körperlicher Erfahrung (Lakoff & Johnson 1980, 1999). Im Gegensatz zu einem dualistischen Verhältnis zwischen Geist und Umwelt liegt der Embodimenttheorie zufolge zwischen dem Verstand und der Interaktion des Körpers mit der Umwelt eine notwendige Verbindung vor. Über seine körperliche Konstitution und Funktion nehme jedes Lebewesen Konzeptualisierungen und Kategorisierungen vor. Aus diesem Grund hänge alles, was als real wahrgenommen würde, vom Körper und besonders vom kognitiven sensomotorischen System ab (Lakoff & Johnson 1980, 1999). Wilson (2002) fasste die Idee des Embodiments folgendermaßen zusammen: "...the mind must be understood in the context of its relationship to a physical body that interacts with the world" (S. 625). Da dem Embodimentansatz zufolge Kognition durch die körperliche Definition der Umwelt geformt wird, beschäftigen sich Vertreter unterschiedlicher Wissenschaftsfelder mit diesem Ansatz. So ist diese Theorie unter anderem Teil sowohl der Künstliche-Intelligenz-Forschung, in der eine Nachbildung menschlicher Kognition basierend auf körperlicher Erfahrung angestrebt wird, als auch der Biologie, in der eine auf dem Körper basierende Interaktion mit der Umwelt für alle Lebewesen angenommen wird (Svensson 2001). Eine Weiterentwicklung der Embodimenttheorie auf stark neurophysiologischer Ebene wurde beispielsweise von Grush (2004) diskutiert. Die *Emulations-theorie der Repräsentationen* drückte aus, dass sich die menschliche Kognition zwar in der Auseinandersetzung mit der Umwelt forme, das Gehirn aber zusätzlich Netzwerke ausbilde, die als Modelle für den Körper und die Umwelt agierten. Parallel zu der Ausführung einer Bewegung eines Subjekts würden diese Modelle durch Kopien von

Efferenzen angetrieben. Die einem Subjekt eigenen Modelle für den Körper und die Umwelt seien vor allem dafür sinnvoll, Erwartungen an sensorisches Feedback zu generieren und so einen höheren Anteil perzeptueller Informationen zu nutzen. Laut Grush (2004) könnten sie darüber hinaus zu Prozessen der Bewegungsimagination, zur Einschätzung der Ergebnisse einer Bewegung und zur Bewertung und Entwicklung motorischer Pläne herangezogen werden.

Dem Embodimentansatz nach festigen sich auf neuronaler Ebene Kausalitätsketten von Aktion und Reaktion: Der Mensch ruft mit seinen Handlungen unentwegt Reaktionen der Umwelt hervor und kann diese Wechselwirkungen auch bei anderen beobachten (Thelen 2000). In seiner kognitiven Entwicklung bildeten sich so Neuronenverbindungen zwischen einer motorischen Handlung und einer daraus resultierenden sensorischen Wahrnehmung aus (Pulvermüller 2013). Ab einem gewissen Lernstadium kann dann von einem sensorischen Eindruck, beispielsweise visueller, auditiver oder taktiler Art, auf ein entsprechendes motorisches Ereignis geschlossen werden. Diese Wirkungsrichtung ist für die sprachliche Embodimenttheorie von Relevanz.

Der wesentliche Aspekt der sprachlichen Embodimenttheorie ist, dass auch Sprache über sensomotorische Systeme verarbeitet wird. Es stehen vor allem neuronale semantische Verarbeitungsprozesse im Fokus des Forschungsinteresses. Die Fragen konzentrieren sich darauf, ob die Aktivierung sensorischer und motorischer Areale für die Produktion und Rezeption der Semantik notwendig sei (Meteyard et al. 2012). Diesem Ansatz zufolge basiert sprachliches Verstehen auf einem Simulationsmechanismus:

During our interaction with the world, we store traces in memory of perceptions and actions filtered through selective attention. These traces become associated with words (themselves traces of perceiving or producing sound or visual patterns). During language comprehension, these traces are reactivated to produce a perceptual simulation of the described situation. (Zwaan et al. 2004, S. 613).

Ist die Erfassung von Wort- und Satzbedeutungen also nur möglich, wenn das Sprachsystem eine Verbindung zu Motorik und Sensorik aufbaut? Gegenpositionen zufolge besteht keine notwendige Verknüpfung zwischen dem Sprachsystem und dem sensomotorischen System. Die Beziehung zwischen Wörtern und dem, was sie repräsentieren, sei demnach amodal, symbolisch und arbiträr (Chomsky 1956, Katz & Fodor 1963). Repräsentationsschemata, die nicht auf der Wahrnehmung eines Subjekts beruhen, dienen amodalen Theorien zufolge der Abbildung der Umwelt in kognitiven Systemen (Barsalou 1999). Kognition und Wahrnehmung bildeten zwei getrennte Systeme, die nach unterschiedlichen Prinzipien arbeiteten. Die Wahrnehmung erfolge über sensomotorische Kortexareale. Anschließend würden einige Aspekte des Wahrgenommenen in amodale symbolische Repräsentationen übersetzt, die gemeinsam mit anderen Repräsentationen nach Eigenschaften geordnet in Listen, semantischen Netzwerken und Produktionssystemen gespeichert würden. Alle höheren Kognitionsmechanismen, wie zum Beispiel Sprache, bedienten sich dieser gespeicherten amodalen Repräsentationen, die

nach eigenen syntaktischen und semantischen Regeln zusammenwirkten (Barsalou 1999). Die Bedeutung eines Wortes ergebe sich amodalen Sprachtheorien nach aus einer Liste von Eigenschaften, die dem durch das Wort bezeichneten Objekt zugeordnet werden könnten. Dem Wort *Stuhl* würden beispielsweise die Eigenschaften *Sitz*, *Lehne* und *Beine* zugeordnet (Barsalou 1999, s. Abb. 2, S. 12). Diese Wörter selbst stellten allerdings nicht die Einträge einer Liste dar, sondern würden von amodalen Symbolen vertreten. Nach Glenberg und Kaschak (2003) könnten arbiträre Symbole selbst aber keine Bedeutung tragen. Vielmehr müssten sie in einer Umgebung verankert sein, die semantische Inhalte konstruiere. Diese Umgebung sei die Erfahrung durch die Auseinandersetzung mit der Umwelt (Glenberg & Kaschak 2003). So gehört zu der Verarbeitung sprachlicher Reize weit mehr als die bloße Dekodierung eines auditiven Reizes, der sich aus phonologischen, semantischen und syntaktischen Elementen zusammensetzt. Für ein umfassendes Verständnis des Satzes „*Er schoss den Ball in das Tor.*“ ist es hilfreich, auch Wissen darüber abzurufen, wie ein Fußball aussieht, wie sich dieser anfühlt, welchen Widerstand er am Fuß bildet, wie eine Schießbewegung koordiniert wird und wie diese Bewegung bei anderen aussieht. All dies sind Teilaspekte bei der kognitiven Verarbeitung des Konzepts *Fußball*, bei den sensorischen und motorischen Prozessen während des Fußballspiels aber auch bei der Verarbeitung des Wortes *schießen*.

Daher wurde dem amodalen Verständnis der Sprachverarbeitung durch Wissenschaftler wie Lakoff und Johnson (1980, 1999), Barsalou (1999) und Glenberg und Robertson (1999, 2000) kollektiv eine modale Semantiktheorie entgegengesetzt. Lakoff und Johnson (1980, 1999) begründeten die konzeptuelle Metaphertheorie. Demnach ist die Kognition eines Subjekts, das konzeptuelle System, das Denken und Handeln umfasst, das die Interaktionen eines Subjekts mit der Umwelt strukturiert und leitet, in seiner Natur metaphorisch. Konzeptuelle Metaphern, wie ARGUMENTIEREN IST KRIEG oder LEBEN IST EINE REISE, bestimmten das alltägliche Handeln, auch im Sinne von Sprache. Gleichzeitig ermöglichten sie dem Subjekt sein Handeln zu strukturieren und zu verstehen, denn “[t]he essence of metaphor is understanding and experiencing one kind of thing in terms of another“ (Lakoff & Johnson 1980, S. 5). Nach Lakoff und Johnson (1980) sind Metaphern also kein rein sprachliches Phänomen, sondern die Substanz des Denkprozesses. Der Ursprung konzeptueller Metaphern liege in der physischen Interaktion des Individuums mit dem eigenen Körper, der Umwelt und mit anderen Individuen, vereinfacht gesagt in sensomotorischen Erfahrungen. Diese Erfahrungen würden in Form von multidimensionalen Gestalten oder Bildschemata kognitiv gespeichert und so strukturiert. Dass alle kognitiven Vorgänge auf metaphorischen Abgleichungsprozessen beruhten, gelte auch für die Sprachverarbeitung (Lakoff und Johnson 1999). Ein Grund dafür sei, dass es kaum ein Wort gebe, das nicht mehr als eine Bedeutung habe, dass also die Polysemie ein wesentliches Phänomen der Sprache sei. Ein Wort wie *kommen*, das in einem Satzkontext wie „*Er kommt zur Tür.*“ primär ein räumliches Konzept

beschreibe, beziehe sich in einem Kontext wie „*Weihnachten kommt näher.*“ primär auf eine zeitliche Komponente. Eine solche Bedeutungsübertragung, wie sie für die meisten Wörter stetig erfolge, sei ein metaphorischer Prozess (Lakoff & Johnson 1999). Der andere Grund dafür, dass alle Wörter metaphorisch verarbeitet würden, liege in der Abstraktheit eines Großteils der Sprache beziehungsweise der Wörter (Lakoff & Johnson 1980). Abstrakte Konzepte seien schwerer zu erfassen als konkrete. Eine metaphorische Bedeutungsübertragung von konkreter auf abstrakte Ebene sei daher erforderlich, um die Bedeutung eines abstrakten Wortes zu verstehen (für eine ausführlichere Darstellung der Verarbeitung abstrakter Konzepte vor dem Hintergrund der Theorie konzeptueller Metaphern siehe Kapitel 2.5). Die einzige Beziehung, die Lakoff und Johnson (1999) als arbiträr anerkannten, ist die Beziehung zwischen der Bedeutung eines Wortes und seiner phonologischen Form, obgleich auch diese in ihrer Zusammensetzung intrinsisch motiviert sei.

Barsalou (1999) argumentierte in ähnlicher Richtung wie Lakoff und Johnson (1980, 1999). Er vertrat die Idee des Systems perzeptueller Symbole, dem zufolge sämtliche kognitive Prozesse auf Basis mentaler Repräsentationen abliefen, die wiederum dem sensomotorischen System entspringen. Die mentalen Repräsentationen formten sich also aus perzeptuellen Symbolen – Segmenten perzeptueller Erfahrungen, die durch selektive Aufmerksamkeitsprozesse ausgewählt und im Langzeitgedächtnis abgespeichert würden (Barsalou 1999, Pecher et al. 2011).

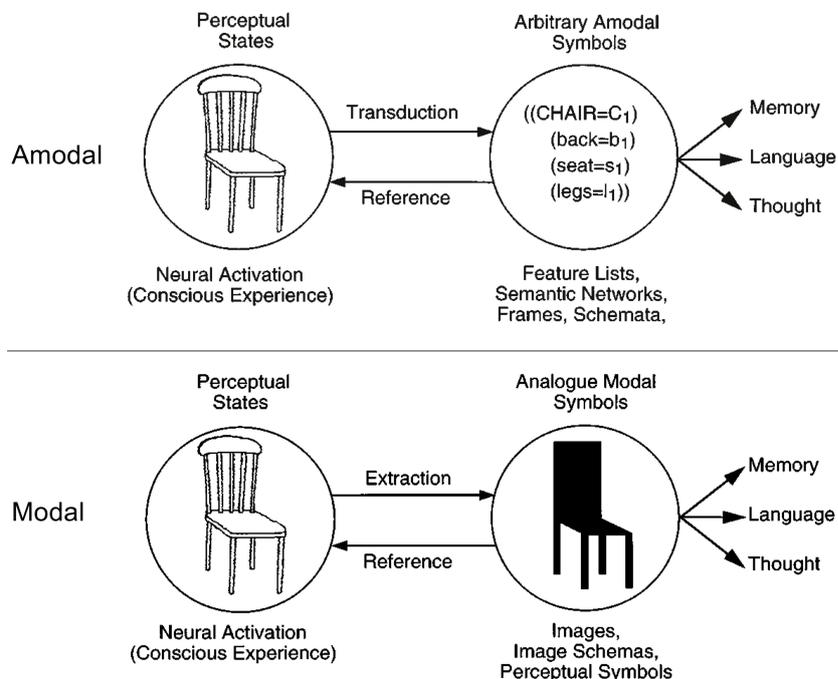


Abbildung 2: Die kognitive Speicherung perzeptueller Eindrücke entsprechend amodaler (oben) und modaler (unten) Theorien. Während dem amodalen Ansatz zufolge das Wahrgenommene in arbiträre Symbole übersetzt wird, die in semantischen Netzwerken gespeichert werden, greifen kognitive Vorgänge der modalen Theorie entsprechend auf Bildschemata zurück (Barsalou 1999, S. 578f., verändert).

Während der Verarbeitung einer Wahrnehmung liefen im Gehirn viele Prozesse ab, die unterschiedliche Teile des Wahrgenommenen dekodierten. Ein perzeptuelles Symbol sei nun keine Repräsentation aller dieser Prozesse, sondern lediglich derer, die bei wiederholter Wahrnehmung des gleichen Reizes kohärent erfolgten. Es umfasse also schematische Aspekte der neuronalen Aktivität (Barsalou 1999). Perzeptuelle Symbole stünden somit stellvertretend für Referenten in der Umwelt und könnten zu späteren Zeitpunkten abgerufen und verändert werden. Für den Zugriff in Abwesenheit des Reizes würden Symbole, die sich auf das gleiche Konzept beziehungsweise die gleiche Wahrnehmung beziehen, im Langzeitgedächtnis in Simulatoren organisiert. Die dort gespeicherten Symbole seien Spuren von der Wahrnehmung beispielsweise eines Objekts zu verschiedenen Zeitpunkten oder aus verschiedenen Blickwinkeln (Barsalou 1999). Darüber hinaus würden bei jedem Wahrnehmungsprozess mehrere perzeptuelle Symbole gespeichert, zum Beispiel in Bezug auf die räumliche Orientierung, die Farbe oder das Material (Stanfield & Zwaan 2001). Die Speicherung in Simulatoren ermögliche eine kognitive Manipulation der Symbole, was Barsalou (1999) als Simulation bezeichnete. Jederzeit sei der genaue Inhalt eines perzeptuellen Symbols aber individuell, also von dem wahrnehmenden Subjekt selbst abhängig, und könne sich folglich zwischen Individuen unterscheiden. In Hinblick auf sprachliche Symbole erklärte Barsalou (1999), dass sich diese auf die gleiche Weise entwickelten wie perzeptuelle Symbole – als Spuren von Erfahrungen und perzeptuellen Wahrnehmungen. Über selektive Wahrnehmung würden den neuronalen Aktivitäten, die einem sprachlichen Input entsprächen, Schemata entnommen, die in Simulatoren gespeichert und später zur Simulation herangezogen würden. Während der Entwicklung eines Simulators für ein Wort bauten sich Verknüpfungen zu Simulatoren aus, welche die Symbole der durch das Wort bezeichneten Objekte oder Aktivitäten enthielten. Darüber erhielten Wörter die Fähigkeit, Simulationen zu initiieren (Barsalou 1999). Im Gegensatz zu den frühen erkenntnistheoretischen Ansätzen, bei denen es wiederholt hieß, die Grenzen der Welt eines Subjekts würden auch die Grenzen seiner kognitiven Möglichkeiten beschränken, ist es nach Barsalou (1999) möglich, Erkenntnis über andere Subjekte zu gewinnen. Die Erzählungen eines anderen Individuums ermöglichten Simulationen, auf Basis derer ein Subjekt seinen Wissensschatz erweitern könne. Simulationen könnten also auch in Abwesenheit des Reizes weitergegeben werden. Barsalou's (1999) Ausführungen bezüglich der Verarbeitung abstrakter Konzepte im Rahmen der Theorie zum System perzeptueller Symbole sind in Kapitel 2.5 wiedergegeben.

Die Indexikalitätshypothese (IH), die von Glenberg und Robertson (1999) vorgestellt wurde, gab Aufschluss darüber, wie sprachliche Symbole für ein Subjekt Bedeutung tragen können (Shapiro 2011). Glenberg und Robertson (1999) verorteten wahrnehmungsbezogene Informationen als eine Art von Hintergrundwissen, auf das während der Verarbeitung sprachlichen Inputs zurückgegriffen würde. Sie unterschieden zwischen abstraktem und perzeptuellem Hintergrundwissen. Demnach sei regelbasiertes

Hintergrundwissen abstrakt, wie beispielsweise im Kontext der Beschreibung eines Baseballspiels. Basiere es hingegen auf einer physischen Auseinandersetzung mit einem Objekt, sei es perzeptuell. Nach der IH umschließt der Sprachverstehensprozess drei Stufen: Zunächst würden Wörter oder Phrasen mit einem Objekt, einer analogen Repräsentation eines Objekts (wie einem Bild) oder einem perzeptuellen Symbol entsprechend Barsalous (1999) Definition verknüpft (Glenberg & Robertson 1999). Ein Wort könne also ebenso direkt ein perzeptuelles Symbol wie ein Objekt bezeichnen. Der zweite Schritt im Verstehensprozess sei, dass das Subjekt aus den perzeptuellen Symbolen Angebote herausziehe (Shapiro 2011). Nach der IH repräsentieren Objekte Angebote in der Form, dass ein Subjekt auf eine bestimmte Art und Weise mit ihnen interagieren kann. Die Möglichkeiten, auf welche die Interaktion erfolgen könne, seien durch die Wahrnehmung bestimmt. Die Interaktionsangebote würden in einem dritten Schritt zu einem kohärenten Handlungsablauf zusammengefügt, was den Verstehensprozess in Bezug auf sprachlichen Input vervollständige (Glenberg & Robertson 1999, Shapiro 2011). Ein experimenteller Beleg für das Zutreffen der IH wurde vor allem im *action-sentence compatibility effect* (ACE) gesehen (Glenberg & Kaschak 2002), der in Kapitel 2.4.1 ausführlich erläutert wird. Die Studien, die zu diesem Effekt durchgeführt wurden, belegten eine Interaktion zwischen sensomotorischem und sprachlichem kognitiven System. Darüber hinaus würden Sätze, bei denen die Interaktionsangebote der Objekte nicht zu einem kohärenten Handlungs-/Bewegungsablauf zusammengeführt werden könnten, als sinnfrei bewertet (Glenberg & Robertson 2000, Shapiro 2011). Auch Zwaan (2004) sah den Sprachverarbeitungsprozess als aus drei Stufen bestehend, was er in seinem *Immersed Experiencer Framework* beschrieb. In einem ersten Schritt aktivierten Wörter erfahrungsbasierte Repräsentationen, die mit den Repräsentationen während dem Erleben der im Satz geschilderten Situation übereinstimmten. Diese Repräsentationen gingen in ihrem Umfang über die zentrale Wortbedeutung hinaus, da sie entsprechend der Theorie Barsalous (1999) viele verschiedene Eigenschaften eines Objekts widerspiegeln. Im zweiten Schritt in Zwaans (2004) Modell würden die zuvor aktivierten Repräsentationen der mentalen Simulation angepasst, welche die konkrete Situation erfordere. Aus den dem Subjekt zur Verfügung stehenden Informationen bezüglich beispielsweise der möglichen räumlichen Positionierung eines Objekts, der möglichen Perspektiven auf das Objekt und seiner möglichen Eigenschaften würden diejenigen ausgewählt, die zur Erfassung der Satzbedeutung notwendig seien. Nach Abschluss eines solchen Prozesses erfolge eine weitere Anpassung für das nachfolgende Wort im Satz. Den Übergang von einer angepassten Repräsentation zur nächsten bezeichnete Zwaan (2004) als *Integration*, die den abschließenden Schritt der Sprachverarbeitung darstelle. Der Integrationsprozess bestehe darin, dass eine bereits angepasste Repräsentation die Interpretation der nachfolgenden beeinflusse oder vorhersage. Die Möglichkeiten, wie die nachfolgende Repräsentation angepasst werden könne, basiere somit auf den Erfahrungen des Subjekts.

Die oben dargestellten Positionen repräsentieren allesamt eine starke Auslegung der sprachlichen Embodimenttheorie. Diesem starken Ansatz nach geht die Verarbeitung semantischer Komponenten eines sprachlichen Signals mit der Verarbeitung einer ontogenetisch erlernten sensorischen oder motorischen Erfahrung einher. Folglich sei die Simulation einer sensorischen oder motorischen Erfahrung eine notwendige Bedingung für das vollständige Erfassen einer Satz- oder Wortbedeutung (Barsalou 1999, Glenberg & Robertson 1999, 2000; Zwaan 2004, Gallese & Lakoff 2005). Gallese und Lakoff (2005), die ebenfalls für eine starke Auslegung der sprachlichen Embodimenttheorie plädierten, diskutierten, dass der Verarbeitung von Wahrnehmung, Handlung, Simulation, Imagination und sprachlicher Komponenten die gleichen multimodalen neuronalen Substrate zugrunde lägen. Dazu zählten auch sensomotorische Netzwerke. Ihnen zufolge treffe diese Aussage sowohl für die Verarbeitung von handlungsbezogenen als auch von objektbezogenen und abstrakten Konzepten zu. Starke Interpretationen der sprachlichen Embodimenttheorie setzen eine Aktivierung primärer sensorischer und motorischer Areale bei der semantischen Verarbeitung voraus. Studien, in denen beispielsweise die Methode der fMRT oder TMS genutzt wurden, zeigten eine solche Aktivität primärer motorischer Areale während Probanden Bewegungsverbren verarbeiteten, was die Auffassung einer starken Embodimenttheorie unterstützte (Hauk et al. 2004, Boulenger et al. 2008a, Tomasino et al. 2008, Desai et al. 2011). Aus evolutionärer Sicht stützen Thesen die sprachliche Embodimenttheorie, in denen postuliert wird, die Ausbildung der Sprachfähigkeit sei eine Weiterentwicklung von Hirnarealen, die zuvor kommunikative Gesten steuerten (Whishaw et al. 2010). So ist das Brodmann-Areal 44, das beim Menschen einen Teil des Broca-Areals umschließt, auch bei Schimpansen, Bonobos und Gorillas stark ausgeprägt (Toga & Thompson 2003). Diese Ausprägung wird unter anderem damit begründet, dass die nicht menschlichen Primaten während ihrer Vokalisation meist Gesten mit der rechten Hand ausführten und die linke Hirnhemisphäre die entsprechende motorische Steuerung übernehme (Toga & Thompson 2003). Aufgrund der parallelen Ausführung von Vokalisation und Geste, die in ihrer Gemeinsamkeit Bedeutung konstituieren, wurde eine enge Verbindung bei der Steuerung dieser Aktivitäten angenommen und einer bestimmten Kortexregion (Brodmann-Areal 44) zugeschrieben. Diesen Hypothesen zufolge besteht also eine enge kognitive Interaktion zwischen Bewegung und Sprache, die auch in der sprachlichen Embodimenttheorie ausgedrückt wird und durch eine Vielzahl von Studien belegt werden konnte (Glenberg & Kaschak 2002, Zwaan et al. 2002, 2004, Fargier et al. 2012). Dazu gehören unter anderem Analysen zur Verarbeitung motorischer Verben, die für die Embodimenttheorie aufgrund ihrer direkten motorischen Komponente besonders interessant sind. Eine ausführliche Darstellung der Forschungsarbeiten zur sprachlichen Embodimenttheorie erfolgt in Kapitel 2.4.

Den starken Positionen stehen schwache Auslegungen der Theorie gegenüber. Demnach wird die Semantik eines sprachlichen Inputs nicht primär über sensomotorische

Kortexareale dekodiert. Semantische Repräsentationen seien lediglich zu einem Teil in sekundären sensomotorischen Kortizes verankert. Den Ausführungen von Barsalou (1999) folgend heißt das, dass Sprache nicht ausschließlich in perzeptuellen Symbolen repräsentiert ist, sensomotorische Repräsentationen aber mit der Verarbeitung bestimmter sprachlicher Inhalte verknüpft sind. Unabhängig vom Kontext erfolgt zusätzlich ein Abstraktionsprozess. Vigliocco et al. (2004) erklärten, das sprachliche kortikale System sei zu einem Teil von sekundären sensorischen und motorischen Arealen abhängig. Da diese Areale mit primären sensomotorischen Regionen verknüpft seien, bestehe eine indirekte Verbindung und Interaktion zwischen sprachrelevanten und primären sensomotorischen Kortexarealen. In Abhängigkeit von beispielsweise der Stärke der Verbindungen oder der Aufgabenstellung im Rahmen eines Experiments fiele die Aktivierung primärer sensomotorischer Areale durch sprachlichen Input unterschiedlich aus (Vigliocco et al. 2004, Meteyard et al. 2012). Vigliocco et al. (2004) gingen weiter davon aus, dass die konzeptuelle Struktur, auf der Kognition beruhe, entsprechend der Eigenschaften eines Objekts, Wortes oder Konzepts organisiert sei. Diese Eigenschaften würden zu lexiko-semantischen Repräsentationen gebündelt, sodass sich eine selbstständige semantische Kognitionsebene forme, die folglich teilweise sensomotorisch verankert sei (Meteyard et al. 2012).

Um dem starken Kontrast zwischen amodalen und modalen Sprachverarbeitungstheorien sowie dem Dissens zwischen starker und schwacher Auslegung der sprachlichen Embodimenttheorie entgegenzuwirken, diskutierte Pulvermüller (2013) den Ansatz der *action perception theory* (APT). Er meinte, der grundsätzliche Forschungsansatz innerhalb der Embodimentdebatte müsse sein herauszufinden, inwieweit es notwendig sei, sensomotorische Kortexareale im Rahmen einer APT in ein neurobiologisches Modell der Semantikverarbeitung zu integrieren. Die Grundannahme der APT ist, dass Aktivität in sensomotorischen Kortexarealen, die parallel zu weiteren Prozessen der Kognition präsent ist, zur Ausbildung von Handlungs-Wahrnehmungs-Kreisläufen (*action perception circuits*, APC) führt. Eine partielle Aktivierung eines solchen Kreislaufs löse aufgrund seiner starken Vernetzung unmittelbar eine Reaktivierung des gesamten Kreislaufs aus. Diese Aktivierungen könnten sich in ihrer neuronalen Ausprägung allerdings in Abhängigkeit vom sprachlichen Kontext und dem Grad der Voraktivierung des APCs unterscheiden (Pulvermüller 2013). Damit sei auch die Möglichkeit der multimodalen Ausprägung einzelner Neuronengruppen gegeben, da sie als Teil eines APCs bei verschiedenen Prozessen aktiviert würden. Aktivierungen eines APCs klängen eventuell im Arbeitsgedächtnis für einige Zeit nach und inhibierten sich gegenseitig, wenn sie inhaltlich sehr ähnlich seien. Sie könnten aber auch parallel ablaufen, wenn sie sich inhaltlich weniger stark überschneiden. Pulvermüller (2013) unterschied zwischen grundlegenden APCs, die unter anderem wahrnehmungsbezogene Informationen in motorische Pläne umwandeln und zusätzlichen Mechanismen, die sprachliche Handlungen sinnvoll verknüpften oder Wörter mit ihrer Bedeutung verbänden. Die

Bedeutung eines Wortes ergebe sich laut Pulvermüller (2013) durch die Kombination mit anderen Wörtern, also aus den Kontexten, in denen das Wort aufträte. Durch Hebb'sche neuronale Lernalgorithmen würden Wörter, die wiederholt in einem Kontext miteinander aufträten, in Sequenzen miteinander verknüpft. Zusätzlich könnten sich aufgrund der wiederholten parallelen Präsentation eines Objekts und des dazugehörigen Wortes, ebenfalls den Hebb'schen Prinzipien folgend, Verbindungen zwischen den entsprechenden neuronalen Korrelaten ausbilden. Folglich würden zwei APCs zeitgleich aktiviert und motorische Information in den semantischen Kreislauf eingebunden. Pulvermüller (2013) sprach sich dafür aus, dass beide Arten der Bedeutungszuschreibung sinnvoll seien. In Bezug auf abstrakte Konzepte, die im Rahmen der sprachlichen Embodimenttheorie einen problematischen Diskussionsgegenstand darstellen, nahm Pulvermüller (2013) die Existenz zusätzlicher logischer Kreisläufe an. Diese verarbeiteten im Gegensatz zu den APCs das Wissen, dass sich ein abstraktes Konzept auf mehrere unterschiedliche Objekte oder Handlungen beziehen könne. Pulvermüller (2013) entfernte sich also davon, die Sprachverarbeitung als stark, schwach oder gar nicht in sensomotorischen Systemen verankert zu betrachten. Er räumte den sensomotorischen Kortextarealen eine zentrale Rolle innerhalb der Netzwerke ein, die Sprache verarbeiten, ohne diese als allen kognitiven Mechanismen zugrunde liegend zu betrachten.

Auch Zwaan (2014) versuchte, die verschiedenen Ansätze der Sprachverarbeitungstheorien zu verbinden. Er betonte in einer Zusammenfassung der seiner Aussage nach latent vorherrschenden Meinung, dass die Verarbeitung abstrakter Konzepte nicht ausschließlich auf Basis von Repräsentationen erfolgen könne, die in wahrnehmungsbezogenen oder motorischen Systemen verankert seien. Die Frage sei allerdings, ob die Symbole, die zur Verarbeitung abstrakter Konzepte herangezogen würden, amodal und arbiträr sein müssten. Ein generelles Problem im Kontext der Embodimentdebatte sei laut Zwaan (2014) die Ausklammerung des Kontextes in den meisten Experimenten. Die Präsentation einzelner Wörter oder Sätze sei nicht realitätsnah. In Abhängigkeit des Kontextes könnten entweder amodale oder modale Repräsentationen eine größere Rolle spielen. Zwaan (2014) diskutierte darauf aufbauend, dass das Sprachverstehen in variablem Umfang in der Umwelt verankert sein könnte. Maßgeblich sei dafür die Überschneidung zwischen einer kommunikativen Situation, die ein räumlich-zeitliches Gefüge zwischen Agenten, Objekten und Ereignissen umschließe, und einer referentiellen Situation, die das Gefüge beschreibe, über das in der kommunikativen Situation berichtet würde. Je stärker sich kommunikative und referentielle Situation überschneiden, desto stärker sei die Verankerung des Sprachverstehens in der Umwelt. Dieser Abstufung entsprechend würde der Prozess des Sprachverstehens teils durch symbolische und teils durch verankerte Repräsentationssysteme dominiert, obgleich beide Systeme parallel aktiv seien.

Die Debatte hinsichtlich der sprachlichen Embodimenttheorie, beziehungsweise betreffs Sprachverarbeitungsmodellen allgemein, dreht sich also darum, ob modale,

amodale oder teilweise amodale Theorien zutreffen. Pulvermüller (2013) und Zwaan (2014) sprachen sich dafür aus, dass mentale Repräsentationen für die Kognition unabdingbar und diese zumindest zu einem Teil in Systemen der Wahrnehmung und Handlung verankert seien. Statt modale und amodale Sprachverarbeitungstheorien als konträr zueinander zu betrachten, sollte eine Vereinigung der beiden Ansätze erfolgen. Beide Modelle lieferten Hypothesen, die inzwischen wiederholt durch Forschungsdaten unterstützt werden konnten.

Bevor in Kapitel 2.4 detailliert auf den Forschungskontext zur sprachlichen Embodimenttheorie und die entsprechenden erhobenen Forschungsdaten eingegangen wird, erfolgt im nachstehenden Kapitel eine Beschreibung der in diesem Kontext genannten neurophysiologischen Hirnstrukturen.

3.3 Neurobiologische Strukturen mit Relevanz für die sprachliche Embodimenttheorie

Dieses Kapitel soll grob in die Physiologie der Hirnareale einführen, welche die Verarbeitung sensorischer Reize und motorischer Programme steuern. Diese Gehirnbereiche sind für die hier durchgeführte und in Kapitel 3 beschriebene Studie relevant, da im Zusammenhang mit der sprachlichen Embodimenttheorie davon ausgegangen wird, dass sie an der Verarbeitung von Sprache mit sensorischen beziehungsweise motorischen Inhalten beteiligt sein könnten. Aus diesem Grund werden zunächst Teile der neurobiologischen Strukturen der Sensorik und Motorik unter anderem anhand des Homunculus erläutert. Die Beschreibungen basieren, soweit nicht anders angegeben, auf Pritzel et al. (2009). Auch das Spiegelneuronensystem ist im Kontext der Embodimenttheorie von Relevanz. Es stand immer wieder in der Diskussion, ein zentrales Element bei der Verknüpfung motorischer/sensorischer und sprachlicher Repräsentationen zu sein. Dementsprechend wird das Konzept der Spiegelneuronen im Anschluss an die neurobiologischen Strukturen der Sensorik und Motorik vorgestellt.

3.3.1 Neurobiologische Strukturen der Sensorik und Motorik

Im Gehirn gibt es eine Vielzahl physiologischer Einheiten, die für die Informationsverarbeitung und -weiterleitung sensorischer Reize und motorischer Programme verantwortlich sind. An dieser Stelle soll lediglich ein kleiner Teil dieses komplexen Netzwerks beleuchtet werden, was im Wesentlichen zum Verständnis der im weiteren Verlauf der Arbeit genannten neurobiologischen Strukturen beiträgt. Während die Steuerung der Halte- und Stützmotorik sowie der Reflexe im Hirnstamm erfolgt und entsprechende Programme zusammen mit dem Rückenmark ausgeführt werden, geht die Ausführung willkürlicher Bewegungen auf Hirnareale des Kortex zurück. Zu den grundlegenden physiologischen Einheiten, die im vorliegenden Kontext relevant sind, gehören der primäre motorische Kortex im Gyrus praecentralis, der prämotorische

Kortex und das supplementär-motorische Areal sowie der primäre somatosensorische Kortex im Gyrus postcentralis (s. Abb. 3).

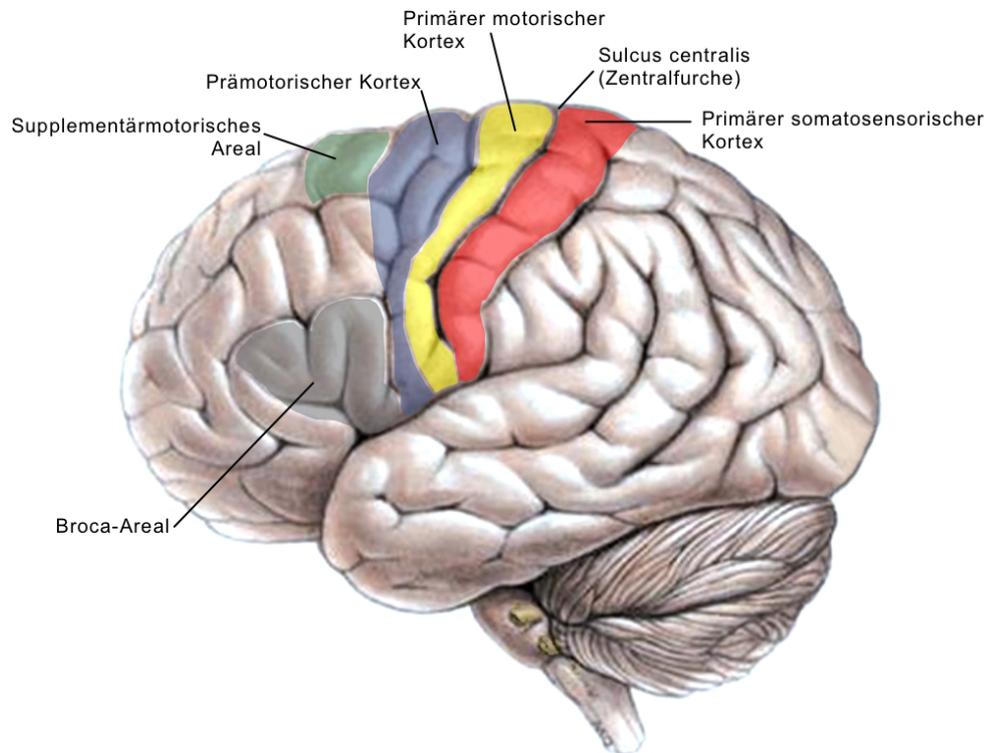


Abbildung 3: Das menschliche Gehirn aus lateraler Ansicht mit der schematischen Darstellung motorischer und sensorischer Kortexareale und dem unter anderem für die Sprachmotorik verantwortlichen Broca-Areal (Quizlet 2016, verändert).

3.3.1.1 Der primäre motorische Kortex

Der primäre motorische Kortex entspricht weitestgehend dem Brodmann-Areal 4 und liegt auf dem Gyrus praecentralis, direkt rostral des Sulcus centralis. Er reicht bis auf die mediale Kortexoberfläche und grenzt lateral an den prämotorischen Kortex an. Ventral wird er durch den Sulcus lateralis begrenzt. Der primäre motorische Kortex ist Ausgangspunkt für Programme, welche die Willkürmotorik steuern. Dabei sind die Kontrollzentren für verschiedene Körperregionen somatotop auf dem Gyrus praecentralis angeordnet, wie durch den motorischen Homunculus in Abbildung 4 (S. 20) verdeutlicht wird.

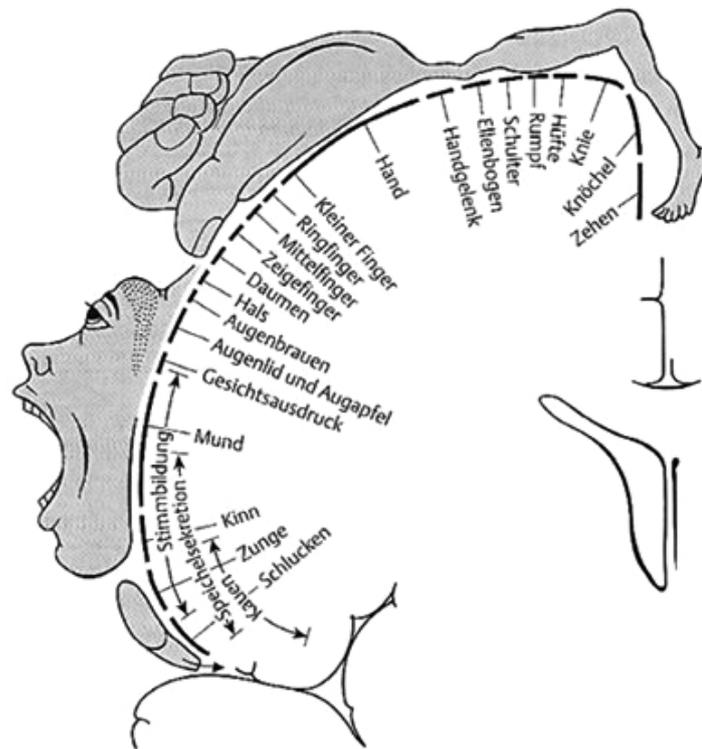


Abbildung 4: Der motorische Homunculus, der die somatotopische Gliederung des primären motorischen Kortex darstellt (Bähr & Frotscher 2003, S. 374).

Die Größe, in der die jeweilige Körperregion im Homunculus abgebildet ist, entspricht dem Umfang der Areale, in denen Neuronen die Muskelgruppen der entsprechenden kontralateralen Körperregion steuern (vgl. Bösel 2006). Die Steuerung besonders groß dargestellter Körperpartien geht auf eine hohe Anzahl von Neuronen zurück. Auf der medialen Kortexoberfläche des Gyrus präcentralis liegt die neuronale Repräsentation der unteren Extremität. Weiter dorsal ist der Rumpf und im Anschluss daran in großem Umfang die Hand und die Finger repräsentiert. Im weiter ventral gelegenen Bereich des Gyrus präcentralis nimmt die neuronale Steuerung des Gesichts, vor allem der Zunge und der Lippen, einen Großteil der Kortexoberfläche ein.

Im primären motorischen Kortex liegen etwa 30.000 bis 40.000 Betz'sche Riesenzellen, deren Axone direkt, also ohne weitere synaptische Umschaltungen, über die Pyramidenbahn zum Rückenmark laufen. Dort erfolgt eine Verschaltung mit den Vorderhornzellen, von denen aus efferente Fasern bis in die Muskulatur reichen (Bösel 2006). Zwar ist der primäre motorische Kortex hauptsächlich dafür verantwortlich, die Kraft und die Richtung einer Bewegung zu steuern, letztendlich ist bei der Ausführung der Willkürmotorik aber ein komplexes Netzwerk aktiv. So erhält der primäre motorische Kortex afferente Faserverbindungen aus dem prämotorischen Kortex und dem supplementär-motorischen Areal, in denen die Vorbereitung und Planung von Willkürbewegungen erfolgt.

3.3.1.2 Der prämotorische Kortex

Der prämotorische Kortex wird einem Teil des Brodmann-Areals 6 zugeschrieben. Dieses liegt direkt lateral des primären motorischen Kortex und reicht posterior bis auf den Gyrus praecentralis (Bösel 2006, s. Abb. 3, S. 19). Anterior schließt das Areal 6 an einem Ast des Sulcus frontalis inferior ab (Bösel 2006). Der prämotorische Kortex lässt sich sowohl anatomisch als auch funktionell in einen lateralen und einen medialen Bereich teilen. Der mediale Bereich, in dem die Nervenzellverbände ebenfalls somatotop organisiert sind, scheint die Steuerung von Bewegungen zu koordinieren, die von der Person selbst ausgehen. Der laterale Bereich hingegen steuert Bewegungen, die als Antwort auf sensorische Reize erfolgen und unterstützt die Auswahl einer passenden Bewegung. Der prämotorische Kortex trägt zum Teil zur Koordinierung des Zusammenwirkens verschiedener Muskeln während der Ausführung komplexer Bewegungsabläufe bei und ist damit auch für die Inhibition nicht benötigter Muskelgruppen verantwortlich (Bösel 2006). Dabei erfolgt eine Abstimmung des Bewegungsmusters in Bezug auf das Zielobjekt. Im prämotorischen Kortex vollzieht sich also ein Teil der Bewegungsplanung und -vorbereitung. Dementsprechend lassen sich dort bis zu vier Sekunden vor der Bewegungsausführung Aktivierungen detektieren (Bösel 2006). Daneben sind dort auch Bewegungsstrategien und Bewegungspläne gespeichert, was mit der Zeit eine präzisere und effizientere Ausführung einer Bewegung ermöglicht.

3.3.1.3 Das supplementär-motorische Areal

In einem medialen Teil des Brodmann-Areals 6 liegt das supplementär-motorische Areal (s. Abb. 3, S. 19). Es befindet sich anterior zum Brodmann-Areal 4 und damit zum primären motorischen Kortex und etwas dorsal vom prämotorischen Kortex. Dem supplementär-motorischen Kortex fällt die Aufgabe der Bewegungsinitiierung sowie gemeinsam mit dem prämotorischen Kortex der Bewegungsplanung zu. Die Nervenzellverbände werden speziell bei selbstgenerierten Bewegungen aktiv. Dabei folgt eine enge Abstimmung mit parietalen Assoziationsbereichen, in denen sensorische Informationen integriert werden. Dies ermöglicht eine Orientierung im Raum und die Ausrichtung der Bewegung entsprechend der Raumkoordinaten. Der auf diese Raumkoordinaten abgestimmte Bewegungsplan wird im supplementär-motorischen Areal erstellt. Im Gegensatz zu den Repräsentationen beispielsweise im primären motorischen Kortex, die kontralateral zur die Bewegung ausführenden Körperhälfte liegen, sind in den supplementär-motorischen Arealen beider Hirnhemisphären Repräsentationen für beide Körperhälften gespeichert.

3.3.1.4 Der primäre somatosensorische Kortex

Der primäre somatosensorische Kortex liegt auf dem Gyrus postcentralis und umschließt mehrere Brodmann-Areale: 1, 2, 3a und 3b (s. Abb. 3, S. 19). Diese Areale

unterscheiden sich dahingehend, dass sie Informationen von unterschiedlichen Rezeptortypen verarbeiten. Repräsentationen der Muskelspindeln und damit Informationen über die Körperhaltung liegen im Areal 3a, das auf dem Grund des Sulcus centralis lokalisiert ist. Efferente Fasern reichen sowohl in den primären motorischen Kortex als auch in die angrenzenden sensorischen Areale (Bösel 2006). Posterior grenzt das Areal 3b an. Dort enden afferente Fasern von langsamen Tastrezeptoren der Haut. Es folgt das Brodmann-Areal 1, in dem schnell adaptierende Rezeptoren der Haut repräsentiert sind und das Areal 2 für langsam adaptierende Rezeptoren der Gelenke. Das Areal 2 erreichen außerdem Efferenzen aus dem primären motorischen Kortex. Afferenzen führen von dort aus zum sekundären somatosensorischen Kortex und zum supplementär-motorischen Areal (Bösel 2006).

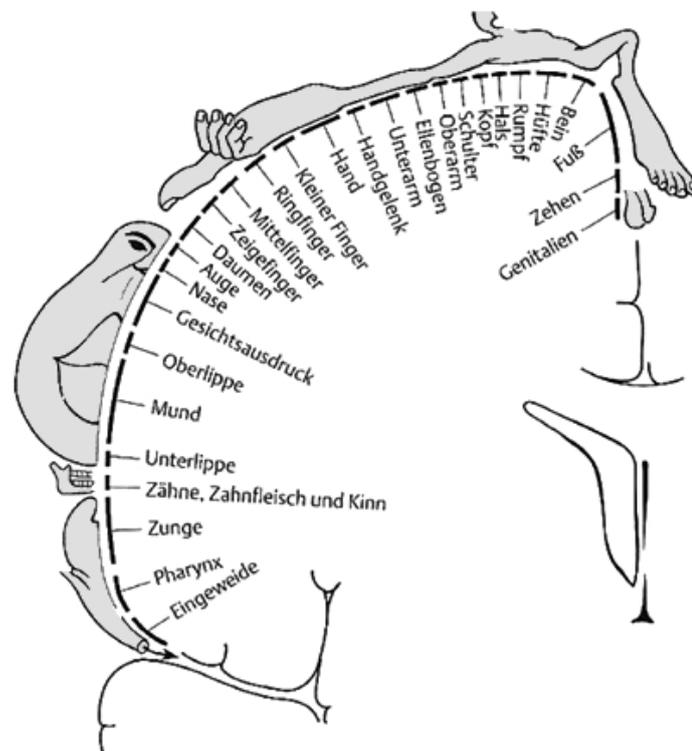


Abbildung 5: Der sensorische Homunculus, der die somatotopische Gliederung des primären somatosensorischen Kortex darstellt (Bähr & Frotscher 2003, S. 374).

Sämtliche Areale des sensorischen Kortex sind somatotop gegliedert und bilden jeweils die gesamte kontralaterale Körperhälfte ab, wie im sensorischen Homunculus dargestellt (Abb. 5). Allerdings unterscheiden sich die Homunculi zwischen den verschiedenen Brodmann-Arealen des primären somatosensorischen Kortex geringfügig. In den Arealen 3b und 1 liegen die Repräsentationen der Genitalien im medialen Bereich des Gyrus postcentralis. Es schließen sich die Repräsentationen des Fußes, der Beine und des Rumpfes an. Weiter lateral sind Hand und Finger vertreten. Es folgt das Gesicht, wobei besonders die Lippen sehr stark repräsentiert sind. Der Homunculus des Brodmann-Areals 2 weicht etwas von dieser Aufteilung ab. So weist er beispielsweise eine besonders ausgeprägte Sensibilität hinsichtlich des Lagesinns der Finger auf.

Der primäre somatosensorische Kortex verarbeitet also vor allem Sinnesreize, die anhand von Rezeptoren der Haut, der Muskeln und der Gelenke aufgenommen werden. Die Verarbeitung visueller, auditiver, olfaktorischer oder gustatorischer Reize erfolgt über andere Kortexareale. Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist primär die Aktivität innerhalb motorischer Areale während der Verarbeitung sprachlicher Stimuli mit motorischem Bezug relevant. Da die Wahrnehmung taktiler Reize unmittelbar mit der Ausführung einer Bewegung zusammenhängt, sind die Repräsentationen im primären motorischen Kortex auch unmittelbar mit den Repräsentationen im primären somatosensorischen Kortex verbunden, weshalb eine Darstellung auch dieses Areals erfolgte. Vor allem hinsichtlich der engen Beziehung zwischen sprachlichen und motorischen neuronalen Repräsentationen wurde wiederholt die Relevanz des sogenannten Spiegelneuronensystems diskutiert, das im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt wird.

3.3.2 Das System der Spiegelneuronen

Der Begriff *Spiegelneuronen* (*mirror neurons*) wurde zunächst einer spezifischen Gruppe von Neuronen im prämotorischen Kortex des Makaken zugeschrieben. Diese Neuronen befinden sich im Areal F5, einem kaudalen Areal am inferioren Sulcus arcuatus (Rizzolatti et al. 1988, Gallese et al. 1996). Später wurde auch in bestimmten Kontexten einsetzende Aktivität im Sulcus temporalis superior (STS) und dem Areal PF im Lobulus parietalis inferior als Spiegelneuronenaktivität definiert (Rizzolatti & Craighero 2004). Die entsprechenden Areale sind in Abbildung 6 (S. 23) dargestellt. Das Areal F5 im Gehirn des Makaken überschneidet sich mit dem menschlichen Pars opercularis des Gyrus frontalis inferior, das einen Teil des Broca-Areals bildet und somit von Relevanz für die Sprachverarbeitung ist (Iacoboni et al. 1999). Einzelzellableitungen an visuo-motorischen Neuronen in diesem Areal ergaben für einen Großteil der Neuronen Aktivität bei distalen Bewegungen des Makaken, wie Greifbewegungen der Hände oder des Mundes (Rizzolatti et al. 1988). Führte der Makake hingegen proximale Bewegungen aus, bei denen er beispielsweise etwas zum Körper oder zum Mund führte, war ein kleinerer Teil der Neuronen im Areal F5 aktiv. In Ergänzung zu den rein motorisch induzierten Effekten konnte auch dann Aktivität an ca. 25 % der in F5 positionierten Neuronen abgeleitet werden, wenn die Makaken eine bedeutungsvolle Handbewegung, wie Greifen, Positionieren oder Manipulieren, lediglich beobachteten (Gallese et al. 1996). Die detaillierte Analyse der neuronalen Aktivität ergab, dass spezifische Subsets von Neuronen bei der Beobachtung einer einzelnen Handlung feuerten. Dementsprechend ließen sich die Spiegelneuronen in Übereinstimmung mit ihrer Aktivitätszugehörigkeit klassifizieren, beispielsweise in Greifneuronen, Halteneuronen oder Manipulationsneuronen (Gallese et al. 1996).

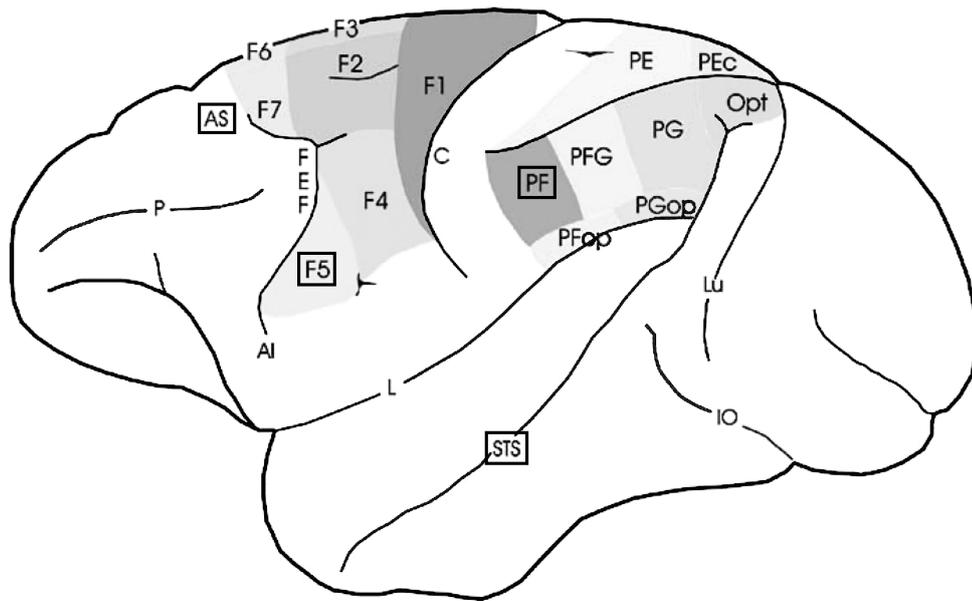


Abbildung 6: Das Makakengehirn mit den Arealen F5, PF, dem Sulcus arcuatus (AS) und dem Sulcus temporalis superior (STS) (Rizzolatti & Craighero 2004, C1, verändert).

Es wird zwischen zwei im Areal F5 aktiven visuo-motorischen Neuronengruppen unterschieden: kanonischen Neuronen und Spiegelneuronen. Erstere reagierten auf die Präsentation eines Objekts allein, letztere, wenn der Makake objektbezogene Bewegungen beobachtete (Rizzolatti & Craighero 2004). Wie im Areal F5 gibt es auch im Areal PF Neuronen, die direkt mit der Bewegungsausführung verknüpft sind und Neuronen, die lediglich bei der Bewegungsbeobachtung aktiv sind. Weiterhin wurden im STS gegenüber der Bewegungsbeobachtung sensitive Neuronen identifiziert. Im STS sind allerdings wesentlich weniger Spiegelneuronen vorhanden als im Areal F5. Sie zeigten beim Gehen, Kopfdrehen, Bücken, bei Bewegungen der Arme und in geringerem Umfang auch bei zielgerichteten Handbewegungen Aktivität. Im Unterschied zu den Neuronen in den Arealen F5 und PF sind im STS keinerlei Neuronen mit motorischen Eigenschaften vorhanden. Das Areal PF erhält Efferenzen aus dem STS und ist über afferente Bahnen mit dem Areal F5 verbunden, sodass sich ein Netzwerk aus Hirnarealen mit Spiegelneuronenaktivität ergibt. Neben der visuo-motorischen Relevanz der Spiegelneuronen könnten diese die weiterreichende Aufgabe haben, interne Repräsentationen von Bewegungen zu erstellen, Imitationen auszulösen und so einen motorischen Lernprozess einzuleiten. Auch könnte durch die Spiegelneuronen ein Verstehensprozess aktiviert werden, der bewirkt, dass die Makaken die Bedeutung der Bewegung erfassen, sie von anderen Bewegungen abgrenzen und selbst angemessen auf die Bewegung reagieren können (Gallese et al. 1996, Rizzolatti & Craighero 2004).

In Folge der Entdeckung des Spiegelneuronensystems beim Makaken wurden wiederholt Versuche unternommen, dieses auch beim Menschen nachzuweisen. Aufgrund der Tatsache, dass sich beim Menschen nur sehr eingeschränkt Einzelzellableitungen durchführen lassen, ist der Nachweis eines potenziellen Spiegelneuronensys-

tems nahezu nur indirekt möglich. Eine Einzelzelleableitung bei Epilepsiepatienten wurde von Mukamel et al. (2010) durchgeführt. Die Patienten beobachteten Greifbewegungen der Hand und Gesichtsgesten oder führten diese selber aus. Die neuronale Aktivität im (prä-)supplementär-motorischen Areal fiel während der Ausführung einer Bewegung wesentlich stärker aus als während der Bewegungsbeobachtung. Ein Großteil der Neuronen feuerte entweder bei der Bewegungsausführung oder der Bewegungsbeobachtung. Mukamel et al. (2010) konnten aber auch einige Neuronen detektieren, die während beider Aufgaben Aktivität zeigten und diskutierten dies als Hinweis auf ein menschliches Spiegelneuronensystem. Fadiga et al. (1995) führten eine Studie durch, in der sie anhand der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) den motorischen Kortex ihrer Versuchspersonen (VPN) stimulierten, während sich diese ein Objekt ansahen oder beobachteten, wie die Versuchsleitung das Objekt manipulierte. Motorisch evozierte Potentiale (MEPs) wurden an den Handmuskeln abgeleitet. Um die erhobenen Daten besser vergleichen zu können, leiteten Fadiga et al. (1995) außerdem MEPs an der Handmuskulatur der Probanden ab, während diese selbst eine Greifbewegung durchführten oder den Arm hoben. Die Beobachtung der Objektmanipulation und die Ausführung einer Bewegung führten zu vergleichbar starken MEPs. Ein sehr ähnliches Paradigma wurde von Rizzolatti et al. (1996) genutzt. Sie präsentierten den VPN ebenfalls Videos, in denen eine Person ein Objekt manipulierte. Die Hirnaktivität wurde bei dieser Bewegungsbeobachtung mittels der Methode der Positronenemissionstomographie (PET) gemessen. Bei den Arealen, die bei der Bewegungsbeobachtung aktiv waren, handelte es sich um den linken Gyrus temporalis inferior und einen kaudalen Bereich des linken Gyrus frontalis inferior. Letzterer überschneidet sich zu einem Teil mit dem Areal F5 beim Makaken (Rizzolatti et al. 1996). Weiterhin wurden Desynchronisierungen im μ - und β -Bereich des menschlichen EEGs als Beleg für das menschliche Spiegelneuronensystem diskutiert, da diese Desynchronisierungen nicht nur während der Bewegungsausführung, sondern ebenso bei der Beobachtung einer von anderen ausgeführten Bewegung auftreten (Pineda 2005, Denis et al. 2016). Denis et al. (2016) zeigten ihren Probanden Videosequenzen, in denen ein den VPN gegenüberstehender Tennisspieler Bälle auf die VPN zuspielte. Die Probanden waren erfahrene Tennisspieler und sollten durch einen Tastendruck anzeigen, in welche Richtung der Ball gespielt würde. Dabei wurde das EEG der Probanden abgeleitet. Denis et al. (2016) beobachteten eine Desynchronisierung sowohl im Bereich der μ - als auch der β -Oszillationen während dieser Aufgabe. Die Effekte fielen für erfahrenere Spieler stärker aus als für weniger erfahrene.

Aufgrund der Überschneidung des Areals F5 mit dem menschlichen Broca-Areal, das ein für die Sprachverarbeitung relevantes Areal ist, wurden Zusammenhänge zwischen der aus evolutionärer Sicht früheren Aufgabe der Spiegelneurone (Bewegungen der Hände) und der Entwicklung der Sprachfähigkeit gesehen (Rizzolatti & Arbib 1998, Iacoboni et al. 1999, Gentilucci & Corballis 2006, Corballis 2009). Rizzolatti und Arbib

(1998) diskutierten, dass das System, anhand dem die Handlungen anderer erkannt und interpretiert werden könnten, eine notwendige neuronale Grundlage für die Entwicklung der Kommunikation zwischen Individuen und somit letztendlich für die Sprache darstelle. Sie argumentierten weiter, dass während der Bewegungsbeobachtung ein Inhibierungsmechanismus einsetze, der verhindere, dass das Subjekt die Bewegung imitiere. Das Gegenüber nehme aber die Bewegungsintention des Subjekts wahr, was wiederum das Subjekt wahrnehme. Auf diese Weise entwickle sich ein kommunikativer Akt, der den Kern der Sprache forme (Rizzolatti & Arbib 1998). Auch Corballis (2009) argumentierte, dass die Ausbildung der Sprachfähigkeit auf dem System basiere, das zunächst die Ausführung von Handgesten gesteuert hätte und dass dem Spiegelneuronensystem eine entscheidende Rolle bei dieser Entwicklung zukomme. Das Spiegelneuronensystem hätte zur Ausbildung eines flexiblen und intentionalen Gebrauchs von Handgesten beigetragen und diese Fähigkeit hätte letztendlich zu einem kommunikativen Gebrauch dieser Gesten geführt (Corballis 2009). Dass ein dem Spiegelneuronensystems beim Makaken entsprechendes System auch bei Menschen zu finden ist und dass es dort weiterführende Aufgaben übernimmt als im Makakengehirn, wurde von Rizzolatti und Craighero (2004) in einer Zusammenschau der bis dahin durchgeführten Forschungsarbeiten diskutiert. Es zeichnete sich ab, dass das neuronale Netzwerk, das beim Menschen während der Bewegungsbeobachtung Aktivität zeigt, sehr viel komplexer ist als beim Makaken. Es umschließt für die Verarbeitung visueller Reize relevante okzipitale, temporale und parietale Hirnregionen sowie motorisch relevante Areale: den rostralen Bereich des Lobulus parietalis inferior und den unteren Bereich des Gyrus praecentralis in Verknüpfung mit dem posterioren Bereich des Gyrus frontalis inferior (Buccino et al. 2001). Hinsichtlich der Aufgaben, die das Spiegelneuronensystem beim Menschen übernimmt, sahen Rizzolatti und Craighero (2004) den Fokus auf der Bewegungsimitation und dem Imitationslernen. Die Beobachtung der Bewegung eines anderen Individuums könne zu einer Speicherung entsprechender motorischer Programme im Gehirn der beobachtenden Person führen, wenn sie als für sich selbst relevant bewertet würde. Dass sich die neuronalen Netzwerke bei der Bewegungsbeobachtung mit den Netzwerken bei der Bewegungsimitation überschneiden, lege eine Relevanz des menschlichen Spiegelneuronensystems für den Prozess des Imitationslernens nahe. Buccino et al. (2004) führten ein Experiment durch, in dem sie die Methode der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) nutzten. Sie gaben den Probanden die Aufgabe, Gitarrenakkorde, die in Videos präsentiert wurden, zu beobachten und nach einer Pause selbst auszuführen. Die VPN konnten bis zu diesem Zeitpunkt nicht Gitarre spielen, sodass die dem Imitationslernen zugrunde liegenden neuronalen Netzwerke analysiert werden konnten. Es zeigte sich, dass sich die während des Lernprozesses aktiven Netzwerke mit Arealen des menschlichen Spiegelneuronensystems überschneiden (Buccino et al. 2004). Dies erhärtete die Vermutung, eine weiterreichende Aufgabe des Systems sei das Lernen durch Imitation. Hickok (2008, 2014)

sprach sich deutlich gegen die Vermutung aus, eine Aufgabe des Systems sei das Verstehen von Bewegungen, die von anderen ausgeführt würden, oder das Imitationslernen. Er begründete seine Ansicht damit, dass die Hypothese bezüglich des Bewegungsverstehens bei Primaten nie angemessen getestet worden sei und die diesbezüglichen empirischen Belege beim Menschen gegen die Annahme sprächen. So sei zwar gezeigt worden, dass eine Schädigung des Areals F5 beim Makaken eine Einstellung des Greifverhaltens zufolge hätte, eine Einschränkung hinsichtlich der Bewegungswahrnehmung oder des Bewegungsverstehens sei hingegen nicht nachgewiesen. Hickok (2008) argumentierte weiter, dass Menschen Bewegungen auch dann verstünden, wenn sie selbst nicht gelernt hätten, diese auszuführen. In Bezug auf das Imitationslernen sprach Hickok (2014) den Makaken diese Fähigkeit ab, sodass dies nicht Aufgabe des Spiegelneuronensystems sein könne. Beim Menschen sei die Imitation einer beobachteten Bewegung unter Umständen sogar hinderlich, wie beispielsweise bei einem sportlichen Gegner, wenn dessen Bewegung eine andersartige Reaktion erfordere. Als Folge dieser Beobachtungen plädierte Hickok (2014) dafür, dass das Spiegelneuronensystem beim Makaken ein Werkzeug zur Handlungsassoziiierung und -selektion sei. Es würde also die Vorhersage unterstützen, welche Handlung ein Gegenüber auszuführen gedenke sowie eine darauf abgestimmte Reaktion vorbereiten. Damit geht einher, dass das System zum Teil der prädikativen Kodierung dienen könne, also der Vorhersage eines sensorischen Eindrucks oder eines motorischen Programms. Beim Menschen vermutete Hickok (2014) darüber hinaus, dass Spiegelneuronen ein Teil eines Imitationsnetzwerks sein könnten, dessen Erweiterung und Ausbau höhere kognitive Funktionen, wie zum Beispiel Sprache, ermögliche. Das System sei aber nicht allein für die evolutionäre Entwicklung dieser Funktionen verantwortlich (Hickok 2014). Hickoks Ausführungen zufolge stellt das Spiegelneuronensystem speziell beim Menschen also kein eigenständiges System dar, sondern ist Teil eines weiterreichenden Netzwerks mit verschiedenen Funktionen.

Das potenzielle menschliche Spiegelneuronensystem und die dem Embodiment zugrunde liegenden Mechanismen hängen unmittelbar zusammen. Während der Bewegungsausführung, -beobachtung, -imagination und -simulation kann Aktivität in sich stark überschneidenden Kortexarealen beobachtet werden. Es herrscht allerdings nach wie vor kein Konsens darüber, ob die Neuronen im menschlichen Kortex, denen spiegelnde Eigenschaften zugeschrieben werden, tatsächlich einem spezifischen eigenständigen System mit abgegrenzten Funktionen angehören (Hickok 2008, 2014). Eher spekulativ scheint darüber hinaus die Diskussion, dass sich die menschliche Sprachfähigkeit über dieses System entwickelt habe. Um diese Annahme zu untermauern, müssten zunächst eindeutige Nachweise für die Eigenständigkeit des Spiegelneuronensystems erbracht und gegebenenfalls dessen Relevanz für die Sprachverarbeitung untersucht werden. Die Annahme der Verknüpfung von Spiegelneuronen mit den sprachlich relevanten Netzwerken liegt aus neurophysiologischer Sicht eine Ebene unter der Beobach-

tung, dass sensorisch und motorisch relevante Areale bei der Verarbeitung sprachlicher Inhalte aktiv sind. Für diese Annahme wurden in einer großen Anzahl Studien Nachweise erbracht, die im nachfolgenden Kapitel detailliert vorgestellt werden.

3.4 Forschungskontext zur sprachlichen Embodimenttheorie

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Konzepte und Theorien, die im Zusammenhang mit der hier durchgeführten Studie und dem Thema der sprachlichen Embodimenttheorie relevant sind. Dabei werden zunächst Verhaltensstudien erläutert, in denen primär durch die Erhebung von Reaktionszeiten (*reaction time*, RT¹) Rückschlüsse auf die Verarbeitung semantischer Komponenten eines sprachlichen Signals gezogen werden. Anschließend wird eine Reihe elektrophysiologischer Studien vorgestellt. Anhand von Methoden wie der Elektroenzephalographie (EEG) oder der TMS wird das Antwortverhalten von Hirnstrompotentialen auf Stimuli sowie elektromagnetische Impulse im Zusammenhang mit bewegungsbezogenen Inhalten untersucht. Bildgebende Studien zeigten vor allem mithilfe der fMRT, dass während der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache neben sprachtypischen Arealen auch Areale der motorischen Kortex aktiv sind. Aus einer Reihe von Patientenstudien, die im Anschluss an die bildgebenden Verfahren erläutert werden, lässt sich weiterhin ableiten, dass beispielsweise die Rückbildung von für die Planung und Steuerung der Motorik wichtigen Hirnarealen mit einer Einschränkung des Verständnisses von Sprache mit motorischen Inhalten einhergeht. Weiterhin werden einige Studien zur Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache bei Gebärdensprecher/Innen vorgestellt. Interessant ist dieses Forschungsgebiet unter anderem, weil motorische Repräsentationen in der Gebärdensprache nicht nur inhaltlich, sondern auch artikulatorisch wesentlicher Bestandteil der Kommunikation sind.

3.4.1 Ergebnisse aus Verhaltensstudien

Der wohl bekannteste Effekt, der einen klaren Zusammenhang zwischen sprachlichen und motorischen neuronalen Repräsentationen erkennen lässt, wurde von Glenberg und Kaschak (2002) beschrieben. Sie prägten den Begriff des ACEs, der im Groben besagt, dass eine Übereinstimmung zwischen der initiierten Bewegungsrichtung eines Probanden und der durch einen sprachlichen Stimulus ausgedrückten Richtung das Sprachverstehen erleichtert (Kompatibilitätseffekt), während eine Inkompatibilität zu einer Verzögerung des Sprachverstehens führt (Interferenzeffekt). Aufbauend auf der IH (s. Kapitel 2.2) führten Glenberg und Kaschak (2002) zunächst zwei Experimente durch, in denen sie diesen Effekt beobachten konnten. Im ersten Experiment präsentierten sie

¹ Entsprechend des *Lexikons der Psychologie* (Wenniger 2001) wird die Reaktionszeit hier definiert als das Zeitintervall zwischen einem Hinweisreiz und einer auf diesen Hinweisreiz von einer Versuchsperson ausgeführten Reaktion.

ihren VPN Sätze, die sich in der implizierten Bewegungsrichtung unterschieden (in Richtung auf den Rezipienten zu oder von ihm weg). Der Satztyp wurde als unabhängige Variable manipuliert, indem die Hälfte der Sätze im Imperativ formuliert wurde („*Open the drawer.*“ vs. „*Close the drawer.*“) und die andere Hälfte einen Transfer zwischen dem Rezipienten und einer weiteren Person beschrieb. Die Syntax der Transfersätze war ein weiterer manipulierter Faktor und variierte zwischen Doppelobjekt („*Courtney handed you the notebook.*“ vs. „*You handed Courtney the notebook.*“) und Dativkonstruktionen („*Andy delivered the pizza to you.*“ vs. „*You delivered the pizza to Andy.*“). Weiterhin gab es nicht nur Sätze, die einen konkreten Transfer beschrieben, sondern auch abstrakte Transfersätze („*Liz told you the story.*“) (Glenberg & Kaschak 2002). Zusätzlich zu diesen für das Experiment kritischen Sätzen wurden sinnfreie Distraktorstimuli präsentiert. Die Aufgabe der VPN war es, eine Sinnhaftigkeitsentscheidung über die Sätze zu treffen. Sie drückten also eine bestimmte Taste, falls sie den Satz als sinnhaft und eine andere Taste, falls sie den Satz als sinnfrei bewerteten. Bei der Hälfte der Trials reagierten die Probanden auf die kritischen Stimuli mit einer Bewegung vom Körper weg und bei der anderen Hälfte reagierten sie mit einer Bewegung zum Körper hin. Unabhängig von der Art der Manipulation auf den verschiedenen Ebenen konnten die Autoren den gleichen Effekt beobachten. Die RTs der VPN waren kürzer, wenn die für die Sinnhaftigkeitsentscheidung erforderliche Bewegung mit der im Satz implizierten Bewegung übereinstimmte (z. B. Bewegung vom Körper weg als Reaktion auf den Satz „*You delivered the pizza to Andy.*“). Sie reagierten hingegen langsamer, wenn eine diesbezügliche Inkompatibilität vorlag (z. B. Bewegung zum Körper hin als Reaktion auf den Satz „*You delivered the pizza to Andy.*“). Wie bereits in der IH beschrieben, interpretierten Glenberg und Kaschak (2002) diese Ergebnisse als Indiz dafür, dass das Verstehen eines Satzes mit motorischem Inhalt zumindest zu einem Teil die gleichen kognitiven Mechanismen beansprucht, wie die Planung und Ausführung entsprechender Bewegungen. In einem weiteren Experiment manipulierten Glenberg und Kaschak (2002) die Antwortrichtung als Zwischen- statt Innersubjektvariable, ließen die VPN mit der linken Hand reagieren und wiederholten die Aufgabe, ohne dass für die Sinnhaftigkeitsentscheidung eine Bewegung zum Körper hin oder vom Körper weg nötig gewesen wäre. Für die ersten beiden Variationen zeigte sich kein Unterschied hinsichtlich des ACEs. War jedoch keine Bewegung vom Körper weg beziehungsweise zum Körper hin für eine Reaktion notwendig, stellte sich der ACE nicht ein (Glenberg & Kaschak 2002). Dass der Effekt auch dann detektierbar war, wenn die Probanden mit ihrer nicht dominanten Hand reagierten, zeigte laut den Autoren, dass bei der Verarbeitung verbalen bewegungsbezogenen Materials nicht lateralitätsspezifisch die neuronalen Strukturen aktiviert würden, die bei dem Rezipienten auch die Planung und Ausführung dieser Bewegung steuerten. Vielmehr war der generelle Schluss, der aus den Ergebnissen gezogen wurde, dass sprachliche Konzepte eher allge-

mein in körperlichen beziehungsweise motorischen Konzepten eingebettet seien (Glenberg & Kaschak 2002).

Mit dem ACE benannten Glenberg und Kaschak (2002) einen Effekt, der schon zuvor in Studien entdeckt und diskutiert worden war. So stellten bereits Klatzky et al. (1989) fest, dass sich die Verarbeitung einer Phrase durch eine im Voraus durchgeführte kongruente Bewegung primen, also erleichtern, lässt. Nach der Benennung des ACEs konnte der Effekt in den Folgejahren mehrfach repliziert werden (Kaschak et al. 2005, Borreggine & Kaschak 2006, Taylor & Zwaan 2007, Kaschak & Borreggine 2008, de Vega & Urrutia 2011, Diefenbach et al. 2013). Dabei zeigte sich unter anderem, dass das Eintreten des ACEs von zeitlichen Faktoren bei der Stimuluspräsentation beeinflusst wird. Kaschak et al. (2005) präsentierten den VPN auditiv Sätze, die eine Bewegungsrichtung ausdrückten („*The car approached you.*“). Gleichzeitig setzte ein visueller graphischer Stimulus ein, der eine Bewegung zum Rezipienten hin oder vom Rezipienten weg suggerierte. Die VPN trafen eine Sinnhaftigkeitsentscheidung über die präsentierten Sätze. In diesem Experiment lagen längere RTs in der kongruenten Bedingung vor. Die parallele Präsentation eines visuellen und eines sprachlichen Stimulus, welche die gleiche Bewegungsrichtung ausdrückten, führte also zu einem Interferenzeffekt. Kaschak et al. (2005) schlossen aus ihren Resultaten, dass die neuronalen Netzwerke, die perzeptuelle Eindrücke einer Bewegung verarbeiteten, auch für die Verarbeitung des bewegungsbezogenen sprachlichen Stimulus relevant seien. Weitere Studien zum Einfluss des zeitlichen Aspekts bei der Stimuluspräsentation auf den ACE wurden von Borreggine und Kaschak (2006), Kaschak und Borreggine (2008) und von de Vega et al. (2013) durchgeführt, ergaben allerdings konträre Resultate, sodass diesbezüglich keine eindeutigen Aussagen gemacht werden können. In den Ergebnissen einer Studie von de Vega et al. (2004) spiegelte sich wider, dass auch durch syntaktische Strukturen, die eine Gleichzeitigkeit zweier Handlungen ausdrücken, ein Interferenzeffekt elizitiert werden kann. Die VPN lasen in den Kontext einer kurzen Geschichte eingebettete Sätze, in denen die Ausführung zweier Handlungen eines Akteurs beschrieben wurde. Durch die Adverbien *while* und *after* wurde eine Gleichzeitigkeit oder ein Aufeinanderfolgen der beiden Handlungen ausgedrückt („*While whistling a lively folk melody, he painted the fence white.*“ vs. „*After whistling a lively folk melody, he painted the fence white.*“). Die Autoren variierten weiterhin das sensomotorische System über den Effektor, mit dem die Handlungen ausgeführt wurden. So bezogen sich beide Handlungen entweder auf den gleichen Effektor oder auf unterschiedliche Effektoren („*While whistling a lively folk melody, he painted the fence white.*“ vs. „*While chopping wood with his large axe, he painted the fence white.*“). De Vega et al. (2004) nutzten ein selbstgesteuertes Lese-Paradigma, um die Lesezeiten der VPN für jeden der Sätze zu erheben. Es ergab sich ein Interferenzeffekt, also längere Lesezeiten, für die Sätze, in denen zwei Handlungen des gleichen Effektors beschrieben wurden. De Vega et al. (2004) interpretierten diese Ergebnisse als Indiz dafür, dass das Lesen der ersten

Handlung eine Aktivierung des sensomotorischen Systems bewirkte und dieses für die Verarbeitung der nachfolgend beschriebenen Handlung desselben Effektors blockiert gewesen sei. Da die kritischen Sätze aufgrund des Studiendesigns ihrer Natur nach allerdings semantisch sinnfrei waren, könnte auch dieser Aspekt einen Einfluss auf die detektierten Lesezeiten gehabt haben.

Während der Fokus in den bisher geschilderten Studien auf der Interaktion von Sprache und Motorik lag, lieferten einige Studien Hinweise darauf, dass während des Prozesses der Bedeutungskonstitution von Wörtern und Sätzen auch ein Zugriff auf mentale Abbilder der beschriebenen Situation oder des beschriebenen Objekts erfolgt. So zeigten beispielsweise van Elk und Blanke (2011) den Probanden Wörter, die sich auf verschiedene menschliche Körperteile bezogen. Die Wörter wurden paarweise untereinander stehend auf einem Bildschirm präsentiert. Als Distraktoren schlossen die Autoren Wortpaare mit ein, die sich auf Tiere bezogen und ließen die VPN unterschiedlich auf menschliche und tierische Wortkombinationen reagieren. Lag zwischen den anhand der Wörter beschriebenen Körperteilen eine relativ hohe Distanz vor (z. B. Mund + Fuß), reagierten die VPN langsamer, als wenn die Körperteile näher beieinander lagen (z. B. Mund + Auge). Die diskutierte Erklärung für diese Ergebnisse ist, dass die Präsentation der Stimuluswörter eine visuell-räumliche Repräsentation des menschlichen Körpers hervorgerufen hätte, welche die Probanden während der Entscheidungsfindung abgescannt hätten. Dieser Vorgang hätte mehr Zeit benötigt, wenn die Körperteile weiter auseinander lagen (van Elk & Blanke 2011). Auch die von Zwaan und Kollegen durchgeführten Studien konzentrierten sich auf perzeptuelle Repräsentationen, auf die im Rahmen der Bedeutungskonstitution zugegriffen wird. So konnten Stanfield und Zwaan (2001) nachweisen, dass während der Verarbeitung eines gelesenen Satzes ein Zugriff auf räumliche Repräsentationen im kognitiven System des Lesenden erfolgt. Sie überprüften, ob die in einem Satz explizit genannte räumliche Ausrichtung eines Gegenstands einen Einfluss auf dessen Wiedererkennung in einem nachfolgend präsentierten Bild hätte. Zwischen der im Satz beschriebenen und der im Bild visuell dargestellten Ausrichtung des Objekts lag entweder eine Kongruenz oder eine Inkongruenz vor. Die VPN bekamen die Aufgabe zu entscheiden, ob das gezeigte Objekt im vorherigen Satz genannt wurde oder nicht. Über diese Aufgabe wurden die RTs der Probanden gemessen. Die Ergebnisse zeigten, dass die VPN im Vergleich zu einer Inkongruenz zwischen Prime und Target schneller reagierten, wenn die räumliche Ausrichtung des Objekts im Bild mit der im Satz beschriebenen Ausrichtung kongruent war (Stanfield & Zwaan 2001). In einer leicht abgewandelten Form des Experiments überprüften Zwaan et al. (2002), ob der Satzkontext einen unmittelbaren Einfluss auf die Art der mentalen Repräsentation hätte. Die genutzten Stimulussätze beschrieben die Ausrichtung des Objekts lediglich implizit (z. B. Adler im Flug). Im Anschluss an die Präsentation des Satzes folgte eine Abbildung des beschriebenen Objekts, die kongruent (z. B. fliegender Adler, Flügel ausgebreitet) oder inkongruent (z. B. sitzender Adler,

Flügel angelegt) sein konnte. Die Probanden beantworteten erneut die Frage, ob das abgebildete Objekt in dem vorhergehenden Satz beschrieben wurde oder nicht. Auch in dieser Studie ergaben sich längere RTs in der inkongruenten als in der kongruenten Bedingung, was die Autoren darauf schließen ließ, dass die Art der mentalen Repräsentation, die zur Bedeutungskonstitution herangezogen wurde, vom Satzkontext beeinflusst werde (Zwaan et al. 2002). Interessanterweise führte ein ähnliches Experiment von Connell (2007), in dem es um die in einem Satz implizit geschilderte Farbe eines Objekts ging, nicht zu vergleichbaren Effekten. Connell (2007) präsentierte den VPN ebenfalls Sätze, wie „*Sarah stopped in the woods to pick a leaf off the ground.*“. Im Anschluss daran sahen die Probanden ein Bild, auf dem das entsprechende Objekt die durch den Satz implizierte Farbe oder eine unpassende Farbe hatte. Die laut Connell (2007) im obigen Satz ausgedrückte Farbe des Blattes sei rot oder orange, da vom Baum gefallene Blätter ihre Farbe veränderten. Dementsprechend wurde in der kongruenten Bedingung ein Blatt mit rötlicher Färbung präsentiert, wohingegen es in der inkongruenten Bedingung grün war. Connell (2007) schilderte eine Verkürzung der RTs, wenn die Farbe des visuell dargestellten Objekts nicht mit der im Satz implizierten Farbe übereinstimmte. Möglicherweise sei dieser unerwartete Effekt darauf zurückzuführen, dass die Farbe für die mentale Repräsentation eines Objekts nicht von primärer Bedeutung sei und bei der zur Bedeutungskonstitution herangezogenen Simulation, beziehungsweise dem herangezogenen Abbild, daher vernachlässigt werde (Connell 2007). Dies würde allerdings dafür sprechen, dass überhaupt kein Effekt detektierbar gewesen sein sollte. Den geschilderten Interferenzeffekt erklärt dieser Ansatz nicht. Dass Hirnareale, in denen visuelle Verarbeitungsprozesse erfolgen, im Rahmen der sprachlichen Embodimenttheorie relevant sind, zeigten auch Meteyard et al. (2007). Sie stellten in ihrer Studie die Frage, auf welcher Ebene das Sprachverstehen die Bewegungswahrnehmung beeinflusst und nutzten ein Design, das es ihnen erlaubte, ihre Ergebnisse im Zusammenhang mit verschiedenen Ebenen des Verstehensprozesses zu interpretieren: der perzeptuellen Ebene, der Entscheidungsebene und auf Ebene der RT. Den VPN wurden Verben, die eine Aufwärts- oder eine Abwärtsbewegung beschrieben, auditiv per Kopfhörer präsentiert. Gleichzeitig sahen sie animierte Bilder, anhand derer die Bewegung einer aus Punkten bestehenden Gruppierung suggeriert wurde. Die Probanden waren angewiesen, sich nicht auf die Verben zu konzentrieren. Sie fällten ein Urteil darüber, ob die Bewegung der Punkte homogen, also in eine Richtung, erfolgte oder ob sich die Punkte wahllos auf dem Bildschirm bewegten. Meteyard et al. (2007) stellten fest, dass sich eine Inkongruenz zwischen einer durch ein Verb ausgedrückten und durch die Animation suggerierten Bewegung auf alle drei analysierten Ebenen auswirkte. Die Probanden waren weniger sensitiv gegenüber der beobachteten animierten Bewegung, was sich in einer höheren Fehlerquote ausdrückte. Gleichzeitig tendierten die VPN dazu, eine Bewegung eher als homogen denn als randomisiert zu bewerten, wenn eine Kongruenz zwischen der durch das Verb ausgedrückten und durch die

Animation suggerierten Bewegung vorlag. Weiterhin beschrieben Meteyard et al. (2007) längere RTs bei inkongruenten im Vergleich zu kongruenten Trials, allerdings nur für abwärtsgerichtete Bewegungen. Die Resultate wurden damit erklärt, dass während der Verarbeitung der Bewegungsverbren ein Zugriff auf Hirnareale erfolgt sei, die visuelle Bewegungsinformationen dekodierten.

Die Ergebnisse der hier geschilderten Verhaltensstudien unterstützen die Theorie Barsalous (1999), dass die bei Prozessen der Bedeutungskonstitution abgerufenen kognitiven Repräsentationen nicht amodal, arbiträr und willkürlich seien, sondern modal und auf perzeptuellen und motorischen Erfahrungen und Eindrücken beruhen. Der Zugriff auf neuronale Netzwerke, die diese perzeptuellen und motorischen Informationen verarbeiten, erfolgt während der Sprachverarbeitung offensichtlich unabhängig von der Satzsyntax und unabhängig davon, ob die sprachlich beschriebenen Situationen eine konkrete oder eine abstrakte Bewegung wiedergeben. Die Art, auf welche die für Wahrnehmung und Motorik relevanten neuronalen Strukturen in die Sprachverarbeitung involviert sind, scheint noch nicht eindeutig erklärbar zu sein. Je nach zeitlicher Abfolge der präsentierten manuellen und sprachlichen motorischen/perzeptuellen Stimuli lassen sich Kompatibilitäts- oder Interferenzeffekte feststellen. Dass die Verarbeitung des verbalen Materials ein mentales Abbild oder eine mentale Simulation der Situation oder des Objekts hervorruft, scheint jedoch Konsens zu sein.

3.4.2 Ergebnisse aus elektrophysiologischen Studien

Spezifische Oszillationen im α - und β -Bereich des menschlichen EEGs korrelieren mit motorischen Prozessen und wurden teilweise als Ruherhythmen beschrieben, die während der Ruhephasen des sensomotorischen Systems auftreten (Kuhlmann 1978, Baker 2007). Ritter et al. (2009) diskutierten, dass der Ursprung des μ -Rhythmus (je nach Literatur zwischen 8 und 14 Hz) als Teil des α -Bandes im somatosensorischen System liegen könnte, der β -Rhythmus (etwa 13-30 Hz) hingegen eine stärkere Verknüpfung zum motorischen System unterhalten würde. Allerdings zeigten Studien, dass auch der μ -Rhythmus bei der Ausführung einfacher Willkürbewegungen sowie der Beobachtung oder auch der Vorstellung von Bewegungen unterdrückt sein kann (McFarland et al. 2000, Pfurtscheller et al. 2006). Pfurtscheller et al. (1996) sowie Pfurtscheller und Lopes da Silva (1999) untersuchten sehr detailliert Synchronisierungs- beziehungsweise Desynchronisierungsprozesse im Bereich des μ - und β -Bandes als Reaktion auf aufgabengesteuerte Willkürbewegungen der Hand. Eine ereigniskorrelierte Synchronisierung (*event-related synchronization*, ERS) wird definiert als ein Amplitudenanstieg im relevanten Frequenzbereich nach dem Onset eines gegebenen Stimulus. Diese Synchronisierung lässt sich auf die gleichzeitige Aktivität von Neuronen innerhalb eines großen neuronalen Verbundes zurückführen. Im Fall einer ereigniskorrelierten Desynchronisierung hingegen (*event-related desynchronization*, ERD) nimmt die Synchronizität der Neuronenaktivität in den Zellverbänden ab, was zu einer Amplitudenabnahme im relev-

anten Frequenzbereich führt (Pfurtscheller & Lopes da Silva 1999). Für Fingerbewegungen, deren Geschwindigkeit von den VPN selbst gesteuert wurde, schilderten Pfurtscheller et al. (1996) sowohl eine μ - als auch eine β -ERD im Gyrus prae- und post-centralis kontralateral zu der die Ausführung der Bewegung steuernden Hirnhemisphäre. Diese Effekte setzten zwei Sekunden vor dem Bewegungs-Onset ein. Unmittelbar vor der Bewegung wurde die Desynchronisierung symmetrisch über beiden Hemisphären detektiert, was über die Dauer der Bewegung anhielt. Nach Abschluss der Bewegung normalisierte sich der μ -Rhythmus langsam über eine Dauer von zwei bis drei Sekunden. Im β -Bereich erfolgte diese Normalisierung zurück zur Baseline innerhalb einer Sekunde nach Bewegungs-Offset. Weiterhin zeigte sich eine kurze kontralaterale Synchronisierung im β -Band, was als *β -rebound* bezeichnet wird (Pfurtscheller et al. 1996). Abbildung 7 zeigt beispielhaft die Verläufe der ERS und ERD in den entsprechenden Frequenzbereichen.

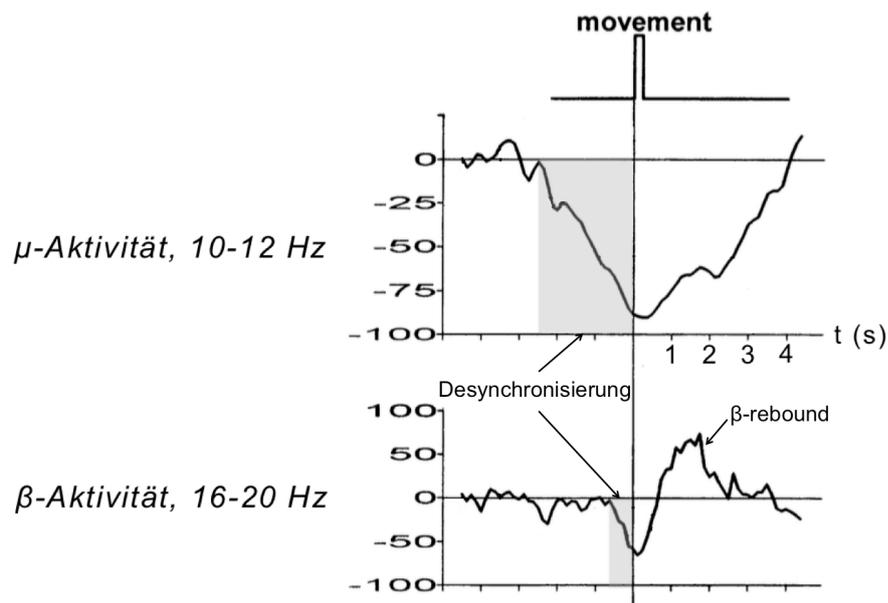


Abbildung 7: Reaktion auf das Einsetzen einer willkürlichen Fingerbewegung im μ - (10-12 Hz, oben) und im β -Band (16-20 Hz, unten) als prozentuale Powerveränderungen (y-Achse). Die Einheiten der Zeitskala (x-Achse) stehen für Intervalle von einer Sekunde Dauer. Die Desynchronisierung in beiden Frequenzbändern, in μ mehr als zwei Sekunden, in β kurz vor Bewegungs-Onset, sowie der β -rebound sind deutlich zu erkennen (Pfurtscheller et al. 1996, S. 287, verändert).

In aktuelleren Studien zeigten sich vergleichbare Desynchronisierungsprozesse auch bei der Verarbeitung konkreter bewegungsbezogener Sprache. Diese Erkenntnisse unterstützen die sprachliche Embodimenttheorie, die postuliert, dass die Verarbeitung sprachlichen Inputs die mentale neuronale Simulation entsprechender sensomotorischer Informationen in somatosensorischen und motorischen Kortexarealen erforderlich mache (Barsalou 1999, 2008, Glenberg & Kaschak 2003). Um die Verarbeitung von Verben, die sich auf menschliche Bewegungen bezogen, mit Verben zu vergleichen, die tierische Aktivitäten ausdrückten, führten van Elk et al. (2010) ein EEG-Experiment

durch. Sie präsentierten den VPN Sätze, wie „*Der Athlet springt über die Hürde.*“ oder „*Der Hirsch springt über den Zaun.*“. Durch die Manipulation der Bewegungsart wurde auch das Ausmaß manipuliert, in dem die Rezipienten die Aktivität visualisieren konnten, da sie – so angenommen – mit menschlichen Bewegungen vertrauter seien als mit tierischen. Van Elk et al. (2010) schilderten eine ERD während der Verarbeitung der Sätze sowohl im μ - (10-14 Hz) als auch im β -Band (20-30 Hz). Überraschenderweise war die ERD bei der Verarbeitung von Bewegungsverben, die sich auf tierische Aktivitäten bezogen, stärker als bei einem Bezug zu menschlichen Bewegungen. Im Hinblick auf den zeitlichen Verlauf der Effekte war die Amplitudendifferenz zwischen dem menschlichen und dem tierischen Kontext im μ -Bereich in einem Intervall von 160 bis 520 Millisekunden nach Verb-Onset signifikant. Dieser Effekt zeigte sich in einem fronto-zentralen Elektrodencluster. Im β -Bereich war die Differenz hingegen erst zwischen 500 und 600 Millisekunden nach Verb-Onset innerhalb eines zentralen Elektrodenclusters signifikant. Dass die Effekte in den angegebenen Zeitintervallen auftraten, interpretierten die Autoren als Hinweis darauf, dass die durch die μ - und β -ERD wiedergegebene Aktivität in motorisch relevanten Hirnarealen einem Zugriff auf semantische Informationen entspreche und nicht auf die visuelle Vorstellung der entsprechenden Bewegungen zurückzuführen sei (van Elk et al. 2010). Fargier et al. (2012) analysierten die Unterdrückung des μ -Rhythmus im Frequenzbereich zwischen 8 und 12 Hertz als Reaktion auf Bewegungsvideos und auf sich auf diese Bewegungen beziehende erdachte verbale Stimuli. Die VPN lernten die Bedeutung der erdachten Bewegungsverben anhand der mit ihnen verknüpften Videoclips an zwei aufeinanderfolgenden Tagen. Bei diesem Lernprozess wurde ihr EEG aufgezeichnet. Während der Bewegungsbeobachtung im Video konnten Fargier et al. (2012) eine Desynchronisierung im Bereich des μ -Rhythmus detektieren. Der Effekt zeigte sich in einem zentro-parietalen und einem fronto-zentralen Elektrodencluster zwischen 200 und 1000 Millisekunden nach Video-Onset. Bei der Präsentation der erdachten Bewegungsverben wurde eine Unterdrückung des μ -Rhythmus im zentro-parietalen Elektrodencluster am ersten Studientag detektiert, die zwischen 400 und 950 Millisekunden nach Verb-Onset auftrat. Auch im fronto-zentralen Cluster fanden sich vergleichbare Effekte. Während die Reaktionen im zentro-parietalen Elektrodencluster als Indiz für die Aktivität motorisch relevanter Neuronenverbände bei der Verarbeitung von Bewegungsverben interpretiert wurden, erklärten Fargier et al. (2012), die fronto-zentralen Effekte seien auf Bindungsprozesse zurückzuführen. Die anhand der fronto-zentralen Elektroden detektierbaren Neuronenverbände würden efferente und afferente Verbindungen zu den motorisch relevanten Hirnarealen unterhalten. In einer kürzlich veröffentlichten Studie von Moreno et al. (2015) wurden Oszillationen im μ - (8-11 Hz) und im β -Bereich (13-16 und 16-20 Hz) als Reaktion auf bewegungsbezogene, abstrakte und wahrnehmungsbezogene Sätze miteinander verglichen. Während der Verarbeitung der bewegungsbezogenen Sätze zeigte sich eine stärkere Unterdrückung der Oszillationen im μ -Bereich als

bei der Verarbeitung der abstrakten und der wahrnehmungsbezogenen Sätze. Der Effekt trat über dem prämotorischen Kortex am deutlichsten auf und setzte etwa 200 Millisekunden nach dem Verb-Onset ein. In Bezug auf die Oszillationen im β -Band konnten Moreno et al. (2015) keine Effekte als Reaktion auf die bewegungsbezogenen Satzstimuli feststellen. In einer früheren Studie (Moreno et al. 2013) zeigte sich jedoch eine marginale β -ERD im Frequenzbereich zwischen 15 und 20 Hertz als Reaktion auf sprachliche Bewegungsreize.

Eine Studie, in welcher elektrophysiologische Reaktionen auf verbale Bewegungsreize unabhängig von einem bestimmten Frequenzbereich analysiert wurden, führten Shtyrov et al. (2004) durch. Sie untersuchten die *Mismatch negativity* (MMN) im Zusammenhang mit der Präsentation bewegungsbezogener Verben. Anhand der MMN lassen sich elektrophysiologische Hirnreaktionen aufmerksamkeitsunabhängig detektieren, vor allem aber bevor der Inhalt des Reizes in das Bewusstsein der VPN vorgedrungen ist (Näätänen 1995). Häufig wird die MMN anhand eines passiven auditiven Oddball-Paradigmas analysiert. Dabei wird den VPN über einen gewissen Zeitraum eine Serie des gleichen auditiven Reizes präsentiert, beispielsweise eines Tons oder eines Wortes. Randomisiert ertönt zwischen dem gleichbleibenden Reiz ein für die Untersuchungsfrage relevanter Stimulus, zum Beispiel ein Ton einer anderen Frequenz oder ein kritisches Stimuluswort (Hillyard et al. 1973, Squires et al. 1975). Auch Shtyrov et al. (2004) nutzten ein auditives Oddball-Paradigma und präsentierten den VPN die Wörter *kick* und *pick* als kritische Stimuli zwischen einem sich wiederholenden semantisch sinnfreien Wort. Die MMN als Reaktion auf die kritischen Bewegungsverben zeigte eine von der Somatotopie der sensomotorischen Kortizes abhängige Ausrichtung. So trat sie nach der Präsentation des beinbezogenen *kick* fokal dorsal, nach *pick* aber weniger zentriert lateral auf (s. Abb. 8). Die Ergebnisse wurden als Hinweis darauf gedeutet, dass bei der Enkodierung von Bewegungsverben speziell die Kortexareale aktiviert würden, die auch Bewegungen der entsprechenden Extremitäten steuerten, die Aktivität motorischer Areale während der Sprachverarbeitung also ein somatotopes Muster aufweise (Shtyrov et al. 2004).

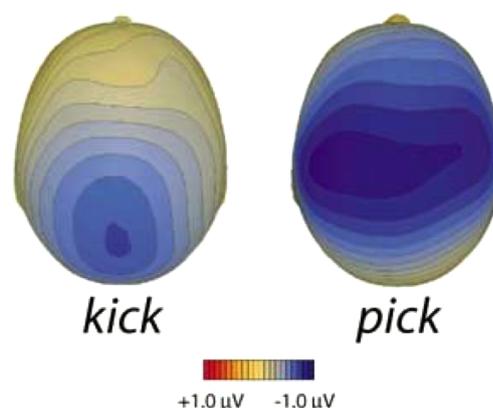


Abbildung 8: Ausrichtung der MMN als Reaktion auf die Präsentation der Verben *kick* und *pick* (Shtyrov et al. 2004, S. 1088, verändert).

In einer Reihe von TMS-Studien konnten weitere Indikatoren gesammelt werden, die dafür sprechen, dass während der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache eine somatotope Aktivierung präzentraler Kortextareale erfolgt (Buccino et al. 2005, Pulvermüller et al. 2005, Glenberg et al. 2008a, Tomasino et al. 2008, D'Ausilio et al. 2009, Gianelli & Dalla Volta 2015). Pulvermüller et al. (2005) stimulierten Kortextareale der linken Hirnhemisphäre, welche die Motorik der Beine oder Arme steuern, während sie ihren Versuchsteilnehmenden bein- oder armbezogene Bewegungsverben präsentierten. Eine lexikalische Entscheidungsaufgabe wurde schneller gefällt, wenn die TMS über der zum Inhalt des Verbs passenden Kortextregion erfolgte, als wenn das jeweils andere Areal oder die rechte Hirnhemisphäre stimuliert wurde (Pulvermüller et al. 2005). Ein sehr ähnliches Experiment mit bewegungsbezogenen Sätzen als Stimulusmaterial führten Buccino et al. (2005) durch, die statt eines Kompatibilitätseffekts einen Interferenzeffekt schilderten. Zusätzlich zu dem Setzen eines TMS-Pulses leiteten sie MEPs an Hand und Fuß der VPN ab. Diese MEPs nahmen parallel zur Verarbeitung der bewegungsbezogenen Sätze effektorspezifisch ab. Bei der Verarbeitung eines Satzes, der eine Handbewegung beschrieb, nahmen die MEPs an der Hand im Vergleich zu einer Kontrollbedingung ab. Ebenso verhielt es sich mit MEPs, die am Fuß abgeleitet wurden, bei der Präsentation eines fußbezogenen Bewegungssatzes (Buccino et al. 2005). Gianelli und Dalla Volta (2015) wiederholten die Studie von Buccino et al. (2005) mit einer größeren Anzahl VPN und stellten einen Kompatibilitätseffekt fest, also eine Verstärkung der abgeleiteten MEPs. Auch bei der Wiedererkennung von Konsonanten konnte anhand der TMS ein Kompatibilitätseffekt erzielt werden. D'Ausilio et al. (2009) präsentierten ihren VPN labiale und dentale Konsonanten, während sie entweder die Kortextregion stimulierten, welche die Lippenmotorik steuert oder diejenige, welche die Zungenmotorik steuert. Die Wiedererkennung der präsentierten Konsonanten wurde durch die Stimulation der entsprechenden Kortextregionen erleichtert (D'Ausilio et al. 2009).

Die vorgestellten Studien zeigten anhand elektrophysiologischer Methoden, dass im Zusammenhang mit der Verarbeitung sprachlicher motorischer Reize ähnliche kognitive Prozesse ablaufen, wie während der Ausführung oder Beobachtung einer Bewegung. In Bezug auf die Reaktionen im μ - und β -Band lässt sich festhalten, dass die ERD von Oszillationen im Bereich des μ -Rhythmus als Reaktion auf visuelle oder sprachliche Bewegungsstimuli replizierbar und robust ist. Die entsprechenden Effekte stellten sich meist kurz nach Stimulus-Onset ein. Vergleichbare Effekte im β -Band traten hingegen – falls überhaupt – später auf und scheinen sich nicht unbedingt gleichermaßen im β_1 - und im β_2 -Bereich zu manifestieren. Wie anhand der TMS-Studien gezeigt werden konnte, gehen die Reaktionen in den beiden motorisch relevanten Frequenzbändern direkt auf Aktivität in motorischen Kortizes zurück. Das Setzen eines TMS-Pulses verstärkte die Aktivität in diesen motorischen Kortizes, woraufhin eine Erleichterung bei der Sprachverarbeitung detektierbar war. Diese Effekte legen die Vermutung nahe, dass moto-

rische Kortizes eine unterstützende, eventuell sogar unabdingbare, Funktion bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache übernehmen. Für diese Hypothese sprechen weiterhin Erkenntnisse aus mehreren fMRT-Studien, die im nachfolgenden Kapitel vorgestellt werden.

3.4.3 Ergebnisse aus bildgebenden Studien

Eine der frühesten Studien, in der die Aktivität motorisch relevanter Hirnareale bei der Sprachverarbeitung anhand bildgebender Verfahren untersucht wurde, führten Hauk et al. (2004) durch. Sie präsentierten den Versuchsteilnehmenden jeweils 50 Verben, die sich auf Gesichts-, Arm- oder Beinbewegungen bezogen und von den VPN gelesen wurden. Die Hirnaktivität beim Lesen der Stimuli wurde mit den Aktivitätsmustern bei der Verarbeitung von Pseudowörtern und einer nicht sprachlichen Baseline verglichen. Eine besonders interessante Beobachtung war, dass neben weiteren sprachlich relevanten Kortexarealen Aktivitätsmuster im Gyrus praecentralis und im posterioren Gyrus frontalis medius auftraten. Innerhalb dieser beiden Gyri liegen Areale des primären motorischen und des prämotorischen Kortex. Anhand einer Lokalisierungsaufgabe ermittelten Hauk et al. (2004) außerdem die Kortexbereiche bei den VPN, welche die Planung und Ausführung von Gesichts-, Arm- und Beinbewegungen steuern. Im Anschluss verglichen sie die Hirnareale miteinander, die bei der Lokalisierungsaufgabe und beim Lesen der Bewegungsverben aktiviert wurden. Es zeigte sich eine somatotope Gliederung der Aktivitätsmuster beim Lesen der Bewegungsverben. Lesen die Probanden ein auf eine Armbewegung bezogenes Verb, zeigten die gleichen Kortexareale Aktivität, die auch während der Lokalisierungsaufgabe auf Armbewegungen reagierten (Hauk et al. 2004, s. Abb. 9).

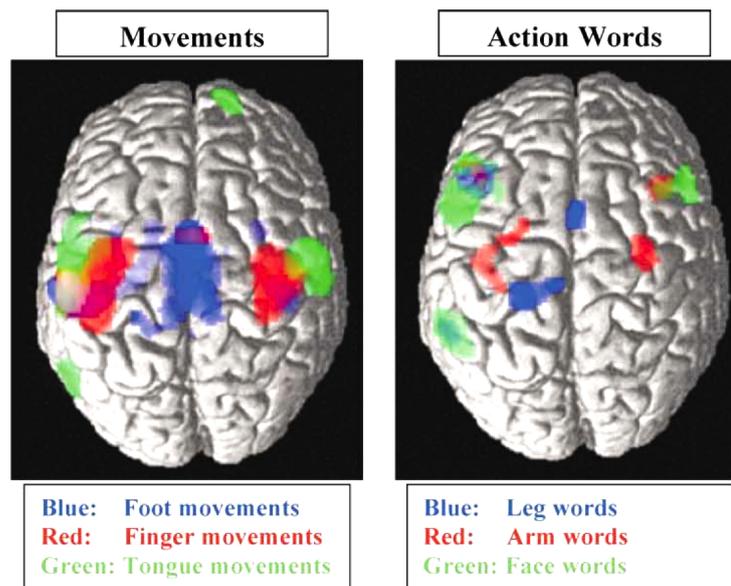


Abbildung 9: Aktivitätsmuster im Kortex bei einer Lokalisierungsaufgabe (links) und beim Lesen von Bewegungsverben (rechts). Areale im prämotorischen und im primären motorischen Kortex zeigten bei beiden Aufgaben gleichermaßen Aktivität (Hauk et al. 2004, S. 304).

Mit der zunehmenden Popularität der fMRT-Messungen im Zusammenhang auch mit sprachwissenschaftlichen Forschungsarbeiten häuften sich nach 2004 die Studien, in denen metabolische Hirnreaktionen auf sprachliche Bewegungsreize fokussiert wurden. Tettamanti et al. (2005) erweiterten die Studie von Hauk et al. (2004) und betteten mund-, hand-, und beinbezogene Bewegungsverben in einen Satzkontext ein. Die Verarbeitung dieser Bewegungssätze wurde mit der Verarbeitung von abstrakten Sätzen ohne Bewegungsbezug verglichen. Auch in dieser Studie zeigten sich Aktivitätsmuster im prämotorischen Kortex der linken Hirnhemisphäre, die somatotop gegliedert waren. So war bei der Verarbeitung von mundbezogenen Verben der dorsale Bereich des pars opercularis im Gyrus frontalis inferior aktiviert, bei der Verarbeitung handbezogener Verben zeigte sich Aktivität in einer medio-dorsalen Region des Gyrus praecentralis und beinbezogene Verben führten zu einer Aktivierung eines eher dorsal gelegenen Areals im Sulcus frontalis superior. Diese Areale entsprechen den Kortexbereichen, die auch die Ausführung von Bewegungen der entsprechenden Extremitäten steuern (Tettamanti et al. 2005). Tettamanti et al. (2005) replizierten also die Ergebnisse von Hauk et al. (2004) für die Verarbeitung ganzer Sätze, welche die Bewegungsverben umschlossen. Im Gegensatz zu der früheren Studie zeigte sich allerdings keinerlei Beteiligung des primären motorischen Kortex an der Sprachverarbeitung. Auch Desai et al. (2010) konnten keine gesteigerte metabolische Aktivität im primären motorischen Kortex bei der Verarbeitung von Sätzen feststellen, die Arm- und Handbewegungen beschrieben. Sie schilderten Aktivierungsmuster im linken inferioren postzentralen Kortex sowie dem linken prä-supplementär-motorischen Areal. Weiterhin wurde gesteigerte Aktivität im dorsalen prämotorischen Kortex und bilateral im supplementär-motorischen Areal detektiert. Desai et al. (2010) erklärten, dass sich diese bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Sätze aktiven Kortexareale zu einem Teil mit den Arealen überschneiden, die bei der anatomischen Lokalisierung der für Handbewegungen relevanten Kortexareale Aktivität zeigten. Ein weiterer Ausbau der Studie von Hauk et al. (2004) erfolgte durch Postle et al. (2008). Aufgrund der in dieser Studie genutzten Lokalisierungsmethode war eine sehr genaue Zuweisung der erhobenen Aktivitätsmuster zu den zugrunde liegenden anatomischen Hirnstrukturen möglich. Postle et al. (2008) wiesen ihre Daten Hirnarealen zu, die anhand von post mortem durchgeführten mikrozellularen Strukturanalysen definiert wurden. Als Stimulusmaterial dienten mund-, hand- und fußbezogene Verben, welche die Probanden lasen sowie Videoclips, in denen einfache Mund-, Arm- oder Beinbewegungen gezeigt wurden und welche die VPn ansahen. Zusätzlich bekamen sie die Aufgabe, die im Video beobachtete Bewegung für einige Sekunden selbst auszuführen. Sowohl bei der Beobachtung als auch bei der Ausführung einer Bewegung wurden somatotop gegliederte Aktivierungen des primären und prämotorischen Kortex beobachtet. Beim Lesen der Bewegungsverben traten keine vergleichbaren Effekte auf. Allerdings zeigte sich eine Aktivierung des prä-supplementär-motorischen Areals. Postle et al. (2008) diskutierten, dass diese Aktivität nicht

sprachspezifisch sei, sondern eine generelle kognitiv-motorische Relevanz des supplementär-motorischen Areals widerspiegeln würde. Willems et al. (2009) präsentierten handbezogene Bewegungsverbene und gaben ihren VPN zum einen die Aufgabe, diese zu lesen, zum anderen sollten sie sich vorstellen, die beschriebene Bewegung selbst auszuführen. Bei der Imaginationsaufgabe zeigte sich eine Aktivierung des primären motorischen sowie des prämotorischen Kortex. Bei der Verarbeitung der Verben hingegen waren lediglich Areale des prämotorischen Kortex aktiv, die allerdings nicht mit denen während der Imaginationsaufgabe übereinstimmten (Willems et al. 2009). Die Aktivierung der prämotorischen Areale bei der Verarbeitung von Bewegungsverbene könnte sich je nach Lateralisierung der untersuchten Personen hinsichtlich der aktivierten Hirnhemisphäre unterscheiden. So zeigte sich in einer Studie von Willems et al. (2010) eine deutliche zur Händigkeit der VPN kontralaterale Aktivierung im prämotorischen Kortex bei der Präsentation von Bewegungsverbene. Auch während einer Imaginationsaufgabe stellten die Autoren eine kontralateral ausgeprägte Aktivierung des prämotorischen und des primären motorischen Kortex fest. Erneut ließen sich keine Überschneidungen zwischen den bei der lexikalischen und bei der Imaginationsaufgabe aktiven Kortexarealen detektieren (Willems et al. 2010).

Wie die oben beschriebenen fMRT-Studien zeigten, können je nach Stimulusmaterial und Aufgabenstellung Überschneidungen während der Verarbeitung von bewegungsbezogenen sprachlichen Stimuli und der Ausführung, Beobachtung oder Imagination einer Bewegung auftreten. Diese Ergebnisse scheinen robust und ließen sich nicht ausschließlich für Bewegungsverbene nachweisen. Auch bei der Präsentation sensorisch relevanter Wörter, wie zum Beispiel *Salz*, waren Hirnareale aktiv, die Geschmacksreize verarbeiten (Barrós-Loscertales et al. 2011). Weiterhin ließen sich sensomotorische Aktivitätsmuster bei der Präsentation objektrelatierter Nomen verschiedener semantischer Kategorien nachweisen (Carota et al. 2012). Die relevanten Hirnareale unterschieden sich in Abhängigkeit von der Studie mehr oder weniger stark voneinander. So besteht kein Konsens darüber, ob während des Prozesses der Bedeutungskonstitution von Bewegungsverbene der primäre motorische Kortex aktiviert ist oder ob sich die Aktivierung auf sekundäre motorische Areale, wie den prämotorischen Kortex oder das supplementär-motorische Areal, beschränkt. Im Rahmen der hier geschilderten Studien und Analysen ist es jedoch zweitrangig, welche Hirnareale sowohl während eines manuellen als auch eines sprachlichen Bewegungsstimulus aktiv sind. Relevanter ist hingegen, dass auch bei der Verarbeitung von Bewegungsverbene in abstrakten Kontexten Aktivierungsmuster in motorisch relevanten Hirnarealen nachweisbar sind, wie bereits in Kapitel 2.2 vorgestellt wurde. Aus dieser Vielzahl von fMRT-Studien ging wiederholt hervor, dass sensomotorische Kortexareale, welche die Ausführung motorischer Programme und/oder die Verarbeitung sensorischer Reize steuern, nicht nur bei eben diesen Aufgaben aktiv sind. Sie zeigen auch dann Aktivität, wenn über Bewegungen oder Sinneseindrücke gesprochen bzw. gelesen wird.

3.4.4 Ergebnisse aus Patientenstudien

In Patientenstudien, die in den Kontext der sprachlichen Embodimenttheorie fallen, also der Frage nach der Beteiligung des sensomotorischen Systems an Sprachverarbeitungsprozessen, werden vor allem traumatische oder degenerative Schädigungen des sensomotorischen Systems sowie neuronale oder muskuläre Schädigungen der Peripherie fokussiert. Neininger und Pulvermüller (2001) untersuchten zwei Patienten mit Schädigungen des Frontallappens, die durch einen ischämischen Insult, beziehungsweise einen Grenzzoneninfarkt, verursacht wurden. Zusätzlich lagen durch die Schädigungen Lähmungen des linken Arms vor. Die beiden Probanden führten eine lexikalische Entscheidungsaufgabe durch, wobei Nomen, Verben und Pseudowörter als Stimulusmaterial dienten. Der Inhalt der Nomen war entweder mit einer starken visuellen Assoziation oder einer kombinierten visuellen und motorischen Assoziation verknüpft. Der Inhalt der Verben war mit einer starken motorischen Assoziation verknüpft. Die Patienten zeigten ein Defizit in Abhängigkeit der Wortkategorie. Im Vergleich zu den RTs auf beide Nomentypen waren die RTs auf die motorischen Verben verlangsamt. Bei läsionsfreien Kontrollpersonen zeigte sich kein vergleichbarer Effekt. Neininger und Pulvermüller (2001) schlossen aus diesen Ergebnissen, dass Läsionen im prämotorischen, motorischen und somatosensorischen Kortex der rechten Hirnhemisphäre ein Defizit hinsichtlich der Verarbeitung motorischer Verben bewirken könnten. Dies lege eine Beteiligung dieser Areale bei der Bedeutungskonstitution motorischer Verben nahe. Arévalo et al. (2012) argumentierten anhand der Daten ihrer Studie gegen die Annahme, eine Beteiligung sensomotorischer Kortexareale sei für Prozesse der Bedeutungskonstitution von Wörtern mit motorischem Bezug unabdingbar. Sie testeten 27 Probanden mit linkshemisphärischen Läsionen als Folge von Schlaganfällen. Als Stimulusmaterial dienten Objekte und Bewegungen, die mit dem Gebrauch der Hand, des Mundes, des Fußes oder keines Körperteils als Vergleichsbedingung assoziiert wurden. Die Objekte und Bewegungen wurden parallel als visueller Bildstimulus und als auditiv gesprochenes Wort präsentiert. Die Testpersonen betätigten eine Taste, wenn eine Übereinstimmung zwischen den zwei Stimuli vorlag. Bei der Analyse wurde die Leistung der Kontrollprobanden und der Patienten entsprechend der vorliegenden Läsionen verglichen. Die Patienten wurden in Gruppen mit Läsionen des primären motorischen und prämotorischen, des somatosensorischen, des mittleren temporalen sowie des inferioren frontalen Kortex eingeteilt. Es ergab sich, dass alle Patientengruppen Einschränkungen hinsichtlich der Verarbeitung von fußrelatierten Objekten und Bewegungen zeigten. Die Patientengruppe mit Läsionen des somatosensorischen Kortex wies darüber hinaus Defizite bei der Verarbeitung der mundbezogenen Stimuli auf. Bei Objekten und Bewegungen, die sich auf die Hand bezogen, ergaben sich keine Effekte. Arévalo et al. (2012) diskutierten, dass ihre Ergebnisse zwar für eine Interaktion zwischen motorisch relevanten Netzwerken und dem Sprachnetzwerk sprächen,

dass es sich bei den motorisch relevanten Arealen aber nicht um spezifische Regionen des prämotorischen oder primären motorischen Kortex handle. Vielmehr seien die für die Sprachverarbeitung relevanten Hirnregionen über verschiedene kortikale Areale gestreut. Weiterhin führten Läsionen innerhalb des motorisch-sprachlichen Netzwerks lediglich zu Einschränkungen hinsichtlich der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache, blockierten diesen Prozess aber nicht vollständig (Arévalo et al. 2012).

Parkinsonpatienten, bei denen sich die neuronale Degeneration speziell auf die Planung, Ausführung und Kontrolle motorischer Befehle auswirkt, zeigten wiederholt Einschränkungen bei der Verarbeitung von Bewegungsverben (Boulenger et al. 2008b, Fernandino et al. 2013a, 2013b, Cardona et al. 2014, York et al. 2014). Boulenger et al. (2008) nutzten die Methode des maskierten Wiederholungsprimings bei zehn Parkinsonpatienten und zehn Kontrollpersonen. Die Patienten hatten innerhalb von zwölf Stunden vor dem Experiment keine Medikamente zu sich genommen. Für 50 Millisekunden wurden Bewegungsverben, Nomen ohne Bewegungsbezug oder bedeutungslose Konsonantenketten als Primes präsentiert. Direkt im Anschluss wurde das gleiche, ein abweichendes oder ein sinnfreies Wort eingeblendet. Die VPN führten eine lexikalische Entscheidungsaufgabe durch. Es zeigte sich, dass die Patienten speziell bei den Bewegungsverben nicht von der Präsentation des Primes profitierten. Die Kontrollpersonen hingegen reagierten schneller, wenn einem Bewegungsverb das gleiche Wort als Prime vorausging. Das Experiment wurde wiederholt, nachdem die Patienten ihre Medikation eingenommen hatten. Als Resultat konnten nun auch bei den Patienten schnellere RTs detektiert werden, wenn ein Bewegungsverb durch das identische Wort geprimt wurde (Boulenger et al. 2008b). In zwei Studien testeten Fernandino et al. (2013a, 2013b) die Verarbeitung von Bewegungsverben bei Parkinsonpatienten. In der ersten Studie verglichen sie RTs anhand einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe und präsentierten Bewegungsverben, abstrakte Verben und Pseudowörter. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in der Kontrollgruppe, die einen Verarbeitungsvorteil für die Bewegungsverben gegenüber den abstrakten Verben zeigte, konnte bei den Patienten kein vergleichbarer RT-Unterschied gefunden werden. Die Verarbeitung der Bewegungsverben forderte bei den Patienten also deutlich mehr Zeit als bei den Kontrollpersonen (Fernandino et al. 2013a). In der zweiten Studie präsentierten Fernandino et al. (2013b) Sätze, die Bewegungsverben enthielten. Sie analysierten RT-Unterschiede hinsichtlich der Verarbeitung von konkreten, metaphorischen, idiomatischen und sinnfreien Sätzen anhand einer Sensibilitätsentscheidung. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe zeigten die Patienten signifikant längere RTs bei konkreten und idiomatischen bewegungsbezogenen Sätzen. Bei den metaphorischen Stimuli waren die RTs im Vergleich zu den Kontrollpersonen ebenfalls länger, allerdings war der Unterschied nicht signifikant. Fernandino et al. (2013b) interpretierten ihre Ergebnisse als Indiz dafür, dass das sensorimotorische System an der Verarbeitung bewegungsbezogener figurativer Sprache beteiligt und diese Beteiligung bei Parkinsonpatienten eingeschränkt sei, was zu einer Ver-

langsamung des Sprachverarbeitungsprozesses führe. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Studien konnten York et al. (2014) in ihrer fMRT-Studie keinerlei Beeinträchtigung von Parkinsonpatienten im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe bei der Verarbeitung von Bewegungsverben, Kognitionsverben, konkreten und abstrakten Nomen feststellen. Die Aufgabe für die VPN war es, ein Assoziationsurteil über drei auf einem Bildschirm präsentierte Wörter zu treffen. Sie sollten also entscheiden, welches Wort von zwei möglichen Alternativen am besten zu einem Zielwort passte und ihre Entscheidung verbal mitteilen. Den Patienten wurde für diese Aufgabe so viel Zeit gegeben, wie sie benötigten, um mögliche Einflüsse von Behinderungen bei der motorischen Ausführung der Entscheidungsreaktion auszuklammern. Analysiert wurden also keine RTs, sondern die Fehlerrate der Patienten im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Dabei unterschieden sich Parkinsonpatienten nicht von der Kontrollgruppe. York et al. (2014) untersuchten allerdings auch Patienten mit Amyotropher Lateralsklerose (ALS). Diese zeigten im Gegensatz zu der Kontrollgruppe starke Einschränkungen hinsichtlich der Verarbeitung von Bewegungsverben, was auf eine Atrophie der grauen Substanz in motorischen Assoziationskortex und präfrontalen Hirnregionen zurückgeführt wurde (York et al. 2014).

In einer Einzelfallstudie untersuchten Vannuscorps et al. (2013) die Benennleistungen einer Person, die von Geburt an ohne Arme lebte. Sie präsentierten der Person Stimuli, die sich auf Bewegungen der oberen Extremität bezogen und verglichen die entsprechende Benennleistung mit der auf Bewegungen, die sich nicht auf die obere Extremität bezogen. Die Bewegungen wurden in vier Modalitäten präsentiert: als Videoclip, in dem die Bewegung in ihrer natürlichen Form (anhand des manipulierten Objekts) dargestellt wurde, als Fotografie, als Pantomime, wobei die manipulierten Objekte fehlten, oder als gepunktete Lichtanimationen, wobei lediglich die Gelenke eines Akteurs während der Bewegung sichtbar waren (s. Abb. 10, S. 44).

Im Vergleich zu einer kleinen Kontrollgruppe zeigte die VPN keinerlei Einschränkungen hinsichtlich der Benennung von Bewegungen der oberen Extremität in den ersten drei Bedingungen, also bei den Videoclips, den Fotografien und der Pantomime. Bei der gepunkteten Lichtanimation fiel die Benennleistung jedoch signifikant geringer aus als in der Kontrollgruppe. Dieser Effekt zeigte sich nicht bei Bewegungen, die sich nicht auf die Arme und/oder Hände bezogen. Vannuscorps et al. (2013) diskutierten, dass motorische Repräsentationen unter Umständen dann zum Verstehen einer Bewegung beitragen, wenn wichtige visuelle Merkmale einer Bewegung, wie in diesem Fall die Körperteile, welche die Bewegung ausführen, fehlten.

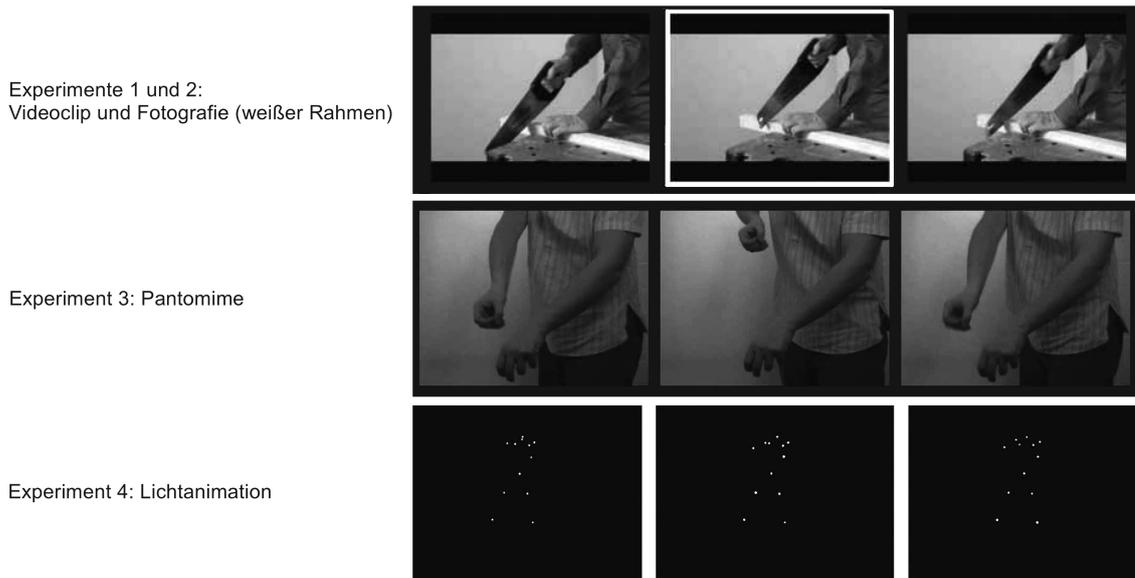


Abbildung 10: Beispielstimuli für Handbewegungen in den vier Experimenten. Im ersten Experiment wurde die Bewegung in einem Videoclip, im zweiten Experiment als Momentaufnahme präsentiert (hier: *sägen*). Im dritten Experiment erfolgte die Darstellung lediglich pantomimisch, also ohne die Einbindung des Objekts (hier: *sägen*). In Experiment vier wurde eine Bewegung als Lichtanimation präsentiert, wobei die Reflektoren an den Gelenken des Akteurs angebracht waren (hier: *geigen*) (Vannuscorps et al. 2013, S. 260, 264, 266, verändert).

Die oben vorgestellten Patientenstudien untermauern die Annahme, somatosensorische und motorische Kortexareale, beziehungsweise die entsprechenden Netzwerke, seien für die Verarbeitung von Sprache mit sensorischem und motorischem Bezug relevant. Sie stützen weiterhin die Auffassung, dass diese Kortexareale zwar zu einer vollständigen Erfassung der Semantik eines Wortes oder Satzes beitragen, sich die Sprachverarbeitung aber nicht auf sensorische und motorische Repräsentationen beschränkt. Vielmehr wird während der Sprachverarbeitung auf ein Netzwerk zugegriffen, in das sensomotorisch relevante Hirnareale eingebunden sind.

3.4.5 Studien mit Gebärdensprecher/Innen

Gebärdensprecher/Innen stellen bei der Frage nach dem Embodiment sensomotorischer Bedeutungskonstituenten eine spezielle Population dar. Ihre Kommunikation erfolgt auf visuell-manueller Ebene, wodurch eine viel direktere Verknüpfung zwischen der Semantik einer Gebärde und ihrer sensomotorischen Repräsentation vorliegt. Die sensomotorische Repräsentation ist von Natur aus Teil der Gebärde. Allerdings muss diesbezüglich eine Unterscheidung getroffen werden zwischen der sensomotorischen Repräsentation, die den Bewegungen bei der Artikulation der Gebärde zugrunde liegt und den Repräsentationen, die mit der Semantik der Gebärde verknüpft sind. So ist die Gebärde RUN der *American Sign Language* (ASL) keine ikonische Gebärde, bildet den Vorgang des Rennens also nicht bildlich ab. Dieser Gebärde liegt zum einen ein motorisches Programm zugrunde, das die Ausführung der zur Artikulation der Gebärde notwendigen

Bewegungen steuert. Zum anderen ist der sprachlichen Embodimenttheorie zufolge der semantische Inhalt der Gebärde mit den motorischen Programmen verknüpft, welche die Ausführung aller zum Rennen notwendigen Bewegungen steuert. Diese Unterscheidung ist auch in gesprochenen Sprachen legitim, da die Artikulation anhand der ausführenden Sprechorgane (Lippen, Zunge, Kehlkopf) eine Aktivierung motorischer Programme erfordert. Im Fall ikonischer Gebärden, wie der ASL-Gebärde EAT, könnten die beiden motorischen Repräsentationen weitestgehend identisch sein, da die Artikulation der Gebärde mit den Bewegungen während des Essens übereinstimmen. Aus diesen Sachverhalten wird ersichtlich, dass Gebärdensprecher/Innen eine interessante Sprachgemeinschaft hinsichtlich der Hypothesen der sprachlichen Embodimenttheorie darstellen und die bisher geschilderten Befunde für Gebärdensprecher/Innen repliziert werden müssen.

Dass die Ikonizität einer Gebärde anscheinend nur wenig oder keinen Einfluss auf die Verarbeitung der zugrunde liegenden Semantik hat, konnten Bosworth und Emmorey (2010) nachweisen. Sie untersuchten semantische Priming-Effekte bei gehörlosen Gebärdensprecher/Innen der ASL um den Fragen nachzugehen, ob die Ikonizität einer Gebärde den semantischen Priming-Effekt beeinflussen würde und ob ikonische Gebärden schneller erkannt würden als nicht-ikonische. Den Probanden wurden Prime-Target-Gebärdenpaare präsentiert, die semantisch entweder related oder unrelated waren. Einem ikonischen Target ging dabei entweder ein ikonisches oder ein nicht-ikonisches Prime voraus. In einem zweiten Stimulusset wurden nicht-ikonische Targets präsentiert, denen ein semantisch unrelated Prime vorausging. Die VPN führten eine lexikalische Entscheidungsaufgabe auf Basis der Target-Gebärde aus. Die Resultate zeigten einen semantischen Priming-Effekt bei einer semantisch engen Beziehung zwischen der Prime- und der Target-Gebärde. Die Ikonizität des semantisch related Primes hatte dabei keinerlei Einfluss auf die erhobenen RTs, wirkte sich also nicht auf die Verarbeitung des Targets aus. Außerdem wurde die lexikalische Entscheidung für ikonische Targets nicht schneller getroffen als für nicht-ikonische Targets. Aus diesen Ergebnissen schlossen die Autoren, dass die Ikonizität einer Gebärde keinerlei Einfluss auf den Zugriff auf die semantische Repräsentation der Gebärde habe (Bosworth & Emmorey 2010). In einem modalitätsübergreifenden Priming-Experiment verglichen Ortega und Morgan (2014) den Effekt, den ikonische Gebärden der *British Sign Language* (BSL) bei Gebärdensprecher/Innen und Nicht-Gebärdensprecher/Innen auf die Verarbeitung geschriebener englischer Wörter hatten. Von besonderer Relevanz war, dass in beiden VPN-Gruppen hörende englische Muttersprachler getestet wurden. In dem RT-Experiment dienten ikonische motorische oder sensorische Verbgebärden als Primes und geschriebene englische Wörter, die in semantisch enger Beziehung zum Prime standen oder keine Nähe zu diesem aufwiesen, als Targets. Die RTs der VPN wurden anhand einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe erhoben, wobei sinnfreie Target-Wörter als Distraktoren dienten. Bei den Nicht-Gebärdensprecher/Innen ergab

sich ein gleichermaßen ausgeprägter Priming-Effekt für motorische und sensorische Gebärden, wenn das Zielwort semantisch nah am Prime lag. Ortega und Morgan (2014) diskutierten, dass ikonische Gebärden aufgrund der Erfahrung mit der Verarbeitung ikonischer Gesten in dieser Population eine Aktivierung lexikalischer Repräsentationen bewirkten. Bei den Gebärdensprecher/Innen hingegen zeigte sich ein vergleichbarer Effekt lediglich für die motorischen Prime-Gebärden. Dies wurde als möglicher Hinweis darauf interpretiert, dass die sensorisch relatierten Gebärden im Lexikon der Gebärdensprecher/Innen mit mehr als einer Bedeutung verknüpft seien. Ortega und Morgan (2014) diskutierten aber auch, dass die beiden analysierten Populationen die Ikonizität der Gebärden über unterschiedliche Mechanismen verarbeiten könnten. Das Erlernen einer Gebärdensprache bewirke spezifische Verknüpfungen zwischen einer ikonischen Gebärde und dem konzeptuellen sprachlichen System, wobei der Gebärde systematisch Bedeutung zugeschrieben würde (Ortega & Morgan 2014). Ortega und Morgan (2014) diskutierten ihre Ergebnisse nicht vor dem Hintergrund der sprachlichen Embodimenttheorie, was hinsichtlich der unterschiedlichen Ergebnisse für die beiden getesteten Gruppen eventuell interessant gewesen wäre. Auch stimmten ihre Resultate nicht mit den von Bosworth und Emmorey (2010) geschilderten überein, da bei Ortega und Morgan (2014) ein variierender Einfluss der Ikonizität detektiert wurde. Dies könnte allerdings darauf zurückzuführen sein, dass in der zuletzt beschriebenen Studie keine muttersprachlichen Gebärdensprecher/Innen getestet wurden, bei denen der Einfluss der Ikonizität möglicherweise anders ausgefallen wäre.

Secora und Emmorey (2014) führten eine ACE-Studie mit gehörlosen Sprechern der ASL durch. Sie präsentierten den VPN gebärdete Sätze in kurzen Videos, die entweder eine Bewegung zum Rezipienten hin oder vom Rezipienten weg ausdrückten („*You throw a ball.*“ vs. „*You put on glasses.*“). In einem weiteren Stimulusset wurden Sätze präsentiert, in denen ein Transfer vom Rezipienten zum Produzenten ausgedrückt wurde. Die Person, die die Sätze im Video gebärdete, saß den VPN gegenüber. Die von den Probanden visuell wahrgenommene Bewegung war der semantisch enkodierten Bewegung folglich entgegengesetzt. Secora und Emmorey (2014) erhoben die RTs von den Probanden auf Basis einer Sensibilitätsentscheidung über die Stimulussätze und über als Distraktoren genutzte sinnfreie Items. Die Hälfte der Probanden führte eine Bewegung vom Körper weg aus, um die Sinnhaftigkeit eines Stimulus anzuzeigen, die andere Hälfte führte zu diesem Zweck eine Bewegung zum Körper hin aus. Die Ergebnisse zeigten zunächst, dass die von den Probanden wahrgenommene Bewegung keinerlei Einfluss auf die RTs hatte, die Bedeutungserfassung also weder positiv noch negativ beeinflusste. Die semantisch enkodierte Bewegung hingegen bewirkte im Zusammenspiel mit der zur Sensibilitätsentscheidung notwendigen Bewegung den klassischen ACE. Secora und Emmorey (2014) schlossen aus ihren Resultaten, dass semantisch irrelevante Bewegungskomponenten eines sprachlichen Signals, wie beispielsweise eine phonologisch begründete Bewegung, keinerlei Einfluss auf die semantische Dekodie-

zung eines empfangenen sprachlichen Reizes hätten. Darüber hinaus würde die mentale Simulation bewegungsbezogener Inhalte eines sprachlichen Signals nicht durch die Wahrnehmung der zur Artikulation der Gebärde notwendigen Bewegungen blockiert. Gebärdensprecher/Innen seien folglich ebenso sensitiv gegenüber semantisch implizierten Bewegungen wie Sprecher einer gesprochenen Sprache (Secora & Emmorey 2014).

Es liegen bislang wenige Studien vor, in denen Gebärdensprecher/Innen hinsichtlich des Einflusses motorischer Repräsentation bei der Sprachverarbeitung untersucht wurden. Um einen möglichen motorischen Priming-Effekt bei Gebärdensprecher/Innen feststellen zu können, müssten ikonische Bewegungen als Primes dienen, die keinen direkten lexikalischen Bezug haben, da nur so ein lexikalischer Priming-Effekt ausgeschlossen werden kann. Viele Gebärden, speziell für Bewegungsverben, sind ikonisch, sodass die Aufgabe der richtigen Stimuluswahl nicht trivial ist. In jedem Fall besteht hinsichtlich dieser Fragen noch Forschungsbedarf, um Nachweise für eine Universalität der Verankerung sensomotorischer Bedeutungsinhalte in entsprechenden kortikalen Hirnarealen zu erhalten.

3.4.6 Zusammenfassung bisheriger Forschungsergebnisse

Die obige Vorstellung der Forschungsarbeiten konnte zeigen, dass sich Nachweise für eine Beteiligung oder für eine parallele Aktivierung sensomotorisch relevanter Kortexareale bei der Verarbeitung sprachlichen Inputs mit motorischem oder sensorischem Bezug anhand verschiedener neurolinguistischer Methoden erbringen lassen. Die beobachteten Effekte manifestierten sich nicht immer auf gleiche Weise oder in gleicher Intensität. Faktoren wie die Aufgabenstellung, das Stimulusmaterial oder die gewählte Probandengruppe scheinen Einfluss auf mögliche Effekte zu nehmen. So zeigte sich bei Parkinsonpatienten, dass die Einschränkungen hinsichtlich der Bedeutungserfassung bei Wörtern mit Bewegungsbezug nur dann auftraten, wenn die Patienten unter einem gewissen Zeitdruck standen (York et al. 2014). Anhand der oben geschilderten Resultate wurde aber auch deutlich, dass die Kortexareale, die für die Bewegungsplanung und -ausführung oder die Verarbeitung eines Umweltreizes verantwortlich sind, nicht allein auch die Verarbeitung sprachlicher Repräsentationen steuern. Stattdessen scheint ein umfassendes Netzwerk bei der Sprachverarbeitung aktiv zu werden, in dem sich Repräsentationen aus vielen verschiedenen Kortexarealen vereinen.

3.5 Abstrakte Sprache und die sprachliche Embodimenttheorie

Die Analyse der Unterschiede hinsichtlich des Verstehens konkreter und abstrakter sprachlicher Inhalte ist ein wesentlicher Bestandteil der Sprachverarbeitungsforschung. Studien konnten unter anderem zeigen, dass abstrakte Wörter eine längere Verarbeitungszeit benötigen als konkrete und der entsprechende Verstehensprozess folglich mehr beziehungsweise andere kognitive Ressourcen beansprucht (Schwanenflugel &

Shoben 1983, Paivio 1986, Kiehl et al. 1999, Binder et al. 2005, 2009). Eine Untersuchung mit bildgebenden Verfahren ergab, dass sowohl konkrete als auch abstrakte Konzepte in der linken Hirnhemisphäre verarbeitet werden (Binder et al. 2005). Allerdings sind dabei unterschiedliche Netzwerke aktiv, was der Grund für die divergenten Verarbeitungszeiten sein könnte. Wie von Wang et al. (2010) beschrieben, scheint während der Verarbeitung konkreter Konzepte eine stärkere Aktivierung des perzeptuellen Systems mit dem linken Precuneus, dem Gyrus parahippocampalis und dem Gyrus fusiformis vorzuliegen. Die Verarbeitung abstrakter Sprache aktiviere hingegen stärker das verbale System mit dem Gyrus frontalis inferior, dem Gyrus temporalis medius und dem linken anterioren STS (Wang et al. 2010). Auch können konkrete Wörter besser erinnert werden, was mit einem höheren Maß an Bildhaftigkeit in Zusammenhang gebracht wurde (Richardson 2003). In EEG-Studien konnten weiterhin stärkere Kohärenzeffekte für konkrete im Vergleich zu abstrakter Sprache gefunden werden (Weiss & Rappelsberger 1998, Weiss & Müller 2013). Weiss et al. (2011b) stellten dies speziell für das β_1 -Band des menschlichen EEGs im Frequenzbereich zwischen 13 und 18 Hertz fest. Dieser Befund wurde unter anderem als Ergebnis einer Beteiligung motorischer Areale bei der Verarbeitung konkreter Sprache interpretiert. Auch eine stärkere N400-Komponente zeigte sich wiederholt während der Verarbeitung konkreter Sprache. Dies ist möglicherweise auf eine Integration weiter verzweigter (z. B. sensomotorischer) Informationen zurückzuführen (Barber et al. 2013). Die Verarbeitungsvorteile konkreter gegenüber abstrakter Sprache werden unter dem Begriff des *Konkretheitseffekts* zusammengefasst.

Zwei grundlegende Theorien standen sich in den 1980er Jahren bezüglich der Erklärung des Konkretheitseffekts gegenüber: Die *context-availability theory* (CAT) (Schwanenflugel & Shoben 1983) und die *dual-coding theory* (DCT) (Paivio 1986). Ausgangspunkt für die CAT war, dass kontextuelle Informationen in Form von Weltwissen und sprachlichem Kontext während der Verarbeitung konkreter und abstrakter Konzepte in unterschiedlichem Umfang zur Verfügung stehen. So würden konkrete Konzepte zwar mit weniger anderen Konzepten neuronale Netzwerke ausbilden als abstrakte, die bestehenden Verbindungen seien aber viel stärker als die Verbindungen in abstrakten neuronalen Netzwerken. Die Stärke der Verbindungen sei letztendlich entscheidend dafür, wie schnell auf kontextuelle Informationen zugegriffen und die Konzepte verarbeitet werden könnten (Schwanenflugel & Shoben 1983). Als Alternative zu der obigen Theorie diskutierten Schwanenflugel und Shoben (1983) weiter, dass sich Verarbeitungsunterschiede auch damit erklären ließen, dass konkrete Konzepte mehr neuronale Verknüpfungen zu anderen Konzepten unterhielten als abstrakte. Einige dieser Verknüpfungen seien aber sehr stark ausgeprägt, wodurch ein schnellerer Abruf entsprechender kontextueller Informationen möglich sei. Diese Hypothesen besäßen allerdings nur für Wörter Gültigkeit, die ohne sprachlichen Kontext präsentiert würden. Durch eine Einbettung konkreter und abstrakter Wörter in einen Satz würde

bereits ausreichend kontextuelle Information gegeben, sodass sich Verarbeitungsunterschiede nicht mehr nachweisen ließen (Schwanenflugel & Shoben 1983). Mit der DCT wurde eine andere Theorie zur Verarbeitung konkreter und abstrakter Konzepte vorgestellt, die darüber hinaus auch generelle Annahmen zur menschlichen Kognition umfasste. Dabei zeigten sich mit der Embodimenttheorie in Einklang stehende Ansätze (Paivio 1986). Paivio (1986) unterschied zwischen einem verbalen und einem nonverbalen kognitiven System, die parallel Informationen verarbeiten und zum Zwecke des Informationsaustauschs miteinander verknüpft seien. Während das verbale System sprachliche Informationen verarbeite, reagiere das nonverbale System auf sämtliche nicht sprachliche Informationen, die mit einem Objekt oder einem Ereignis in Zusammenhang stünden. Darüber hinaus unterstütze das nonverbale System die Ausbildung mentaler Abbilder. Eine Vernetzung der beiden Systeme untereinander sei unabdingbar, da auch sprachlicher Input den Abruf eines mentalen Abbilds hervorrufe (Paivio 1986). Entsprechend ihrer Zuständigkeitsbereiche bezeichnete Paivio (1986) die Repräsentationseinheiten innerhalb der beiden Systeme als *logogens* und *imagens*. Diese Einheiten seien nicht abstrakt, sondern würden auf (sensomotorischen) Erfahrungswerten des Subjekts beruhen und seien daher multimodal. Paivio (1986) stimmte Schwanenflugel und Shoben (1983) insofern zu, als dass die Intensität der Vernetzung zwischen den beiden Systemen vom Umfang kontextueller Informationen abhängig sei. Allerdings bezog sich der Kontext hier auch auf (sensomotorische) Erfahrungen des Rezipienten. Die Verarbeitung konkreter und abstrakter Konzepte unterschied sich nach Paivio (1986) dahingehend, dass die Verarbeitung konkreter Sprache in beiden kognitiven Systemen, die Verarbeitung abstrakter Sprache aber lediglich in einem, dem verbalen System, erfolge. Paivio (1986) beschritt demnach bereits den Weg in Richtung einer Relevanz sensomotorischer Informationen für die Sprachverarbeitung, schloss diese für die Verarbeitung abstrakter Sprache jedoch aus. Holcomb et al. (1999) erhoben Daten in einem EEG-Experiment, welche die DCT unterstützten. Sie präsentierten den VPN sinnhafte („*Armed robbery implies that the thief used a weapon.*“), sinnfreie („*Armed robbery implies that the thief used a rose.*“) und neutrale Sätze („*They said it was because of the rose.*“). Bei den neutralen Sätzen lag eine niedrige *cloze-probability* für das letzte Nomen vor. Aus dem Satzkontext war also nicht ersichtlich, welches Wort am Ende des Satzes stehen würde. Die sinnhaften und sinnfreien Sätze endeten jeweils zur Hälfte mit einem konkreten und einem abstrakten Nomen. Holcomb et al. (1999) analysierten die Ausprägung der N400 als Reaktion auf die verschiedenen Satztypen. Neben einem klaren Haupteffekt der Sinnhaftigkeit (stärker ausgeprägte N400 für sinnfreie Sätze) detektierten sie einen signifikanten Haupteffekt für die Konkretheit. Sowohl die N400 als auch eine spätere negative Komponente zwischen 500 und 800 Millisekunden post Nomen-Onset fielen für die konkreten Nomen stärker aus. Holcomb et al. (1999) schilderten außerdem einen signifikanten Interaktionseffekt: Der Konkretheitseffekt trat lediglich bei den sinnfreien Sätzen auf. Ein sinnhafter Satzkontext führte also dazu, dass

sich hinsichtlich der N400 kein Unterschied zwischen konkreten und abstrakten Nomen detektieren ließ. Dieses Ergebnis stimmte zunächst mit den Hypothesen der CAT überein. Allerdings ergab sich derselbe Effekt bei den neutralen Stimuli, in denen der Kontext nicht auf das satzfinale Nomen hindeutete. Laut Holcomb et al. (1999) sei dies ein Indiz für das Zutreffen der DCT. Der späte Konkretheitseffekt (N700) wurde von West und Holcomb (2000) als mit mentalen Imaginationsprozessen zusammenhängend interpretiert. Sie gaben ihren VPN explizit die Aufgabe, sich den Inhalt eines Satzes mit konkretem oder abstraktem finalen Wort mental vorzustellen und verglichen die elektro-physiologischen Hirnreaktionen bei dieser Aufgabe mit den Reaktionen bei zwei anderen Aufgaben, die explizit keine Imagination erforderten. Die N700 zeigte sich frontal besonders stark im Rahmen der Imaginationsaufgabe und fiel für konkrete Wörter negativer aus als für abstrakte. Dies legte eine stärkere Aktivierung mentaler Vorstellungsmechanismen während der Verarbeitung konkreter Sprache nahe, was mit den Hypothesen der DCT im Einklang war (West & Holcomb 2000). Eine etwas abgeänderte Auslegung der DCT diskutierten Levy-Drori und Henik (2006). Sie führten Experimente durch, in denen die Probanden eine lexikalische Entscheidungsaufgabe über konkrete, abstrakte und sinnfreie Wörter fällten. Im Gegensatz zu früheren Studien passten Levy-Drori und Henik (2006) die konkreten und abstrakten Nomen einander in Bezug auf die Faktoren *Bekanntheit* und *Kontextverfügbarkeit* an und analysierten den Konkretheitseffekt. Sie schilderten, dass sich entsprechend der CAT kein Konkretheitseffekt einstellte, wenn die präsentierten Wörter ausschließlich hinsichtlich der Kontextverfügbarkeit kontrolliert wurden. Wenn die Stimuli aber sowohl in Bezug auf ihre *Bekanntheit* und *Kontextverfügbarkeit* einander angepasst wurden, ergab sich ein Konkretheitseffekt: RTs in Folge der Präsentation konkreter Wörter waren kürzer als RTs in Folge der Präsentation abstrakter Wörter. In einem weiteren Experiment konnten Levy-Drori und Henik (2006) beobachten, dass die Kontextverfügbarkeit ebenfalls einen Einfluss auf die RTs der Probanden hatte. Sie interpretierten ihre Ergebnisse als die DCT unterstützend, diskutierten aber, dass konkrete Wörter die Aktivität im verbalen und im nonverbalen System steigern würde und dass die Kontextverfügbarkeit einen Einfluss auf das verbale System haben könnte. Eine Verknüpfung der CAT und der DCT wurde von Jessen et al. (2000) vorgeschlagen. Sie nutzten die Methode der ereigniskorrelierten fMRT, um die dem Konkretheitseffekt zugrunde liegenden Hirnregionen zu analysieren. Die Probanden lasen konkrete und abstrakte Wörter und waren instruiert, sich so viele Wörter wie möglich zu merken. Die Autoren detektierten eine stärkere Aktivierung der unteren Parietallappen beider Hirnhemisphären, im linken Gyrus frontalis inferior anterior des Broca-Areals und im Precuneus während der Enkodierung konkreter im Vergleich zu abstrakten Wörtern. Bei der Verarbeitung abstrakter Wörter waren hingegen der linke Gyrus frontalis inferior im Bereich des Broca-Areals und der rechte laterale Gyrus occipitalis stärker aktiv. Die Aktivierung rechter parietaler Hirnareale bei der Enkodierung konkreter Wörter wurden von Jessen et al. (2000) als möglicher Hin-

weis darauf interpretiert, dass einige der Probanden die Objekte, die sie sich merken sollten, in einem Raum platzierten, was die Kodierung räumlicher Beziehungen und somit Aktivierung im Parietallappen bewirke. Durch dieses Ergebnis wurde die DCT unterstützt, die ein weiterreichendes Netzwerk und die Involvierung eines nonverbalen Systems während der Verarbeitung konkreter Wörter postuliert. Assoziationsprozesse, die durch die Präsentation konkreter Nomen ausgelöst worden seien, könnten die Effekte im linken Parietallappen, in linken präfrontalen Arealen sowie im Precuneus erklären (Jessen et al. 2000). Dieses Resultat würde für die Annahme der CAT sprechen, dass mehr kontextuelle Informationen bei der Verarbeitung konkreter Konzepte bereitgestellt würden. Jessen et al. (2000) sprachen sich auf Basis ihrer Resultate dagegen aus, dass ausschließlich die CAT oder die DCT vollumfänglich die Verarbeitungsunterschiede zwischen konkreten und abstrakten Konzepten erklären könnten. Vielmehr seien Aspekte aus beiden Theorien für eine korrekte Darstellung heranzuziehen.

Entsprechend der Tendenz, die sich durch die Ergebnisse der oben genannten Studien abzeichnete, sind die Hypothesen der DCT eher haltbar als die der CAT. Die DCT wies bereits Parallelen zur sprachlichen Embodimenttheorie auf, in der besonders die Relevanz sensomotorischer Erfahrungen eines Subjekts in der Umwelt zum Ausdruck kommt. Mit der Eingliederung der Embodimenttheorie in die Kognitionswissenschaften festigte sich ein neuer Ansatz zum Verstehensprozess abstrakter Sprache. Demnach sind auch abstrakte Konzepte ausschließlich im sensomotorischen System repräsentiert. Entsprechend der Theorie konzeptueller Metaphern (Lakoff & Johnson 1980) können abstrakte Konzepte nur metaphorisch, also durch die Übertragung des Inhalts auf andere Bereiche, verarbeitet werden. Diese Bereiche seien vor allem sensomotorischer Art. Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, sahen Lakoff und Johnson (1980) den Ursprung konzeptueller Metaphern in sensomotorischen Erfahrungen, die als Bildschemata gespeichert und strukturiert würden. Da nun abstrakte Konzepte schwer zu erfassen seien, sei es notwendig, sich diese auf Basis anderer, leichter zu begreifender Konzepte verständlich zu machen, also eine Metapher heranzuziehen, die sich wiederum der Bildschemata bediene (Lakoff & Johnson 1980). Die Beziehung zwischen einem Bildschema und einem abstrakten Konzept bilde sich auf Basis früherer Erfahrungen aus. Lakoff und Johnson (1999) führten das Beispiel eines Kindes an, welches das abstrakte Konzept *Zuwendung* verstehen lernt. Sein erster Kontakt mit dem Konzept trete gleichzeitig mit einem Gefühl von Wärme auf. Verspüre das Kind dieses Gefühl wiederholt, würde das Konzept *Zuwendung* mit dem Gefühl *Wärme* perzeptuell verknüpft. Wenn das Kind später über *Zuwendung* spreche, verstehe es dieses abstrakte Konzept aufgrund der sensorischen Spuren im Gedächtnis. Ein konkretes Konzept, Gefühl oder Erlebnis wird der Theorie konzeptueller Metaphern zufolge als Vehikel genutzt, um ein abstraktes Konzept, den Tenor, zu verdeutlichen. Die mentale Repräsentation des konkreten Konzepts sei dementsprechend notwendig um den Tenor zu begreifen (Pecher et al.

2011). Die Position Lakoffs und Johnsons (1980) hinsichtlich ihrer Theorie konzeptueller Metaphern repräsentierte auch in Bezug auf abstrakte Konzepte eine starke Auslegung der sprachlichen Embodimenttheorie. Barsalou (1999) war ebenfalls der Ansicht, dass sämtliche sprachliche Konzepte – ob konkret oder abstrakt – sensomotorisch verankert seien. Laut seiner Theorie des Systems perzeptueller Symbole seien abstrakte Konzepte durch die Interaktion eines Subjekts mit seiner Umwelt geprägt und dementsprechend sensomotorischer Natur. Barsalou (1999) stimmte Lakoff und Johnson (1980) bezüglich der Meinung, abstrakte Sprache könne ausschließlich metaphorisch verstanden werden, allerdings nur teilweise zu. So war er zwar ebenfalls der Ansicht, dass Metaphern für den Verstehensprozess abstrakter Konzepte von wesentlicher Bedeutung seien, fügte jedoch hinzu, dass sie nicht ausreichten. Vielmehr müsse es noch eine weitere, nicht metaphorische, Repräsentation geben, die allein auf Erfahrungen basiere und die Ausbildung perzeptueller Symbole anrege. Denn die metaphorische Beziehung, also Ähnlichkeiten zwischen einem abstrakten und einem konkreten Konzept, seien nicht greifbar, wenn das abstrakte Konzept nicht zumindest zu einem Teil als eigene Struktur existiere (Barsalou 1999, Pecher et al. 2011). Entsprechend der starken Auslegung der sprachlichen Embodimenttheorie sind sämtliche abstrakte Konzepte also ausschließlich sensomotorischer Natur. Laut Lakoff und Johnson (1980) definierten sie sich allein durch metaphorisch übertragene Bedeutungen konkreter Konzepte, seien nicht selbstständig repräsentiert und basierten auf sensomotorischer Erfahrung (Pecher et al. 2011). Diese Annahme legt nahe, dass Menschen mit unterschiedlichen sensomotorischen Erfahrungswerten abstrakte Konzepte unterschiedlich auffassen. Tatsächlich konnte Casasanto (2009) zeigen, dass Rechts- und Linkshänder unterschiedlicher Auffassung über die Konzepte *gut* und *schlecht/böse* sind. Während die Rechtshänder eher rechts ausgerichtete Objekte mit positiven Konzepten verbanden, war es bei Linkshändern umgekehrt. Auf vertikaler Ebene assoziierten aber beide Gruppen *gut* mit *oben* und *schlecht* mit *unten* (Casasanto 2009). Barsalou (1999) nahm in leichtem Gegensatz zu Lakoff und Johnson (1980) an, abstrakte Konzepte seien zwar sensomotorisch verwurzelt, ihnen würde aber dennoch eine eigene Repräsentation zugrunde liegen. Er argumentierte weiterhin, dass neue abstrakte Konzepte über eine metaphorische Ebene erlernt würden, dieser Verarbeitungsweg zu einem späteren Zeitpunkt jedoch umgangen und die abstrakte Bedeutung direkter erfasst würde. Diese Annahme wurde durch Ergebnisse einer EEG-Studie von Goldstein et al. (2012) unterstützt. In zwei aufeinanderfolgenden experimentellen Sitzungen präsentierten sie den VPN Wortpaare, die unter anderem konventionelle oder neuartige Metaphern darstellten („*transparent intention*“ vs. „*ripe dream*“). In der ersten Sitzung zeigte sich eine deutlich negativere Ausprägung der N400 für die neuartigen im Vergleich zu den bekannten Metaphern. Im Anschluss wurden den Probanden die unbekannt Metaphern erneut präsentiert. Sie wurden aufgefordert, diese zu erklären, was bewirkte, dass sich die VPN mit den Metaphern auseinandersetzen und diese so bekannter wurden. Im

zweiten Versuchsdurchlauf konnte bei der N400 keine Unterscheidung zwischen den neuartigen und den konventionellen Metaphern ausgemacht werden. Auch eine Analyse der P600 zeigte, dass durch die Erklärung der neuartigen Metaphern eine Angleichung der Reaktionen auf die beiden Metapherntypen erfolgte. Goldstein et al. (2012) äußerten die Annahme, dass konventionelle Metaphern wie wörtliche Ausdrücke verarbeitet würden und durch die Auseinandersetzung mit neuartigen Metaphern eine schnelle Veränderung hinsichtlich des kognitiven Zugriffs erfolgen würde. Lai und Curran (2013) präsentierten den VPN in ihrer EEG-Studie ebenfalls konventionelle und neuartige Metaphern, beeinflussten die Verarbeitung dieser Metaphern jedoch anhand zweier unterschiedlicher Satz-Primes. Im ersten Experiment bezogen sich Vehikel und Tenor der Prime- und Target-Metapher jeweils auf das gleiche Konzept (Prime konventionell: „*I can see the path of his life.*“, Target konventionell: „*Life can sometimes be bumpy.*“, Prime neuartig: „*I can see the path of his ideas.*“, Target neuartig: „*Ideas can sometimes be bumpy.*“). Im zweiten Experiment wurden die Target-Metaphern anhand eines Similes geprimt (Prime konventionell: „*Life is like a road.*“, Target konventionell: „*Life can sometimes be bumpy.*“, Prime neuartig: „*Ideas are like roads.*“, Target neuartig: „*Ideas can sometimes be bumpy.*“). Als Vergleichsmaß nutzten Lai und Curran (2013) konkrete Sätze und eine Bedingung, in der sie keine Primes vor der Target-Metapher präsentierten. Wurde die Verarbeitung der Metaphern nicht geprimt, zeigte sich eine stärker ausgeprägte N400 für die metaphorischen im Vergleich zu den konkreten Sätzen. Durch die Primebedingung im ersten Experiment reduzierte sich dieser Unterschied für die konventionellen, nicht aber für die neuartigen Metaphern. Dienten Similes als Primes ergab sich hingegen ein umgekehrter Effekt: Die Verarbeitung neuartiger Metaphern wurde stark, die Verarbeitung konventioneller Metaphern hingegen nur leicht geprimt. Lai und Curran (2013) sahen ihre Ergebnisse als mit den Hypothesen der *Career of Metaphor Theory* (Bowdle & Gentner 2005) übereinstimmend. Demnach erfolgt die Dekodierung einer Metapher in zwei Schritten: dem Abgleich der Gemeinsamkeiten von Vehikel und Tenor und der Bedeutungszuschreibung. Der Abgleichsprozess würde bei konventionellen Metaphern über verschiedene Routen erfolgen, bei neuartigen Metaphern jedoch nur über eine Route (Bowdle & Gentner 2005). Da die Routen, über die der Abgleichsprozess bei konventionellen Metaphern erfolge, durch die Vorgabe von Vehikel und Tenor im ersten Experiment bereits geprimt gewesen wären, erfordere die Bedeutungszuschreibung für die konventionellen Metaphern weniger kognitive Ressourcen als in der ungeprimten Bedingung. Dementsprechend sei die N400 geringer ausgefallen. Bei den neuartigen Metaphern hätten noch keine bekannten Beziehungen zwischen Vehikel und Tenor bestanden, sodass auch das Priming keine Erleichterung des Verständnisses bewirkt hätte. Im zweiten Experiment wäre die Target-Metapher durch das Simileprime erklärt worden. Der Abgleichsprozess wäre somit auch für neuartige Metaphern vereinfacht worden. Lai und Curran (2013) zogen den Schluss, dass für jede Art von Metapher ein Abglei-

chungsprozess vollzogen würde, der sich zwischen konventionellen und neuartigen Metaphern jedoch unterscheidet. Diese Schlussfolgerung entsprach nur zu einem Teil der von Barsalou (1999) aufgestellten Hypothese. Er ging davon aus, dass lediglich bei neuen Metaphern ein Abgleichungsprozess erfolgen würde, der mit steigender Konventionalisierung der Metapher abnehmen und letztendlich aussetzen würde. Dafür sprach sich auch Giora (1997, 2002) aus. Sie äußerte mit ihrer *Graded Salience Hypothesis* die Meinung, dass sowohl konkrete als auch abstrakte Sprache nach dem Prinzip der Salienz, also der Auffälligkeit, verarbeitet würde. Auf besonders auffällige, konventionalisierte oder durch den vorherigen Kontext bereits eingeführte Bedeutungen eines Satzes würde vorrangig zugegriffen. So könne auch die Bedeutung einer konventionalisierten Metapher direkt erfasst werden, ohne dass zunächst ein Zugriff auf die konkrete Bedeutungsebene erfolgen müsse. Bei weniger bekannten Metaphern hingegen würde in einem schrittweisen Prozess zunächst auf die wörtliche und anschließend auf die figurative Bedeutung zugegriffen (Giora 1997, 2002). Ähnliche Ergebnisse wurden von Mashal et al. (2007) vorgestellt. Bringt man diese Annahmen mit der Hypothese in Einklang, das sensomotorische System sei an der Verarbeitung von abstrakter Sprache und somit auch von Metaphern beteiligt, scheint sich diese Beteiligung zwischen konventionellen und neuartigen Metaphern zu unterscheiden. Da bei bekannteren Metaphern für den Bedeutungszugriff kein Umweg über die konkrete Bedeutungsebene des Satzes genommen werden muss, könnten diese Metaphern direkt repräsentiert sein. Neuartige Metaphern hingegen, deren Bedeutung noch dekodiert werden muss, können noch keine eigenständige Repräsentation besitzen. Folglich könnte das sensomotorische System während der Bedeutungskonstitution unbekannter Metaphern stärker involviert sein.

Diese letzte Annahme findet in der schwachen Auslegung der sprachlichen Embodimenttheorie Ausdruck. So argumentierten beispielsweise Boroditsky et al. (2002) und Mahon und Caramazza (2008), das kognitive System beruhe nur zu einem Teil auf sensomotorischen Erfahrungswerten und es würden zusätzlich, zum Beispiel in Bezug auf abstrakte Konzepte, amodale Repräsentationen gespeichert. Wie bereits in Kapitel 2.4 deutlich wurde, nutzten viele Studien, in denen die Rolle des sensomotorischen Systems hinsichtlich der Verarbeitung konkreter Sprache analysiert wurde, bewegungsbezogene Sprachstimuli. Zu der Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache vor dem Hintergrund der sprachlichen Embodimenttheorie existieren ebenfalls bereits einige Studien. Entsprechende Nachweise sind im Kontext der oben beschriebenen Diskussion um die einheitliche oder geteilte kognitive Repräsentation konkreter und abstrakter Konzepte relevant. Sollten sensomotorische Kortexareale an der Verarbeitung von Metaphern beteiligt sein, spräche dies dafür, dass Metaphern nicht als starre Repräsentationen gespeichert sind, sondern eine Bedeutungsübertragung anhand konkreter Konzepte erfolgt, was den von Lakoff und Johnson (1980) postulierten Thesen entspricht. Sollte sich dagegen abzeichnen, dass die sensomotorischen Kortexareale nicht an

der Metaphernverarbeitung beteiligt sind, könnte dies als Hinweis darauf interpretiert werden, dass sie in Form unabhängiger Repräsentationen gespeichert sind. Die gleichen Aussagen könnten für abstrakte Konzepte gelten. Denkbar wäre aber auch, dass abstrakte Konzepte zwar ebenfalls nicht starr und in weit verzweigten neuronalen Netzwerken verarbeitet werden, diese Netze aber weniger sensomotorische, sondern beispielsweise eher emotional relevante Areale umfassen.

Die Erkenntnisse bisheriger Studien sprechen dafür, dass sich die Beteiligung des sensomotorischen Systems an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache von dessen Beteiligung an der Verarbeitung konkreter bewegungsbezogener Sprache hinsichtlich der Intensität oder der Qualität unterscheidet (Desai et al. 2011, 2013; Romero Lauro et al 2013). In einem Verhaltensexperiment bauten Glenberg et al. (2008a) die Erkenntnisse von Glenberg und Kaschak (2002) bezüglich des ACEs aus. Sie erweiterten die zuvor genutzte Methode und präsentierten ihren Probanden abstrakte Sätze, die eine Bewegungsrichtung ausdrückten. Der ACE zeigte sich auch in diesen Fällen. Untermuert durch weitere Erkenntnisse aus einem TMS-Experiment schlossen Glenberg et al. (2008a), dass motorische Hirnareale nicht nur an der Verarbeitung konkreter, sondern auch abstrakter Sprache beteiligt seien. Die gleichen Schlüsse wurden von Wilson und Gibbs (2007) gezogen. Sie wollten zeigen, dass sowohl direkt als auch lediglich imaginativ ausgeführte Bewegungen einen Einfluss auf das Verstehen bewegungsbezogener Metaphern haben. Wenn Rezipienten eine Phrase wie *über das Ziel hinausschießen* hörten, würden sie sich zunächst vorstellen, die mit dem Verb ausgedrückte Bewegung auszuführen, sie also mit Zugriff auf die Sensomotorik simulieren. Dieser Vorgang würde helfen, das abstrakte Konzept, das in der Phrase ausgedrückt werde, zu verstehen. Folglich vermuteten Wilson und Gibbs (2007), dass eine dem Verb entsprechende Bewegung vor dem Lesen einer metaphorischen Phrase deren Verstehen erleichtern würde, da die motorischen Kortexareale bereits aktiviert seien. Gleiches gilt für die bloße Vorstellung der Handlung. Tatsächlich waren die RTs in diesen Fällen signifikant kürzer, als wenn die VPN keine oder eine unpassende Bewegung ausführten beziehungsweise sich vorstellten (Wilson & Gibbs 2007). Boulenger et al. (2008a) führten eine fMRT-Studie durch, in der sie den Probanden visuell Sätze präsentierten, deren Verb sich auf die Arm- oder Beinmotorik bezog und sowohl im konkreten als auch im idiomatischen Kontext auftrat („*John grasped the idea.*“ vs. „*John grasped the object.*“; „*Pablo kicked the habit.*“ vs. „*Pablo kicked the ball.*“). Bei der Auswertung analysierten sie die Kortexaktivität in einem frühen und einem späten Zeitfenster: bei dem Onset des kritischen Nomens und drei Sekunden nach dem Ende des kritischen Nomens und damit nach dem Satzende. Bei der Präsentation der konkreten und idiomatischen Phrasen zeigten gleiche Hirnstrukturen Aktivität. Dazu gehörten linke perisylvische fronto-temporale Areale, der Gyrus fusiformis und das rechtshemisphärische Cerebellum. Idiomatische Phrasen aktivierten diese Areale stärker, was auf eine allgemein stärkere Auslastung des Sprachsystems bei der Verarbeitung abstrakter Konzepte

zurückgeführt wurde (Boulenger et al. 2008a). Weiterhin ergaben sich somatotope Aktivitätsunterschiede zwischen arm- und beinbezogenen Stimuli. Der Motorkortex zeigte aber sowohl bei der Verarbeitung der konkreten als auch der idiomatischen Phrasen Aktivität (s. Abb. 11). Daraus wurde der Schluss gezogen, dass auch an der Verarbeitung abstrakter Sprache sensomotorische Kortexareale beteiligt gewesen seien. Diese beobachtete Aktivität war zu Beginn des kritischen Nomens weniger stark als im späteren analysierten Zeitfenster. Boulenger et al. (2008a) interpretierten dies als Indiz dafür, dass nach dem Satzende ein erneuter Zugriff auf die einzelnen Wörter erfolgte und die Satzbedeutung reanalysiert worden sei.

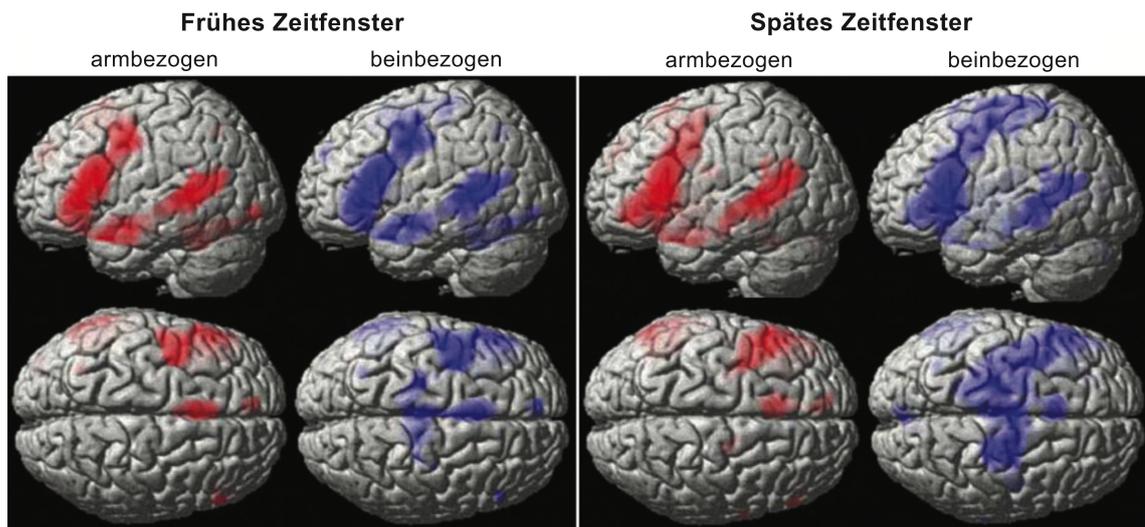


Abbildung 11: Somatotope Aktivierung während der Verarbeitung armbezogener (rot) und beinbezogener (blau) Idiome in den beiden analysierten Zeitfenstern (Boulenger et al. 2008a, S. 1911, verändert).

Sakreida et al. (2013) verglichen Hirnaktivitätsmuster während der Präsentation von bewegungsbezogenen Nomen-Verb-Paarungen, in denen entweder Nomen und Verb konkret, Nomen und Verb abstrakt oder jeweils eines der Wörter konkret und das andere abstrakt waren. Bei der Verarbeitung der gemischten Wortpaare stellten die Autoren Aktivität im linken Gyrus praecentralis und dem supplementär-motorischen Areal fest, was für eine unterstützende Beteiligung dieser Areale bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Stimuli sprach (Sakreida et al. 2013). Desai et al. (2011) präsentierten konkrete („*The daughter grasped the flowers.*“) und metaphorische bewegungsbezogene Sätze („*The public grasped the idea.*“), die ebenfalls Arm- oder Handbewegungen beschrieben sowie abstrakte Sätze als Kontrollbedingung. Sie verglichen Aktivierungsmuster bei der Verarbeitung der drei Satztypen und beschrieben, dass sowohl konkrete als auch metaphorische Bewegungsstimuli in gleichem Ausmaß Aktivität im linken anterioren Lobulus parietalis inferior (*anterior inferior parietal lobule*, aIPL) auslösten. Während der Verarbeitung der Metaphern beobachteten Desai et al. (2011) darüber hinaus auch Aktivität im rechten aIPL und in anderen Arealen, deren Relevanz für die Verarbeitung abstrakter Sprache bereits bekannt war. Waren die Metaphern weniger be-

kannt, steigerte dies die Aktivierung sensomotorischer Kortexareale im Gegensatz zu bekannteren Metaphern. Desai et al. (2011) interpretierten ihre Ergebnisse dahingehend, dass detaillierte sensomotorische Simulationsprozesse das Verstehen der unbekannteren Metaphern erleichtern würden. Im Gegensatz dazu vermuteten sie, dass an der Verarbeitung bekannterer Metaphern lediglich sekundäre motorische Areale beteiligt seien. Dementsprechend sei die Relevanz sensorischer und motorischer Kortexareale für den Prozess der Bedeutungskonstitution während abstrakter bewegungsbezogener Sprachstimuli graduell und von höherer Relevanz für weniger gut bekannte Metaphern (Desai et al. 2011). In einer späteren Studie ergänzten Desai et al. (2013) ihr Stimulusmaterial um idiomatische bewegungsbezogene Sätze und präsentierten den VPN somit vier Satztypen: konkret („*The craftsman lifted the pebble from the ground.*“), metaphorisch („*The discovery lifted this nation out of poverty.*“), idiomatisch („*The country lifted the veil on its nuclear program.*“) und abstrakte Kontrollsätze („*The country wanted the plan for a nuclear program.*“). Die Analyse der anhand einer fMRT-Messung erhobenen Daten ergab Aktivierungen in sekundären motorischen Arealen im IPL, kleinere Aktivitätscluster im primären motorischen Kortex und in temporalen Arealen sowohl während der Verarbeitung konkreter als auch metaphorischer Stimuli. Bei der Präsentation idiomatischer Stimulussätze konnten keine vergleichbaren Effekte detektiert werden, wodurch die These einer graduellen Involvierung sensomotorischer Areale an der Sprachverarbeitung weiter gestützt wurde (Desai et al. 2013). Auch Romero Lauro et al. (2013) kamen zu vergleichbaren Ergebnissen. Ihre Studie hatte zum Ziel, die Kontextsensitivität sensomotorischer Kortexareale bei der Verarbeitung von Bewegungsverben zu analysieren. Die VPN lasen vier verschiedene Satztypen: konkrete („*Marco throws wood in the fireplace.*“), metaphorische („*Matilde throws her sadness far away.*“), idiomatische („*The detective throws away the sponge immediately.*“) und fiktive Bewegungssätze („*The path moves forward into the valley.*“). Alle Stimuli enthielten Bewegungsverben, die sich auf Bewegungen der oberen oder der unteren Extremität bezogen. Die Sätze, die fiktive Bewegungen ausdrückten, bezogen sich lediglich auf die untere Extremität. Während der Präsentation der konkreten Sätze zeigte sich eine somatotope Aktivierung des linken Gyrus praecentralis für Sätze, die sich auf Bewegungen der oberen und der unteren Extremität bezogen und die sich von der Aktivität während einer Kontrollbedingung unterschieden. Ein vergleichbarer Effekt lag auch bei der Verarbeitung metaphorischer Sätze vor, beschränkte sich allerdings auf Verben der oberen Extremität. Verben in einem fiktiven Bewegungssatz lösten eine Aktivierung des prämotorischen Kortex aus. Keinerlei Aktivierung motorisch relevanter Areale wurde bei der Verarbeitung idiomatischer Bewegungsstimuli detektiert. Romero Lauro et al. (2013) schlossen daraus, dass motorisch relevante Areale stärker an der Verarbeitung konkreter als an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache beteiligt seien und dass deren Relevanz für die Sprachverarbeitung graduell sei: stark in konkreten Sätzen bis schwach oder irrelevant in idiomatischen Sätzen.

Das Bild, das sich durch die oben vorgestellten Positionen und Studienergebnisse abzeichnet, spiegelt eine Tendenz dahingehend wider, dass abstrakte Konzepte und somit auch abstrakte Sprache lediglich zu einem gewissen Teil oder indirekt in sensorischen Kortexarealen verankert sind (Pecher et al. 2011). Wiederholt wurde dabei die Relevanz von Bildschemata diskutiert (Lakoff & Johnson 1980, Paivio 1986, Jessen et al. 2000, West & Holcomb 2000). Diese bildeten sich automatisch während sensorischer Wahrnehmungen aus und könnten auf Basis von Erfahrungswerten auf abstrakte Konzepte übertragen werden (Pecher et al. 2011). Pecher et al. (2011) führten das Beispiel des Konzepts *Vertikalität* an, bei dem visuelle, propriozeptive und motorische Wahrnehmungen zu einem Bildschemata verschmolzen. Eine Auseinandersetzung mit dem abstrakten Konzept *Vertikalität* in jeglicher, auch sprachlicher, Form könne folglich zu einer Reaktivierung dieser Wahrnehmungen führen. Es wurde weiterhin deutlich, dass abstrakten Konzepten dennoch eine weitere Repräsentation zugrunde liegen muss, die diese als abstrakt definiert. Demzufolge scheinen sensorische Kortexareale für die Verarbeitung abstrakter (sprachlicher) Konzepte zwar relevant aber nicht alleinig dafür verantwortlich zu sein. In den vorgestellten fMRT-Studien zeichnete sich ab, dass die Beteiligung sensorischer Kortexareale an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache graduell ist und sich am Grad der Abstraktheit des sprachlichen Stimulus orientiert. Die diesbezüglich durchgeführten Studien nutzten sehr ähnliche Methoden und Stimuli, die unter anderem keine Schlüsse hinsichtlich zeitlicher Aspekte zuließen. Nachfolgend werden daher mehrere Experimente vorgestellt, die zum Ziel hatten, dieses Forschungsdefizit weiter abzubauen und zur Klärung der Relevanz des sensorischen Systems für die Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache beizutragen.

4 Experimentaltteil

4.1 Einleitung

4.1.1 Fragestellung

Im Rahmen der hier durchgeführten Studie sollte folgende Forschungsfrage bearbeitet werden: Wie wird abstrakte Sprache mit motorischem Bezug vor dem Hintergrund der sprachlichen Embodimenttheorie kognitiv verarbeitet? Die Experimente hatten somit das Ziel, die Beteiligung sensomotorischer Kortextareale an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache weiter zu analysieren und hinsichtlich des zeitlichen Aspekts auszubauen. Wie aus Kapitel 2.5 ersichtlich, wurden Idiome und Metaphern, die Bewegungsverben enthielten, bisher überwiegend mit verhaltensbezogenen oder bildgebenden Verfahren untersucht, sehr viel weniger häufig anhand elektrophysiologischer Verfahren. Letztere können jedoch sehr gute zeitliche Informationen zum Ablauf der kognitiven Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache bereitstellen, sodass diesbezüglich ein deutliches Forschungsdefizit vorliegt.

Folgende Detailfragen wurden fokussiert:

1. Lassen sich die in der Vergangenheit mehrfach für isoliert präsentierte Bewegungsverben und Bewegungsverben in konkreten Kontexten nachgewiesenen Kompatibilitätseffekte durch motorisches Priming auch für Bewegungsverben in abstrakten Kontexten nachweisen?
2. Wie verhält es sich mit dem Effekt des motorischen Primings bei Gebärdensprecher/Innen, die ausschließlich visuell-manuell kommunizieren? Lassen sich auch in dieser Gruppe Hinweise auf die Beteiligung sensomotorischer Kortextareale bei der Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache finden?
3. Zeigen die bewegungsspezifischen elektroenzephalographischen Antworten auf visuelle Bewegungsreize und sprachliche bewegungsbezogene Stimuli vergleichbare Ausprägungen hinsichtlich des Frequenzbereichs, der Latenz oder des Ortes der Antwort?
4. Stimmen die elektroenzephalographischen Antworten auf abstrakte bewegungsbezogene sprachliche Stimuli eher mit den Antworten auf konkrete bewegungsbezogene sprachliche Stimuli überein oder liegt eine stärkere Übereinstimmung mit den Antworten auf abstrakte nicht bewegungsbezogene sprachliche Stimuli vor?

Zur Untersuchung dieser Forschungsfragen wurden vier Experimente durchgeführt: drei verhaltensbezogene RT-Experimente, in denen die Methode des motorischen Primings genutzt wurde, und ein EEG-Experiment.

4.1.2 Forschungskontext zum motorischen Priming

Die Methode des motorischen Primings wurde bereits in mehreren Studien auf unterschiedliche Art durchgeführt (Klatzky et al. 1989, Bergen et al. 2003, Pulvermüller et al. 2005, Wilson & Gibbs 2007, Glenberg et al. 2008b, Tomasino et al. 2008, D'Ausilio et al. 2009, Glenberg et al. 2010, Cattaneo et al. 2011, Sato et al. 2011, Ocampo et al. 2012). Einige dieser Studien behandelten sprachbezogene Fragestellungen mit dem Ziel, einen modalitätsübergreifenden Priming-Effekt zwischen der Ausführung einer Bewegung und der Sprachverarbeitung zu bewirken. Nur selten wurde allerdings das verhaltensbezogene motorische Priming im Zusammenhang mit der Verarbeitung von Bewegungsverben genutzt. Ein Vorteil dieser Priming-Methode ist, dass Bewegungen sehr präzise geprimt werden können. Mit Methoden wie beispielsweise der TMS können zwar kortikale Areale stimuliert werden, die Hand-, Arm- oder Fußbewegungen steuern, der genaue Verlauf einer Bewegung kann dagegen nicht geprimt werden.

Klatzky et al. (1989) untersuchten den Einfluss verschiedener handbezogener Bewegungen auf die Sprachverarbeitung. Vor dem eigentlichen Experiment trainierten ihre VPN verschiedene Handbewegungen. Diese Bewegungen wurden während des Experiments durch verbale Hinweise geprimt, woraufhin die Probanden die entsprechende Bewegung ausführten. Im Anschluss an die Primes fällten die Probanden eine Sinnhaftigkeitsentscheidung über eine Phrase, die aus einem Objekt und einem Bewegungsverb bestand. Klatzky et al. (1989) schilderten, dass die Probanden schneller eine Entscheidung getroffen hätten, wenn die geprimte Bewegung kongruent zu der in der Phrase beschriebenen Bewegung gewesen sei. Um einen möglichen verbalen Priming-Effekt zu umgehen wurde das Experiment wiederholt, wobei die verbalen Hinweise durch entsprechende Bildzeichen ersetzt wurden. Wie im ersten Experiment lernten die VPN die Verknüpfung von Bildzeichen und Handbewegung vor dem eigentlichen Experiment, ohne allerdings eine verbale Beschreibung der Bewegungen zu erhalten. Die Ergebnisse glichen denen im ersten Experiment. Die Autoren interpretierten diese Ergebnisse als Hinweis darauf, dass die Primes motorische Cortexareale aktiviert hätten und dass dies die Interpretation der Zielphrasen erleichtert hätte. Glenberg und Kaschak (2002) definierten den ACE (Details in Kapitel 2.4.1). Er beschreibt, dass der Inhalt eines Satzes eine entsprechende motorische Simulation hervorriefe, wodurch die nachfolgende Ausführung einer passenden Bewegung erleichtert würde. Bergen und Wheeler (2005) schlossen aus den Ergebnissen ihres Experiments, dass die Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache eine detaillierte motorische Repräsentation einer Bewegung aktiviere. Wenn ihre VPN mit einer geöffneten Hand auf Sätze reagierten, die eine Bewegung mit geöffneter Hand beschrieben, seien sie schneller gewesen, als wenn die Reaktion mit einer geschlossenen Faust erfolgte und umgekehrt. Diese These wurde weiterhin durch die Ergebnisse einer EEG-Studie von Aravena et al. (2010) gestützt, in der eine ausgeprägtere N400-Komponente für inkompatible im Vergleich zu kompati-

blen Trials im Rahmen eines ACE-Paradigmas beschrieben wurde. Auch Wilson und Gibbs (2007) schilderten einen Kompatibilitätseffekt. In ihrer Studie führten Probanden Körperbewegungen aus, die durch Symbole definiert waren. Wie schon bei Klatzky et al. (1989) lernten die Probanden die Verknüpfung von Symbol und Bewegung vor dem eigentlichen Experiment. Im Anschluss an die ausgeführte Bewegung lasen die Probanden eine metaphorische Phrase und wurden angewiesen einen Knopf zu drücken, sobald sie diese Phrase verstanden hätten. Im Vergleich zu einer Bedingung, in der die ausgeführte Bewegung nicht mit dem Verb übereinstimmte oder die Probanden keine Bewegung ausführten, ergaben sich kürzere RTs, wenn die ausgeführte Bewegung dem in der Metapher enthaltenen Bewegungsverb entsprach. Der gleiche Effekt stellte sich in einem weiteren Experimentdurchlauf ein, in dem sich die Probanden lediglich vorstellten die Bewegung auszuführen (Wilson & Gibbs 2007).

Ein modalitätsübergreifender Priming-Effekt zwischen Motorik und Sprachverarbeitung konnte also mehrfach nachgewiesen werden. Die Ergebnisse jüngerer Studien wiesen jedoch teilweise darauf hin, dass die Reihenfolge der Stimuluspräsentation (verbaler Stimulus vor Bewegungsstimulus bzw. umgekehrt) einen Einfluss darauf haben könnte, ob sich ein Kompatibilitäts- oder ein Interferenzeffekt einstellt. So schloss Bergen (2007), es sei möglich, dass die auch von Klatzky et al. (1989) genutzte Reihenfolge *Bewegungsprime – verbales Target* eher zu Interferenzeffekten führe als zu dem beobachteten Kompatibilitätseffekt. Ergebnisse, die diese Vermutung eindeutig bestätigen würden, liegen bislang nicht vor. Möglicherweise ist der Umstand, dass teilweise Kompatibilitäts- und teilweise Interferenzeffekte geschildert wurden, eher auf die unterschiedlichen zeitlichen Verhältnisse in den verschiedenen Studien zurückzuführen (Bergen 2007). Es ist folglich nicht eindeutig zu bestimmen, ob die zeitliche Überschneidung eines motorischen und eines verbalen Primes oder deren Reihenfolge tatsächlich einen Einfluss darauf haben, ob im Ergebnis ein Kompatibilitäts- oder Interferenzeffekt sichtbar wird. Allerdings ist es nicht irrelevant, dass sowohl in der Studie von Klatzky et al. (1989) als auch von Wilson und Gibbs (2007) Bildzeichen genutzt wurden um die erforderlichen Bewegungen zu initiieren. In den Trainingsphasen, in denen die Probanden lernten, die Bildzeichen mit einer Bewegung zu verknüpfen, verinnerlichten sie möglicherweise auch eine die Bewegung beschreibende verbale Repräsentation. Diese Repräsentation könnte die Bewegungsverben während des Experiments lexikalisch statt motorisch geprimt haben. Das erleichterte Verständnis der Phrasen und Metaphern wäre dann auf einen lexikalischen Priming-Effekt zurückzuführen und damit kein neuer Befund. Es besteht folglich der Bedarf, die Wahrscheinlichkeit eines lexikalischen Priming-Effekts auszuschließen und weitere Indizien für einen Kompatibilitäts- oder Interferenzeffekt zu sammeln.

In den hier durchgeführten verhaltensbezogenen Experimenten wurde die Möglichkeit des lexikalischen Primings minimiert, indem die VPN prototypische Bewegungen spiegelten, die ihnen in einem Video präsentiert wurden. Die Teilnehmer

wurden instruiert, die Bewegungen so parallel wie möglich zum Video auszuführen, sodass ihnen keine Zeit blieb, über die ausgeführten Bewegungen nachzudenken und eine entsprechende lexikalische Repräsentation zu entwickeln. Details zu dieser Versuchsdurchführung werden in den Unterkapiteln 3.3.1.3 und 3.3.2.3 geschildert.

4.1.3 Hypothesen zu den Reaktionszeitexperimenten 1 und 2

In den ersten beiden RT-Experimenten sahen die Probanden Videos, in denen eine für ein Bewegungsverb prototypische Bewegung gezeigt wurde. Die VPN waren angewiesen, diese Bewegung so parallel wie möglich zum Video selbst auszuführen. Im Anschluss daran hörten sie einen Satz, der das entsprechende Verb enthielt. Die Bewegungsverben waren sowohl in konkrete als auch in abstrakte Kontexte eingebettet. Abstrakte Sätze ohne Bewegungsverb dienten als Vergleichsmaß. Als Distraktoren wurden sinnfreie Sätze genutzt und die Probanden fällten eine Sinnhaftigkeitsentscheidung, anhand derer die RTs erhoben wurden. Die Intention war es, mithilfe der prototypischen Bewegungen motorische Repräsentationen zu primen, was die Verarbeitung der Bewegungsverben erleichtern und einen Kompatibilitätseffekt elizitieren sollte.

Folgende Hypothesen wurden aufbauend auf den Ergebnissen früherer Studien und entsprechend der sprachlichen Embodimenttheorie bezüglich der ersten beiden RT-Experimente aufgestellt:

1. RTs in Folge der Präsentation konkreter Sätze sind kürzer als RTs in Folge der Präsentation abstrakter Sätze (Schwanenflugel & Shoben 1983, Levi-Drori & Henik 2006, Schaller et al., im Druck).
2. Eine Kongruenz zwischen einem visuellen/motorischen Bewegungs-Prime und einem bewegungsbezogenen Verb, das in einen konkreten oder einen abstrakten Satzkontext eingebettet ist, führt im Vergleich zu einer Kontrollbedingung zu kürzeren RTs, was auf eine schnellere Satzverarbeitung schließen lässt (Glenberg & Kaschak 2002, Wilson & Gibbs 2007, Schaller et al., im Druck).
3. Liegt eine Inkongruenz zwischen dem visuellen/motorischen Bewegungs-Prime und dem verbalen Target vor oder zeigt das Video-Prime keinerlei Bewegung, stellt sich kein Effekt ein, der auf eine schnellere Satzverarbeitung schließen lässt (Glenberg & Kaschak 2002, Wilson & Gibbs 2007).
4. Die Verarbeitung abstrakter nicht bewegungsbezogener Kontrollsätze bleibt von der Art des präsentierten Video-Primes unbeeinflusst (Schaller et al., im Druck).

4.1.4 Hypothesen zu Reaktionszeitexperiment 3

Das dritte verhaltensbezogene RT-Experiment wurde mit muttersprachlichen Gebärdensprecher/Innen der ASL durchgeführt. Für diese und andere Gebärdensprachen wurde der *double mapping constraint* (DMC) aufgestellt, demzufolge ikonische Gebärden nicht uneingeschränkt in abstrakte Kontexte eingebettet, also nicht uneingeschränkt metaphorisch genutzt werden können (Taub 2001, Meir 2010). In dem hier durchgeführten Experiment wurde zum einen analysiert, ob bei Gebärdensprecher/Innen während der Beobachtung einer Gebärde lediglich lexikalische oder auch motorische neuronale Repräsentationen aktiviert werden und ob diese einen Einfluss auf die Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache haben. Zum anderen zielte das Experiment darauf ab, die Sensitivität der Gebärdensprecher/Innen hinsichtlich des DMCs in ihrer Zweitsprache (Englisch) zu erfassen, in der die Verwendung von Bewegungsverbren in abstrakten Kontexten uneingeschränkt möglich ist. Zu diesem Zweck wurde ein Paradigma genutzt, das sehr ähnlich zu dem in den ersten beiden RT-Experimenten war. Die Probanden sahen Videoclips als Primes, in denen ikonische Verbgebärden der ASL gezeigt wurden. Das im Anschluss präsentierte Target war eine Metapher, die das der Gebärde entsprechende englische Verb enthielt. Die Übersetzung dieser Metapher in ASL anhand der zum Verb äquivalenten Gebärde war entsprechend des DMCs entweder möglich oder nicht möglich. Über sinnfreie Stimuli und eine Sinnhaftigkeitsentscheidung wurden die RTs der VPN erhoben. Als Vergleichsmaß dienten Prime-Videos, in denen entweder eine inkongruente oder keine Gebärde gezeigt wurde.

Im Rahmen des dritten RT-Experiments wurden folgende Hypothesen überprüft:

1. Bei Gebärdensprecher/Innen, bei denen aufgrund des visuell-manuellen Kommunikationskanals ein sehr enger Bezug zwischen der Motorik und sprachlichen Repräsentationen besteht, kann die Verarbeitung von bewegungsbezogener abstrakter Sprache durch kongruente Bewegungs-Primes erleichtert werden, was sich in verkürzten RTs im Vergleich zu einer Kontrollbedingung bemerkbar macht (Secora & Emmorey 2014). Dieser Kompatibilitätseffekt lässt sich nicht allein durch das Primieren der lexikalischen Repräsentationen eines bewegungsbezogenen Verbs, sondern auch durch das Primieren der motorischen Repräsentationen erklären (Schaller et al. 2016).
2. Durch den DMC werden lexikalische und motorische Priming-Effekte zwischen der Gebärdensprache und dem geschriebenen Englisch als Zweitsprache beeinflusst. Lediglich bei einem Entsprechen der durch die Beschränkung aufgestellten Voraussetzungen stellen sich Kompatibilitätseffekte ein. Wird den Voraussetzungen nicht entsprochen, führt das Priming zu Interferenzeffekten, was sich in verlängerten RTs im

Vergleich zu einer Kontrollbedingung bemerkbar macht (Schaller et al. 2016).

Eine Bestätigung der Hypothesen spräche in erster Linie für die Sensitivität der Gebärdensprecher/Innen hinsichtlich des DMCs in ihrer L2. In Abhängigkeit von den Ergebnissen lässt sich darüber hinaus diskutieren, ob die primende ikonische Verbgebärde die Verarbeitung der Metapher in der L2 nicht nur auf lexikalischer, sondern auch auf motorischer Ebene beeinflusst.

4.1.5 Hypothesen zum EEG-Experiment

Während des EEG-Experiments wurden die visuellen Bewegungsstimuli und die verbalen Satzstimuli der ersten beiden RT-Experimente in verschiedenen Blöcken gezeigt. In einem Block wurden also vollständig randomisiert Videos mit prototypischen Bewegungen und als Kontrollbedingung Videos, die keinerlei Bewegung zeigten, präsentiert. In weiteren Blöcken hörten die VPN ebenfalls vollständig randomisiert die in den RT-Experimenten genutzten Satzstimuli. Bei der Analyse wurden die elektrophysiologischen Hirnreaktionen auf die visuellen und die verbalen Bewegungsstimuli innerhalb spezifischer Frequenzbereiche miteinander verglichen.

Folgende Hypothesen wurden aufbauend auf den Ergebnissen früherer Studien und entsprechend der sprachlichen Embodimenttheorie bezüglich des EEG-Experiments aufgestellt:

1. Zwischen den konkreten und den abstrakten Nomen zeigt sich in einem Latenzbereich von 300 bis 600 Millisekunden nach Nomen-Onset eine klare Amplitudendifferenz in frontalen und zentralen Elektroden (N400). Die Amplituden fallen für die konkreten Nomen negativer aus als für die abstrakten (Barber et al. 2013).
2. Als Reaktion auf die als Video präsentierten visuellen Bewegungsreize zeigt sich im Bereich des μ -Rhythmus (8-12 Hz) und des β_2 -Bandes (16-25 Hz) eine Desynchronisierung in zentralen Elektroden im Vergleich zu der stillen Kontrollbedingung. Diese Desynchronisierung setzt innerhalb weniger hundert Millisekunden nach dem Onset der Bewegung im Video ein (Moreno et al. 2013, Quandt & Marshall 2014, Simon & Mukamel 2016, Schaller et al., in Review).
3. Als Reaktion auf die verbalen konkreten und abstrakten Bewegungssätze zeigt sich eine zu der Desynchronisierung während der Bewegungsbeobachtung vergleichbare Hirnreaktion in den relevanten Frequenzbereichen in zentralen Elektroden im Vergleich zu den abstrakten nicht bewegungsbezogenen Kontrollsätzen (Fargier et al. 2012, Moreno et al. 2013, 2015, Schaller et al., in Review).

4. Die Kohärenzen zwischen zentralen Elektroden in den relevanten Frequenzbereichen sind während der Verarbeitung sowohl eines visuellen als auch eines verbalen Bewegungsstimulus höher als während der Verarbeitung der entsprechenden Kontrollstimuli. In Hinblick auf die Latenz wird erwartet, dass der Effekt etwa zur gleichen Zeit einsetzt wie die oben beschriebenen Desynchronisierungen.

4.2 Vorbereitung der Stimuli

4.2.1 Evaluation prototypischer Bewegungen – Reaktionszeitexperimente 1 und 2, EEG-Experiment

Für die RT-Experimente 1 und 2 sowie für das EEG-Experiment wurden prototypische Bewegungen für die genutzten Bewegungsverben evaluiert. Vorausgegangene Forschungsarbeiten beschäftigten sich beispielsweise mit der räumlichen Normung von Verben, die eine Richtung implizierten (Meteyard & Vigliocco 2009), oder stellten konkrete und abstrakte Verben einander gegenüber, durch die ein unterschiedlicher Grad an Hierarchie ausgedrückt wurde (Richardson et al. 2001). Die beiden genannten Studien wurden im zweidimensionalen Raum durchgeführt, wobei die VPN die Beziehungen zwischen einem Kreis und einem Quadrat entsprechend eines gegebenen Verbs entweder selbst auf Papier zeichnen oder aus vorgegebenen Möglichkeiten auswählen sollten. Die hier durchgeführte Evaluation erfolgte nicht zeichnerisch auf Papier und diente primär auch nicht dem Zweck, Hierarchien oder andere Verhältnismäßigkeiten zwischen den genutzten Verben herzustellen. Ziel war es, prototypische Bewegungen für die jeweiligen Verben im dreidimensionalen Raum zu elizitieren. Um die prototypischen Bewegungen zu evaluieren, wurden Probanden zunächst verschiedene Verben präsentiert, woraufhin diese spontan eine dazu passende Arm- und/oder Handbewegung ausführten (Weiss & Müller 2012). Es wurde ein Motion-Tracking System in einer CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) genutzt. Dieses System arbeitet mit der Methode des optischen Trackings, wobei die CAVE mit Infrarotlicht ausgeleuchtet wird. Kleine reflektierende Marker werden beispielsweise an Kopf, Armen oder Beinen der VPN angebracht. Zusätzlich geben aktive Leuchtdioden an Händen und Fingern Infrarotsignale ab (s. Abb. 12, S. 66). Zwölf Infrarotkameras detektieren die Reflektionen der Marker und die Signale der Dioden mit einer räumlichen Auflösung von unter einem Millimeter (Essig et al. 2012, Müller 2013). Mit Hilfe des Motion-Trackings können sehr detaillierte Informationen, hinsichtlich beispielsweise des Bewegungswinkels und der Bewegungsgeschwindigkeit, gesammelt werden.



Abbildung 12: Bewegungserfassung per Motion-Tracking. Die Infrarotkameras des Systems erfassen Bewegungen über reflektierende Marker (weiße Kügelchen in der Abb.), die je nach Bedarf an verschiedenen Körperpartien angebracht werden können, sowie aktive Infrarot-Leuchtdioden. So können detaillierte Informationen bezüglich der Bewegungsausführung gespeichert werden (Müller 2013, S. 101).

Die so elizitierten Bewegungen wurden nach fünf Modalitäten und festen Merkmalen evaluiert, die eine ausführliche Beschreibung der Bewegungen ermöglichten. Dazu gehörten

1. die Art der Bewegung (grobe Umschreibung),
2. die Richtung der Bewegung mit den Merkmalen *vom Körper weg, zum Körper hin, voneinander weg* (in Bezug auf die Hände), *zueinander hin, hinauf, hinab, nach rechts, nach links* und *vor dem Körper* (für Bewegungen allein der Hände ohne bedeutungsvolle Bewegung der Arme),
3. die Achse der Bewegung mit den Merkmalen 0° , 45° , 90° , 135° und 180° ,
4. die Geschwindigkeit der Bewegungen mit den Merkmalen *schnell, mittel* und *langsam* und
5. die Anzahl der bei der Ausführung der Bewegung genutzten Hände.

Anhand der Merkmale, welche die Probanden für ein Verb am häufigsten nutzten, wurden im Anschluss die prototypischen (kongruenten) Bewegungen definiert. Tabelle 1 zeigt exemplarisch die Evaluation des Prototyps für das Verb *zeigen*.

Tabelle 1: Evaluation der prototypischen Bewegung zum Verb *zeigen*. In der linken Spalte finden sich die fünf Modalitäten und Beispiele für die dazugehörigen Merkmale, wie sie bei dem Verb *zeigen* von den Probanden ausgeführt wurden. Die rechte Spalte gibt die Auftretenshäufigkeit der Merkmale in Prozent an: 100 % bedeutet also, dass alle Probanden eine Bewegung bspw. vom Körper weg ausführten. Die fett markierten Zeilen geben an, welche Merkmale für die Definition der prototypischen Bewegung herangezogen wurden (Schaller et al., im Druck).

Modalitäten		Auftretenshäufigkeit (in %)
Art der Bewegung:	zeigen	98.5
	präsentieren	1.5
Richtung:	vom Körper weg	100.0
Achse:	90°	100.0
Geschwindigkeit:	langsam	6.0
	mittel	79.1
	schnell	14.9
Anzahl der Hände:	einhandig	91.0
	beidhändig	9.0

Zusätzlich zu den kongruenten Bewegungen wurden von diesen Prototypen leicht und stark abweichende Bewegungen benötigt. Die von den Prototypen leicht abweichenden Bewegungen wurden definiert, indem die prototypischen Merkmale der zwei Modalitäten *Richtung* und *Geschwindigkeit* manipuliert wurden. In diesen Kategorien waren die Merkmale austauschbar, ohne dass die resultierende Bewegung zu stark vom Prototypen abwich. Um die stark abweichenden (inkongruenten) Bewegungen zu erstellen, wurden die Merkmale aller fünf Modalitäten geändert, was zu den kongruenten Bewegungen völlig unpassende Arm- und Handbewegungen ergab. Bei der Erstellung der inkongruenten Bewegungen wurde darauf geachtet, dass die Modalitäten, wenn möglich, genau ins Gegenteil verkehrt wurden. In einigen Fällen führte dies allerdings zu sehr unnatürlichen Bewegungsabläufen und teilweise war die Komposition aus fünf zum Prototypen entgegengesetzten Merkmalen nicht möglich. Beispielsweise kann eine Bewegung, die in der Modalität *Richtung* das Merkmal *zueinander hin* aufweist und dementsprechend mit zwei Händen ausgeführt wurde, nicht vollständig konträr verlaufen, da das Merkmal *voneinander weg* ebenfalls mit zwei Händen ausgeführt werden muss. In den Fällen, in denen eine Umkehrung aller Modalitäten nicht möglich war, wurde entweder abgewogen, die Umkehrung welchen Merkmals einen größeren Effekt auf eine Abweichung vom Prototyp hätte oder es wurde eine völlig neue Bewegung erdacht. Um sicherzustellen, dass die leicht und stark abweichenden Bewegungen kaum bzw. nicht an die Prototypen erinnerten, wurde ein entsprechendes Rating durchgeführt.

4.2.2 Erstellung des Videomaterials – Reaktionszeitexperimente 1 und 2, EEG-Experiment

Im Anschluss an die Evaluation der prototypischen, abweichenden und inkongruenten Bewegungen erfolgte die Videoaufnahme dieser Bewegungen. Eine männliche Person führte die Bewegungen im Sitzen vor einem schwarzen Hintergrund aus. Sie trug dunkle Kleidung, sodass sich nur die Arme vom Hintergrund abhoben, deren Bewegungen für das Experiment von Bedeutung waren. In allen weiteren Experimenten wurde die Person durch Schwärzung des Gesichtsbereichs anonymisiert. 29 VPN wurden gebeten, sich die Bewegungen anzusehen und das erste Verb zu notieren, das ihnen in den Sinn kam. Ziel dieser Analyse war es herauszufinden, wie häufig das Zielverb als Reaktion auf die prototypischen aber auch auf die abweichenden und die inkongruenten Bewegungen genannt würde. Es zeigte sich, dass in ca. 20.7 % der Fälle das Zielverb als Antwort auf die kongruenten Bewegungen gewählt wurde. 15.9 % der genannten Verben stimmten zum Teil mit dem Zielverb überein (etwa *geben* statt *abgeben*). Ein Synonym zum Zielverb wurde in 27.9 % der Fälle ausgewählt. Wurden die abweichenden Bewegungen gezeigt, stimmte das genannte Verb nur in 12.6 % der Antworten mit dem Zielverb überein und im Fall der inkongruenten Bewegung wurde nicht ein einziges Mal das Zielverb als Antwort gewählt. Eine teilweise Übereinstimmung zwischen genanntem und Zielverb trat nach Präsentation der abweichenden Bewegungen in 9.4 % der Antworten auf. Auch dies kam im Zusammenhang mit den inkongruenten Bewegungen nicht vor. In 99.2 % der Fälle nannten die Probanden als Antwort auf die inkongruenten Bewegungen ein anderes als das Zielverb, das auch nicht synonym zu diesem zu verwenden war. Den Daten dieses Ratings zufolge konnte zum einen davon ausgegangen werden, dass die kongruenten Bewegungen eine sehr viel engere Beziehung zum Zielverb aufwiesen als die inkongruenten Bewegungen. Zum anderen war die Verknüpfung zwischen einer kongruenten Bewegung und dem Zielverb nicht so stark ausgeprägt, dass die Bewegungsausführung in den ersten beiden RT-Experimenten das Zielverb auf lexikalischer Ebene geprimt hätte, was für den Erfolg der gewählten Methode entscheidend war.

4.2.3 Erstellung des Videomaterials – Reaktionszeitexperiment 3

Die Ikonizität der Verb- und Nomengebärden, die im dritten RT-Experiment als Primes genutzt wurden, hinsichtlich des kritischen Verbs in der Target-Metapher wurde in einem Ikonizitätsrating überprüft. 35 hörende VPN wurden über *amazon Mechanical Turk beta* rekrutiert. Von dort wurden sie auf die Plattform *SurveyMonkey®* weitergeleitet, anhand derer das Rating durchgeführt wurde. Die Probanden lasen das in der Target-Metapher enthaltene kritische englische Bewegungsverb und sahen dazu entweder die als Prime genutzte kongruente Verbgebärde oder die inkongruente Nomengebärde. Auf einer Likertskala, auf der 1 der Deklaration *nicht ikonisch* und 5 der Deklaration

stark ikonisch entsprach, wurde die Ikonizität der Gebärden für die kritischen englischen Bewegungsverbren geratet. Eine VPN wurde von der Analyse ausgeschlossen, da ihre Ratingwerte stark von den Werten der übrigen Probanden abwichen. Die Ratingwerte der verbliebenen 34 VPN wurden über Items gemittelt und in einer rmANOVA mit den Faktoren *Ikonizität* (Verb vs. Nomen) und *Metapherotyp* (Map vs. NoMap) analysiert. Es ergab sich lediglich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Ikonizität* ($F(1, 29) = 1763.2, p < .001$). Post-hoc durchgeführte *t*-Tests für gepaarte Stichproben zeigten, dass die inkongruenten Nomengebärden unabhängig vom Metapherotyp als signifikant geringer ikonisch geratet wurden als die Verbgebärden ($t(29) = 35.4, p < .001$ für Verb vs. Nomen in Map; $t(29) = 35.9, p < .001$ für Verb vs. Nomen in NoMap).

4.2.4 Erstellung des Satzmaterials – Reaktionszeitexperimente 1 und 2, EEG-Experiment

Die in den ersten beiden RT-Experimenten und dem EEG-Experiment genutzten Satzstimuli wurden von 27 VPN entsprechend ihrer Sinnhaftigkeit auf einer Skala von 1 (sinnfrei) bis 5 (sinnhaft) bewertet. Ein zweiseitiger *t*-Test für unabhängige Stichproben, der entsprechend einer Varianzhomogenität zwischen den beiden Stichproben korrigiert wurde, ergab, dass die sinnhaften Stimuli signifikant sinnhafter bewertet wurden (Mittelwert (M) = 4.4, Standardabweichung (SD) = ± 0.5) als die sinnfreien ($M = 1.3, SD = \pm 0.3$), $t(74.3) = 42.3, p < .001$. In dem Rating wurden die Stimuli nicht nur nach ihrer Sinnhaftigkeit bewertet. Die sinnhaften Stimuli wurden zusätzlich hinsichtlich ihrer Konkretheit auf einer Skala von 1 (abstrakt) bis 5 (konkret) bewertet. Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (*repeated measures ANOVA*, rmANOVA) zeigte einen signifikanten Einfluss des Satztyps auf die Bewertung, $F(2, 52) = 196.6, p < .001$. Post-hoc durchgeführte paarweise Vergleiche ergaben, dass die Stimuli der Satzkategorie *konkrete Bewegung*, in der die Bewegungsverbren in einem konkreten Kontext eingebettet waren, signifikant konkreter bewertet wurden ($M = 4.6, SD = \pm 0.3$) als die Sätze der Kategorie *abstrakte Bewegung* ($M = 2.4, SD = \pm 0.5$), in der die Bewegungsverbren in abstrakten Kontexten auftraten, und die Sätze der Kategorie *abstrakt* ($M = 2.5, SD = \pm 0.6$), die abstrakte Sätze ohne Bewegungsbezug enthielt. Kein Unterschied bestand dagegen zwischen den beiden abstrakten Satztypen.

4.2.5 Erstellung des Satzmaterials – Reaktionszeitexperiment 3

Die Sinnhaftigkeit der im dritten RT-Experiment als Targets genutzten Metaphern und der Distraktorsätze wurde in einem weiteren Rating analysiert. 55 hörende VPN wurden über *amazon Mechanical Turk beta* rekrutiert und auf die Plattform *SurveyMonkey*® weitergeleitet. Dort erfolgte das Sinnhaftigkeitsrating. 20 gehörlose Gebärden Sprecher/Innen der ASL wurden über die VPN-Datenbank des *Laboratory for Language and Cognitive Neuroscience* der San Diego State University (USA) rekrutiert und per E-Mail zur Teilnahme an dem Rating eingeladen. Die 60 Metaphern und 20 Distraktor-

sätze wurden auf einer Likertskala geratet, wobei der Wert 1 der Deklaration *sinnfrei* und der Wert 5 der Deklaration *sinnhaft* entsprach. Die statistische Analyse der Ratingwerte gemittelt über Items, eine rmANOVA mit dem Faktor *Satztyp* (Map, NoMap, Distraktor) für die jeweilige Gruppe, ergab für beide Personengruppen einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Satztyp* ($F(1.1, 60.6) = 4945.1, p < .001$ für Hörende; $F(1.1, 21.2) = 405.5, p < .001$ für Gehörlose; jeweils korrigiert nach Greenhouse-Geisser). Paarweise Vergleiche ergaben entsprechend der Bonferroni-Korrektur für Mehrfachvergleiche, dass in beiden Gruppen die Satztypen Map und NoMap signifikant sinnhafter bewertet wurden als die sinnfreien Distraktorsätze.

4.3 Reaktionszeitexperimente

Ziel der ersten beiden RT-Experimente war es, den Einfluss von komplexen prototypischen Bewegungen auf die Verarbeitung motorischer Bewegungsverbren sowohl in konkreten als auch in abstrakten Kontexten zu untersuchen. Um dies zu erreichen wurde die Methode des modalitätsübergreifenden motorischen Primings genutzt. Zunächst wurden die sensomotorischen Kortexareale durch eine von den Probanden ausgeführte prototypische Bewegung geprimt. Welche Bewegung ausgeführt werden sollte, wurde durch ein Video vorgegeben. Bei der Verarbeitung eines im Anschluss an den Prime auditiv präsentierten motorischen Verbs, das in einen konkreten oder abstrakten Kontext eingebettet war, sollte das Priming durch eine kongruente Bewegung zu einem Kompatibilitätseffekt führen. Unterschiede in Abhängigkeit vom Kontext (konkret vs. abstrakt), in dem das Verb präsentiert wurde, würden auf eine unterschiedlich starke Beteiligung sensomotorischer Kortexareale bei der Verarbeitung der motorischen Verben hinweisen. Als Vergleichswerte dienten zum einen Bewegungen, die stark von den Prototypen abwichen und zum anderen abstrakte Sätze ohne Bewegungsverb. Da diese Sätze keine motorische Komponente enthielten, wurde hier keinerlei Einfluss durch die Bewegung erwartet. Im zweiten Experiment wurde ein weiterer Vergleichswert ergänzt. Hier wurden nicht nur Video-Primes mit kongruenten und inkongruenten Bewegungen präsentiert, sondern balanciert auch Videos ohne Bewegung. Auf diese Weise ließen sich die RTs erfassen, die bei der Verarbeitung des Satzes und des motorischen Verbs ohne vorherige Beeinflussung durch eine Bewegung auftraten. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die kongruenten Bewegungen die Verarbeitung der motorischen Verben sowohl in konkreten als auch in abstrakten Kontexten primten. Allerdings wurde eine unterschiedliche Ausprägung der RTs nach inkongruenten Bewegungen in Abhängigkeit vom Satztyp beobachtet. Die Ergebnisse werden hinsichtlich ihrer Implikationen für die sprachliche Embodimenttheorie und der Interaktion von sensomotorischen und sprachlichen Kortexarealen bei konkreter und abstrakter Sprachverarbeitung diskutiert.

Im dritten RT-Experiment wurde ebenfalls die Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache getestet, allerdings in einer neuen VPN-Gruppe: Gebärdensprecher/Innen der ASL. In einem zu dem in den ersten beiden RT-Experimenten sehr ähnlichen Paradigma wurde getestet, ob die Verarbeitung von bewegungsbezogener abstrakter Sprache, also bewegungsbezogenen Metaphern, in der Zweitsprache der Gebärdensprecher/Innen, dem geschriebenen Englisch, den gleichen Regeln folgt wie die Verarbeitung von Metaphern in der Muttersprache. Im Speziellen wurde analysiert, ob die Gebärdensprecher/Innen in ihrer L2 sensibel gegenüber dem DMC sind oder ob sich diese Beschränkung lediglich auf die Verarbeitung von Metaphern in der L1 bezieht. Der DMC beschreibt das Phänomen, dass für einige gängige Metaphern in gesprochenen Sprachen keine Übersetzungsäquivalente in Gebärdensprachen existieren und ikonische Gebärden nicht uneingeschränkt in metaphorischen Kontexten genutzt werden können. Damit dies möglich ist, müssten die ikonischen Gebärden den strukturellen Abgleich zwischen 1. den Artikulationsorganen und dem konkreten Vehikel und 2. dem Vehikel und dem Tenor ermöglichen (Taub 2001, Meir 2010). Falls die getesteten Gebärdensprecher/Innen bei der Verarbeitung von Metaphern in ihrer L2 auf ihre Kenntnisse der L1 zurückgreifen, würde der DMC einen Einfluss auf die Verarbeitung der Metaphern in der L2 haben. Die Unmöglichkeit, bestimmte ikonische Verbgebärden in einem metaphorischen Kontext zu nutzen, würde sich also möglicherweise negativ auf die Verarbeitung der entsprechenden Metapher in der L2 auswirken. Falls die Verarbeitung der Metaphern in der L2 aber in einem von der L1 unabhängigen System erfolgt, hätte der DMC keinerlei Einfluss auf die Verarbeitung. Eine weitere in diesem Experiment fokussierte Frage war, ob Gebärden bei Gebärdensprecher/Innen lediglich lexikalisch oder darüber hinaus auch motorisch repräsentiert sind. Sollte eine visuell wahrgenommene Gebärde auch auf motorischer Ebene für die Dekodierung eines Sprachsignals relevant sein, müsste sich dies bei bewegungsbezogener Sprache bemerkbar machen, indem sich zu den in den ersten beiden RT-Experimenten beobachteten Effekten vergleichbare Resultate ergeben. Es gibt wenige Studien, die sich mit dem Embodiment bewegungsbezogener Sprache bei Gebärdensprecher/Innen auseinandersetzen und speziell die Frage nach der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache ist daher interessant.

Die im dritten verhaltensbezogenen Experiment genutzten Trials setzten sich ebenfalls aus einem Video-Prime und einem Satztarget zusammen. Als Video-Primes dienten ikonische Verbgebärden der ASL (L1). Die Satztargets waren Metaphern des geschriebenen Englisch (L2), deren Übersetzungsäquivalente in der Gebärdensprache die Voraussetzungen des DMCs erfüllten oder nicht erfüllten. Der muttersprachliche Video-Prime war somit in erster Linie ein lexikalischer Prime und sollte das Verstehen des Satztargets in der L2 erleichtern. Allerdings lässt sich der muttersprachliche Video-Prime auch als motorischer Prime definieren, da eine Gebärde möglicherweise nicht nur mit lexikalischen, sondern auch mit motorischen Repräsentationen verknüpft ist. Sollte

dies der Fall sein, könnten sich auch modalitätsübergreifende Priming-Effekte zwischen der geprimten motorischen Repräsentation und dem bewegungsbezogenen sprachlichen Input in den Ergebnissen widerspiegeln. Kompatibilitätseffekte sollten sich allerdings nur in den Fällen einstellen, in denen die Voraussetzungen des DMCs erfüllt werden. Bei den Metaphern, die sich in der Gebärdensprache nicht anhand des Übersetzungsäquivalents des englischen Verbs ausdrücken lassen, sollte der ikonische Gebärden-Prime einen Interferenzeffekt elizitieren. Als Vergleichsbedingungen dienten Gebärden-Primes, die zu den in den Metaphern genutzten Verben inkongruent waren und stille Video-Primes. Wie schon in den ersten beiden RT-Experimenten zeigten die Ergebnisse, dass sowohl ikonische als auch inkongruente Video-Primes die Verarbeitung der Metaphern erleichterten. Dies traf allerdings nur für die Metaphern zu, die den Voraussetzungen des DMCs entsprachen. Bei den Metaphern, die den Voraussetzungen widersprachen, stellte sich als Folge der Präsentation einer ikonischen Gebärde ein Interferenzeffekt ein. Die Ergebnisse implizieren, dass Gebärdensprecher/Innen der ASL bei der Verarbeitung von Metaphern in ihrer L2 auf Kenntnisse aus der L1 zurückgreifen. Darüber hinaus scheint auch die motorische Komponente einer Gebärde einen Einfluss auf die Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache bei Gebärdensprecher/Innen zu haben.

4.3.1 Experiment zur Messung der Handreaktion

4.3.1.1 Versuchspersonen

43 monolinguale Studierende (27 weiblich, 16 männlich) der Universität Bielefeld im Alter von 20 bis 32 Jahren ($M = 24.5$, $SD = \pm 2.9$) mit Deutsch als Muttersprache nahmen an dem ersten RT-Experiment teil. Sie stimmten der Veröffentlichung der Studie schriftlich zu. Alle Probanden waren rechtshändig mit einem mittleren Laterali-tätsquotienten von 89.5 ($SD = \pm 12.6$), was anhand des *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield 1971) erhoben wurde. Alle Probanden gaben an, dass sie zum Zeitpunkt der Durchführung des Experiments unter keinerlei auditiven oder motorischen Erkrankungen oder Einschränkungen litten, die einen Einfluss auf ihr Hörverstehen oder ihre Reaktionsgeschwindigkeit hätten haben können.

4.3.1.2 Stimuli

Die verwendeten Stimuli setzten sich aus Videos und auditiv präsentierten Sätzen zusammen.

Insgesamt wurden 87 Videos präsentiert, in denen eine anonymisierte männliche Person Bewegungen ausführte. Die mittlere Dauer der Bewegungen lag bei 3684.7 Millisekunden. Sie wurden so aus der gesamten Videodatei geschnitten, dass für jede Bewegung ein Video von sechs Sekunden Dauer vorlag. Im Experiment zeigten 29 Videos eine Bewegung, die jeweils prototypisch für ein bestimmtes motorisches Verb

war. In weiteren 29 Videos wurde jeweils eine leicht von den Prototypen abweichende Bewegung gezeigt und die verbleibenden 29 Videos zeigten jeweils eine inkongruente Bewegung.

Als verbale Stimuli dienten 197 Sätze, von denen 25 % semantisch sinnfreie Distraktoren waren. Eine Liste der genutzten Stimuli findet sich in Anhang A. Die Sätze wurden von einem semiprofessionellen Sprecher in einem Tonstudio gesprochen. Die mittlere Dauer der Sätze lag bei 1595.5 Millisekunden ($SD = \pm 207.0$ ms). Die mittlere Dauer der Verben betrug 734.9 Millisekunden ($SD = \pm 129.2$ ms). Im Rahmen der Fragestellung wurden die Reaktionen auf 147 relevante Sätze analysiert. Jeweils 49 Items entsprangen den drei Kategorien *konkrete Bewegung* (KB), *abstrakte Bewegung* (AB) und *abstrakt* (A). Die Stimuli waren als Dreiergruppen mit einem Satz aus jeder Kategorie aufgebaut. Die Kategorie KB enthielt Sätze wie „*Ich habe die Handbremse gezogen.*“, in denen die Arm-/Handbewegung in einen konkreten Kontext eingebunden war. In der Kategorie AB wurde das gleiche Bewegungsverb in einem abstrakten Kontext präsentiert, wie in „*Ich habe die Konsequenz gezogen.*“. Die dritte Kategorie (A) enthielt abstrakte Kontrollsätze ohne ein Bewegungsverb, wie „*Ich habe die Konsequenz gefordert.*“. Die Sätze waren alle gleich aufgebaut, sodass das kritische Verb immer am Ende des Satzes stand. Die Stimuli jeder Dreiergruppe waren in Bezug auf das Genus des Nomens, die Silbenanzahl des Nomens und die Silbenanzahl des Verbs gematcht. Alle Stimuli jeder Kategorie waren hinsichtlich der Wortfrequenz von Nomen und Verben und der Kookkurrenz von Nomen mit Verben gematcht. Für die Überprüfung dieser Parameter wurde der Online-Korpus COSMAS II_{web} (Version 1.8) des Instituts für Deutsche Sprache genutzt (IDS Mannheim 2003 – 2012).

Die 147 relevanten Stimuli wurden mit den 58 Videos kombiniert, die entweder eine prototypische oder eine inkongruente Bewegung zeigten. Die 29 Videos, die eine leicht von den Prototypen abweichende Bewegung zeigten, wurden lediglich mit den Distraktoren kombiniert, um auch in diesen Fällen den üblichen Ablauf eines Trials beizubehalten. Die Kombinationen der Videos und Sätze, die in dem Experiment genutzt wurden, sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Überblick über die verschiedenen Stimulustypen in RT-Experiment 1, wie sie sich aus der Kombination der Video- und Satztypen ergaben. Für die Stimulustypen KA und IA wurden die abstrakten Sätze mit den gleichen kongruenten und inkongruenten Bewegungen kombiniert wie die anderen Satztypen, ohne dass eine Beziehung zum Inhalt der abstrakten Sätze vorlag.

Stimulustyp	Videotyp	Satztyp
KKB IKB	kongruent inkongruent	konkrete Bewegung konkrete Bewegung
KAB IAB	kongruent inkongruent	abstrakte Bewegung abstrakte Bewegung
KA	„kongruent“	abstrakt

IA	„inkongruent“	abstrakt
AD	abweichend	Distraktor

4.3.1.3 Versuchsdurchführung

Die VPN wurden einer von zwei Gruppen zugeteilt, da keiner der Probanden den gleichen Satz in Kombination mit einer kongruenten und einer inkongruenten Bewegung hören sollte. In diesem balancierten Design war also der einzige Unterschied zwischen den Gruppen, dass beispielsweise der Satz „*Ich habe die Handbremse gezogen.*“ in Gruppe 1 mit einer kongruenten und in Gruppe 2 mit einer inkongruenten Bewegung präsentiert wurde. Die Verteilung der verschiedenen Kombinationen war in beiden Gruppen gleich, sodass allen VPN die gleiche Anzahl aller Stimulustypen präsentiert wurde.

Nach der Einführung in das Experiment wurden die VPN gebeten, sich aufrecht auf einen Stuhl in einer schallgedämmten Kabine zu setzen, der einen Meter von einem Computerbildschirm entfernt stand. Zu ihrer Rechten war eine Computermaus auf einer kleinen Plattform etwa auf Kniehöhe abgelegt, die für die VPN leicht zu erreichen war. Über diese Computermaus wurden die Antworten der Probanden während des Experiments detektiert. Die VPN wurden instruiert, Zeige- und Mittelfinger ihrer rechten Hand für die Sinnhaftigkeitsentscheidung zu nutzen. Für die Hälfte der Probanden repräsentierte die linke Maustaste (Zeigefinger) die Entscheidung *sinnhaft*, für die andere Hälfte war es die rechte Maustaste (Mittelfinger). Der Aufbau der Versuchssituation ist in Abbildung 13 dargestellt.



Abbildung 13: Versuchssituation in RT-Experiment 1.

Das Experiment wurde über eine Präsentationssoftware (*Sculptor*, Arbeitsgruppe Experimentelle Neurolinguistik) unter Ubuntu (Version 8.04.2) präsentiert, welche die Antworten per Mausklick mit einer Genauigkeit von ca. drei Millisekunden detektierte. Jeder Trial umschloss vier Sequenzen. In der ersten Sequenz wurde ein Bild präsentiert, das die Ausgangsposition zeigte, von der aus die VPN die Bewegung beginnen sollten (1500 ms). Es signalisierte den Probanden, ihre Hände auf ihren Knien abzulegen und aufmerksam auf den Beginn des Videos zu warten. Es folgte das Video, das entweder eine kongruente oder eine inkongruente Bewegung zeigte. Jedes Video hatte eine Dauer von sechs Sekunden und endete in der Ausgangsposition. Im Anschluss erschien ein Bild der Computermaus auf dem Bildschirm (1500 ms). Auf dieses Signal hin positionierten die VPN ihre rechte Hand bzw. den Zeige- und den Mittelfinger auf den entsprechenden Tasten der Computermaus. Die vierte Sequenz bestand aus dem auditiv präsentierten Satz. Während des Videos war es die Aufgabe der Probanden, die beobachtete Bewegung zu spiegeln, sich also die Bewegung anzusehen und so zeitgleich wie möglich mit dem Video selbst auszuführen. Nach der letzten Sequenz, in welcher der Satz präsentiert wurde, hatten sie die Aufgabe zu entscheiden, ob ihnen der Satz sinnhaft oder sinnfrei erschien. Sie betätigten dazu die entsprechende Taste der Computermaus. Nach einem Interstimulusintervall (ISI) von etwa 2000 Millisekunden begann der nächste Trial. Jeder Trial hatte eine Dauer von 16 Sekunden. Abbildung 14 verdeutlicht den Aufbau eines Trials.

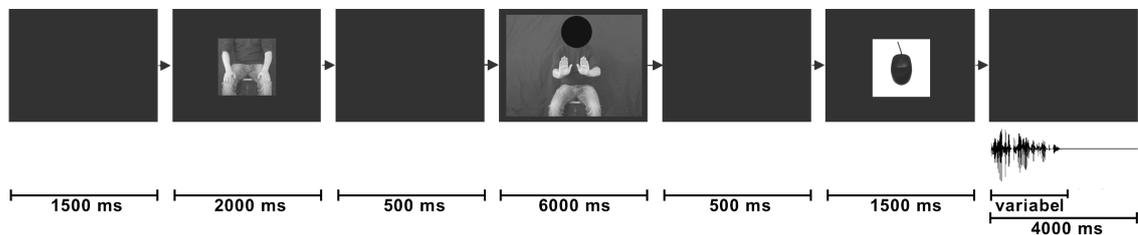


Abbildung 14: Aufbau der Trials in RT-Experiment 1: Jeder Trial begann mit einem grauen Bildschirm, gefolgt von einem Bild, das die Ausgangsposition darstellte. Anschließend wurde das Video präsentiert und die VPN führten die Bewegung aus. Ein Bild der Computermaus signalisierte den Probanden, die Finger auf den Maustasten zu positionieren. Zuletzt hörten die Probanden einen Satz und entschieden per Mausklick, ob sie diesen als sinnhaft oder sinnfrei einstufen.

4.3.1.4 Datenanalyse

Die statistische Analyse wurde mit SPSS 22 auf Mac OS X (Version 10.8.5) durchgeführt. Die RTs wurden ab dem Onset des Verbs gemessen. Zwei Probanden wurden von der Analyse ausgeschlossen, da ihre Fehlerrate die mittlere Fehlerrate um mehr als zwei SD übertraf. Die mittlere Fehlerrate für die Sinnhaftigkeitsentscheidung lag bei 8.2 %. Subjekt- und Itemanalysen wurden anhand der Berechnung von Cronbach's α und entsprechender F -Tests durchgeführt. Cronbach's α für die Subjektanalyse lag bei .937 mit einem signifikanten F -Test ($F(146, 5880) = 67.1, MSE = 75609.7, p < .001$). Auch für die Itemanalyse war der F -Test signifikant ($F(40, 5986) = 21, MSE = 76469.2, p <$

.001); Cronbach's α lag bei .982. Diesen Ergebnissen folgend wurden keine weiteren VPN oder Stimuli von der statistischen Analyse ausgeschlossen. Die Tests auf Normalverteilung ergaben, dass lediglich eine von sechs kritischen Kategorien eine Tendenz Richtung positiver Schiefe und Exzess aufwies. Aus diesem Grund wurde keine Transformierung der Daten vorgenommen. Drei einzelne Werte wurden aufgrund von Boxplotanalysen ausgeschlossen, was etwa 0.05 % aller gültigen Antworten auf die sinnhaften Stimuli entsprach.

Die verbleibenden Daten wurden in einer rmANOVA in einem 3×2 Design mit den Innersubjektfaktoren *Satztyp* (Levels: konkrete Bewegung, abstrakte Bewegung, abstrakt) und *Videotyp* (Levels: kongruent, inkongruent) analysiert. Mauchly's Test auf Sphärizität ergab keinen Verstoß. Die Ergebnisse zeigten einen Haupteffekt des Satztyps, $F(2, 80) = 117.7$, $MSE = 4410.0$, $p < .001$, aber weder einen signifikanten Haupteffekt des Videotyps, ($F(1, 40) = 2.6$, $MSE = 2380.5$, $p = .115$), noch einen Interaktionseffekt ($F(2, 80) = 1.8$, $MSE = 3364.7$, $p = .178$). Paarweise Vergleiche für den Haupteffekt des Satztyps ergaben hoch signifikante RT-Unterschiede zwischen allen drei Satzarten (KB: $M = 876.9$ ms; AB: $M = 936.5$ ms; A: $M = 1034.5$ ms). Abbildung 15 zeigt die RTs in den sechs Bedingungen aus RT-Experiment 1.

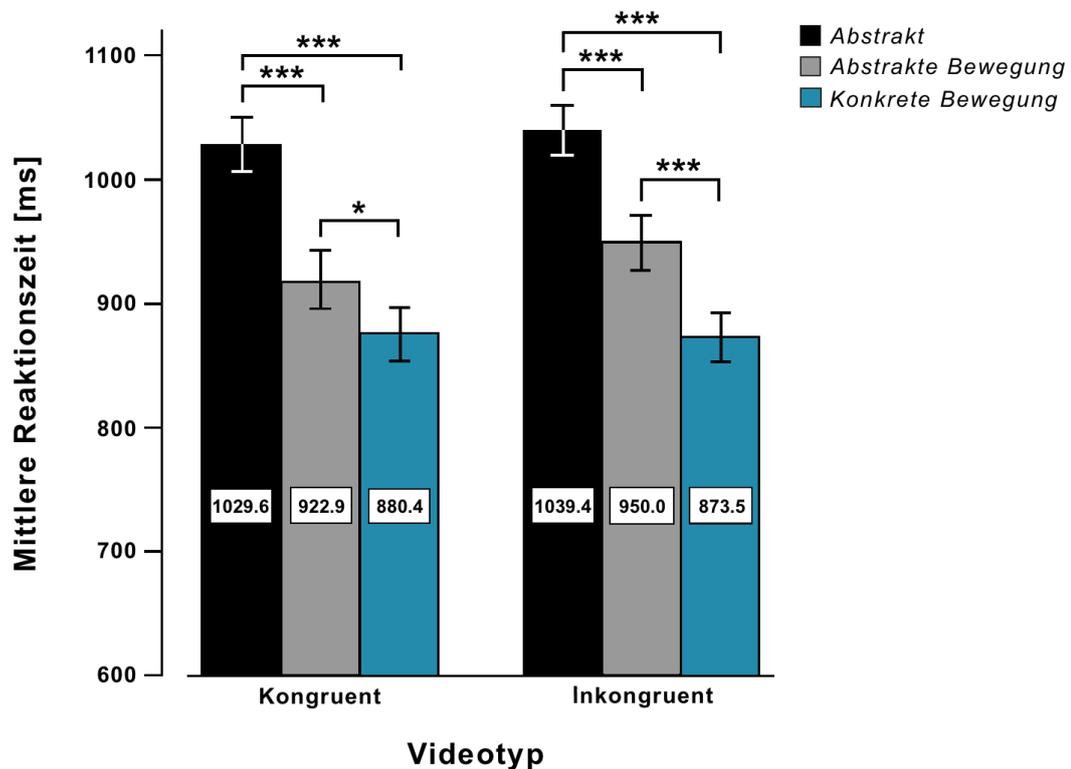


Abbildung 15: Mittlere RTs in Experiment 1 in ms für die verschiedenen Satztypen in Kombination mit den beiden Videotypen. In beiden Videobedingungen unterschieden sich alle Satztypen signifikant voneinander, wie durch die Klammern in der Abb. dargestellt (***) = $p < .001$; (*) = $p < .05$). Die Fehlerbalken repräsentieren den zweifachen Standardfehler (standard error, SE) des Mittelwerts.

4.3.1.5 Diskussion

Die Ergebnisse aus RT-Experiment 1 ergaben einen signifikanten Haupteffekt des Satztyps, wobei die RTs zwischen allen drei Satztypen in beiden Videobedingungen signifikant voneinander abwichen. Der Konkretheitseffekt, der sich hier zeigt, wurde in der Forschungsliteratur wiederholt diskutiert (s. Kapitel 2.5). Generell nimmt die Verarbeitung abstrakter Sprache mehr Zeit in Anspruch als die Verarbeitung konkreter Sprache, was sich auch in den vorliegenden Daten widerspiegelt (Kiehl et al. 1999, Binder et al. 2005). Doch liegt hier auch ein signifikanter RT-Unterschied zwischen den beiden abstrakten Satztypen vor, obwohl sie in dem zuvor durchgeführten Rating nicht unterschiedlich abstrakt gewertet wurden. Aus diesem Ergebnis lässt sich schlussfolgern, dass für Sätze des Typs AB ein Verarbeitungsvorteil gegenüber den Stimuli des Typs A vorlag. Da sich diese beiden Satztypen lediglich hinsichtlich des Bewegungsverbs in den Sätzen des Typs AB unterschieden, muss der Verarbeitungsvorteil durch das Bewegungsverb begründet sein. Möglicherweise wurde die Verarbeitung der Sätze AB im Gegensatz zu den abstrakten Sätzen durch eine Beteiligung des sensomotorischen Systems unterstützt.

Ein signifikanter Haupteffekt des Videotyps ergab sich in RT-Experiment 1 nicht. Die RTs wurden nicht davon beeinflusst, ob die Probanden eine prototypische oder eine inkongruente Bewegung vor der Präsentation des Satzes ausführten. Dementsprechend zeigt sich kein Indiz für einen durch das motorische Priming hervorgerufenen Kompatibilitäts- oder Interferenzeffekt. Ein möglicher Grund ist, dass ein Problem bezüglich der Methode der RT-Erhebung vorlag. Die Probanden waren instruiert, jede Bewegung mit dem Einnehmen der Startposition zu beenden und ihre Hand, beziehungsweise ihre Finger, anschließend auf der Computermouse zu positionieren, die für die RT-Erhebung genutzt wurde. Die neuronale Repräsentation dieser letzten Bewegung hin zur Maus, die wie die Prime-Bewegung mit den Armen und Händen ausgeführt wurde, könnte die zuvor geprimte neuronale Repräsentation „überschrieben“ haben. Dementsprechend wäre kein Einfluss der geprimten Bewegung auf die Verarbeitung des Satzes messbar gewesen. Der Mausklick selbst ist außerdem eine weitere Arm-/Handbewegung. Wie von Schaller et al. (2015) diskutiert, könnte diese Bewegung mit der Verarbeitung der Bewegungsverbene in den hier präsentierten Kontexten interferiert haben, sodass sich der Mausklick verlängernd auf die RTs ausgewirkt hätte. Eine weitere mögliche Ursache für den nicht detektierten Haupteffekt des Videotyps könnte darin liegen, dass das Zeitintervall zwischen der primenden Bewegung und der Präsentation des Bewegungsverbs zu lang war. Das Intervall zwischen dem Abblenden des Videos und dem Satz-Onset dauerte 1500 Millisekunden. Ein weiteres mittleres Intervall von 900 Millisekunden Dauer muss vom Satz-Onset bis zum Verb-Onset hinzuaddiert werden. Dementsprechend hätte der Priming-Effekt ca. 2500 Millisekunden lang anhalten müssen, was ein recht langes Zeitintervall darstellte.

Um diese die RT möglicherweise negativ beeinflussenden Faktoren zu korrigieren, wurde ein weiteres verhaltensbezogenes Experiment durchgeführt. Bei diesem wurde die Methode der RT-Erfassung geändert sowie die Zeitspanne zwischen Video-Offset und Verb-Onset reduziert.

4.3.2 Experiment zur Messung der Fußreaktion

4.3.2.1 Versuchspersonen

32 monolinguale Studierende (16 weiblich, 16 männlich) der Universität Bielefeld mit Deutsch als Muttersprache nahmen an dem zweiten RT-Experiment teil. Sie waren zwischen 20 und 36 Jahren alt ($M = 25$ Jahre, $SD = \pm 4.3$ Jahre) und entsprechend der Ergebnisse einer leicht modifizierten Version des *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield 1971) rechtshändig mit einem mittleren Lateralitätsquotienten von 92.3 ($SD = \pm 10.4$). Die Modifikation des Tests bestand primär darin, einige zusätzliche Tätigkeiten abzufragen, die nicht Teil des Originalfragebogens sind. Keine der VPN hatte an den vorbereitenden Ratings oder dem ersten RT-Experiment teilgenommen. Die schriftliche Einwilligung zur Veröffentlichung der anonymisierten Daten wurde von den Probanden eingeholt. Alle VPN gaben an, weder unter Medikation zu stehen, noch unter jeglicher Art auditorischer oder motorischer Einschränkung oder Erkrankung zu leiden, welche die RT hätten beeinflussen können.

4.3.2.2 Stimuli

Das Video- und Satzmaterial aus RT-Experiment 1 wurde auch in RT-Experiment 2 genutzt. Zusätzlich zu den prototypischen und den inkongruenten Bewegungen wurden Videos präsentiert, in denen keine Bewegung zu sehen war. Dieses Level wurde als zusätzliche Vergleichsbedingung genutzt. In den entsprechenden Videos war die männliche Person zu sehen, die still auf einem Stuhl saß und keine Bewegung ausführte. Tabelle 3 zeigt die Kombinationen von Videos und Sätzen, wie sie im zweiten Experiment präsentiert wurden:

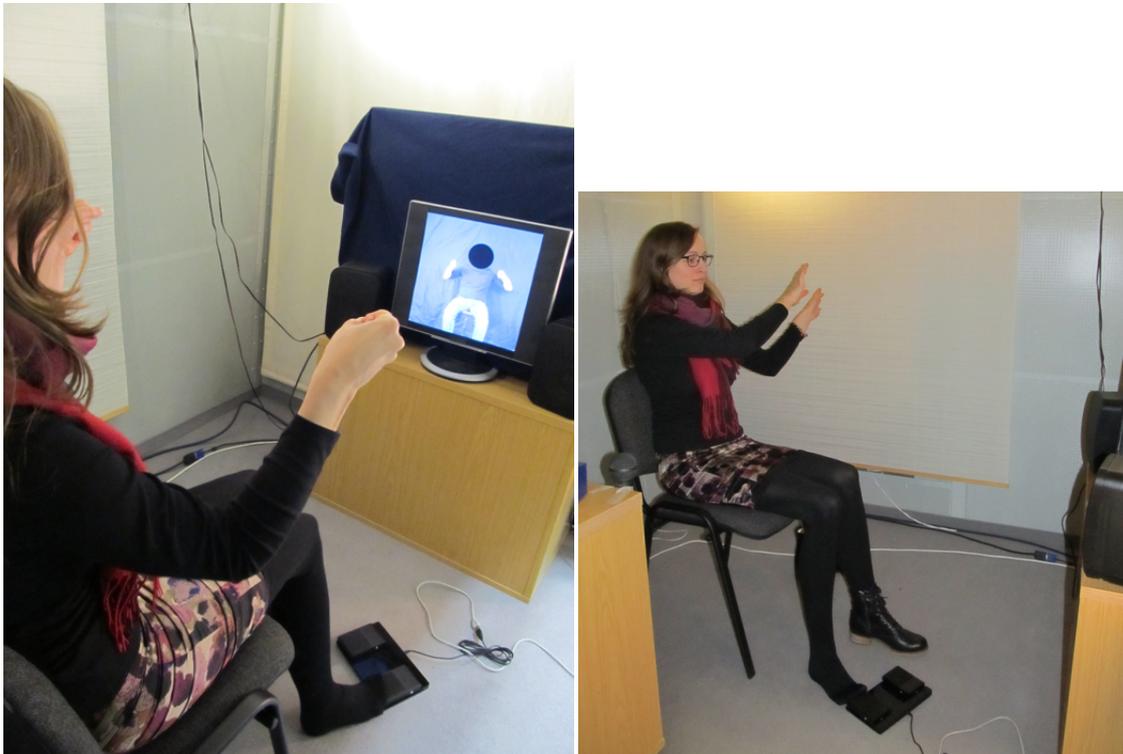
Tabelle 3: Überblick über die verschiedenen Stimulustypen in RT-Experiment 2 (s. Tab. 2 für weitere Details).

Stimulustyp	Videotyp	Satztyp
KKB	kongruent	konkrete Bewegung
IKB	inkongruent	konkrete Bewegung
SKB	still	konkrete Bewegung
KAB	kongruent	abstrakte Bewegung
IAB	inkongruent	abstrakte Bewegung
SAB	still	abstrakte Bewegung
KA	„kongruent“	abstrakt

IA	„inkongruent“	abstrakt
SA	still	abstrakt
AD	abweichend	Distraktor

4.3.2.3 Versuchsdurchführung

Das Vorgehen und die Aufgaben waren nahezu identisch mit der Versuchsdurchführung und der Aufgabenstellung in RT-Experiment 1. Anstelle der Maus, die im ersten Experiment zur Erhebung der RTs genutzt wurde, betätigten die Probanden im zweiten RT-Experiment ein Fußpedal, wenn sie einen Satz als sinnhaft bewerteten. Sie wurden angewiesen, das Fußpedal nicht zu betätigen, wenn sie einen Satz als sinnfrei bewerteten. Die Hälfte der VPN reagierte mit dem linken, die andere Hälfte mit dem rechten Fuß. Abbildungen 16.1 und 16.2 stellen die Versuchssituation dar.



Abbildungen 16.1 und 16.2: Versuchssituation in RT-Experiment 2.

Der Aufbau der Trials im zweiten RT-Experiment wich leicht von dem Aufbau im ersten RT-Experiment ab. Nach wie vor begann jeder Trial mit einem grauen Bildschirm. Nach 500 Millisekunden begann das Video genau an der Stelle, an der auch die Bewegung einsetzte. Nach dem Abschluss der Bewegung und dem damit verbundenen Einnehmen der Ausgangsposition wurde das Video nicht abgeblendet. Das Standbild der Ausgangsposition blieb stattdessen eingeblendet. Die mittlere Dauer der Video-Primes lag bei 3684.7 Millisekunden ($SD = \pm 721.0$ ms). Die stillen Videos, in denen keine Bewegung gezeigt wurde, hatten eine Dauer von 3000 Millisekunden. Der Satz begann unmittelbar mit dem Ende der Bewegung. Das Standbild, in dem die Videos endeten, war während der Präsentation des Videos und des darauffolgenden ISI von

3000 Millisekunden zu sehen. Im Anschluss zeigte der graue Bildschirm den Beginn eines neuen Trials an. Die Struktur der Trials in RT-Experiment 2 ist in Abbildung 17 dargestellt. Die Stimuli hatten eine mittlere Dauer von 8837.5 Millisekunden ($SD = \pm 882.6$ ms). Der im Vergleich zu RT-Experiment 1 veränderte Aufbau der Stimuli ermöglichte es, das Intervall zwischen dem Bewegungs-Offset und dem Verb-Onset weitestgehend zu verkürzen, sodass mögliche Priming-Effekte stärker messbar wären.

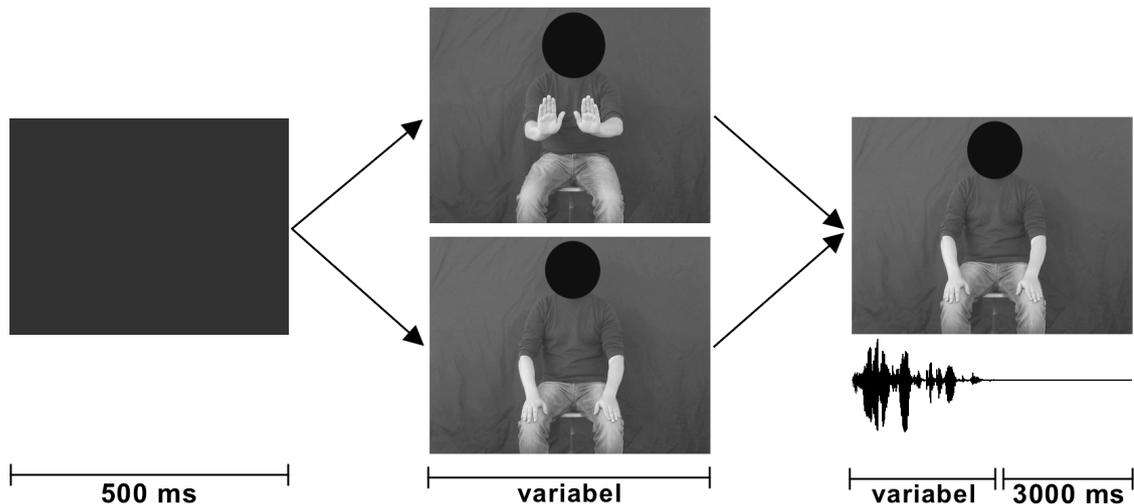


Abbildung 17: Aufbau der Trials in RT-Experiment 2. Der Beginn eines Trials wurde durch einen grauen Bildschirm signalisiert, der für 500 ms eingeblendet wurde. Im Anschluss begann das Video, das in einem Standbild endete. Direkt mit dem Ende der Bewegung, bzw. nach 3000 ms im Fall des stillen Videos, begann der auditiv präsentierte Satz. Im Unterschied zum ersten RT-Experiment wurde die Sinnhaftigkeitsentscheidung von den VPN per Fußpedal indiziert.

4.3.2.4 Datenanalyse

Die RTs wurden vom Verb-Onset an gemessen. Zwei VPN wurden von der Analyse ausgeschlossen, da ihre Fehlerquote hinsichtlich der Sinnhaftigkeitsentscheidung mehr als zwei SD von der mittleren Fehlerquote abwich. Die mittlere Fehlerquote lag bei 6.9 %. Subjekt- und Itemanalysen hatten keinen Ausschluss weiterer VPN oder Stimuli zur Folge. Bei der Subjektanalyse lag Cronach's α bei 0.894 mit einem signifikanten entsprechenden F -Test ($F(146, 4263) = 69.9, MSE = 923062.317, p < .001$). In der Itemanalyse hatte Cronbach's α einen Wert von 0.983 mit $F(29, 4380) = 12.7, MSE = 5646603.35, p < .001$. Zwölf Items wurden dennoch aus der Analyse ausgeschlossen, da ihre Fehlerquote die mittlere Fehlerquote um zwei SD übertraf (sechs AB- und sechs A-Items). Da die Tests auf Normalverteilung anzeigten, dass die Normalverteilungskriterien in drei von neun Kategorien nicht zutrafen, wurde eine Outlierkorrektur anhand von Boxplotanalysen vorgenommen. Neun einzelne Fälle wurden in der Folge vom Datenset ausgeschlossen, was ca. 0.2 % aller gültigen Antworten auf sinnvolle Stimuli entsprach.

Im Anschluss wurde eine zweifaktorielle $rmANOVA$ mit den Innersubjektfaktoren *Videotyp* (Level: kongruent, inkongruent, still) und *Satztyp* (Level: konkrete Bewegung,

abstrakte Bewegung, abstrakt) durchgeführt. Der Mauchly-Test zeigte einen Verstoß gegen die Annahme der Sphärizität für den Faktor *Satztyp*, $\chi^2(2) = 19.3, p < .001$ und die Interaktion zwischen Satz- und Videotyp, $\chi^2(9) = 22.7, p < .01$. Demzufolge wurden die Freiheitsgrade für den Faktor *Satztyp* ($\epsilon = .7$) entsprechend der Greenhouse-Geisser Korrektur und für die Interaktion ($\epsilon = .8$) entsprechend der Huynh-Feldt Korrektur angepasst.

Die Ergebnisse der statistischen Analyse zeigten einen signifikanten Haupteffekt des Satztyps, $F(1.3, 38.7) = 67.9, MSE = 17720.073, p < .001$, einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Videotyp*, $F(2, 58) = 6, MSE = 9697.824, p < .01$, und eine signifikante Interaktion zwischen den beiden Faktoren, $F(3.7, 107.8) = 3.5, MSE = 7571.439, p < .05$. In Bezug auf die Haupteffekte unterschieden sich die RTs auf alle Satztypen signifikant voneinander. Mit abnehmender Konkretetheit nahmen die RTs zu (KB: $M = 953.9$ ms; AB: $M = 1064.2$ ms; A: $M = 1162.4$ ms). Die RTs, die auf kongruente und inkongruente Bewegungsprimen folgten, waren insgesamt signifikant kürzer als die RTs, die auf die stillen Primen folgten (kongruent: $M = 1027.2$ ms; inkongruent: $M = 1033.3$ ms; still: $M = 1074.1$ ms). Die Ergebnisse der zur Überprüfung des Interaktionseffekts post-hoc durchgeführten paarweisen Vergleiche sind in Abbildung 18 wiedergegeben.

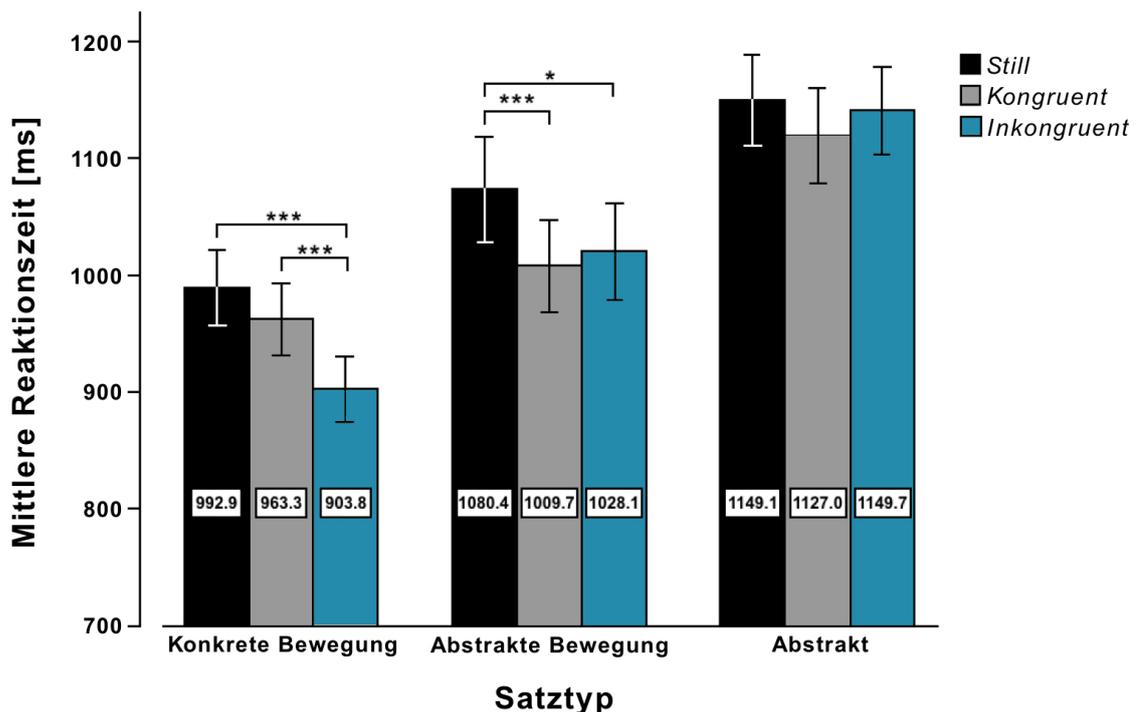


Abbildung 18: Mittlere RTs in Experiment 2 in ms für die verschiedenen Videotypen in Kombination mit den drei Satztypen. Während für die Stimuli mit Bewegungsverb signifikante RT-Unterschiede in Abhängigkeit des primenden Videos vorlagen, stellten sich keine vergleichbaren Effekte bei den abstrakten Kontrollstimuli ein. Die Klammern in der Abbildung stellen die signifikanten Differenzen dar (***) = $p < .001$; * = $p < .05$). Die Fehlerbalken repräsentieren den zweifachen SE des Mittelwerts.

Der relevanteste Effekt, der sich als Resultat aus RT-Experiment 2 ergab, war, dass die RTs auf KKB-Stimuli signifikant kürzer ausfielen als die RTs auf IKB- und SKB-Stimuli. Zwischen den zuletzt genannten Stimulustypen lag kein signifikanter RT-Unterschied vor. Bei den abstrakten Bewegungssätzen verhielt es sich etwas anders. Die Reaktionen auf die KAB-Items waren zwar signifikant schneller als auf SAB-Items, doch bestand kein RT-Unterschied zwischen den KAB- und den IAB-Items. Bei den abstrakten Kontrollsätzen lagen keine Unterschiede zwischen den Videobedingungen vor.

4.3.2.5 Diskussion

Wie im ersten RT-Experiment zeigt sich auch in RT-Experiment 2 ein Haupteffekt des Satztyps. Die VPN trafen schneller eine Sinnhaftigkeitsentscheidung, wenn sie einen KB- als wenn sie einen AB-Satz hörten und entschieden sich auch schneller bei AB- als bei A-Stimuli, was einem Konkretheitseffekt entspricht. Ebenfalls zeigt sich damit erneut ein Verarbeitungsvorteil für die abstrakten Sätze, die ein Bewegungsverb enthielten gegenüber den abstrakten Kontrollsätzen. Ein zusätzliches Ergebnis ist der Haupteffekt des Faktors *Videotyp*, der im ersten RT-Experiment nicht deutlich wurde. Die Probanden entschieden sich hinsichtlich der Sinnhaftigkeit eines Satzes im Vergleich zu der stillen Kontrollbedingung schneller, nachdem sie eine Bewegung ausgeführt hatten, unabhängig davon, ob diese kongruent oder inkongruent zu dem darauffolgenden Bewegungsverb war. Dieser Kompatibilitätseffekt zeigt sich allerdings nicht gleichermaßen für alle Satztypen, wie der Interaktionseffekt belegt. Der Einfluss der Bewegung liegt lediglich für die KB- und die AB-Items vor, nicht aber für die abstrakten Kontrollsätze. Demzufolge ist der Kompatibilitätseffekt abhängig davon, ob die präsentierten Sätze ein Bewegungsverb enthielten oder nicht. Dieses Ergebnis indiziert, dass die Ausführung einer Bewegung und die Verarbeitung sowohl konkreter als auch abstrakter bewegungsbezogener Sprachinhalte wenigstens zu einem gewissen Teil neuronale Substrate teilen und dass das Priming zwischen den zwei Modalitäten möglich ist. Weiterhin wurde die Verarbeitung von KB- und AB-Stimuli unterschiedlich von der Art der ausgeführten Bewegung beeinflusst. In den Fällen, in denen die Probanden eine kongruente Bewegung vor einem KB-Satz ausführten, wurde die Sinnhaftigkeitsentscheidung schneller gefällt, als wenn eine inkongruente oder keine Bewegung ausgeführt wurde. Das Priming durch eine inkongruente Bewegung hatte keinen vergleichbaren Effekt auf die konkreten Items. Im Gegensatz dazu erleichterten sowohl die kongruenten als auch die inkongruenten Bewegungen die Sinnhaftigkeitsentscheidungen bei den abstrakten Bewegungssätzen im Gegensatz zu den Fällen, in denen keine Bewegung ausgeführt wurde. Die neuronalen Substrate, die an der Verarbeitung der Bewegungsausführung beteiligt sind, scheinen demnach auf unterschiedliche Weise oder in unterschiedlicher Intensität an der Verarbeitung konkreter im Vergleich zu abstrakter bewegungsbezogener Sprache beteiligt zu sein.

Dass sich im Vergleich zum ersten RT-Experiment sowohl ein Haupteffekt des Faktors *Videotyp* als auch ein Interaktionseffekt einstellte, spiegelt die erfolgreiche Überarbeitung des Trial-Aufbaus sowie die Relevanz der Ergänzung um eine stille Baseline-Bedingung wider. Die Methode der RT-Erhebung wurde geändert: Im zweiten Experiment zeigten die VPN ihre Sinnhaftigkeitsentscheidung mit dem Fuß statt mit der Hand an, sodass eine mögliche Interferenz zwischen der Verarbeitung eines handbezogenen motorischen Verbs und der motorischen Repräsentation der zur Reaktion erforderlichen Handbewegung vermieden wurde. Weiterhin wurde das Zeitintervall zwischen dem Bewegungs-Offset und dem Verb-Onset so weit wie möglich verringert, um die Wirkung eines möglichen Priming-Effekts zu verstärken. Die Ergänzung um eine stille Video-Bedingung ermöglicht außerdem den Vergleich zwischen Reaktionen auf verschiedene Bewegungsarten und eine neutrale Baseline, sodass die Kompatibilitätseffekte deutlicher hervortreten.

4.3.3 Reaktionszeit gehörloser Gebärdensprecher/Innen

4.3.3.1 Versuchspersonen

25 gehörlose Gebärdensprecher/Innen mit ASL als Muttersprache (13 weiblich, 12 männlich) nahmen an dem dritten RT-Experiment teil. Sie wurden über die VPN-Datenbank des *Laboratory for Language and Cognitive Neuroscience* der San Diego State University (USA) rekrutiert. Sie stimmten der Veröffentlichung der anonymisierten Daten und der Studie schriftlich zu. Das Durchschnittsalter der VPN lag bei 31.3 Jahren ($SD = \pm 6.4$). Seit einem mittleren Alter von 0.2 Jahren ($SD = \pm 0.6$) waren die VPN gehörlos und hatten in einem mittleren Alter von 0.8 Jahren ($SD = \pm 1.9$) begonnen, ASL zu lernen (L1). Sie hatten geschriebenes Englisch als Zweitsprache (L2). Auf einer Likertskala von 1 bis 7, wobei 7 muttersprachlichen Kenntnissen entsprach, gaben sie für das geschriebene Englisch einen mittleren Kenntnisstand von 6.4 ($SD = \pm 0.6$) an. Zwei der VPN waren nach eigener Angabe linkshändig, die übrigen 23 waren rechtshändig.

4.3.3.2 Stimuli

Jeder Trial enthielt ein Video-Prime in ASL und ein englisches schriftsprachliches metaphorisches Satztarget.

60 ikonische Verbgebärden wurden als kongruente Primes genutzt. Weiterhin dienten 60 Nomengebärden als inkongruente Primes. Gemeinsam mit einer gehörlosen muttersprachlichen ASL-Gebärdenden wurden die Primes per Videoaufnahme festgehalten. Aus dem fortlaufenden Video wurden die einzelnen Gebärden so freigestellt, dass vor und nach der Gebärde fünf Frames im Clip eingeschlossen waren. Als Kontrollbedingung diente ein Videoclip, in dem die Person keine Gebärde ausführte, sondern lediglich still saß. 60 bewegungsbezogene Metaphern des Englischen wurden als

Targets präsentiert. Bei 30 Metaphern verstieß das Übersetzungsäquivalent in ASL gegen den DMC. Das heißt, die Metaphern ließen sich nicht über eine 1:1-Übersetzung in ASL ausdrücken (NoMap Bedingung, „*The acid ate the iron key.*“). Die Übersetzungsäquivalente der übrigen 30 Metaphern waren konform mit dem DMC, sie ließen sich also 1:1 vom Englischen in ASL übersetzen (Map Bedingung, „*The acid nibbled at the metal.*“). Eine Liste des präsentierten Stimulusmaterials findet sich in Anhang B.

Innerhalb der Trials wurde zunächst die zum englischen Bewegungsverb in der Metapher kongruente ikonische Verbgebärde in ASL präsentiert. Im Anschluss folgte die Präsentation der entsprechenden Metapher. Alle Metaphern wurden darüber hinaus mit einem inkongruenten Nomen-Prime und einem stillen Video-Prime kombiniert. Zusätzlich zu den kritischen Trials wurden Trials erstellt, in denen semantisch und syntaktisch inkongruente, also sinnfreie, Distraktorsätze präsentiert wurden. In den Trials, in denen die Distraktorsätze als Targets präsentiert wurden, dienten ebenfalls Nomengebärden als Primes. Diese waren in zehn Fällen kongruent zu einem im Distraktorsatz enthaltenen englischen Nomen und in zehn Fällen wiesen sie keinerlei Bezug zu den Wörtern im englischen Satz auf.

4.3.3.3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsteilnehmer wurden einer von drei Gruppen zugeteilt, da keine Person eine Metapher mehrfach, in Kombination mit unterschiedlichen Prime-Videos, präsentiert bekommen sollte. Die Gruppen in dem so balancierten Design unterschieden sich also lediglich dahingehend, dass beispielsweise die Metapher „*The acid ate the iron key.*“ in Gruppe 1 mit einem kongruenten, in Gruppe 2 mit einem inkongruenten und in Gruppe 3 mit einem stillen Prime-Video präsentiert wurde. Die Verteilung der verschiedenen Kombinationen war in allen Gruppen ausgeglichen, sodass alle VPN die gleiche Anzahl aller Stimulustypen präsentiert bekamen.

Nach der Einführung in das Experiment nahmen die Probanden an einem Schreibtisch vor einem Computerbildschirm Platz. Der Schreibtisch stand in einem separaten Experimentalraum. Störende Einflüsse von außen wurden so weitestgehend abgeschirmt. Zusätzlich zu dem Bildschirm befand sich eine USB-Tastatur auf dem Schreibtisch, über welche die RTs der VPN erhoben wurden. Die Probanden wurden instruiert, die Zeigefinger der rechten und linken Hand über den Tasten *j* und *f* zu positionieren. Bei der Hälfte der VPN entsprach die Taste *j* der Entscheidung *sinnhaft*, bei der anderen Hälfte der Entscheidung *sinnfrei*. Das Experiment wurde über die Software Psyscope X (Build 77) unter Mac OS X (Version 10.8.5) präsentiert. Jeder Trial umschloss drei Sequenzen. In der ersten Sequenz wurde für die Dauer von 1000 Millisekunden ein Fixationskreuz vor einem weißen Hintergrund eingeblendet, das den VPN den Beginn eines neuen Trials signalisierte. In der zweiten Sequenz wurde das Prime-Video präsentiert, das entweder eine kongruente, eine inkongruente oder keine

Gebärde zeigte. In der dritten Sequenz erschien visuell die englische Metapher auf dem Bildschirm. Die Aufgabe der VPN war es, eine Sinnhaftigkeitsentscheidung zu fällen. Sie sollten beurteilen, ob der Satz, den sie gelesen hatten, sinnhaft oder sinnfrei war und ihre Antwort über die beiden relevanten Tasten der Tastatur so schnell und so akkurat wie möglich anzeigen. Der nächste Trial begann, sobald die Probanden eine Taste gedrückt hatten oder nach einem Time-Out von 5000 Millisekunden. Abbildung 19 zeigt den Ablauf eines Trials.

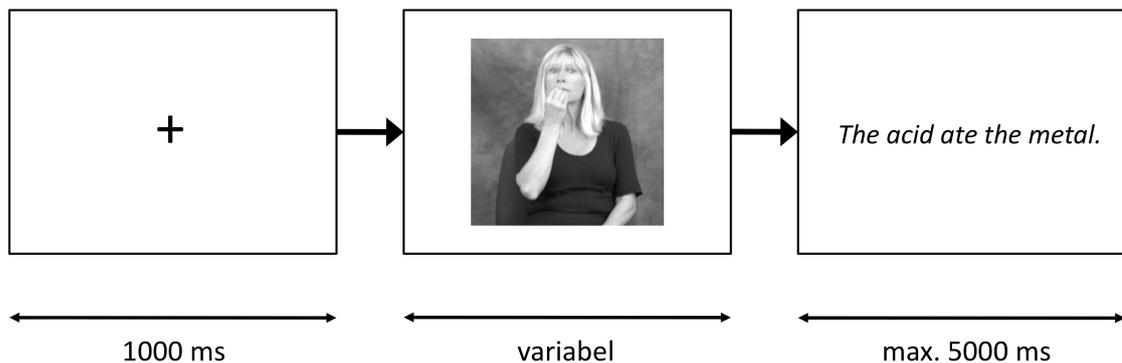


Abbildung 19: Design der Trials im dritten RT-Experiment. Nach der Präsentation eines Fixationskreuzes für 1000 ms wurde das Video-Prime abgespielt. Direkt im Anschluss erschien die Metapher auf dem Bildschirm und die VPN trafen die Sinnhaftigkeitsentscheidung. Nach dem Betätigen einer Taste oder nach maximal 5000 ms begann der nächste Trial (Schaller et al. 2016).

4.3.3.4 Datenanalyse

Die statistische Analyse wurde mit SPSS 22 auf Mac OS X (Version 10.11.5) durchgeführt. Die RTs wurden ab dem Moment gemessen, in dem die Metapher auf dem Bildschirm erschien, umschlossen also auch die Lesezeit. Ein Teilnehmer wurde von der Analyse ausgeschlossen, da seine Fehlerrate bei über 50 % lag, womit nicht sichergestellt werden konnte, dass ihm die Aufgabenstellung deutlich war und die Metaphern korrekt verstanden wurden. Die mittlere Fehlerrate für die Sinnhaftigkeitsentscheidung lag bei 5.4 %. Für jede der sechs Kategorien, die sich über die möglichen Kombinationen aus Video- und Metapherentyp ergaben, wurden die RTs über VPN gemittelt und die Normalverteilung anhand einer Boxplotanalyse überprüft. Ergab sich dabei, dass die Daten nicht normalverteilt waren, wurde über die ungemittelten Daten der jeweiligen Kategorie eine erneute Boxplotanalyse durchgeführt und Extremwerte von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Der Anteil der Extremwerte an den gültigen RTs belief sich auf 3.3 %.

Im Anschluss an die Überprüfung der Normalverteilung wurden 3 (Videotyp) x 2 (Metapherentyp) F_1 - und F_2 -relatierte rmANOVAs durchgeführt. Bei der F_1 -Analyse ergaben sich keine Haupteffekte für die Faktoren *Videotyp* und *Metapherentyp* aber ein signifikanter Interaktionseffekt der beiden Faktoren mit $F(2, 44) = 15.203, p < .001$. Post-hoc durchgeführt t -Tests für gepaarte Stichproben ergaben signifikante RT-Differenzen zwischen allen Videobedingungen bei den Metaphern, die konform zum DMC

waren. Die Probanden trafen im Vergleich zu der stillen Videobedingung ($M = 1784.2$ ms, $SD = \pm 515.6$ ms) schneller eine Sinnhaftigkeitsentscheidung, wenn der Metapher ein Video-Prime vorausging, das eine Gebärde zeigte. Dieser Effekt stellte sich sowohl für kongruente ($M = 1534.5$ ms, $SD = \pm 440.1$ ms) als auch inkongruente Gebärden ein ($M = 1656.4$ ms, $SD = \pm 429.0$ ms). Allerdings waren die RTs signifikant kürzer, wenn der Metapher eine kongruente Verbgebärde im Vergleich zu einer inkongruenten Nomengebärde vorausging. Bei den Metaphern, die gegen den DMC verstießen, zeigte sich kein signifikanter RT-Unterschied zwischen den Videobedingungen *still* ($M = 1643.3$ ms, $SD = \pm 474.5$ ms) und *inkongruent* ($M = 1645.7$ ms, $SD = \pm 486.1$ ms). Hervorzuheben ist, dass sich die RTs der Probanden im Vergleich zu der stillen Videobedingung signifikant verlängerten, nachdem sie eine kongruente Verbgebärde als Prime gesehen hatten ($M = 1768.3$ ms, $SD = \pm 538.6$ ms). Abbildung 20.1 zeigt die Werteverteilung der RTs für die F_1 -Analyse. In der F_2 -Analyse fielen die Mittelwerte für die einzelnen Kategorien etwas geringer aus, wie in Abbildung 20.2 deutlich wird. Für die zum DMC konformen Metaphern zeigten sich kürzere RTs, wenn der Metapher eine kongruente oder eine inkongruente Gebärde als Prime vorausging, als wenn das Prime-Video keine Gebärde zeigte. Zwischen den Trials, in denen kongruente oder inkongruente Video-Primes präsentiert wurden, ergaben sich keine signifikanten RT-Unterschiede, die Tendenz ging aber ebenfalls zu kürzeren RTs in Folge der kongruenten Video-Primes. Bei den Metaphern, die gegen den DMC verstießen, ergaben sich in der F_2 -Analyse keinerlei signifikante Differenzen, auch wenn sich eine den Ergebnissen der F_1 -Analyse entsprechende Tendenz in den Daten abzeichnete.

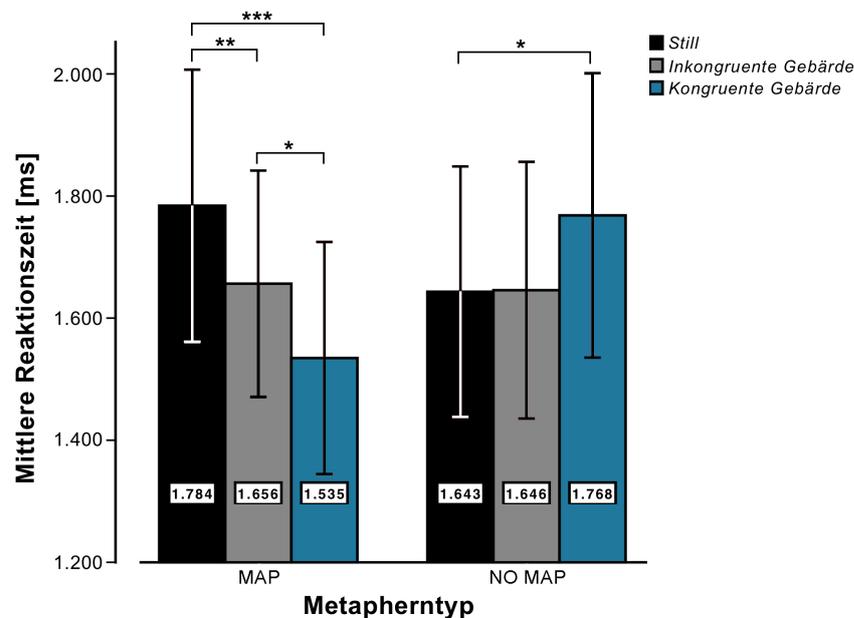


Abbildung 20.1: Ergebnisse der F_1 -Analyse im dritten RT-Experiment. Während sich bei den zum DMC konformen Metaphern (Map) signifikant kürzere RTs nach einem kongruenten als nach einem stillen Video-Prime zeigten, ergab sich bei den gegen den DMC verstößenden Metaphern das entgegengesetzte Muster. Die Klammern zeigen das Signifikanzniveau der RT-Differenzen (*** = $p < .001$, ** = $p < .01$, * = $p < .05$). Die Fehlerbalken repräsentieren den SE des Mittelwerts.

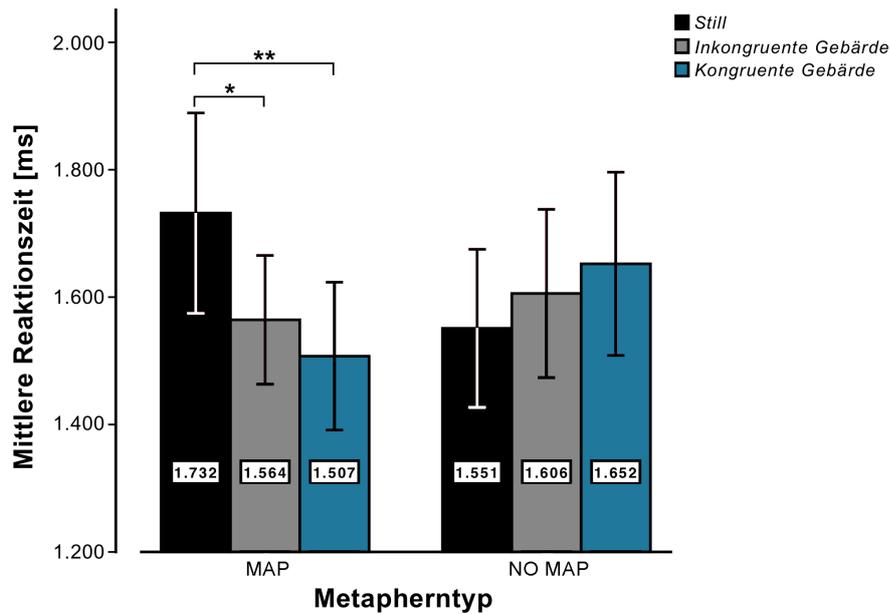


Abbildung 20.2: Ergebnisse der F_2 -Analyse im dritten RT-Experiment. Es ergaben sich lediglich signifikante RT-Differenzen für die zum DMC konformen Metaphern, wie die Klammern wiedergeben (** = $p < .01$, * = $p < .05$). Die Fehlerbalken repräsentieren den SE des Mittelwerts.

4.3.3.5 Diskussion

Im Rahmen des dritten RT-Experiments wurde geprüft, ob sich bei Sprechern einer Gebärdensprache, deren Kommunikation visuell-manuell erfolgt, Hinweise auf eine Beteiligung sensomotorischer Kortexareale bei der Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache finden ließen. Diese Frage ist dahingehend interessant, als dass der semantische Inhalt einer Gebärde allein aufgrund des Kommunikationskanals auf viel direktere Weise mit motorischen Repräsentationen verknüpft ist als der semantische Inhalt eines Wortes. Ikonische Verbgebärden, wie sie in dem dritten RT-Experiment als Stimulusmaterial genutzt wurden, setzen sich aus dem rein semantischen Inhalt und der direkten motorischen Repräsentation der entsprechenden Bewegung zusammen. Doch inwiefern ist diese motorische Repräsentation im Sinne der Embodimenttheorie für die Verarbeitung der Gebärde relevant? Weiterhin geben die erhobenen Daten Aufschluss darüber, inwiefern die Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache in einer L2 durch Kenntnisse in der L1 beeinflusst wird. Die Ergebnisse zeigen in der F_1 -Analyse einen signifikanten Interaktionseffekt der Faktoren *Videotyp* und *Metapherotyp*. Während sich bei Metaphern, die im Englischen und in der ASL Übersetzungsäquivalente darstellen und somit dem DMC entsprechen, ein Verarbeitungsvorteil nach kongruenten Prime-Videos einstellte, kehrte sich dieser Effekt bei Metaphern um, die im Englischen und in der ASL keine Übersetzungsäquivalente darstellen und somit dem DMC widersprechen. Sahen die Probanden beispielsweise die ikonische Verbgebärde NIBBLE, bevor sie die Metapher „*The acid nibbled at the metal.*“ lasen, wirkte sich die Gebärde positiv auf den Verstehensprozess der Metapher aus. Dieser Effekt lässt sich primär damit erklären, dass die ASL-Gebärde das englische Verb in der Metapher auf

lexikalischer Ebene primte, sodass sich die Verarbeitungszeit im Vergleich zu einem stillen Video-Prime verkürzte. Es ergab sich allerdings auch, dass eine inkongruente, also zum Inhalt der Metapher in keinerlei Beziehung zu setzende, Nomengebärde die Verarbeitungszeit für die nachfolgende Metapher verkürzte. Dies lässt sich nicht auf den semantischen Inhalt der Gebärde zurückführen, da dieser nicht in der Metapher enthalten war. Möglicherweise wirkte sich die durch die Beobachtung der Gebärde aktivierte motorische Repräsentation positiv auf die Verarbeitungszeit aus. Die Person im Video gebärdete mit Armen und Händen. Ein überwiegender Teil der Metaphern enthielt Verben, die eine Bewegung der Arme und Hände beschrieben. Wurde während der Verarbeitung der Metapher auf eine motorische Repräsentation der Arme und Hände zugegriffen, ergab sich der Verarbeitungsvorteil eventuell durch die vorausgegangene Beobachtung der Gebärde und die dadurch bestehende Voraktivierung der motorischen Repräsentation. Secora und Emmorey (2014) stellten bereits fest, dass das kortikale motorische System an der Verarbeitung von Gebärdensprache ebenso beteiligt sein müsse, wie bei der Verarbeitung von gesprochener Sprache. Sie replizierten den ACE bei gehörlosen Sprechern der ASL. Die Probanden trafen eine Sinnhaftigkeitsentscheidung bei gebärdeten Sätzen, die eine Bewegung zum Körper hin oder vom Körper weg implizierten. Unbeeinflusst davon, dass Gebärdensprecher/Innen eine Bewegung zu ihrem eigenen Körper hin als Bewegung weg vom Rezipienten betrachten, stellte sich der bekannte ACE ein (Secora & Emmorey 2014). Bemerkenswert an den Ergebnissen des dritten RT-Experiments ist, dass der beschriebene Effekt für die Map-Metaphern mit den im zweiten RT-Experiment erhobenen Daten übereinstimmt. Die VPN zeigten auch in dem zweiten RT-Experiment Verarbeitungsvorteile für bewegungsbezogene Metaphern, nachdem sie ein kongruentes oder inkongruentes motorisches Video-Prime im Gegensatz zu einem stillen gesehen hatten. Dem im dritten RT-Experiment festgestellten Effekt könnten also die gleichen Mechanismen zugrunde liegen, wie dem im zweiten Experiment diskutierten Effekt. Dass wenige andere Erklärungen herangezogen werden können, zeigen die Ergebnisse für die NoMap-Metaphern. Die F_1 -Analyse ergab keinen signifikanten RT-Unterschied auf Metaphern, denen ein stilles oder ein inkongruentes Video-Prime vorausgegangen war. Dieses Resultat belegt, dass es nicht die Beobachtung einer Gebärde per se sein kann, die sich positiv auf die Verarbeitung der Metaphern auswirkte. Vielmehr ist der semantische und/oder motorische Inhalt der Gebärde für das Auftreten eines Kompatibilitätseffekts entscheidend. Der Vergleich der RTs auf Metaphern, denen ein stilles oder ein kongruentes Video-Prime vorausging, ergab einen signifikanten Unterschied. Die Probanden reagierten im Vergleich zu der Kontrollbedingung ohne Gebärde langsamer, nachdem beispielsweise der Metapher „*The acid ate the metal.*“ die Verbgebärde EAT vorausgegangen war. Dieser Interferenzeffekt ist auf den Verstoß gegen den DMC zurückzuführen. Die Verbgebärde EAT erfüllt nicht die Voraussetzungen, die der DMC hinsichtlich der Verwendung ikonischer Gebärden in metaphorischen Kontexten vorschreibt. Dementsprechend

kann EAT in ASL nicht in einen metaphorischen Kontext eingebettet werden. In der englischen Metapher „*The acid ate the metal.*“ war dies aber der Fall. Die VPN zeigten sich sensitiv gegenüber diesem Verstoß, was dafür spricht, dass sie während der Verarbeitung der Metapher in ihrer L2 auf Kenntnisse über ihre L1 zurückgriffen. Dieses Resultat unterstützt die Annahme, dass sich die neuronalen Netzwerke, welche die sprachliche Dekodierung und Enkodierung verarbeiten, unabhängig von der Modalität des Kommunikationskanals ausbilden. Sie sind also für gehörlose Sprecher einer Gebärdensprache und für hörende Sprecher einer gesprochenen Sprache identisch oder überlappen (Piñar et al. 2011). Darüber hinaus fügen sie sich in den Kontext weiterer Forschungsergebnisse ein, die belegen, dass bilinguale Gebärdensprecher/Innen während der Verarbeitung von Sprachsignalen in einer Sprache die neuronalen Netzwerke für beide Sprachen aktivieren (Thierry & Wu 2007, Emmorey et al. 2008). Vor dem Hintergrund, dass die VPN in dem hier vorgestellten Experiment sehr gute Englischkenntnisse aufwiesen, ist dies insofern interessant, als dass Modelle zur Entwicklung der neuronalen Netzwerke einer L2 teilweise postulierten, ein Rückgriff auf Übersetzungsäquivalente in der L1 erfolge lediglich in frühen Stadien des L2-Erwerbs, wohingegen die L2 in einem späteren Stadium ohne Zugriff auf Repräsentationen der L1 verarbeitet würde (Morford et al. 2011). Morford et al. (2011) konnten zeigen, dass gehörlose Gebärdensprecher/Innen der ASL mit Englisch als Zweitsprache auf die ASL-Übersetzungsäquivalente gelesener Wörter im Englischen zugriffen, wenn die entsprechende ASL-Gebärde nicht zeitgleich präsentiert wurde und der Zugriff auf die Gebärde nicht notwendig für die Erfüllung der gestellten Aufgabe war. Sie präsentierten ihren Versuchsteilnehmern semantisch verwandte und semantisch nicht verwandte englische Wortpaare. Die Übersetzungsäquivalente der beiden englischen Wörter in ASL waren entweder phonologisch verwandt und stimmten in mindestens zwei formbezogenen Merkmalen überein oder waren phonologisch nicht verwandt. Aufgabe für die Probanden war es, durch einen Tastendruck kenntlich zu machen, ob die englischen Wortpaare semantisch verwandt waren oder nicht. Morford et al. (2011) schilderten, dass die Probanden die englischen Wortpaare, deren ASL-Äquivalente sich phonologisch nah standen, schneller als semantisch relatiert bewertet hätten, als Wortpaare, deren ASL-Äquivalente phonologisch weiter voneinander entfernt waren. Bei den semantisch unrelatierten englischen Wortpaaren hätte sich gezeigt, dass es den VPN schwerer fiel, diese als unrelatiert zu bewerten, wenn die phonologische Struktur der entsprechenden ASL-Gebärden nah beieinander lag, als wenn die ASL-Gebärden phonologisch nicht verwandt waren. Morford et al. (2011) interpretierten ihre Ergebnisse ebenfalls damit, dass die ASL-Sprecher auf Repräsentationen ihrer L1 zugegriffen hätten, während sie Inhalte in der L2 verarbeiteten. Als mögliche Erklärung gaben sie die Art und Weise an, mit der Gebärdensprecher/Innen ihre L1 erlernten. Dies erfolge häufig über die geschriebene L2. Es würden also geschriebene Wörter in der L2 genutzt, um Gebärden in der L1 zu vermitteln. Diese gleichzeitige Aktivierung der Repräsentation

tionen in beiden Sprachen könnte dazu führen, dass die Verknüpfungen sehr viel stärker ausgeprägt sind als bei Sprechern gesprochener Sprachen. Auch die Modalität des Kommunikationskanals wurde als mögliche Erklärung angegeben. Dadurch, dass die Kommunikation in der L1 in einer anderen Modalität erfolge als in der L2, könnten inhibitorische Mechanismen in ihrer Wirkung reduziert sein. Bilinguale in zwei gesprochenen Sprachen müssten die zum augenblicklichen Zeitpunkt nicht angewandte Sprache unterdrücken, um adäquat in der anderen Sprache kommunizieren zu können. Erfolgt die Kommunikation jedoch auf zwei Kommunikationskanälen, müssten die Inhibitionsmechanismen nicht vergleichbar stark greifen (Morford et al. 2011).

Die im Rahmen des dritten RT-Experiments festgehaltenen Ergebnisse sprechen in erster Linie dafür, dass gehörlose Sprecher der ASL bei der Verarbeitung von Metaphern in ihrer L2 auf Kenntnisse aus ihrer L1 zurückgreifen. Mit dem Verarbeitungsprozess muss also ein Übersetzungsvorgang in die Muttersprache einhergehen. Weiterhin lassen die Resultate bezüglich der Map-Metaphern den Schluss zu, dass Gebärdensprecher/Innen bei der Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache neben den lexikalischen Repräsentationen auch auf motorische Repräsentationen der Gebärde zugreifen, welche die Dekodierung des Sprachsignals unterstützen. Es muss allerdings an dieser Stelle betont werden, dass die F₂-Analyse nur eingeschränkt dieselben Ergebnisse erbrachte. Eine Replikation der Studie oder die Einbeziehung weiterer VPN in die Analyse wäre daher sinnvoll, um eindeutigere Resultate erzielen zu können.

4.3.4 Zusammenfassende Diskussion

Die hier durchgeführten RT-Experimente konzentrierten sich darauf, mentale motorische Prozesse während der Bedeutungskonstitution von bewegungsbezogenen Verben in abstrakten Kontexten zu analysieren. Dazu wurden drei Experimente durchgeführt, in denen kortikale motorische Areale anhand eines motorischen Priming-Paradigmas geprimt wurden. Zwei Aspekte hinsichtlich der Interpretation von Daten, die anhand dieser Methode erhoben werden, sollen an dieser Stelle diskutiert werden. Der erste Aspekt umschließt die Frage, ob die beobachteten Effekte allein auf einen lexikalischen anstelle eines motorischen Priming-Effekts zurückgehen könnten. In einigen früheren motorischen Primingstudien wurden ikonische oder symbolische Bildzeichen genutzt, um die Ausführung einer Bewegung zu elizitieren. Die teilnehmenden VPN lernten im Voraus, welches Bildzeichen für welche Bewegung stand. Auf diese Weise sollte ein lexikalischer Priming-Effekt vermieden werden (Klatzky et al. 1989, Wilson & Gibbs 2007). Es besteht aber eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass die Probanden in den Trainingsphasen eine verbale Umschreibung für die von ihnen ausgeführte Bewegung entwickelten, etwa in der Form: „Das Bildzeichen X bedeutet, dass ich meine Finger beugen muss, als würde ich etwas greifen.“ Während des Hauptexperiments könnte eine solche Umschreibung die Bewegung auf lexikalischer Ebene geprimt haben, sodass die beobachteten Effekte nicht auf eine Voraktivierung motorischer, sondern sprachbezo-

gener Areale im Gehirn zurückgehen würden. In den hier durchgeführten ersten beiden RT-Experimenten sollte dieses Problem umgangen werden, indem a) keine ikonischen oder symbolischen Bildzeichen genutzt und die VPN vor dem Hauptexperiment nicht trainiert wurden und b) den Probanden nicht ausreichend Zeit gegeben wurde, bewusst über die Bewegung nachzudenken, die sie ausführten. Die vorliegenden Ergebnisse sprechen dafür, dass die hier genutzte Art des motorischen Primings erfolgreich war. Im ersten Experiment konnten keine RT-Unterschiede zwischen der prototypischen und der inkongruenten Bewegungsbedingung beobachtet werden, was den Schluss zulässt, dass die Beobachtung und Ausführung der hier genutzten Bewegungen nicht zu einem Priming der lexikalischen Repräsentation des Bewegungsverbs führten. Da das Zeitintervall zwischen dem Bewegungs-Offset und dem Verb-Onset im ersten RT-Experiment lang war, sollten die entsprechenden Ergebnisse allerdings mit Vorsicht interpretiert werden. In RT-Experiment 2 trat jedoch der Fall ein, dass auch die inkongruenten Bewegungen das Verstehen der Bewegungsverbren in abstrakten Kontexten erleichterten. Dies kann kein Effekt lexikalischen Primings sein und spricht weiterhin für den Erfolg der hier angewandten motorischen Priming-Methode. In RT-Experiment 3 war das lexikalische Priming Teil des Experimentdesigns, weshalb es nicht umgangen werden musste.

Der zweite Aspekt, der im Zusammenhang mit motorischen Priming-Experimenten diskutiert werden sollte, ist, ob die beobachteten Effekte auf eine erhöhte Aufmerksamkeit in Folge der Bewegungsausführung zurückgeführt werden, also unabhängig von der semantischen Bedeutung der Bewegung auftreten könnten. Die hier vorliegenden Daten sprechen nicht für ein solches Argument. In Experiment 2 hatten lediglich die prototypischen Bewegungen einen erleichternden Einfluss auf die Verarbeitung von KB-Stimuli. Zusätzlich wurden die RTs auf A-Items nicht davon beeinflusst, ob eine Bewegung vor dem Hören des Satzes ausgeführt wurde oder nicht. Aus diesen Resultaten lässt sich ableiten, dass der beobachtete Kompatibilitätseffekt nicht auf ein höheres Maß an Aufmerksamkeit in Folge der Bewegungsausführung zurückzuführen ist, sondern zumindest im Fall der konkreten Sätze eine Kongruenz zwischen dem semantischen Inhalt der Bewegung und dem des Verbs vorliegen muss (Bergen et al. 2003, Schaller et al. 2015). Im dritten RT-Experiment zeigte sich für die NoMap-Metaphern im Vergleich zu einem stillen Prime-Video ebenfalls kein Einfluss der inkongruenten Video-Primes. Das spricht dafür, dass auch in diesem Experiment die RT-Differenzen nicht auf ein höheres Maß an Aufmerksamkeit nach der Beobachtung einer Gebärde per se zurückzuführen sind, sondern der semantische und/oder motorische Inhalt von Relevanz für die geschilderten Resultate waren.

4.3.4.1 Einschränkungen bezüglich der Messung der Handreaktion

Im ersten RT-Experiment wurden die drei Satztypen KB, AB und A in Kombination mit den zwei Videotypen *kongruent* und *inkongruent* präsentiert. Es zeigte sich ein Haupt-

effekt des Satztyps, wobei sich die RTs auf alle drei Satztypen signifikant voneinander unterschieden. Die Probanden fällten die Sinnhaftigkeitsentscheidung schneller bei KB- als bei AB-Stimuli und schneller bei AB- als bei A-Items. Dieser wohlbekannte Konkretheitseffekt wird darauf zurückgeführt, dass bei der Verarbeitung konkreter Sprache ein größeres neuronales Netzwerk aktiviert ist als bei der Verarbeitung abstrakter Sprache. Entsprechende Nachweise wurden unter anderem in EEG-Studien gefunden. Dabei stellten sich stärkere Kohärenzeffekte bei der Verarbeitung von konkreten im Vergleich zu abstrakten Wörtern ein (Weiss & Rappelsberger 1998, Weiss & Müller 2003, 2013, Weiss et al. 2011b). fMRT-Studien unterstützen weiterhin die Annahme, dass visuelle Imaginationsprozesse und die Inanspruchnahme vieler verschiedener Bereiche (visuell, auditiv, taktil etc.) während der Verarbeitung konkreter Sprache sehr viel stärker ausgeprägt sind als während der Verarbeitung abstrakter Sprache (Jessen et al. 2000, Ghio & Tettamanti 2010, Weiss et al. 2011a). Der Unterschied zwischen den KB- und den nicht bewegungsbezogenen A-Stimuli indiziert einen Verarbeitungsvorteil für die abstrakten Sätze, die ein Bewegungsverb enthielten. Da sich die beiden Satztypen allein hinsichtlich des Verbs am Satzende unterschieden, muss der beobachtete Effekt auf Verarbeitungsunterschiede hinsichtlich des Verbs zurückzuführen sein. Dieser Verarbeitungsvorteil ließe sich mit einer Aktivierung motorischer Kortexareale und deren unterstützender Funktion bei der Verarbeitung der Wortbedeutung, sowohl in konkreten als auch in abstrakten Kontexten, erklären.

Hinsichtlich der Intensität oder der Art und Weise der Beteiligung des motorischen Systems an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache können anhand der Ergebnisse aus dem Experiment zur Messung der Handreaktion keine Rückschlüsse gezogen werden, da kein Haupteffekt für den Faktor *Videotyp* auftrat. Dies könnte auf das Design der Trials zurückgeführt werden. In früheren Studien konnte eine somatotope Aktivierung des motorischen Systems bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache festgestellt werden. In den motorischen Arealen, die handbezogene Aktivitäten steuern, war auch während der Verarbeitung handbezogener Bewegungsverben Aktivität messbar (Hauk et al. 2004, Pulvermüller et al. 2005, Boulenger et al. 2008a). Diesen Ergebnissen entsprechend wurden die Probanden in dem hier vorgestellten Experiment dazu aufgefordert, prototypische arm- und handbezogene Bewegungen auszuführen, um so die Verarbeitung entsprechender arm- und handbezogener Bewegungsverben zu primen. Nach der Ausführung der prototypischen Bewegung, die das Bewegungsverb primen sollte, führten die VPN allerdings noch eine weitere Bewegung aus, indem sie ihre Hand zur Maus bewegten. Möglicherweise löschte oder überschrieb diese Antwortbewegung die zuvor geprimte motorische Repräsentation in demselben motorischen Areal (Buccino et al. 2005, Klepp et al. 2014, Schaller et al. 2015). In der Konsequenz hätte ein solcher Effekt dazu geführt, dass kein Einfluss der Art der Bewegung messbar gewesen wäre, da jedem Satz die gleiche Bewegung vorausging, nämlich der zur Antworterhebung genutzte Mausklick. Für einen solchen Effekt spricht auch, dass bei-

spielsweise Bergen und Wheeler (2005) feststellten, dass das Primen einer Bewegung durch entsprechende bewegungsbezogene Sprache auf sehr detaillierter motorischer Ebene erfolgt, ebenso wie dies umgekehrt der Fall sein kann. Eine inkongruente Arm- und/oder Handbewegung, wie das in dem ersten RT-Experiment genutzte Antwort-Paradigma, könnte die Verarbeitung arm- und handbezogener Bewegungsverbren nicht erleichtern. Für einen solchen Effekt müssten der motorische und der verbale Stimulus den gleichen semantischen Inhalt teilen. Das Ergebnis aus Experiment 1 ist relevant für weitere Studien, in denen ein motorisches Priming-Paradigma genutzt werden soll. Es ist sinnvoll, dass der Effektor, mit dem die Antwort gegeben wird, nicht identisch ist mit dem sprachlich und motorisch semantisch relevanten Effektor. Eine andere Möglichkeit wäre es, Reaktionen sowohl anhand der oberen als auch der unteren Effektoren zu messen und die Ergebnisse zu vergleichen. Ein weiteres designbezogenes Problem könnte sich durch das längere Zeitintervall zwischen dem Bewegungs-Offset und dem Onset des Bewegungsverbs ergeben haben, das eine Dauer von ca. 2400 Millisekunden hatte. Dies ist ein wesentlich längeres Zeitintervall als beispielsweise in Studien, die den ACE analysierten oder Kompatibilitäts- vs. Interferenzeffekte in Abhängigkeit von der Reaktionslatenz untersuchten (Glenberg & Kaschak 2002, Borreggine & Kaschak 2006, de Vega et al. 2013). Nach einem solch langen Intervall könnte die Voraktivierung der motorischen Areale eventuell bereits zu stark abgenommen haben, als noch messbar gewesen zu sein.

4.3.4.2 Kompatibilität vs. Interferenz

Im Experiment zur Messung der Fußreaktion wurden die gleichen Satzstimuli wie im ersten Experiment mit den drei Videotypen *kongruent*, *inkongruent* und *still* kombiniert. Im Gegensatz zu dem Antwort-Paradigma bei der Messung der Handreaktion reagierten die Probanden in Experiment 2, indem sie mit dem Fuß ein Fußpedal betätigten. Die resultierenden Daten zeigten sowohl einen Haupteffekt für die Faktoren *Satztyp* und *Videotyp*, als auch einen Interaktionseffekt zwischen den beiden Faktoren. Für den Haupteffekt zum Faktor *Satztyp* treffen die gleichen Argumente zu wie im ersten Experiment. Der Haupteffekt des Faktors *Videotyp* könnte indizieren, dass die kortikalen motorischen Areale, die durch die Ausführung der Bewegung aktiviert wurden, für die Verarbeitung der sprachbezogenen Targets relevant waren, die direkt im Anschluss präsentiert wurden. Das Ergebnis aus Experiment 2 ist kongruent mit Resultaten aus früheren modalitätsübergreifenden Priming-Studien, wie beispielsweise Studien zum ACE oder anderen Studien, die motorische Priming-Paradigmen nutzten (Klatzky et al. 1989, Glenberg & Kaschak 2002, Bergen & Wheeler 2005, Wilson & Gibbs 2007, Glenberg et al. 2008a, Secora & Emmorey 2014). Bergen et al. (2003) diskutierten, dass modalitätsübergreifendes Priming nur dann auftreten würde, wenn die durch ein Prime aktivierte motorische Repräsentation und die motorische Repräsentation, die zur Verarbeitung eines bewegungsbezogenen Targets benötigt würde, einen gemeinsamen

semantischen Inhalt teilten. Die Aktivierung von Neuronen, die eine bestimmte motorische Repräsentation kodierten, könne Repräsentationen sehr ähnlicher Art, also ähnlicher Bewegungen, inhibieren. Entsprechend dieser Annahme würde ein motorischer Prime, der zwar sehr ähnlich zu aber nicht identisch mit dem dazugehörigen Target sei, zur Interferenz zwischen den für die Dekodierung des Targets erforderlichen motorischen Repräsentation führen (Bergen et al. 2003). Interferenzeffekte, die in einigen motorischen Priming-Studien festgestellt wurden, ließen sich mit diesem Ansatz erklären. Die hier erhobenen Daten unterstützen nur teilweise die Annahme von Bergen et al. (2003), dass sich Kompatibilitätseffekte nur dann einstellen, wenn ein motorischer und ein verbaler Stimulus semantischen Inhalt teilten. Der Verstehensprozess während der konkreten verbalen Targets wurde nur dann erleichternd unterstützt, wenn dem Satz eine kongruente Bewegung vorausgestellt war, nicht aber, wenn die ausgeführte Bewegung inkongruent war. Allerdings führte die Ausführung einer inkongruenten Bewegung im Vergleich zu der Bedingung, in der keinerlei Bewegung ausgeführt wurde, nicht zu einem Interferenzeffekt. Dies hätte aber den Ausführungen von Bergen et al. (2003) entsprechend der Fall sein müssen. Die hier genutzten inkongruenten Bewegungen bezogen sich auf den selben Effektor wie das nachfolgend präsentierte Verb, also die Arme und Hände, ohne dass ihr semantischer Inhalt mit dem des Verbs identisch war. Es ist allerdings möglich, dass der semantische Inhalt der in den ersten beiden RT-Experimenten genutzten inkongruenten Bewegungen nicht klar definiert war. Da diese Bewegungen mehr oder weniger erdacht waren, sodass sie vollständig von den prototypischen Bewegungen abwichen und nicht im Entferntesten an diese erinnern sollten, könnte die entsprechende motorische Repräsentation keiner konventionalisierten Definition einer spezifischen Bewegung entsprochen haben. Die durch die Ausführung der inkongruenten Bewegungen geprägte motorische Repräsentation könnte somit zu diffus gewesen sein, um ähnliche motorische Repräsentationen inhibieren zu können. Bergen et al. (2003) nutzten in ihrer Studie hingegen klar definierte Bewegungen als inkongruente motorische Primes. In dem hier vorgestellten Experiment zur Reaktionszeit gehörloser Gebärdensprecher/Innen repräsentierten die als Primes genutzten inkongruenten Nomengebärden hingegen sehr wohl einen eindeutigen semantischen Inhalt. Dennoch stellte sich keinerlei Interferenzeffekt im Vergleich zu einem stillen Prime-Video ein. Hier könnten jedoch andere Faktoren, wie eine eventuelle Dominanz der relevanten lexikalischen über die motorische Repräsentation der Gebärde, einen Einfluss auf die Resultate gehabt haben. Ein weiteres Ergebnis ist, dass die Verarbeitung der abstrakten bewegungsbezogenen Stimuli in allen drei verhaltensbezogenen Experimenten gleichermaßen durch die Ausführung einer kongruenten und einer inkongruenten Bewegung erleichtert wurde. Die Annahme, dass ein übereinstimmender semantischer Inhalt eine notwendige Voraussetzung für einen Kompatibilitätseffekt darstellt, könnte also lediglich für konkrete bewegungsbezogene Kontexte zutreffen.

Ob sich ein Kompatibilitäts- oder ein Interferenzeffekt einstellt, könnte auch eine Frage der zeitlichen Gestaltung der in den Studien genutzten Trials sein. Borreggine und Kaschak (2006) führten eine ACE-Studie durch, in der die Probanden zu vier verschiedenen Zeitpunkten auf einen Satz reagierten: sobald wie möglich nach dem Satz-Onset und 50, 500 oder 1000 Millisekunden nach dem Satz-Offset. Ihre erste Analyse ergab einen signifikanten ACE lediglich für die erste Bedingung, in der die Probanden reagierten, sobald sie die Bedeutung des Satzes erfasst hatten. In diesem Fall verliefen die Verarbeitung des Satzes und die Vorbereitung der motorischen Reaktion also parallel. Die Autoren führten jedoch eine weitere Analyse durch und berechneten Differenzwerte zwischen den RTs auf passende und unpassende Trials (entsprechend des ACEs). Diese Differenzwerte wurden anschließend auf signifikante Effekte in den vier Latenzbedingungen überprüft. Es zeigte sich, dass die Differenzwerte zwischen der ersten (Reaktion kurz nach Satz-Onset) und der zweiten (50 ms nach Satz-Offset) Latenzbedingung nicht signifikant voneinander abwichen. Obwohl sich der ACE in der zweiten Latenzbedingung also nicht so klar herausstellte wie in der ersten Latenzbedingung, war er dennoch vorhanden. Erfolgte die Reaktion der VPN 500 oder 1000 Millisekunden nach Satz-Offset, ergab sich ein umgekehrter ACE. Borreggine und Kaschak (2006) sahen in ihren Ergebnissen einen Nachweis dafür, dass die Simulation eines motorischen Programms, wie sie zum Beispiel während der Verarbeitung bewegungsbezogener Semantik erfolge, dieses Programm für eine gewisse Zeit blockiere, sodass sich die Ausführung eines entsprechenden motorischen Befehls verzögere. Kompatibilitätseffekte würden sich hingegen einstellen, wenn die beiden Prozesse, also die Simulation und die Ausführung eines motorischen Programms, parallel abliefen. Ein ähnliches Experiment mit abweichenden Ergebnissen schilderten de Vega et al. (2013). Im Gegensatz zu Borreggine und Kaschak (2006) konnten sie jedoch Interferenzeffekte feststellen, wenn die VPN 100 oder 200 Millisekunden nach dem Satz-Offset reagierten. Ein leichter Kompatibilitätseffekt stellte sich bei einer Antwortlatenz von 350 Millisekunden nach dem Satz-Offset ein (de Vega et al. 2013). Es scheint also, dass sich die Thematik bezüglich eines Kompatibilitäts- oder eines Interferenzeffekts nicht anhand eines einzelnen Faktors, wie der Reaktionslatenz oder der semantischen Überlappung, klären lässt. Vielmehr scheinen verschiedene Faktoren die Interaktion zwischen motorischen und sprachlichen Prozessen zu beeinflussen.

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit durchgeführten RT-Experimente unterstützen eine graduelle Sichtweise auf die sprachliche Embodimenttheorie. Die Messungen der Hand- wie auch der Fußreaktion zeigen, dass lediglich prototypische Bewegungen einen Kompatibilitätseffekt bei konkreten bewegungsbezogenen Satztargets elizitieren. Bei abstrakten bewegungsbezogenen Satztargets ist es hingegen so, dass sowohl prototypische als auch unpassende motorische Primes zu einem Kompatibilitätseffekt führen, wie auch die dritte RT-Studie zeigt. Dieses Resultat kann dahingehend interpretiert werden, dass detaillierte motorische Repräsentationen in Zusammenhang mit konkreter

bewegungsbezogener Sprachverarbeitung stehen. Die Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache scheint hingegen lediglich mit einer eher groben motorischen Repräsentation verknüpft zu sein. Umschloss die untersuchte Personengruppe Gebärdensprecher/Innen der ASL, wurde weiterhin ersichtlich, dass es sich bei der Beteiligung des sensomotorischen Systems an der Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache um ein Phänomen handelt, das unabhängig vom Kommunikationskanal auftritt. Unabhängig davon, ob die Kommunikation artikulatorisch, wie bei den VPN in den ersten beiden RT-Experimenten, oder visuell-manuell erfolgte, wie bei den Gebärdensprecher/Innen im dritten verhaltensbezogenen Experiment, konnten Indizien für eine Relevanz des sensomotorischen Netzwerks für die Sprachverarbeitung erhoben werden. Die hier diskutierten Ergebnisse lassen sich weiterhin mit Barsalou's (1999) Meinung hinsichtlich der verkörperlichten Repräsentation von Metaphern vereinbaren. Er postulierte, dass neue abstrakte Konzepte stets als Metaphern erlernt würden, ihr Verstehen sich also aus einer unbekannt Metapher heraus entwickle. Diese unbekannt Metaphern seien im sensomotorischen System verankert und nutzten dieses System während der Verarbeitung von abstrakter bewegungsbezogener Sprache. In einer späteren Phase, in der sich die unbekannt Metaphern entwickelt und gefestigt hätten, würde die metaphorische Ebene übersprungen, sodass ein direkterer Zugriff auf die abstrakte Bedeutung der Metapher erfolgen könne. Dies würde sich in einer größeren motorischen Repräsentation widerspiegeln (Barsalou 1999).

4.4 EEG-Experiment

Ziel des EEG-Experiments war es, eine mögliche Beteiligung sensomotorischer Hirnareale an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache festzustellen und zeitliche Informationen bezüglich entsprechender Gehirnaktivitäten zu erhalten. Oszillationen speziell des α - und β -Bandes im menschlichen EEG wurden in der Vergangenheit wiederholt mit der Verarbeitung motorischer Reize in Verbindung gebracht (Pfurtscheller et al. 1996, Pfurtscheller & Neuper 1997, Pfurtscheller & Lopes da Silva 1999, de Lange et al. 2008). So konnte beispielsweise während der Ausführung einer einfachen motorischen Bewegung eine Abnahme der Power im β -Band beobachtet werden, wohingegen die Power kurz nach Beendigung der Bewegung zunahm (*β -rebound*). In jüngerer Zeit wurde diskutiert, dass vergleichbare Prozesse auch bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache einsetzen (van Elk et al. 2010, Fargier et al. 2012, Moreno et al. 2015). In dem hier durchgeführten Experiment wurde daher untersucht, ob die EEG-Reaktionen während der Beobachtung eines arm- und/oder handbezogenen Verbs mit den Reaktionen während der Verarbeitung konkreter und abstrakter Sätze vergleichbar ist, die Bewegungsverben enthielten. Dazu beobachteten die VPN prototypische Bewegungen für spezifische Verben in kurzen Videoclips. Als Vergleichsmaß dienten Videos, in denen keine Bewegung zu sehen war. In einem weiteren Experiment-

block wurden auditiv Sätze präsentiert, welche die Bewegungsverben entweder in einem konkreten oder einem abstrakten Kontext enthielten. Abstrakte Sätze ohne Bewegungsbezug wurden als Vergleichsbedingung genutzt. Die Analyse der erhobenen EEG-Daten bezog sich auf den μ -Rhythmus innerhalb des α -Bandes, hier definiert als Frequenzbereich zwischen 8 und 12 Hertz, und einen Bereich des β -Bandes zwischen 16 und 25 Hertz. Wie die Auswertungen ergaben, sind die EEG-Reaktionen auf die Beobachtung einer Bewegung und auf die Präsentation eines verbalen Bewegungsstimulus nur bedingt vergleichbar. Zum einen fielen μ - und β -Reaktionen auf die verbalen Reize wesentlich schwächer aus als auf die visuellen Stimuli, zum anderen ergaben sich auffallende Unterschiede hinsichtlich der Latenzen der Oszillationsveränderungen. Wie schon die Ergebnisse der Verhaltensexperimente sprechen die EEG-Resultate dafür, dass die Beteiligung des sensomotorischen Systems an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Sprache graduell ist und somit für eine schwache Auslegung der Embodimenttheorie.

4.4.1 Versuchspersonen

30 monolinguale Studierende (15 weiblich, 15 männlich) der Universität Bielefeld im Alter von 20 bis 31 Jahren ($M = 24.6$ Jahre, $SD = \pm 2.8$ Jahre) mit Deutsch als Muttersprache nahmen an dem EEG-Experiment teil. Sie stimmten der anonymisierten Veröffentlichung der im Experiment erhobenen Daten schriftlich zu. Alle VPN waren rechtshändig mit einem mittleren Lateralitätsquotienten von 87.9 ($SD = \pm 12.3$). Dieser wurde anhand einer leicht abgeänderten Version des *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield 1971) ermittelt. Vier der VPN wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen, da sie angaben, in einem Zeitraum von zwei Wochen vor der Versuchsteilnahme Betablocker oder Antiepileptika eingenommen zu haben. Die übrigen VPN standen nicht unter entsprechender Medikation und erklärten außerdem, zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung weder unter auditiven noch unter motorischen Erkrankungen oder Einschränkungen gelitten zu haben, die eine sorgfältige und aufmerksame Durchführung der gestellten Aufgaben gefährdet hätte. Alle Probanden erhielten nach der Versuchsdurchführung eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 10€/Stunde.

4.4.2 Stimuli

Die genutzten Stimuli bestanden aus zwei Sets. Ein Set enthielt Videostimuli, das andere enthielt auditive Satzstimuli.

Sätze: Die Satzstimuli stimmten mit dem in den ersten beiden RT-Experimenten genutzten verbalen Material überein. Dementsprechend wurden auch in dem EEG-Experiment 197 Sätze auditiv präsentiert, von denen 50 Sätze semantisch inkongruente Distraktoren waren. Jeweils 49 der verbleibenden 147 Sätze gehörten zu den drei Kategorien *konkrete Bewegung* (KB), *abstrakte Bewegung* (AB) und *abstrakt* (A). Die Sti-

muli waren als Dreiergruppen mit einem Satz aus jeder Kategorie aufgebaut. Die Sätze hatten eine mittlere Dauer von 1595.5 Millisekunden ($SD = \pm 207.0$ ms). Die mittlere Dauer des Verbs betrug 734.9 Millisekunden ($SD = \pm 129.2$ ms). Für weitere Details zu dem verbalen Stimulusmaterial kann Kapitel 3.3.1.2 herangezogen werden. Zur Markierung der für die Datenanalyse wichtigen Abschnitte des EEG-Signals wurden parallel zur Ableitung automatisch Trigger gesetzt. Eine derartige Markierung erfolgte zu Beginn des Satzes, zu Beginn des Nomens und zu Beginn des Verbs.

Videos: Den Probanden wurden insgesamt 58 Videos präsentiert, die bereits in den RT-Experimenten als Stimulusmaterial genutzt wurden (s. Kapitel 3.3.1.2 und 3.3.2.2). 29 Videos zeigten eine Bewegung, die für bestimmte Handlungsverben prototypisch waren. Die verbleibenden 29 Videos dienten als Vergleichsmaß. Dabei saß die männliche Person still und führte keinerlei Bewegung durch. Alle Videos hatten eine Dauer von 6000 Millisekunden. Die mittlere Dauer der Bewegungen lag bei 5497.4 Millisekunden ($SD = \pm 554.0$ ms). Um die Dauer der Videos gleich zu halten, wurden vor und nach den Bewegungen einige Frames beibehalten, in denen die Person still saß. Die Trigger wurden parallel zur EEG-Ableitung bei den Bewegungsvideos automatisch mit dem Einsetzen der Bewegung, beziehungsweise bei den stillen Videos automatisch mit dem Beginn des Videos, gesetzt. Die VPN sahen die Videos in einem einzelnen Block in vollständig randomisierter Reihenfolge.

4.4.3 Versuchsdurchführung

Nach der einführenden Erläuterung des Experiments und der Aufgabenstellung wurden die Elektroden nach den Vorgaben des 10/20-Systems (Jasper 1958) auf der Kopfhaut der VPN angebracht. Entsprechend der Zirkumferenz, gemessen rund um zwei Punkte etwa zwei Finger über Nasion und Inion, wurde die Größe des *ActiCap* (Brain Products Inc.) gewählt, das den Probanden aufgesetzt und mithilfe eines Kinngurtes in der richtigen Position fixiert wurde. In die Vertiefungen der *ActiCap*-Haube wurden aktive Ableitelektroden eingesetzt, bestehend aus einem Sensor aus Silber-/Silberchlorid und einem integrierten Vorverstärker zur Reduktion des Hintergrundrauschens. Durch leichtes Anrauen der Kopfhaut mit einer stumpfen Kanüle wurde der Hautwiderstand reduziert und anschließend das Elektrodengel eingefüllt, das eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzt und den galvanischen Kontakt zwischen der Kopfhaut und dem Sensor in der Elektrode herstellt. Im Anschluss an diese Vorbereitungen nahmen die VPN in einem komfortablen Sessel in einer elektromagnetisch abgeschirmten und schallisolierten Kabine Platz. Die Elektroden wurden mit dem EEG-Verstärker (*QuickAmp*, Brain Products Inc.) verbunden. Der Verstärker dient zum einen der erneuten Filterung des Signals hinsichtlich störenden Hintergrundrauschens, zum anderen verstärkt er das abgeleitete EEG-Signal. Nach Prüfung der Hautwiderstände und der Sicherstellung, dass diese unter 5 Kiloohm lagen, begann der Versuchsdurchlauf. Der Sessel stand etwa

einen Meter von dem Computerbildschirm entfernt, auf dem das visuelle Stimulusmaterial präsentiert wurde. Als technische Plattform für das Experiment diente eine Präsentationssoftware (*Sculptor*, Arbeitsgruppe Experimentelle Neurolinguistik) unter Ubuntu (Version 8.04.2). Die Versuchssituation ist in den Abbildungen 21.1 und 21.2 dargestellt.



Abbildung 21.1: Versuchssituation im EEG-Experiment.



Abbildung 21.2: Versuchssituation im EEG-Experiment.

Das Stimulusmaterial wurde als Blockdesign präsentiert. Nach jedem Block wurde das Experiment pausiert und die VPN konnten sich für einige Minuten erholen. Alle Videos

waren vollständig randomisiert in einem Block zusammengefasst. 2000 Millisekunden vor Beginn eines jeden Videos erschien ein Fixationskreuz auf dem Computerbildschirm. Die VPN waren angewiesen, das Kreuz mit ihrem Blick zu fixieren, Körper- und Augenbewegungen zu vermeiden und Lidschläge zu minimieren. Ihre Aufgabe war es, sich das Video anzusehen und sich vorzustellen, sie würden die Bewegung selbst ausführen, beziehungsweise im Fall eines stillen Videos keine Bewegung ausführen. Mit dem Ende des Videos erschien erneut das Fixationskreuz auf dem Bildschirm und blieb für weitere 2000 Millisekunden eingeblendet. Nach einem ISI von 2000 Millisekunden begann der nächste Trial. Um Augenbewegungen während des Videos zu minimieren, sollten die VPN einen bestimmten zuvor definierten Punkt im Video mit ihrem Blick fixieren. Dieser Punkt befand sich an der Stelle, an der vor und nach dem Video das Fixationskreuz eingeblendet war. Das Video hatte ein Format, in dem die Erfassung der gezeigten Bewegung auch dann möglich war, wenn die VPN den definierten Punkt im Video fixierten und der Bewegung nicht mit den Augen folgten. Abbildung 22 zeigt beispielhaft das Design eines Videotrials.

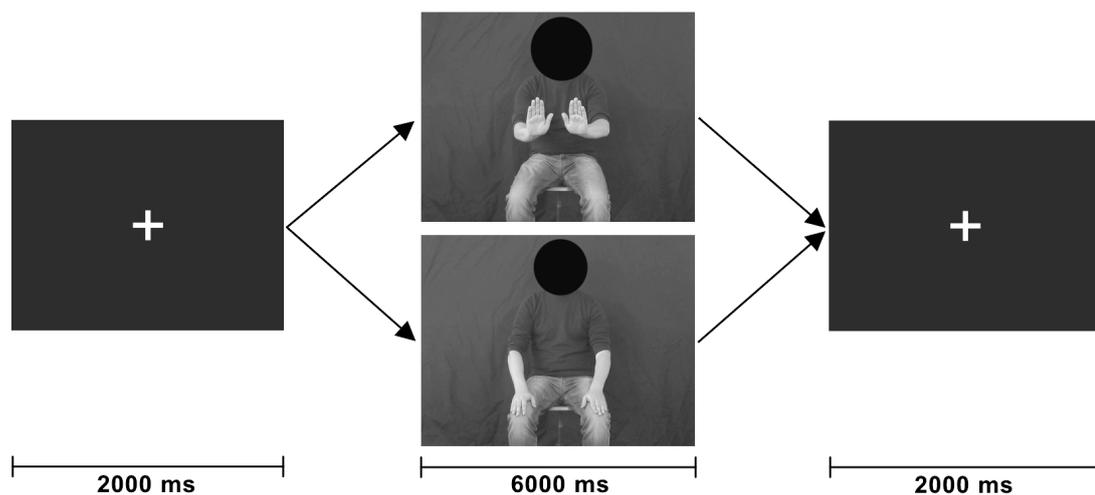


Abbildung 22: Design der Videotrials im EEG-Experiment. Jeder Trial beginnt mit einem weißen Fixationskreuz vor einem grauen Bildschirmhintergrund. Nach 2000 ms begann das Video. Nach jedem Video erschien das Fixationskreuz erneut und blieb für weitere 2000 ms eingeblendet.

Das verbale Material wurde auditiv präsentiert. Die Sätze wurden vollständig randomisiert und auf drei Blöcke aufgeteilt, sodass jeder Block etwa die gleiche Anzahl Sätze enthielt. Ein Fixationskreuz erschien 1000 Millisekunden vor dem Beginn eines Satzes und blieb über die Dauer des gesamten Trials eingeblendet. Den VPN wurde erklärt, dass sie nicht die ganze Zeit das Kreuz fixieren mussten, dass sie aber, sobald das Kreuz auf dem Bildschirm erschien, Körper- und Augenbewegungen einstellen, Lidschläge minimieren und sich auf den Beginn des Satzes vorbereiten sollten. 1000 Millisekunden nach dem Ende eines Satzes ertönte ein Signalton. Die Aufgabe der Probanden war es, nach diesem Signalton verbal mit der Antwort *JA* oder *NEIN* zu äußern, ob der zuvor gehörte Satz semantisch sinnvoll oder sinnfrei war. Gleichzeitig mit dem Signalton ver-

schwand das Fixationskreuz. Nach einem ISI von 2000 Millisekunden begann der nächste Trial.

Insgesamt bestand ein Versuchsdurchlauf aus fünf Präsentationsblöcken: drei Satzblöcken, einem Videoblock und einem Stimulusblock, dessen Inhalt nicht von Relevanz für das hier beschriebene Experiment war. Nach dem ersten und dem zweiten Satzblock wurden ausbalanciert der Videoblock und das dritte irrelevante Stimulusset präsentiert.

4.4.4 EEG-Ableitung

Das EEG der VPN wurde kontinuierlich an 27 aktiven EEG-Elektroden abgeleitet. Zur Positionierung der Elektroden wurde das 10/20-System mithilfe einer Elektrodenhaube (*ActiCap*, Brain Products Inc.) umgesetzt. Dabei diente die zentrale fronto-zentrale Elektrode (FCz) als Referenzelektrode. Zur Artefaktdetektion durch Augenbewegungen zeichneten drei Oberflächenklebelektroden das Okulogramm an den lateralen Canthi und in der rechten infraorbitalen Augenregion auf. Zwei weitere Klebelektroden dienten als Referenz am rechten und linken Ohrfläppchen. Das Signal wurde bei einer Abtastrate von 1000 Hertz verstärkt (*QuickAmp*, Brain Products Inc.) und digitalisiert. Ein Bandpassfilter von 0.5 bis 100 Hertz sowie ein Notchfilter (50 Hz) wurden online eingesetzt. Als Software zur Aufnahme der Daten diente *BrainVision Recorder* (Version 1.20, Brain Products Inc.). Der Hautwiderstand betrug maximal 5 Kiloohm für jeden Kanal.

4.4.5 Datenvorbereitung

Die Filterung der Daten, die Artefaktbereinigung, vorbereitende Analyseschritte und der Export der Daten zur statistischen Weiterverarbeitung erfolgte mit dem *BrainVision Analyzer* (Version 2.0.1, Brain Products Inc.). Die Daten aller abgeleiteten Kanäle wurden über die gemittelten Ohrelektroden rereferenziert. Eine semiautomatische Artefaktbereinigung wurde durchgeführt, wobei kritische Abschnitte im fortlaufenden EEG entsprechend nachfolgender Kriterien markiert und im Anschluss bei einer Auflösung von 50 μV manuell überprüft wurden:

- **Gradient:** Falls die Spannungsstufe 50 $\mu\text{V}/\text{ms}$ überschreitet, markiere 200 ms vor und 200 ms nach betroffener Stelle;
- **Max/Min:** Falls die Differenz der Intervallwerte innerhalb eines Intervalls von 200 ms 200 μV übersteigt, markiere 100 ms vor und 100 ms nach betroffener Stelle;
- **Amplitude:** Falls die Amplitude -200 μV unter- bzw. +200 μV übersteigt, markiere 200 ms vor und 200 ms nach betroffener Stelle;
- **Low Activity:** Falls die Aktivität 0.1 μV innerhalb eines Intervalls von 100 ms untersteigt, markiere 200 ms vor und 200 ms nach betroffener Stelle.

Durch dieses Vorgehen wurden Augenbewegungen, wie Rollbewegungen oder Lid-schläge, sowie abnormale Trends von der weiterführenden Analyse ausgeschlossen. Bei der Artefaktbereinigung sowie, wenn möglich, bei den nachfolgenden Analyseschritten im *Analyzer*, wurde der *Individual Channel Mode* genutzt. Diese Methode klammert bei der für einige Verfahren notwendigen Mittelung über alle Elektrodenkanäle lediglich die Kanäle aus, in denen ein Artefakt tatsächlich die Datenqualität beeinflusst. Kanäle, die von dem Artefakt nicht betroffen sind, werden weiterhin in die Mittelung einbezogen. Auf diese Weise lässt sich der Datenverlust infolge der Artefaktbereinigung verringern. Die Menge der Daten, die aufgrund der Artefaktbereinigung von der weiteren Analyse ausgeschlossen wurde, betrug in der Videobedingung im Mittel 21.8 %, wobei 22.5 % in der Vergleichsbedingung mit den stillen Videos und 21.1 % in der Bewegungsbedingung ausgeklammert wurden. In der Satzbedingung wurden im Mittel 17.3 % der Daten von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Für die Sätze, die eine konkrete Bewegung ausdrückten, betrug der Anteil 18 %. Bei den Sätzen, welche eine abstrakte Bewegung ausdrückten, belief sich der ausgeschlossene Anteil auf 18.6 % und bei den abstrakten Kontrollsätzen auf 15.3 %.

Je nach Auswertungsverfahren sind im *Analyzer* weitere vorbereitende Schritte notwendig, die nachfolgend in den Abschnitten zu den verschiedenen genutzten Auswertungsmethoden erläutert werden.

4.4.5.1 Ereigniskorreliertes Potential – N400 (EKP)

Bei der EKP-Analyse werden Hirnpotentialverläufe als Antwort auf spezifische Stimuli unabhängig vom Frequenzbereich über alle VPN und alle relevanten Trials gemittelt. Amplitudendifferenzen zwischen den kritischen Stimuli und einer neutralen Vergleichsbedingung werden zu verschiedenen Zeitpunkten nach Onset des Stimulus auf ihre Signifikanz geprüft. Welche Zeitpunkte analysiert werden, hängt vom Stimulusmaterial und von den Forschungsfragen ab, denn die Latenz und die Amplitudenausprägung der signifikanten Differenzen – ob negativ oder positiv – sind unter anderem abhängig davon, welche Stimulusart als Reiz genutzt wurde (Kutas & Federmeier 2011). Auch die Wahl der relevanten Elektroden hängt mit dem Untersuchungsgegenstand zusammen. Die N400 ist ein EKP mit negativer Amplitude, das zwischen 300 und 500 Millisekunden nach dem Onset eines Stimulus und in Zusammenhang mit der Sprachverarbeitung vor allem in zentro-parietalen Elektroden auftritt. Zum Zeitpunkt der Entdeckung in den Sprachwissenschaften durch Kutas und Hillyard (1980) wurde angenommen, dass es sich bei der N400 um eine rein sprachliche Komponente handelt, die den Zeitpunkt der semantischen Verarbeitung widerspiegelt. Beispielsweise löst eine Verletzung der semantischen Regeln innerhalb eines Satzes im Vergleich zu einer semantisch korrekten Kontrollbedingung eine N400 aus. Aktuell wird eher davon ausgegangen, dass die N400 über die sprachliche Modalität hinaus ein Indikator für Prozesse der Bedeutungskonstitution ist, aber auch sensitiv gegenüber den semantischen

Beziehungen zwischen einem Wort und dem Satzkontext, in dem es auftritt (Kutas & Federmeier 2011).

Anhand der N400 sollte zum Zweck der Qualitätskontrolle der Daten lediglich ermittelt werden, ob sich beim Vergleich der konkreten und abstrakten Nomen innerhalb der Stimulussätze ein typischer Konkretheitseffekt einstellen würde. Wie in Kapitel 2.5 nachzulesen ist, zeigt sich bei der Verarbeitung konkreter Nomen oder Verben ein stärker negativer Amplitudenverlauf im Latenzbereich der N400 als bei abstrakten Nomen oder Verben. Falls sich ein solches Muster nicht auch bei den vorliegenden Daten abzeichnet, wäre dies ein Indiz dafür, dass die Daten eventuell eine sehr starke Varianz aufweisen und sich weitere Analysen schwierig gestalten könnten.

Im Anschluss an die Artefaktverwerfung wurde zum Zweck der EKP-Analyse auf das fortlaufende EEG ein zusätzlicher IIR-Filter (*Infinite impulse response*) mit einem Low-Cutoff von 0.5 Hertz und einem High-Cutoff von 30 Hertz gelegt. Als nächster Schritt wurde das fortlaufende EEG-Signal segmentiert. Mithilfe dieses Vorgehens wurden die für das nachfolgende Verfahren interessanten Abschnitte des EEGs anhand der während der Ableitung automatisch gesetzten Trigger freigestellt. Für die EKP-Analyse in Zusammenhang mit dem Konkretheitseffekt wurden lediglich die Nomen aus dem fortlaufenden EEG-Signal freigestellt. Die Segmente begannen direkt am Nomen-Onset und hatten eine Dauer von 1000 Millisekunden. Im Anschluss an die Segmentierung wurden sämtliche artefaktfreie Trials jeder VPN in den beiden Bedingungen (konkret vs. abstrakt) gemittelt. Bei dem Export der Daten wurde weiterhin über Zeitintervalle von 100 Millisekunden gemittelt. Für die statistische Analyse lagen folglich zwei Mittelwerte pro VPN pro 100 Millisekunden Intervall vor.

4.4.5.2 Ereigniskorrelierte Synchronisierung/Desynchronisierung (ERS/ERD)

Das Verfahren der ERS/ERD filtert die Daten eines definierten Frequenzbereichs aus bestimmten Segmenten des kontinuierlich abgeleiteten EEG-Signals heraus, sodass lediglich dieser Frequenzbereich für die nachfolgende statistische Analyse herangezogen werden kann (Pfurtscheller & Lopes da Silva 1999). In dem vorliegenden Experiment waren zwei Frequenzbereiche von Relevanz: ein Bereich im α -Band, der sogenannte μ -Rhythmus, der hier im Frequenzbereich von 8 bis 12 Hertz verortet wurde, und das β_2 -Band, hier definiert als Frequenzbereich zwischen 16 und 25 Hertz. Für eine detaillierte Beschreibung dieser beiden Frequenzbänder und deren Relevanz für die vorliegende Studie kann Kapitel 2.4.2 herangezogen werden. Entsprechend der bestehenden wissenschaftlichen Literatur zum Thema wurde im Wesentlichen erwartet, dass die Amplituden innerhalb dieser beiden Frequenzbereiche bei den Stimuli mit motorischem Inhalt geringer ausfallen würden als bei den Stimuli ohne motorischen Inhalt. In Folge der Verarbeitung motorischer Komponenten sollte sich also eine Desynchronisierung einstellen. Konkret bedeutet dies, die Amplituden sollten während der Verarbeitung der motorischen Verben in konkreten und abstrakten Kontexten geringer ausfallen als wäh-

rend der Verarbeitung der abstrakten Kontrollsätze. Bei der Beobachtung der Bewegungen in den Videos sollte sich im Vergleich zu den stillen Videos ein vergleichbarer Effekt finden.

Um die ERS/ERD durchzuführen wurde im Anschluss an die Artefaktverwerfung auf das fortlaufende EEG ein zusätzlicher IIR-Filter mit einem Low-Cutoff von 0.5 Hertz und einem High-Cutoff von 30 Hertz gelegt. Es folgte die Segmentierung der Daten. Da die ERS/ERD für mehrere Abschnitte im Satzverlauf und während der Videobeobachtung durchgeführt werden sollte, wurden folgende Abschnitte aus dem fortlaufenden Signal herausgestellt:

- Intervall von -600 ms bis 100 ms um den Satz-Onset,
- Intervall von -600 ms bis 500 ms um den Satz-Onset,
- Intervall von -1100 ms bis 1100 ms um den Nomen-Onset,
- Intervall von -1600 ms bis 2100 ms um den Verb-Onset,
- Intervall von -300 ms bis 2100 ms um den Bewegungs-Onset,
- Intervall von 100 ms bis 2500 ms um den Onset eines stillen Videos.

Die zu segmentierenden Intervalle wurden größer gewählt als das letztendlich interessante und weiterverarbeitete Segment. Dies hat den Hintergrund, dass an den Segmenträndern bei einigen nachfolgenden Operationen, wie der ERS/ERD, Artefakte entstehen, welche die zur statistischen Analyse herangezogenen Daten verfälschen. Vor dem Hintergrund, dass bei der Datenanalyse eine Baselinekorrektur erfolgte, wurden bei den Nomen und Verben weitaus größere Segmente gewählt als bei den anderen Elementen. Bei der Baselinekorrektur wurde auf ein neutrales Zeitintervall vor dem Beginn des Satzes zurückgegriffen. Um diesen Bereich in den Segmenten für die Nomen und Verben zu integrieren, wurde ein Intervall vor Nomen- bzw. Verb-Onset gewählt, das bis in die neutrale Baseline vor Satz-Onset hineinreichte. Die unterschiedlichen Intervallgrenzen bei den zwei Videotypen ergaben sich daraus, dass bei dem Onset eines visuellen Stimulus, wie einem Video, ein EKP auftritt, das in der aktuellen Analyse nicht relevant ist und daher ausgeklammert werden sollte. Der Beginn eines stillen Videos war in der hier vorgestellten Studie nicht mit dem Beginn der Bewegung in den Bewegungsvideos identisch. Nach dem Onset des Bewegungsvideos vergingen einige hundert Millisekunden bis zum Einsetzen der Bewegung. Da für die ERD lediglich der Beginn der Bewegung herangezogen wurde, ist hier kein dem Onset des visuellen Stimulus geschuldetes EKP zu erwarten. Der Onset des stillen Videos hingegen löst ein solches Potential aus. Um die beiden Videobedingungen vergleichbar zu halten, musste also der Bereich des stillen Videos ausgeklammert werden, der von dem visuell induzierten EKP beeinflusst wurde. Hier wurde der Onset der Bewegung mit dem Zeitpunkt 200 Millisekunden nach Onset des stillen Videos gleichgesetzt. Die für die ERS/ERD letztendlich relevanten Abschnitte sind das

- Intervall von -500 ms bis 0 ms um den Satz-Onset (nachfolgend BASELINE),
- Intervall von 0 ms bis 400 ms um den Satz-Onset (nachfolgend SATZBEGINN),
- Intervall von 0 ms bis 1000 ms um den Nomen-Onset (nachfolgend NOMEN-ONSET),
- Intervall von 0 ms bis 1500 ms um den Verb-Onset (nachfolgend VERB-ONSET),
- Intervall von 0 ms bis 1500 ms um den Bewegungs-Onset (nachfolgend BEWEGUNGS-ONSET) und das
- Intervall von 400 ms bis 1900 ms um den Onset eines stillen Videos (nachfolgend STILL-ONSET).

Die Relevanz dieser Abschnitte ergab sich aus folgenden Überlegungen: 1000 Millisekunden vor Satz-Onset erschien das Fixationskreuz auf dem Bildschirm. Um das durch diesen visuellen Reiz ausgelöste EKP von der BASELINE auszuklammern, wurde ein Intervall von 500 Millisekunden vor Satz-Onset als neutraler Referenzbereich gewählt. Der SATZBEGINN beschreibt das Intervall, innerhalb dem sich die verschiedenen Satztypen nicht unterscheiden. Jeder Satz hatte dieselbe Struktur und wurde mit „*Ich habe...*“ eingeleitet. Während dieser zwei Wörter sollten sich die Werte der abgeleiteten Daten zwischen den drei Satztypen wie auch während der BASELINE nicht signifikant unterscheiden. Dieser SATZBEGINN hatte im Mittel eine Dauer von 300 bis 400 Millisekunden. Das Intervall zur Analyse des Nomens wurde sehr großzügig gewählt, um auch mögliche späte Effekte noch zu erfassen. Die mittlere Dauer der Nomen betrug ca. 433 Millisekunden. Der Fokus der vorliegenden Studie lag auf dem Verb der Sätze. Die hier verwendeten Verben hatten eine mittlere Dauer von ca. 735 Millisekunden. Im Anschluss an das Verb folgte eine Pause von 1000 Millisekunden, um späte Hirnantworten auf die Verarbeitung des Verbs störungsfrei zu erfassen. Das Ende dieser Pause wurde durch einen Ton signalisiert. Über den Verlauf des Experiments könnten sich die Probanden kognitiv auf diesen Ton vorbereitet haben. Dementsprechend war zu erwarten, dass sich einige hundert Millisekunden vor Einsetzen des Signaltons ein Bereitschaftspotential entwickelte. Dieses Intervall konnte daher für die Analyse des Verbs nicht mehr herangezogen werden, weshalb nur 700 bis 800 Millisekunden nach dem mittleren Ende des Verbs betrachtet wurden. Dies ergab ein zu analysierendes Intervall von 0 bis 1500 Millisekunden nach VERB-ONSET. Die für die Analyse der Hirnreaktionen auf die Videos herangezogenen Intervalle richteten sich nach der Dauer des analysierten Intervalls des Verbs, hatten also ebenfalls eine Dauer von 1500 Millisekunden. Dem ging eine Baseline von 200 Millisekunden voraus.

Im Anschluss an die Segmentierung der Daten wurde die ERS/ERD-Funktion des *Analyzer* genutzt, um das entsprechende Verfahren für die oben genannten Intervalle

separat durchzuführen. Während der ERS/ERD wurden die Daten der beiden relevanten Frequenzbereiche aus den segmentierten Intervallen herausgezogen. Dabei wurden in einem ersten Schritt lediglich die Amplitudenwerte ohne Vergleich mit einem Referenzintervall – der BASELINE – für die beiden Frequenzbereiche extrahiert. Teil dieses Prozesses ist die Quadrierung der Amplitudenwerte, woraus sich die *Power* ergibt. In einem zweiten Schritt wurde dann die prozentuale Veränderung, gemessen an der BASELINE, extrahiert. Als Referenzintervalle dienten folgende Abschnitte der Segmente:

- ein Intervall von -500 ms bis 0 ms für die BASELINE,
- ein Intervall von -500 ms bis 0 ms für den SATZBEGINN,
- ein Intervall von -1000 ms bis -700 ms für den NOMEN-ONSET,
- ein Intervall von -1500 ms bis -1300 ms für den VERB-ONSET,
- ein Intervall von -200 ms bis 0 ms für den BEWEGUNGS-ONSET und
- ein Intervall von 200 ms bis 400 ms für den STILL-ONSET.

Der *Analyzer* führt als Teil der Operation *ERS/ERD* eine Mittelung über alle relevanten Segmente einer VPN durch, sodass eine manuelle Mittelung im Anschluss nicht notwendig war. Wie bei der EKP-Analyse wurden auch bei der Analyse der ERS/ERD Mittelwerte über Zeitintervalle von 100 Millisekunden exportiert.

4.4.5.3 Fast-Fourier-Transformation (FFT)

Hintergrund der FFT ist die Übertragung der Daten aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich. Die aus dem fortlaufenden EEG ausgewählten Segmente werden bei der FFT in ihre Frequenzanteile zerlegt, sodass sich im Anschluss an dieses Verfahren ermitteln lässt, wie hoch die Amplitudenwerte jedes Frequenzbereichs in dem gewählten Segment waren.

Im Gegensatz zu der EKP- und der ERS/ERD-Analyse wurden die Daten für die FFT nicht vergleichbar stark gefiltert. Es wurde ein Low-Cutoff von 0.5 Hertz und ein High-Cutoff von 70 Hertz gewählt. Auch für die FFT-Analyse wurden Segmente aus dem fortlaufenden EEG freigestellt. Vor allem das Verb war für die FFT relevant. Ziel war es zu prüfen, ob sich in den drei Satzkategorien im Verlauf des Verbs die Amplituden in den für den Untersuchungsgegenstand interessanten Frequenzbereichen des α - und β -Bandes signifikant änderten. Unter Berücksichtigung der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zu dem Thema war zu erwarten, dass die Amplituden im Bereich von 8 bis 12 Hertz und 16 bis 25 Hertz abnehmen würden, korrelierend mit fortlaufender Verarbeitung des Verbs und der semantischen Einbettung desselben in den Satzkontext. Ein solcher Effekt sollte sich für die motorischen Verben, nicht aber für die abstrakten Kontrollverben einstellen. Um dies zu überprüfen wurden aus dem fortlaufenden EEG Segmente mit einer Dauer von jeweils 300 Millisekunden gewählt, beginnend beim

Onset des Verbs bis 1500 Millisekunden nach VERB-ONSET. Im Anschluss wurde die im *Analyzer* zur Verfügung gestellte Funktion *FFT* genutzt, um das Verfahren durchzuführen. Die Transformation erfolgte mit der maximal möglichen Auflösung von 1.95 Hertz. Dementsprechend ergab sich für jeden Frequenzbereich ein mittlerer Amplitudenwert im Abstand von knapp 2 Hertz über ein zeitliches Intervall von jeweils 300 Millisekunden. Die Daten wurden während der Analyse normalisiert, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Zeitabschnitten und Satztypen zu gewährleisten. Das bei der Durchführung des Verfahrens genutzte Datenfenster war ein periodisches Hanning-Fenster mit einer Länge von 10 % des Segments. Ohne eine Fensterfunktion entstehen an den Rändern der gewählten Segmente Artefakte durch die FFT. Bei der Transformation wird davon ausgegangen, dass das untersuchte Intervall zirkular, das Ende des Intervalls also identisch mit dem Beginn des Intervalls, ist, was in den vorliegenden Daten nicht der Fall war. Die dadurch entstehenden Artefakte spiegeln sich in Diskontinuitäten wider – hochfrequenten Komponenten, die nicht Teil des Ursprungssignals waren (Borens Signal Processing 1998-2014). Durch die Fensterfunktion werden die Amplituden der Diskontinuitäten verringert. Ebenfalls für eine bessere Vergleichbarkeit der Daten wurde eine Varianzkorrektur durch das Programm durchgeführt.

Im Anschluss an die FFT erfolgte die Mittelung über alle Segmente des gleichen Zeitintervalls und des gleichen Satztyps für jede VPN. Im Fall der FFT wurden keine mittleren Amplitudenwerte über ein bestimmtes Zeitintervall exportiert, da die Zeitintervalle von 300 Millisekunden bereits durch die Segmentierung festgelegt waren. Stattdessen wurde in den relevanten Frequenzbereichen ein mittlerer Amplitudenwert für jeden Zeitabschnitt über das Verb für jeden Satztyp exportiert.

4.4.5.4 Kohärenz

Kohärenzwerte geben in Form eines Korrelationskoeffizienten an, wie stark die Neuronenverbände, deren Aktivität an den Elektroden abgeleitet wird, als Antwort auf einen Stimulus beziehungsweise eine experimentelle Aufgabenstellung innerhalb eines zeitlichen Intervalls und eines spezifischen Frequenzbereichs synchronisiert, wie stark sie also funktionell miteinander verknüpft, sind (Weiss & Müller 2013). In der hier vorgestellten Studie waren Kohärenzwerte interessant, da bei der Verarbeitung motorischer sprachlicher Komponenten die Neuronenverbände stärker zusammen arbeiten könnten, die auch im Rahmen der Verarbeitung sensomotorischer Prozesse funktionell miteinander verknüpft sind. Da es sich bei der Ermittlung der EEG-Kohärenz um ein spektralanalytisches Verfahren handelt, ist im *Analyzer* zunächst die Durchführung der FFT erforderlich um Kohärenzwerte für verschiedene Elektrodenpaare zu berechnen. Die vorbereitenden Schritte zur Analyse der EEG-Kohärenz umschließen somit die im Unterkapitel zur FFT genannten Schritte, mit Ausnahme der Mittelung über alle Segmente einer VPN. Dies ist für die EEG-Kohärenz nicht nötig, da, wie bei dem Verfah-

ren *ERS/ERD*, bei der Funktion *Kohärenz* eine Mittelung über alle Trials einer VPN automatisch vom *Analyzer* vorgenommen wird. Wie bei der FFT wurden also auch bei der Kohärenzanalyse fünf Zeitintervalle mit einer Dauer von 300 Millisekunden ab VERB-ONSET zur Analyse herangezogen. Ein Schritt bei der Funktion *Kohärenz* ist die Auswahl der Elektrodenpaare, für welche die EEG-Kohärenzen berechnet werden sollen. Entsprechend der wissenschaftlichen Literatur zum Thema, die Ergebnisse vor allem für fronto-zentrale Elektroden beschreibt (van Elk et al. 2010, Fargier et al. 2012, Moreno et al. 2013), wurden die EEG-Kohärenzen zwischen sechs Elektroden berechnet: FC₁, FC_z, FC₂, C₃, C_z und C₄ (s. Abb. 23, S. 109). Dementsprechend lagen in der Folge 15 Kohärenzwerte pro VPN für jeden der drei Satztypen vor. Exportiert wurde der mittlere Amplitudenwert für den Frequenzbereich 16 bis 25 Hertz in den gewählten Zeitsegmenten.

4.4.6 Datenanalyse und Ergebnisse

Die statistischen Analysen wurden mit *SPSS* 22.0.0 unter OS X (Version 10.11.4) durchgeführt. Um die aus dem *Analyzer* exportierten Daten in *SPSS* einlesen zu können, wurden die Datenblätter in einem Zwischenschritt in Microsoft *Excel* 2008 für Mac importiert. Dort erfolgte auch die Reduktion des Datenblattes auf die für die Analyse herangezogenen Elektroden FC₁, FC_z, FC₂, C₃, C_z und C₄ (s. Abb. 23, S. 109). Die *Excel*-Dateien ließen sich im Anschluss in *SPSS* importieren, womit die weiteren statistischen Berechnungen durchgeführt wurden. Diese erfolgten jeweils separat für das fronto-zentrale und das zentrale Elektrodencluster. Da sich die Resultate für die beiden Cluster kaum voneinander unterscheiden, das zentrale Cluster aber zum einen von größerer Relevanz für die hier behandelte Fragestellung ist und die Effekte dort größtenteils stärker hervortreten, werden nachfolgend lediglich die Ergebnisse hinsichtlich des zentralen Elektrodenclusters geschildert.

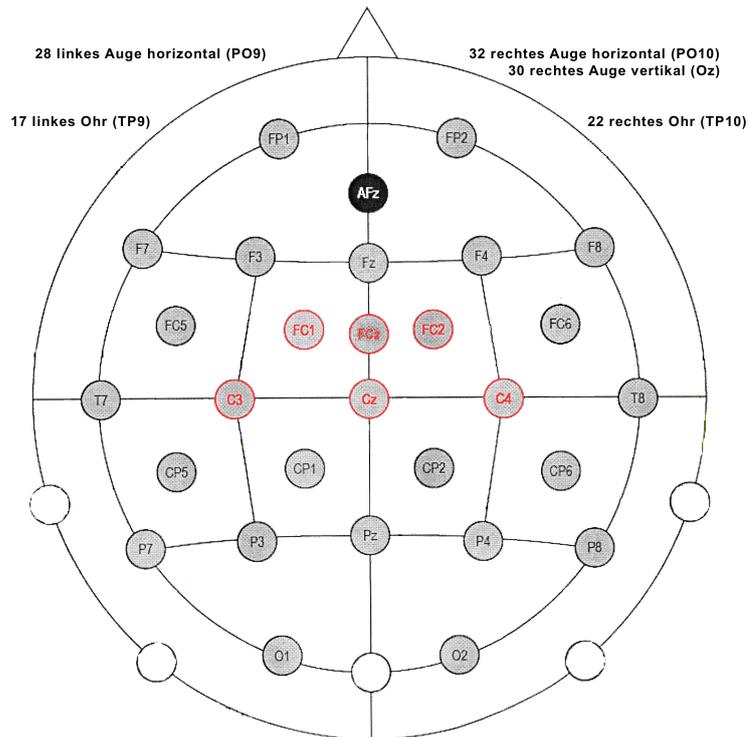


Abbildung 23: Anordnung der Elektroden auf der Kopfhaut der VPN. Die für die Auswertung relevanten fronto-zentralen Elektroden sind rot markiert (Abb. zur Verfügung gestellt von *AG Experimentelle Neurolinguistik*, verändert).

4.4.6.1 EKP-Analyse (N400)

Bei der Analyse der N400 lag ein mittlerer Amplitudenwert für jeweils ein Zeitintervall von 100 Millisekunden Dauer von Beginn des Nomens bis 1000 Millisekunden nach NOMEN-ONSET für die abstrakten und die konkreten Nomen vor. Pro VPN und Zeitabschnitt wurden also zwei mittlere Amplitudenwerte in die Analyse einbezogen.

Die Wahl des statistischen Modells entschied sich zum einen auf Basis des Testdesigns. Beide Nomentypen (*Konkret* und *Abstrakt*) wurden jeder VPN präsentiert, sodass es sich um ein reines Innersubjekt-Design handelte. Bei den zwei miteinander verglichenen Mittelwerten pro Zeitintervall handelte es sich folglich um paarige Werte. Zum anderen ergaben die pro Zeitabschnitt für die Amplitudenwerte von *Konkret* und *Abstrakt* durchgeführten *Kolmogorow-Smirnow*-Tests, dass sämtliche Daten normalverteilt waren, was die Durchführung parametrischer Testverfahren rechtfertigte. Dementsprechend wurde für jedes Zeitintervall ein *t*-Test für verbundene Stichproben durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse der *t*-Tests sind in Tabelle 4 (S. 110) aufgeführt. Hervorzuheben ist der signifikante Amplitudenunterschied im Latenzfenster der N400. Dieser liegt für das zentrale Elektrodencluster im Intervall zwischen 400 und 500 Millisekunden nach NOMEN-ONSET. Das Testresultat liegt bei $t(25) = -2.627, p < .05$.

Tabelle 4: Signifikanten Differenzen zwischen konkreten und abstrakten Nomen entsprechend der Werte der *t*-Tests im zentralen Elektrodencluster in einem Zeitintervall von 0 bis 1000 Millisekunden nach NOMEN-ONSET. Angegeben sind der Mittelwert *M* in μV , der SE des Mittelwerts der *t*-Statistik, der *t*-Wert und der *p*-Wert der Test-Statistik. Der Freiheitsgrad der *t*-Statistik lag für jeden Test bei $df = 25$. Signifikante Differenzen sind hervorgehoben.

Zeitintervall (ms)	<i>M Konkret</i> (μV)	<i>M Abstrakt</i> (μV)	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
0 - 100	.667	.471	.326	.603	.552
100 - 200	-.846	-.231	.347	.421	.677
200 - 300	-.973	-.346	.378	-1.658	.110
300 - 400	-1.682	-.801	.442	-1.993	.057
400 - 500	-1.738	-.658	.411	-2.627	.014
500 - 600	-1.304	-1.071	.315	-.741	.466
600 - 700	-.923	-.973	.325	.156	.877
700 - 800	-.924	-.671	.319	-.795	.434
800 - 900	.142	-.492	.309	2.052	.051
900 - 1000	.725	.563	.331	.488	.630

Abbildung 24 zeigt den Verlauf der beiden Wertekurven der *t*-Test-Statistik zum Vergleich konkreter und abstrakter Nomen.

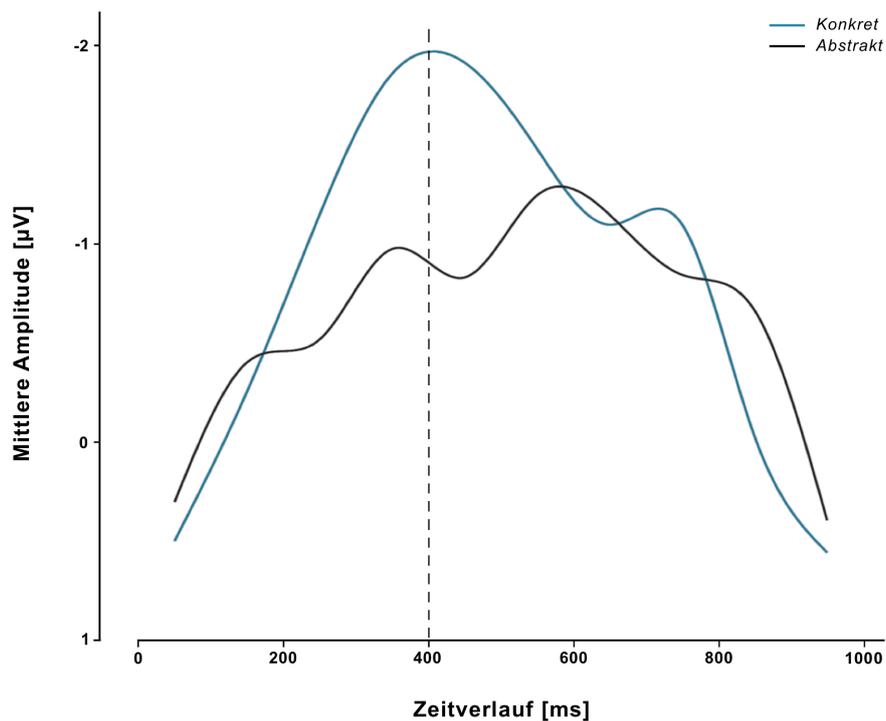


Abbildung 24: Verlauf der Wertekurven für konkrete und abstrakte Nomen entsprechend der *t*-Test-Statistik. Der signifikante Amplitudenunterschied im Latenzbereich der N400 ist deutlich zu erkennen.

4.4.6.2 ERS/ERD-Analyse

Bei der Berechnung der statistisch signifikanten Powerunterschiede wurden ebenfalls Mittelwerte über das zentrale Cluster mit den Elektroden C_3 , C_z und C_4 zusammengefasst. Für jeden Zeitabschnitt von 100 Millisekunden über den Verlauf des Satzes,

beziehungsweise Videos, wurden pro VPN je nach Satzabschnitt zwei oder drei Bedingungen miteinander verglichen. In den Satzabschnitten BASELINE, SATZ-ONSET und VERB-ONSET wurden Powerunterschiede zwischen den drei Satzbedingungen *konkrete Bewegung* (KB), *abstrakte Bewegung* (AB) und *abstrakt* (A) berechnet. Im Satzabschnitt NOMEN-ONSET wurden lediglich zwei Werte, für *Konkret* und *Abstrakt*, miteinander verglichen. In der Videobedingung erfolgte die statistische Analyse zwischen den beiden Elementen BEWEGUNGS-ONSET und STILL-ONSET. Die statistischen Berechnungen wurden für den Frequenzbereich des μ -Rhythmus (8 bis 12 Hz) und den Bereich des β_2 -Bandes (16 bis 25 Hz) durchgeführt.

Als erster Schritt wurden die Daten auf ihre Normalverteilung überprüft. Dies erfolgte anhand des *Kolmogorow-Smirnow*-Tests für die zu vergleichenden Werte in jedem Zeitabschnitt. Es zeigte sich, dass ein Großteil der Tests für beide Frequenzbereiche ein signifikantes Ergebnis aufwies, ein Großteil der Datensätze also nicht normalverteilt war. Daher wurden bei der statistischen Analyse der ERS/ERD nicht-parametrische Tests angewandt. Während der *Friedman*-Test geeignet ist, um drei oder mehr gepaarte nicht normalverteilte Datensätze miteinander zu vergleichen, entspricht der *Wilcoxon*-Test dem *t*-Test für zwei gepaarte Stichproben.

Im nächsten Schritt wurden die entsprechenden Tests für jeden Zeitabschnitt durchgeführt. Die Ergebnisse der statistischen Berechnungen für den Frequenzbereich des μ -Rhythmus sind detailliert in Tabelle 5 (S. 112) angegeben. Es ist hervorzuheben, dass sich während der BASELINE keine signifikanten Unterschiede zeigen. In dem Zeitintervall zwischen 200 und 300 Millisekunden nach SATZBEGINN liegt der Amplitudenwert für die AB-Stimuli signifikant unter dem Wert der abstrakten Kontrollsätze ($p < .05$). Da die Sätze an dieser Stelle alle identisch waren, sollte hier kein signifikanter Effekt auftreten. Bei der Diskussion der Ergebnisse wird dies entsprechend berücksichtigt. Nach NOMEN-ONSET zeigen sich mehrfach signifikante Ergebnisse. Im Zeitintervall zwischen 100 und 200 Millisekunden und 400 und 500 Millisekunden nach NOMEN-ONSET liegen die Amplitudenwerte für die konkreten Nomen unterhalb der Werte für die abstrakten Nomen. Im Zeitintervall zwischen 300 und 400 Millisekunden liegt ein entgegengesetzter Effekt vor. Im zeitlichen Verlauf nach VERB-ONSET sowie während der Beobachtung der Videos ergaben sich ebenfalls mehrfach signifikante Powerdifferenzen. So tritt ein signifikanter Powerunterschied bereits in einem Zeitintervall zwischen 100 und 200 Millisekunden nach VERB-ONSET auf. Post-hoc Vergleiche ergaben, dass in diesem frühen Intervall die Power für die Sätze, die eine konkrete Bewegung ausdrückten, signifikant geringer ausfällt als für die abstrakten Kontrollsätze ($p < .01$). Im späteren Verlauf der semantischen Dekodierung des Verbs zeigt sich ein Effekt, bei dem die Power für die AB-Sätze signifikant geringer ist als für die KB-Stimuli und auch als für die A-Sätze. Dieser Effekt setzt 900 Millisekunden nach VERB-ONSET ein und dauert bis 1200 Millisekunden nach VERB-ONSET an. Im Intervall zwischen 1300 und 1400 Millisekunden nach VERB-ONSET tritt erneut der Effekt ein, dass die KB-Stimuli

eine signifikant geringere Power aufweisen als die A-Stimuli ($p < .05$). In dem sich direkt anschließenden Zeitintervall liegt lediglich ein marginal signifikanter *Friedman*-Test vor. Dennoch zeigt der post-hoc durchgeführte *Wilcoxon*-Test die weiterhin bestehende signifikante Powerdifferenz zwischen KB- und A-Stimuli ($p < .05$). Zusätzlich liegt der Powerwert der AB-Stimuli hier signifikant unter dem Powerwert der A-Sätze ($p < .05$).

Die signifikanten Powerunterschiede im Vergleich der beiden Videobedingungen setzen 500 Millisekunden nach BEWEGUNGS- beziehungsweise STILL-ONSET ein. Dabei fällt die Power bei der Beobachtung einer Bewegung signifikant geringer aus als bei den stillen Videos. Dieser Effekt dauert bis 1200 Millisekunden nach Onset an, setzt dann für 200 Millisekunden aus, wird aber im letzten untersuchten Zeitintervall noch einmal deutlich.

Tabelle 5: ERD-Werte der *Friedman*- bzw. *Wilcoxon*-Test-Statistiken für den Frequenzbereich 8 bis 12 Hz zur Bestimmung der signifikanten Differenzen zwischen der Power der verschiedenen Satz-, Wort- und Videotypen in den definierten Satzabschnitten. Die Abkürzungen KB, AB und A stehen für die drei Satztypen *Konkrete Bewegung*, *Abstrakte Bewegung* und *Abstrakt*. Bei den Nomen entspricht der KB-Wert dem der konkreten und der AB-Wert dem der abstrakten Nomen. Angegeben sind die Mittelwerte M in μV^2 , das Chi-Quadrat (χ^2) für den *Friedman*- bzw. der z -Wert für den *Wilcoxon*-Test und der p -Wert der Test-Statistik. Bei dem Vergleich der Nomen entspricht der p -Wert der einseitigen Signifikanz. (Marginal) Signifikante Differenzen sind hervorgehoben. Der Freiheitsgrad lag für jeden Test bei $df = 2$.

Satzabschnitt	M KB (μV^2)	M AB (μV^2)	M A (μV^2)	χ^2	z	p
BASELINE						
-500 - -400	7.467	7.173	7.811	.077		.990
-400 - -300	7.454	7.735	8.359	0.692		.724
-300 - -200	7.876	7.634	8.362	1.000		.639
-200 - -100	8.263	8.360	8.471	1.000		.639
-100 - 0	7.928	8.449	8.799	3.769		.168
SATZBEGINN						
0 - 100	9.345	9.677	10.573	3.769		.168
100 - 200	9.751	9.746	10.503	2.846		.263
200 - 300	8.804	8.986	10.139	6.077		.048
300 - 400	7.685	8.589	9.837	3.000		.232
NOMEN-ONSET						
0 - 100	8.813	9.080			-1.079	.146
100 - 200	8.668	9.342			-1.740	.042
200 - 300	8.910	9.390			-1.156	.129
300 - 400	7.990	7.335			-2.857	.000
400 - 500	8.674	9.454			-1.918	.028
500 - 600	9.066	9.800			-.800	.219
600 - 700	9.160	10.249			-1.283	.104
700 - 800	9.542	10.155			-.190	.431
800 - 900	9.768	10.043			-.521	.309
900 - 1000	9.756	9.233			-.800	.219
VERB-ONSET						
0 - 100	8.668	8.336	10.657	3.000		.232
100 - 200	8.241	9.264	10.300	7.692		.020
200 - 300	8.666	9.228	10.249	.231		.929

300 - 400	8.749	9.210	10.754	.231	.929
400 - 500	8.595	9.067	10.887	.538	.820
500 - 600	9.068	8.515	9.827	.077	.990
600 - 700	9.433	8.432	9.278	2.154	.362
700 - 800	9.278	8.116	9.320	7.462	.023
800 - 900	8.990	8.282	9.352	2.846	.263
900 - 1000	9.232	8.132	9.992	7.000	.034
1000 - 1100	9.969	8.883	10.671	8.385	.015
1100 - 1200	10.101	9.051	10.517	8.615	.012
1200 - 1300	9.565	9.612	10.448	4.385	.120
1300 - 1400	9.172	10.412	11.029	7.462	.023
1400 - 1500	9.063	10.424	11.196	5.846	.055

Video	<i>M Bewegung</i> (μV)	<i>M Still</i> (μV)	χ^2	<i>z</i>	<i>p</i>
BASELINE					
-200 - -100	6.610	7.451		-.800	.437
-100 - 0	8.517	9.650		-1.308	.199
ONSET					
0 - 100	8.021	8.563		-1.054	.303
100 - 200	7.845	7.999		-.470	.653
200 - 300	8.398	8.525		-.749	.468
300 - 400	7.852	8.527		-.749	.468
400 - 500	6.817	8.311		-1.333	.190
500 - 600	6.482	8.562		-2.349	.018
600 - 700	6.724	8.826		-2.781	.004
700 - 800	6.761	8.807		-3.213	.001
800 - 900	6.738	8.378		-2.984	.002
900 - 1000	6.596	8.918		-3.213	.001
1000 - 1100	6.527	8.572		-2.679	.006
1100 - 1200	6.544	8.335		-2.324	.019
1200 - 1300	7.029	8.240		-1.029	.315
1300 - 1400	6.887	8.167		-1.333	.190
1400 - 1500	6.395	8.337		-2.146	.031

Die Abbildungen 25.1, 25.2 und 26 (S. 114f.) zeigen die Verläufe der Wertekurven für die Test-Statistiken aus Tabelle 5 getrennt für die Satz- und die Videobedingung.

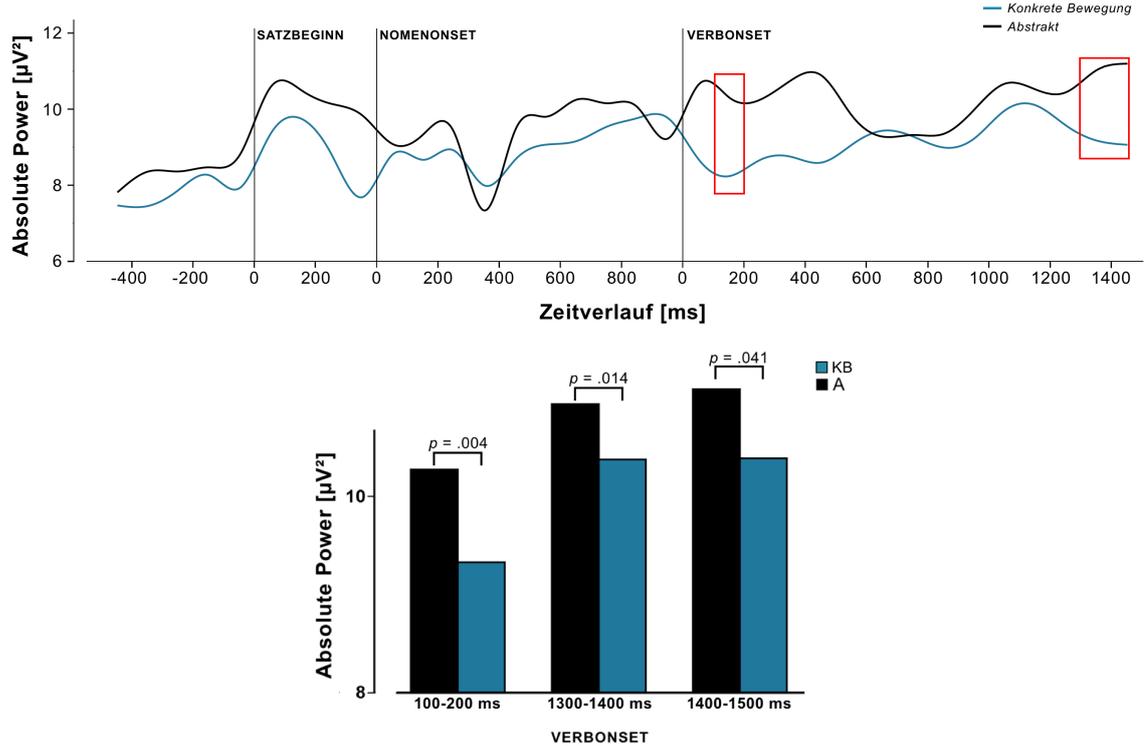


Abbildung 25.1: Absolute Powerwerte in μV^2 für den Verlauf der Sätze *Konkrete Bewegung* (KB) und *Abstrakt* (A) im Frequenzbereich 8 bis 12 Hz. Die signifikanten Differenzen während der Verb-Verarbeitung sind in den Balkendiagrammen verdeutlicht.

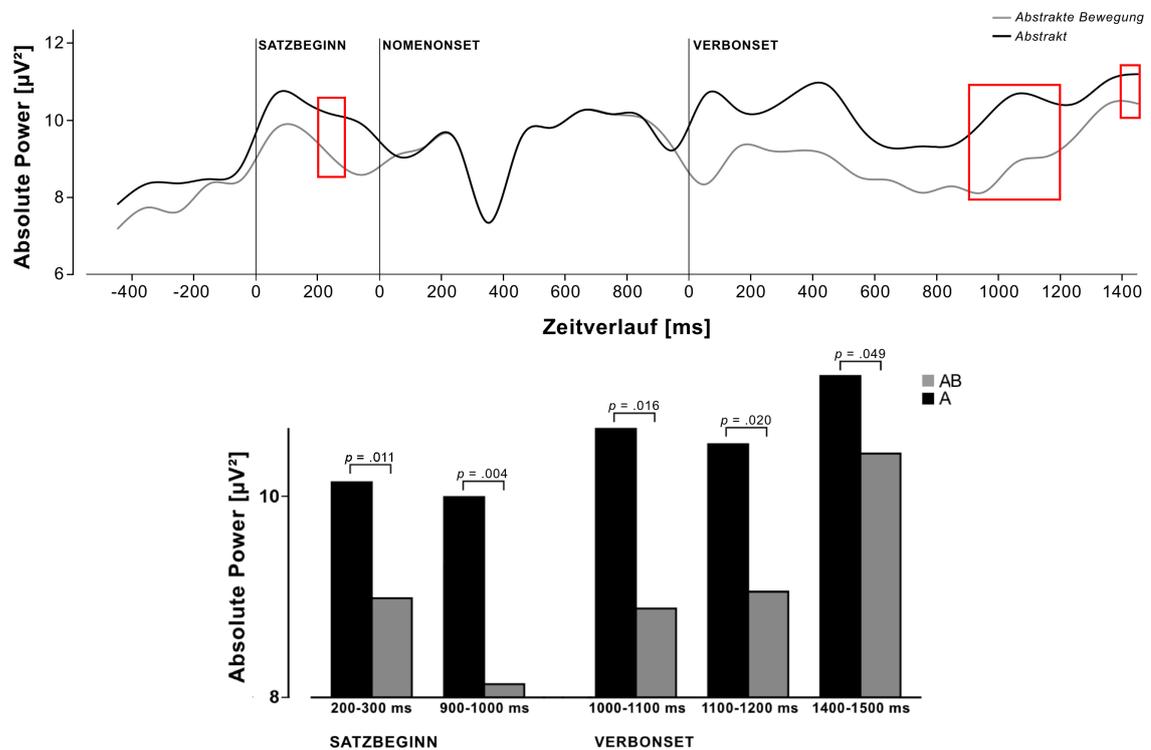


Abbildung 25.2: Absolute Powerwerte in μV^2 für den Verlauf der Sätze *Abstrakte Bewegung* (AB) und *Abstrakt* (A) im Frequenzbereich 8 bis 12 Hz. Die signifikanten Differenzen während der Satzverarbeitung sind in den Balkendiagrammen verdeutlicht.

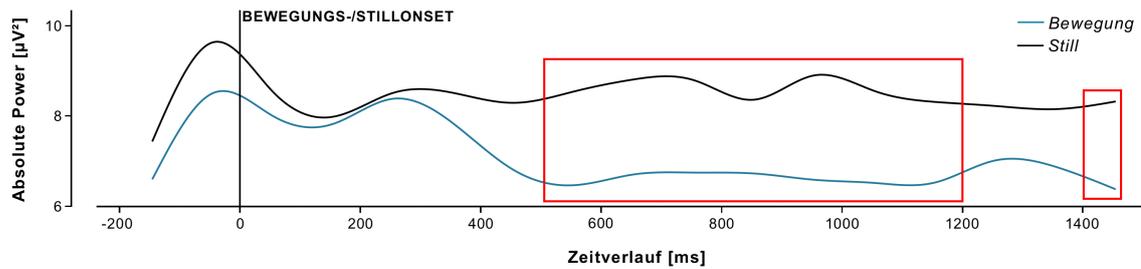


Abbildung 26: Absolute Powerwerte in μV^2 für den Verlauf der Videos im Frequenzbereich 8 bis 12 Hz. Signifikante Differenzen liegen für die rot markierten Bereiche vor.

Die detaillierten Test-Statistiken für den Frequenzbereich des β_2 -Bandes sind in Tabelle 6 aufgeführt. Im direkten Vergleich mit dem Frequenzbereich zwischen 8 und 12 Hertz fällt ins Auge, dass die signifikanten Powerdifferenzen beim Verb im β_2 -Band zeitbezogen weniger konstant auftreten. Weder während der BASELINE, noch während des SATZBEGINNS liegen statistisch signifikante Testergebnisse vor. 300 Millisekunden nach NOMEN-ONSET liegt die Amplitude für die abstrakten Nomen signifikant unter dem Wert für die konkreten Nomen ($p < .001$). Nach dem VERB-ONSET ist der *Friedman*-Test im Intervall zwischen 200 und 300 Millisekunden signifikant. Entsprechend der post-hoc Tests fällt die Power für die AB- und die KB-Stimuli in diesem Zeitfenster signifikant höher aus als für die A-Items ($p < .05$ für KB vs. A, $p < .055$ für AB vs. A). Im weiteren Verlauf des Verbs zeichnet sich ein unstetes Muster ab. Im Intervall zwischen 1200 und 1300 Millisekunden nach VERB-ONSET fällt der *Friedman*-Test marginal signifikant aus ($p = .055$). Post-hoc zeigt sich, dass die Amplituden sowohl der KB- als auch der AB-Stimuli signifikant unter den Powerwerten der A-Sätze liegen ($p < .05$ für KB vs. A und AB vs. A). Während im darauffolgenden Intervall kein Effekt deutlich wird, liegt die Power für die AB-Stimuli im letzten analysierten Intervall signifikant unter der Power für die KB-Items ($p < .01$). Beim Vergleich der beiden Videobedingungen ergibt sich wie schon bei der Analyse des μ -Frequenzbereichs, dass die Power bei der Beobachtung einer Bewegung konstant signifikant unter der Power bei der Beobachtung eines stillen Videos liegt. Dieser Effekt setzt 400 Millisekunden nach dem Onset der Bewegung ein.

Tabelle 6: ERD-Werte der *Friedman*- bzw. *Wilcoxon*-Test-Statistiken für den Frequenzbereich 16 bis 25 Hz zur Bestimmung der signifikanten Differenzen zwischen der Power der verschiedenen Satz-, Wort- und Videotypen in den definierten Satzabschnitten. Für weitere Details zur Tabelle siehe Tabelle 5. Der Freiheitsgrad lag für jeden Test bei $df = 2$.

Satzabschnitt	M KB (μV^2)	M AB (μV^2)	M A (μV^2)	χ^2	z	p
BASELINE						
-500 - -400	3.760	3.891	3.896	2.385		.318
-400 - -300	3.781	3.932	4.148	4.923		.082
-300 - -200	3.767	3.921	4.043	4.692		.106
-200 - -100	3.838	4.096	4.106	1.231		.562
-100 - 0	4.050	4.097	4.213	.308		.874

SATZBEGINN					
0 - 100	3.979	4.106	4.101	1.923	.409
100 - 200	3.973	3.990	4.125	1.000	.639
200 - 300	4.006	3.943	4.032	.308	.874
300 - 400	3.879	4.049	4.032	1.231	.562
NOMEN-ONSET					
0 - 100	3.914	4.024			-1.460 .075
100 - 200	3.939	3.987			-.622 .274
200 - 300	3.938	3.954			-.419 .345
300 - 400	3.771	2.820			-3.949 .000
400 - 500	3.873	3.835			-.648 .266
500 - 600	3.904	3.944			-.292 .392
600 - 700	4.079	4.008			-1.308 .099
700 - 800	4.051	4.064			-.013 .500
800 - 900	4.108	4.020			-.216 .421
900 - 1000	3.982	4.201			-.597 .283
VERB-ONSET					
0 - 100	4.007	3.780	4.051	4.385	.120
100 - 200	4.099	3.770	3.862	2.154	.362
200 - 300	3.910	4.092	3.704	10.692	.004
300 - 400	3.845	3.790	4.062	1.000	.639
400 - 500	3.892	4.092	4.042	.308	.874
500 - 600	3.787	3.945	4.055	.308	.874
600 - 700	4.072	3.927	3.970	.923	.679
700 - 800	4.292	3.904	3.993	.308	.874
800 - 900	4.276	4.108	4.008	.692	.724
900 - 1000	4.135	3.949	3.910	.538	.820
1000 - 1100	4.239	4.214	4.367	1.462	.528
1100 - 1200	4.072	4.085	4.374	2.846	.263
1200 - 1300	4.100	4.053	4.520	5.846	.055
1300 - 1400	4.126	4.293	4.502	4.385	.120
1400 - 1500	4.300	3.975	4.014	8.538	.014
Video	M Bewegung (µV)	M Still (µV)	χ^2	z	p
BASELINE					
-200 - -100	3.241	3.316			-.749 .468
-100 - 0	3.710	3.712			-.038 .980
ONSET					
0 - 100	3.531	3.373			-.825 .423
100 - 200	3.505	3.404			-.927 .367
200 - 300	3.409	3.447			-.368 .727
300 - 400	3.172	3.500			-1.765 .080
400 - 500	3.153	3.641			-3.137 .001
500 - 600	3.131	3.627			-2.273 .022
600 - 700	3.012	3.806			-3.010 .002
700 - 800	3.058	3.781			-2.730 .005
800 - 900	3.066	3.631			-3.060 .001
900 - 1000	3.082	3.514			-2.045 .041
1000 - 1100	3.028	3.616			-2.756 .005
1100 - 1200	3.121	3.719			-1.867 .063
1200 - 1300	3.006	3.500			-2.629 .007
1300 - 1400	2.843	3.509			-2.705 .006
1400 - 1500	2.782	3.681			-3.619 .000

Die Abbildungen 27.1, 27.2 und 28 (S. 117f.) geben den Verlauf der Werte im β_2 -Band bei der Verarbeitung der Sätze und Videos wieder.

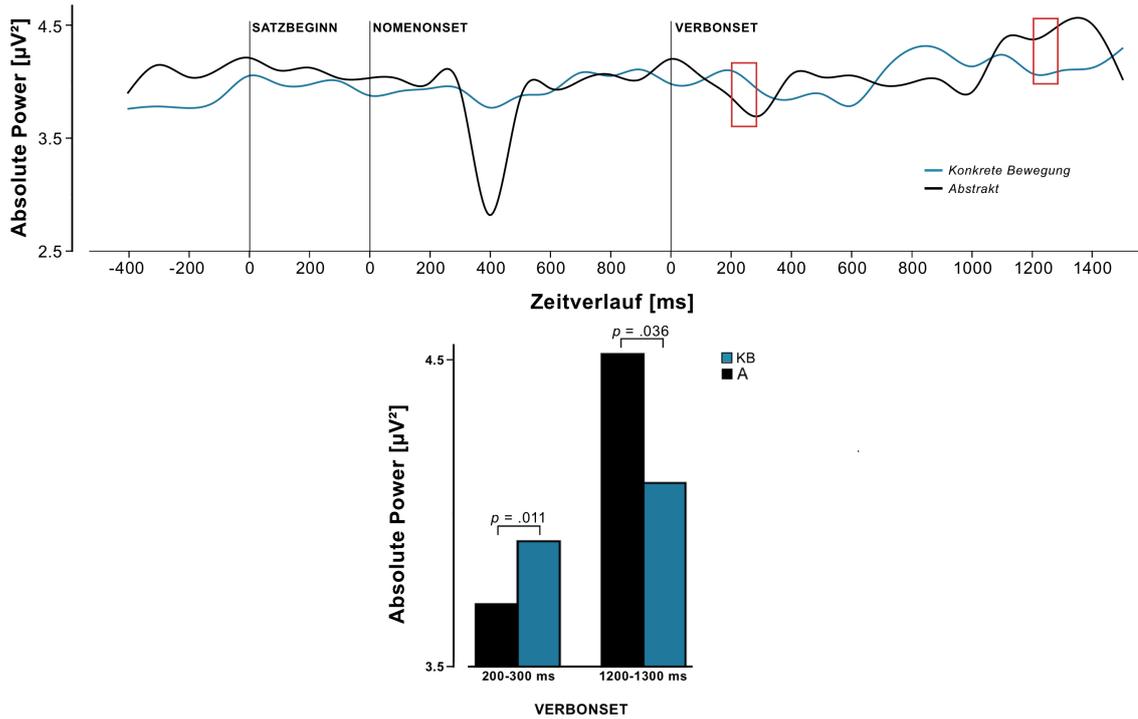


Abbildung 27.1: Absolute Powerwerte in μV^2 für den Verlauf der Sätze *Konkrete Bewegung* (KB) und *Abstrakt* (A) im Frequenzbereich 16 bis 25 Hz. Die signifikanten Differenzen während der Verbverarbeitung sind in den Balkendiagrammen verdeutlicht.

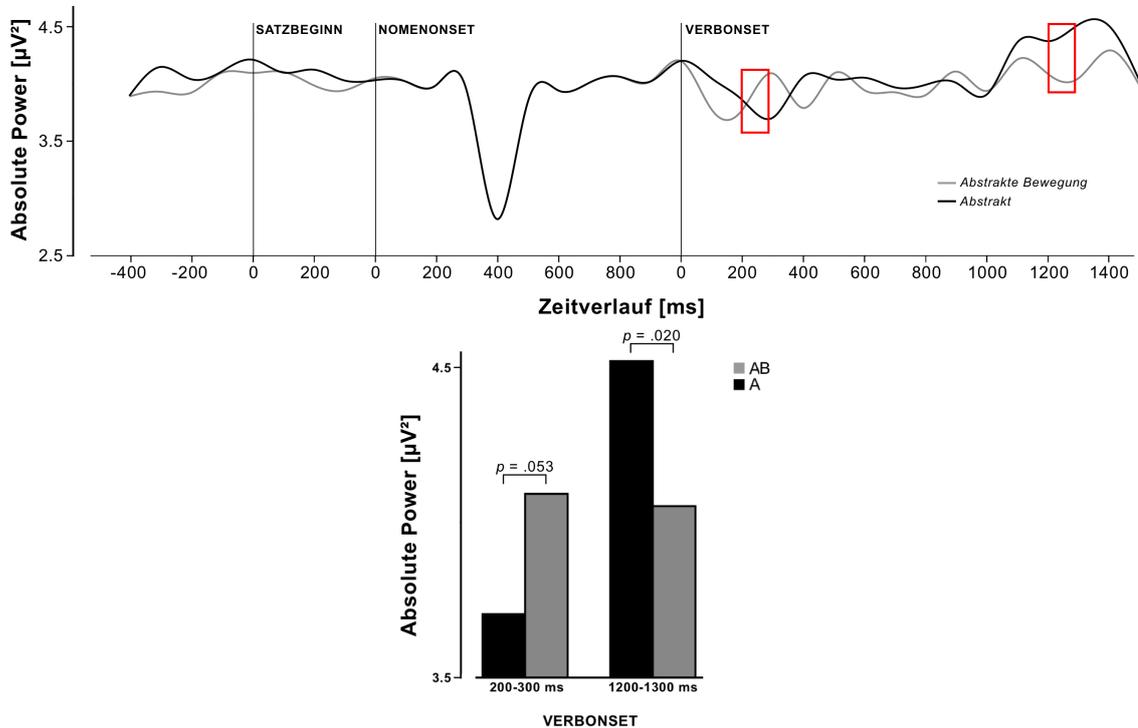


Abbildung 27.2: Absolute Powerwerte in μV^2 für den Verlauf der Sätze *Abstrakte Bewegung* (AB) und *Abstrakt* (A) im Frequenzbereich 16 bis 25 Hz. Die signifikanten Differenzen während der Satzverarbeitung sind in den Balkendiagrammen verdeutlicht.

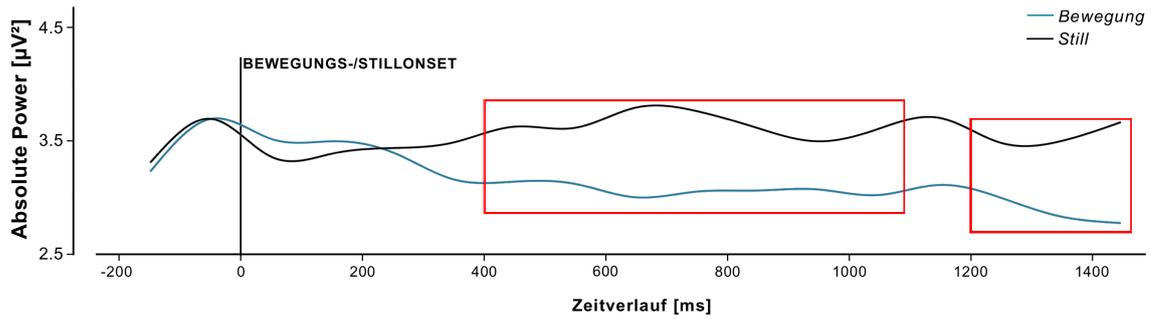


Abbildung 28: Absolute Powerwerte in μV^2 für den Verlauf der Videos im Frequenzbereich 16 bis 25 Hz. Signifikante Differenzen liegen für die rot markierten Bereiche vor.

4.4.6.3 FFT-Analyse

Die aus dem *Analyzer* exportierten Werte für die FFT-Analyse stellten mittlere Powerwerte (μV^2) für jede Elektrode jeweils über Intervalle von 300 Millisekunden Dauer beginnend beim VERB-ONSET bis 1500 Millisekunden nach VERB-ONSET dar. In der Videobedingung wurden entsprechend fünf Intervalle à 300 Millisekunden Dauer vom BEWEGUNGS- beziehungsweise STILL-ONSET an gewählt. Folglich lagen für jede VPN und jede Elektrode fünf Werte pro Satz- beziehungsweise Videotyp vor. Diese Werte wurden über das zentrale Cluster gemittelt. Im Anschluss erfolgte die Überprüfung der Normalverteilung der Werte mittels des *Kolmogorow-Smirnow*-Tests. Im Frequenzbereich 8 bis 12 Hertz lagen teilweise Verteilungen vor, die nicht der Normalverteilung entsprachen. Es handelte sich zwar nicht um die Mehrheit der Tests, dennoch wurden in der Folge sowohl parametrische als auch nicht-parametrische statistische Testverfahren angewandt, um die Reliabilität möglicher signifikanter Ergebnisse zu überprüfen. Im β_2 -Band ergab der *Kolmogorow-Smirnow*-Test, dass nahezu alle Verteilungen der Normalverteilung entsprachen. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden jedoch auch für diesen Frequenzbereich sowohl parametrische als auch nicht-parametrische Testverfahren angewandt.

Für den Vergleich der Satztypen wurden als parametrisches statistisches Verfahren *rmANOVAs* mit dem Faktor *Satztyp* für jeden Zeitabschnitt von 300 Millisekunden Dauer durchgeführt. Für den Vergleich der beiden Videobedingungen wurden dementsprechend *t*-Tests für paarige Stichproben herangezogen. Die Ergebnisse der parametrischen Verfahren sind in den Tabellen 7.1 und 7.2 (S. 119) detailliert angegeben. Im Frequenzbereich des μ -Rhythmus liegt innerhalb des Zeitintervalls von 300 bis 600 Millisekunden nach VERB-ONSET ein signifikanter Effekt für den Vergleich zwischen den Satzbedingungen vor. Post-hoc durchgeführte und nach *Bonferroni* korrigierte paarweise Vergleiche ergaben allerdings lediglich eine Tendenz in Richtung eines signifikanten Powerunterschieds, wobei die Power für die KB-Stimuli ($M = 1.440$) marginal signifikant geringer ausfällt als die Power für die AB-Stimuli ($M = 1.714, p = .070$). Unabhängig vom Frequenzbereich lassen sich beim Vergleich der Videobedingungen wiederholt signifikante Amplitudendifferenzen feststellen, wobei die Amplituden bei

der Beobachtung einer Bewegung geringer ausfallen als bei der Beobachtung eines stillen Videos. Hervorzuheben ist diesbezüglich, dass die Effekte im Frequenzbereich des μ -Rhythmus später einsetzen als im Bereich des β_2 -Bandes.

Tabelle 7.1: Signifikante FFT-Powerunterschiede zwischen den drei Satztypen entsprechend der Ergebnisse der rmANOVAs. Die Tabelle zeigt die Werte der Test-Statistiken für die Frequenzbereiche 8 bis 12 Hz und 16 bis 25 Hz. Die Abkürzungen *KB*, *AB*, und *A* stehen für die drei Satztypen *Konkrete Bewegung*, *Abstrakte Bewegung* und *Abstrakt*. Angegeben sind der Mittelwert *M* in μV^2 , die mittlere quadratische Abweichung der *F*-Statistik (*Mean Square Error*, MSqE), der *F*-Wert und der *p*-Wert der Test-Statistik. Signifikante Haupteffekte für den Faktor *Satztyp* sind hervorgehoben. Die Freiheitsgrade lagen für jeden Test bei $df_1=2$ und $df_2=50$.

Zeitintervall (ms)	<i>M KB</i> (μV^2)	<i>M AB</i> (μV^2)	<i>M A</i> (μV^2)	<i>MSqE</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<u>8 - 12 Hz</u>						
0 - 300	1.704	1.757	1.761	.027	.104	.902
300 - 600	1.440	1.714	1.689	.597	3.319	.044
600 - 900	1.642	1.657	1.636	.003	.018	.982
900 - 1200	1.738	1.761	1.893	.182	.787	.461
1200 - 1500	1.860	1.829	1.584	.593	2.591	.085
<u>16 - 25 Hz</u>						
0 - 300	.573	.578	.565	.011	.111	.895
300 - 600	.554	.577	.562	.011	.340	.712
600 - 900	.609	.613	.587	.012	.426	.656
900 - 1200	.615	.654	.595	.012	1.938	.155
1200 - 1500	.591	.612	.590	.013	.298	.744

Tabelle 7.2: Signifikante FFT-Powerunterschiede zwischen den zwei Videotypen *Bewegung* und *Still* entsprechend der Werte der *t*-Tests in einem Zeitraum von 0 bis 1500 ms nach BEWEGUNGS- bzw. STILL-ONSET. Angegeben sind die Werte in beiden relevanten Frequenzbereichen. Die Tabelle zeigt den Mittelwert *M* in μV^2 , den SE des Mittelwertes der *t*-Statistik, den *t*-Wert und den *p*-Wert der Test-Statistik. Der Freiheitsgrad der *t*-Statistik lag für jeden Test bei $df = 25$.

Zeitintervall (ms)	<i>M Bewegung</i> (μV^2)	<i>M Still</i> (μV^2)	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<u>8 - 12 Hz</u>					
0 - 300	2.093	1.911	.147	1.239	.227
300 - 600	1.978	1.924	.160	.335	.741
600 - 900	1.779	1.945	.149	-1.120	.273
900 - 1200	1.868	2.184	.136	-2.325	.029
1200 - 1500	1.836	2.178	.218	-1.567	.130
<u>16 - 25 Hz</u>					
0 - 300	.658	.658	.038	.006	.995
300 - 600	.620	.671	.021	-2.422	.023
600 - 900	.672	.784	.040	-2.804	.010
900 - 1200	.636	.696	.041	-1.480	.151
1200 - 1500	.648	.731	.033	-2.557	.017

Wie schon bei der ERS/ERD-Analyse wurde auch hier als nicht-parametrisches Testverfahren zum Vergleich der drei Satztypen der *Friedman*- und, gegebenenfalls post-hoc, der *Wilcoxon*-Test angewandt. Tabelle 8.1 (S. 120) zeigt die Resultate der *Friedman*-Test-Statistiken der FFT-Analyse für die Satzvergleiche. Der infolge eines marginal signifikanten *Friedman*-Tests ($p = .055$) im Zeitintervall zwischen 300 und 600

Millisekunden post VERB-ONSET durchgeführte *Wilcoxon*-Test zum paarigen Vergleich der drei Satztypen im Frequenzbereich des μ -Rhythmus zeigte, dass hier die Power für die konkreten Sätze signifikant geringer ausfällt als die Power für die beiden abstrakten Satztypen ($p < .05$ für *KB* vs. *AB* und *KB* vs. *A*). Abbildung 29 (S. 121) verdeutlicht diesen Effekt, der sich im β_2 -Bereich nicht zeigt. Tabelle 8.2 gibt die Werte für die *Wilcoxon*-Tests wieder, die für den Vergleich der beiden Videobedingungen herangezogen wurden. Die Resultate sind mit denen der *rmANOVAs* nahezu identisch: In beiden Frequenzbereichen liegen die Powerwerte bei der Verarbeitung einer Bewegung wiederholt unter den Powerwerten bei der Verarbeitung eines stillen Videos, wobei der Effekt im α -Band später einsetzt als im β_2 -Band. Die Balkendiagramme 30.1 und 30.2 (S. 121f.) zeigen die Werteverteilung der nicht-parametrischen Statistik für den Vergleich der beiden Videobedingungen in den beiden analysierten Frequenzbereichen.

Tabelle 8.1: Ergebnisse der *Friedman*-Tests zur Überprüfung signifikanter Powerunterschiede zwischen den drei Satztypen bei der FFT-Analyse. Die Tabelle zeigt die Werte der Test-Statistiken für die Frequenzbereiche 8 bis 12 Hz und 16 bis 25 Hz. Die Abkürzungen *KB*, *AB*, und *A* stehen für die drei Satztypen *Konkrete Bewegung*, *Abstrakte Bewegung* und *Abstrakt*. Angegeben sind der Mittelwert *M* in μV^2 , das Chi-Quadrat (χ^2) für den *Friedman*-Test sowie der *p*-Wert der Test-Statistik. Signifikante Differenzen sind hervorgehoben. Der Freiheitsgrad lag für jeden Test bei $df = 2$.

Zeitintervall (ms)	<i>M KB</i> (μV^2)	<i>M AB</i> (μV^2)	<i>M A</i> (μV^2)	χ^2	<i>p</i>
<u>8 - 12 Hz</u>					
0 - 300	1.704	1.757	1.761	.000	1.000
300 - 600	1.440	1.714	1.689	5.846	.055
600 - 900	1.642	1.657	1.636	1.000	.639
900 - 1200	1.738	1.761	1.893	1.462	.528
1200 - 1500	1.860	1.829	1.584	2.846	.263
<u>16 - 25 Hz</u>					
0 - 300	.573	.578	.565	.000	1.000
300 - 600	.554	.577	.562	.308	.874
600 - 900	.609	.613	.587	2.769	.279
900 - 1200	.615	.654	.595	4.846	.094
1200 - 1500	.591	.612	.590	.231	.929

Tabelle 8.2: Ergebnisse der *Wilcoxon*-Tests zur Überprüfung signifikanter Powerunterschiede zwischen den beiden Videotypen bei der FFT-Analyse. Die Tabelle zeigt die Werte der Test-Statistiken für die beiden relevanten Frequenzbereiche. Angegeben sind der Mittelwert *M* in μV^2 , der *z*-Wert für den *Wilcoxon*-Test sowie der *p*-Wert der Test-Statistik. Signifikante Differenzen sind hervorgehoben.

Zeitintervall (ms)	<i>M Bewegung</i> (μV^2)	<i>M Still</i> (μV^2)	<i>z</i>	<i>p</i>
<u>8 - 12 Hz</u>				
0 - 300	2.088	1.911	-1.251	.220
300 - 600	1.978	1.924	-.775	.452
600 - 900	1.779	1.945	-1.079	.291
900 - 1200	1.868	2.184	-2.349	.018
1200 - 1500	1.836	2.178	-1.613	.111
<u>16 - 25 Hz</u>				
0 - 300	.655	.658	-0.175	.874
300 - 600	.620	.671	-2.375	.016

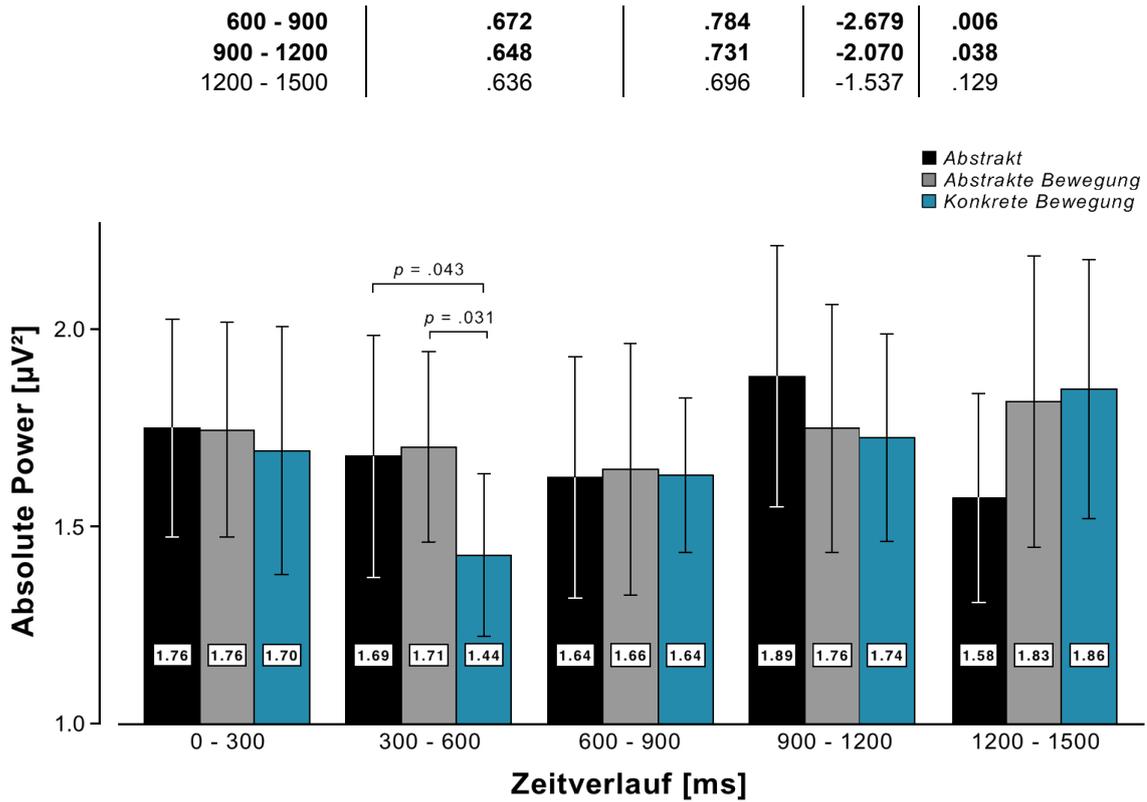


Abbildung 29: Ergebnisse der nicht-parametrischen FFT-Statistik zum Vergleich der Satztypen im Frequenzbereich zwischen 8 und 12 Hz. Die Fehlerbalken repräsentieren den mittleren zweifachen SE.

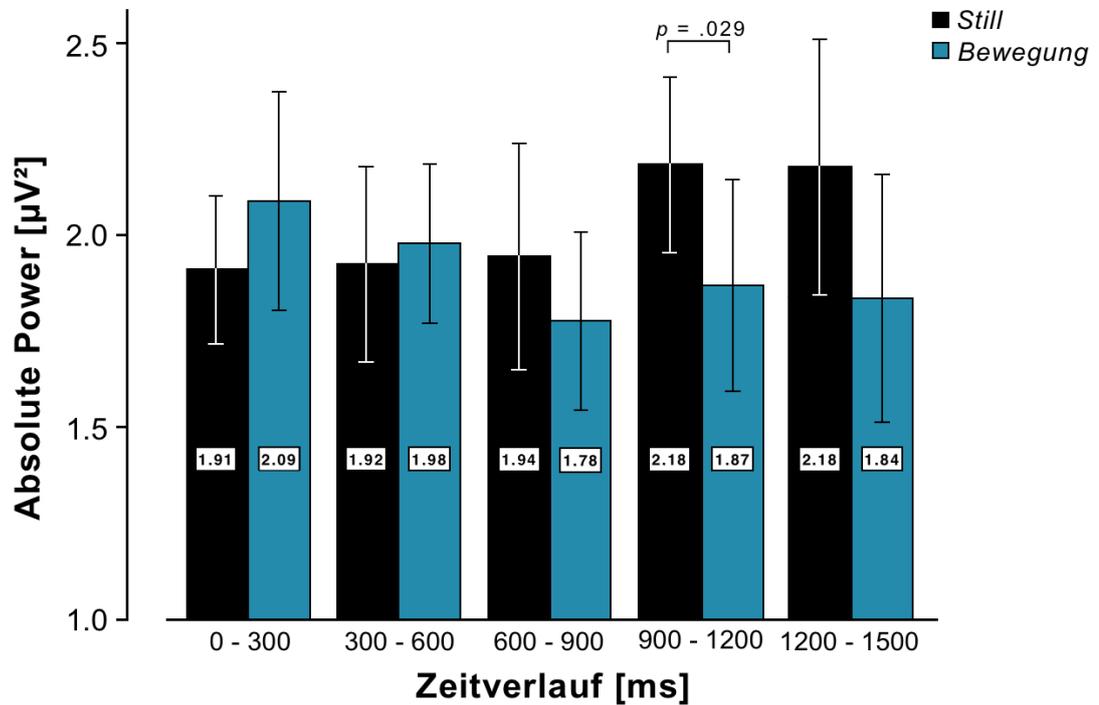


Abbildung 30.1: FFT-Vergleich der beiden Videobedingungen entsprechend der Ergebnisse der *Wilcoxon*-Tests für den Frequenzbereich des μ -Rhythmus. Die Fehlerbalken repräsentieren den mittleren zweifachen SE.

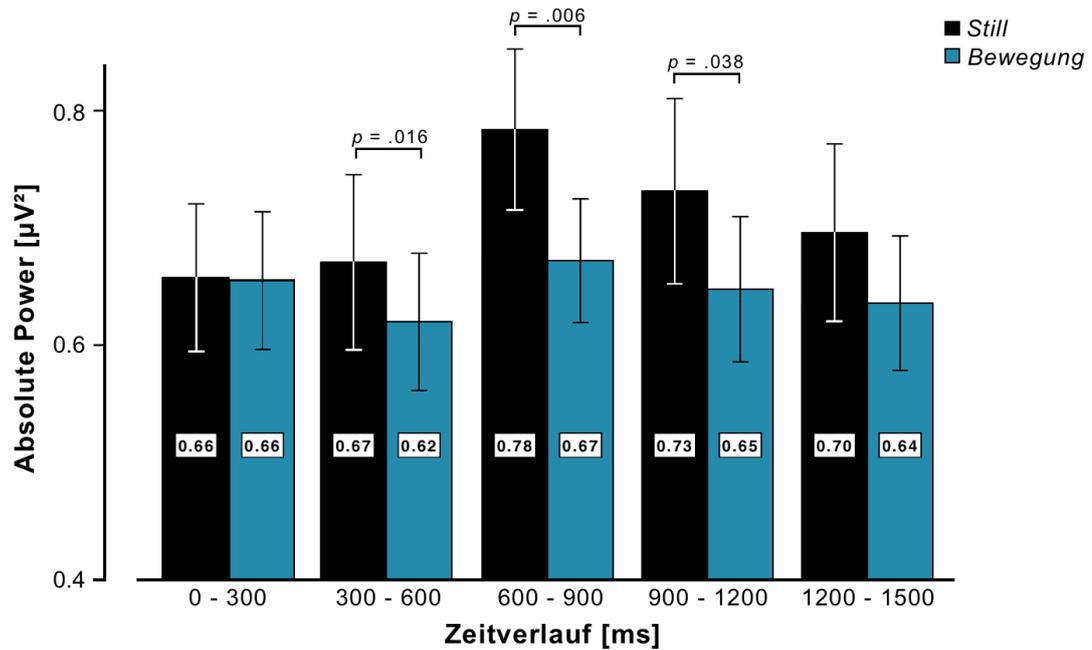


Abbildung 30.2: FFT-Vergleich der beiden Videobedingungen entsprechend der Ergebnisse der *Wilcoxon*-Tests für den Frequenzbereich des β_2 -Rhythmus im zentralen Elektrodencluster. Die Fehlerbalken repräsentieren den mittleren zweifachen SE.

4.4.6.4 Kohärenzanalyse

Bei der Kohärenzanalyse lagen für jede VPN und jede Satz- beziehungsweise Videobedingung drei Kohärenzwerte pro Zeitabschnitt vor. Entsprechend der Datenvorbereitung handelte es sich dabei um Mittelwerte über Zeitintervalle von 300 Millisekunden beginnend beim VERB-, BEWEGUNGS- und STILL-ONSET bis 1500 Millisekunden nach dem Onset. Die Kohärenzanalyse erfolgte lediglich über den Frequenzbereich des β_2 -Bandes. Auch bei diesem Auswertungsverfahren wurde zunächst die Normalverteilung der vorliegenden Werte anhand des *Kolmogorow-Smirnow*-Tests überprüft. Diese Überprüfung zeigte, dass die Werte nahezu ausschließlich normalverteilt waren, sodass zur statistischen Analyse das parametrische Testverfahren der *rmANOVA* genutzt wurde.

Die im Rahmen der Kohärenzanalyse durchgeführte *rmANOVA* in der Satzbedingung hatte die Faktoren *Satztyp* und *Elektrodenpaar* mit den Levels C_3-C_z , C_3-C_4 und C_z-C_4 . Die Test-Statistiken sind in Tabelle 9.1 (S. 123) aufgelistet. Wie daraus hervorgeht, zeigt sich lediglich im Zeitintervall zwischen 300 und 600 Millisekunden nach VERB-ONSET ein signifikanter Interaktionseffekt. Post-hoc durchgeführte *t*-Tests ergaben, dass in diesem Intervall für das Elektrodenpaar C_3-C_z eine stärkere Kohärenz bei den konkreten Bewegungssätzen im Vergleich zu den abstrakten Kontrollsätzen vorliegt ($t(25) = 2.113, p < .05$).

Tabelle 9.1: Ergebnisse der rmANOVAs zur Überprüfung signifikanter Kohärenzunterschiede zwischen den drei Satztypen. Die Tabelle zeigt die Werte der Test-Statistiken für den Frequenzbereich 16 bis 25 Hz. Die Abkürzungen *KB*, *AB*, und *A* stehen für die drei Satztypen *Konkrete Bewegung*, *Abstrakte Bewegung* und *Abstrakt*. Angegeben sind der Mittelwert *M* in μV^2 , die mittlere quadratische Abweichung der *F*-Statistik (*MSqE*), der *F*-Wert und der *p*-Wert der Test-Statistik. Interaktionseffekte der Faktoren *Satztyp* und *Elektrodenpaar* sind hervorgehoben. Die Freiheitsgrade lagen für jeden Interaktionseffekt bei $df_1=4$ und $df_2=100$.

Zeitintervall (ms)	<i>M KB</i> (μV^2)			<i>M AB</i> (μV^2)			<i>M A</i> (μV^2)			<i>MSqE</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
	<i>C₃-C_z</i>	<i>C₃-C₄</i>	<i>C_z-C₄</i>	<i>C₃-C_z</i>	<i>C₃-C₄</i>	<i>C_z-C₄</i>	<i>C₃-C_z</i>	<i>C₃-C₄</i>	<i>C_z-C₄</i>			
0 - 300	.221	.092	.230	.223	.084	.226	.212	.102	.259	.002	2.341	.060
300 - 600	.227	.097	.227	.219	.089	.241	.203	.097	.250	.001	3.013	.022
600 - 900	.204	.095	.238	.208	.097	.239	.226	.103	.257	.001	.328	.859
900 - 1200	.236	.109	.244	.237	.102	.248	.212	.098	.257	.002	1.703	.155
1200 - 1500	.216	.091	.223	.230	.103	.254	.224	.089	.248	.002	1.247	.299

Für die Videobedingung sollte eine rmANOVA mit den Faktoren *Videotyp* und *Elektrodenpaar* für jedes Zeitintervall von 300 Millisekunden Aufschluss über mögliche signifikante Differenzen geben. Die Test-Statistiken sind in Tabelle 9.2 aufgeführt. Der späte signifikante Interaktionseffekt zwischen 1200 und 1500 Millisekunden nach BEWEGUNGS- beziehungsweise STILL-ONSET ergab post-hoc eine signifikant stärkere Kohärenz während der Bewegungsbeobachtung im Vergleich zur Beobachtung eines stillen Videos für das Elektrodenpaar *C₃-C_z* ($t(25) = 2.362, p < .05$).

Tabelle 9.2: Ergebnisse der rmANOVAs zur Überprüfung signifikanter Kohärenzunterschiede zwischen den zwei Videotypen. Die Tabelle zeigt die Werte der Test-Statistiken für den Frequenzbereich 16 bis 25 Hz. Angegeben sind der Mittelwert *M* in μV^2 , die mittlere quadratische Abweichung der *F*-Statistik (*MSqE*), der *F*-Wert und der *p*-Wert der Test-Statistik. Signifikante Interaktionseffekte der Faktoren *Satztyp* und *Elektrodenpaar* sind hervorgehoben. Die Freiheitsgrade lagen für jeden Interaktionseffekt bei $df_1=4$ und $df_2=100$.

Zeitintervall (ms)	<i>M Bewegung</i> (μV^2)			<i>M Still</i> (μV^2)			<i>MSqE</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
	<i>C₃-C_z</i>	<i>C₃-C₄</i>	<i>C_z-C₄</i>	<i>C₃-C_z</i>	<i>C₃-C₄</i>	<i>C_z-C₄</i>			
0 - 300	.234	.105	.251	.231	.117	.234	.004	.653	.525
300 - 600	.239	.100	.237	.236	.113	.246	.003	.458	.553
600 - 900	.240	.097	.252	.255	.118	.257	.001	.625	.540
900 - 1200	.240	.101	.238	.243	.109	.241	.003	.058	.884
1200 - 1500	.258	.107	.237	.211	.102	.239	.002	3.791	.029

4.4.7 Diskussion

In der vorliegenden EEG-Studie wurden elektrophysiologische Oszillationen während der Beobachtung einer Bewegung, der Verarbeitung von Bewegungsverben in konkreten Kontexten und der Verarbeitung von Bewegungsverben in abstrakten Kontexten als kritisches Stimulusmaterial miteinander verglichen. Von untergeordneter Relevanz war die Analyse der N400 im Zusammenhang mit dem Konkretheitseffekt, der durch die wissenschaftliche Literatur hinreichend belegt ist (s. Kapitel 2.5). Auch in den vorliegenden Daten trat er als Kontrast zwischen den konkreten und den abstrakten Nomen

klar in Erscheinung. Da der Effekt für die hier behandelten zentralen Forschungsfragen nicht relevant ist, wird von einer weiteren diesbezüglichen Diskussion abgesehen. Der Fokus der Analyse liegt auf den Frequenzbändern des μ -Rhythmus zwischen 8 und 12 Hertz und des β_2 -Rhythmus zwischen 16 und 25 Hertz. Eine Unterdrückung beziehungsweise Desynchronisierung der Ruherhythmen innerhalb dieser Frequenzbereiche wurde in der Vergangenheit wiederholt im Zusammenhang mit der Ausführung, Beobachtung, Imagination und Simulation von Bewegungen sowie der Verarbeitung konkreter bewegungsbezogener Sprache diskutiert. Entsprechend der wissenschaftlichen Literatur wurden zwei Elektrodencluster analysiert: ein fronto-zentrales Cluster, das die Elektroden FC₁, FC_z, FC₂, C₃, C_z und C₄ umschloss, und ein zentrales Cluster, bestehend aus C₃, C_z und C₄. Da sich die Reaktionen in den beiden Elektrodenclustern kaum unterscheiden, tendenziell aber stärker im zentralen Cluster auftreten, konzentriert sich die nachfolgende Diskussion auf das zentrale Elektrodencluster.

Eine Einschränkung in Bezug auf die Resultate in der vorliegenden Studie ist, dass für die Sätze mit motorischen Verben eine höhere cloze-probability vorlag als für die Sätze mit abstrakten Verben. Die Wahrscheinlichkeit, dass nach dem Nomen im Satz das Bewegungsverb folgte, war also höher, als dass das abstrakte Verb folgte. Die cloze-probability der Sätze wurde in einer im Anschluss an die übrigen Experimente durchgeführten Fragebogenstudie erhoben. 25 weibliche und ein männlicher Studierende/r der Universität Bielefeld im Alter von 22 bis 36 Jahren ($M = 26.3$, $SD = \pm 3.2$) wurden im Rahmen eines Seminars darum gebeten, zu jedem der Sätze das Verb zu ergänzen, das ihnen als am besten in den Kontext passend erschien. Mehrfachantworten waren erlaubt. Zur Auswertung wurde ausgezählt, wie häufig die Studierenden das Zielverb für jeden Satz wählten. Der entsprechende Prozentsatz, gemessen an der Summe der Antworten, wurde als cloze-probability definiert. In einer rmANOVA wurde die cloze-probability für die drei Satztypen miteinander verglichen. Es ergab sich ein signifikanter Effekt für den Einfluss des Satztyps auf die cloze-probability, $F(1.699, 81.552) = 6.173$, $MSE = 412.899$, $p < .01$ (entsprechend der Signifikanz des Mauchly-Tests mit $\varepsilon = .8$ wurde die Huynh-Feldt Korrektur genutzt). Die paarweisen Vergleiche mit Bonferroni-Korrektur ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen der cloze-probability für KB- ($M = 16.0$) und AB- ($M = 14.2$) im Kontrast zu A-Items ($M = 3.7$). Der Unterschied zwischen den ersten beiden Satztypen war nicht signifikant. Den Ergebnissen dieser Überprüfung folgend könnten die RT-Unterschiede zwischen den AB- und den A-Stimuli, die in der vorliegenden Studie detektiert wurden, ein Effekt der unterschiedlichen cloze-probability sein. Dass diese tatsächlich einen Einfluss auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Sätze hatte, ist unter Berücksichtigung der EEG-Daten jedoch unwahrscheinlich. Van Elk et al. (2010) zufolge könnten sich Effekte der cloze-probability lediglich auf die β -ERD, nicht aber auf die μ -ERD auswirken. Sie stellten fest, dass die β -ERD in einem Frequenzbereich zwischen 20 und 30 Hertz für Nomen-Verb-Paare mit einer hohen cloze-probability stärker war als für Paare mit

niedriger cloze-probability. Der Effekt trat im Latenzbereich der N400 auf. Diesen Befunden zufolge hätte die β -ERD in der vorliegenden Studie in einem Zeitfenster zwischen etwa 300 und 600 Millisekunden nach VERB-ONSET für die Bewegungsstimuli stärker sein müssen als für die abstrakten Kontrollitems. Dies war nur für den Vergleich zwischen den KB- und den A-Items der Fall und nicht auf signifikantem Niveau. Beim Vergleich zwischen AB- und A-Items zeigten sich keine Powerdifferenzen im Latenzbereich der N400, obwohl die cloze-probability für die AB-Items signifikant höher war als für die A-Items. Dementsprechend ist es unwahrscheinlich, dass die cloze-probability einen starken Einfluss auf die RT- und die EEG-Resultate hatte.

4.4.7.1 Powerveränderungen während der Bewegungsbeobachtung

Als elektrophysiologische Hirnantwort auf die Präsentation von Bewegungsvideos im Vergleich zu Videos, in denen keine Bewegung gezeigt wurde, trat sowohl im Frequenzbereich des μ -Rhythmus als auch im β_2 -Band eine Desynchronisierung in den hier analysierten zentralen Elektroden auf. Während die Latenz bis zum Einsetzen des Effekts im μ -Rhythmus etwa 500 Millisekunden betrug, konnte im β_2 -Band für die Bewegungsstimuli bereits ab 400 Millisekunden nach BEWEGUNGS-ONSET eine Desynchronisierung aufgezeigt werden. Der Effekt war reliabel und zeigte sich nicht nur im Rahmen der ERS/ERD-Analyse, sondern auch als Ergebnis der FFT-Analyse, dort im μ -Bereich aber erst 900 Millisekunden nach BEWEGUNGS-ONSET. Die Summe dieser Effekte spricht dafür, dass die Neuronenverbände des Gyrus praecentralis, die anhand der Elektroden C_3 , C_z und C_4 erfasst werden, bei der Beobachtung einer Bewegung ihren Ruhezustand, also ihre gleichmäßige Aktivität, verlassen und zur Verarbeitung des aufgenommenen Reizes beitragen. Dieses Resultat fügt sich in eine Reihe von Ergebnissen früherer Forschungsarbeiten ein, in denen die Desynchronisierung der μ - und β -Oszillationen im Zusammenhang mit der Beobachtung von Bewegungen und der Vorstellung der Bewegungsausführung geschildert wurde. McFarland et al. (2000) analysierten die Desynchronisierung im μ - (8-12 Hz) und im β -Band (18-25 Hz) während die VPN entweder wiederholt ihre Hand öffneten und schlossen oder sich diese Bewegung lediglich vorstellten. Sie konnten in den beiden Bedingungen vergleichbare Oszillationsmuster beobachten. Für beide Frequenzbereiche lag eine Desynchronisierung sowohl bei der aktiven Ausführung der Bewegung als auch bei der Vorstellung der Bewegungsausführung vor. Der Effekt im μ -Bereich zeigte sich am stärksten in lateralen postzentralen Elektroden. Die Desynchronisierung im β -Band zeigte sich über einen weniger stark umgrenzten Elektrodenbereich. In einer MEG-Studie von de Lange et al. (2008) waren die Probanden instruiert, bei einer Strichzeichnung einer in unterschiedlichen Winkeln rotierten Hand anzugeben, ob eine rechte oder linke Hand abgebildet war. Diese Aufgabe sollte die mentale Vorstellung und Simulation einer Bewegung elizitieren. Während die Probanden diese Aufgabe ausführten, beobachteten de Lange et al. (2008) eine starke μ - (8-12 Hz) und β -ERD (16-24 Hz) über parieto-okzipitalen und

präzentralen MEG-Sensoren. Oszillationen bei der Beobachtung einer Bewegung wurden unter anderem von Moreno et al. (2013) und Simon und Mukamel (2016) untersucht. In beiden Studien ergab sich eine μ - und β -ERD während die VPN Videos von Handbewegungen sahen. Eine interessante Beobachtung von Quandt und Marshall (2014) war, dass die haptische Auseinandersetzung mit Objekten, also sensomotorische Erfahrung, zu einer Verstärkung der μ - und β -ERD bei der Bewegungsbeobachtung führte. Verschiedene VPN-Gruppen sahen Videos, in denen Objekte manipuliert wurden. Verstärkte μ - und β -ERDs ergaben sich bei Probanden, denen die Gelegenheit gegeben wurde, die Objekte selbst sensomotorisch zu erfahren. In der hier vorgestellten Studie konnte eine Desynchronisierung sowohl im Bereich des μ -Rhythmus (8-12 Hz) als auch des β_2 -Bandes (16-25 Hz) bei der Beobachtung prototypischer Bewegungen detektiert werden. Diese Effekte sprechen für die Annahme, dass die Beobachtung von Bewegungen zu einer Aktivierung motorischer Repräsentationen führt und möglicherweise Prozesse der Bewegungssimulation eliziert. Während die Effekte, die aus der ERS/ERD- sowie der FFT-Analyse hervorgingen, eine Abnahme der synchronen Aktivität der analysierten geclusterten Elektroden und somit eine Abweichung vom Ruherhythmus widerspiegeln, zeigte die Kohärenzanalyse für das β_2 -Band eine stärkere Verbindung der Elektroden C_3 und C_z bei der Bewegungsbeobachtung. Dieser Effekt lag im Zeitintervall zwischen 1200 und 1500 Millisekunden post BEWEGUNGS-ONSET vor. Obwohl also über ein größeres Elektrodencluster eine Abnahme der Synchronizität zu beobachten war, scheinen sich bestimmte Neuronenverbände stärker zu vernetzen. Interessanterweise handelte es sich speziell bei der C_3 um eine Elektrode über links-hemisphärischen motorischen Arealen, also den Kortexarealen, die kontralateral zur dominanten Hand der VPN lagen. Dies legt eine lateralitätsspezifische Aktivierung motorischer Areale bei der Beobachtung einer Bewegung nahe, was auch von Brinkman et al. (2014) beobachtet wurde. In ihrer MEG-Studie sollten sich die Probanden vorstellen, einen Zylinder zu greifen. Die β -ERD (15-25 Hz) stellte sich kontralateral zur in der Vorstellung genutzten Hand ein.

4.4.7.2 *Powerveränderungen während der Satzverarbeitung: μ -Rhythmus*

Im Bereich des μ -Rhythmus fiel bereits kurz nach SATZ-ONSET die Power für die abstrakten bewegungsbezogenen Stimuli signifikant geringer aus als für die abstrakten Kontrollsätze. Da zu diesem Zeitpunkt alle Stimulussätze den gleichen Inhalt teilten („*Ich habe...*“), waren hier keine Powerunterschiede zu erwarten. Demzufolge müssen die signifikanten Powerdifferenzen zwischen den AB- und A-Stimuli, die sich im weiteren Verlauf der Satzverarbeitung einstellten, unter Vorbehalt interpretiert und zur endgültigen Klärung durch weitere Analysen verifiziert werden.

Im Frequenzbereich des μ -Rhythmus zeigte sich kurz nach NOMEN-ONSET ein Effekt, der als Sensibilität gegenüber dem Konkretheitseffekt im Latenzbereich der N400 interpretiert werden könnte. Bereits 100 Millisekunden nach NOMEN-ONSET lag

der Powerwert für die konkreten Nomen signifikant unter dem Powerwert für die abstrakten Nomen. Dieser Effekt kehrte sich im Intervall zwischen 300 und 400 Millisekunden post NOMEN-ONSET um, zeigte aber im direkt darauffolgenden Intervall wieder die klassische Ausprägung des Konkretheitseffekts. Für eine Sensibilität des α -Bandes – speziell des μ -Rhythmus – gegenüber der Konkretheit von Wörtern oder Sätzen finden sich nur eingeschränkt Nachweise in der Forschungsliteratur. Weiss und Rappelsberger (1998) verglichen Kohärenzveränderungen während der auditiven oder visuellen Präsentation konkreter und abstrakter Nomen in mehreren Frequenzbereichen. Das α_1 -Band (8-10 Hz) reagierte nicht auf den konkret-abstrakt Kontrast. Im α_2 -Band (11-12 Hz) hingegen zeigten sich sowohl inter- als auch intrahemisphärische Kohärenzveränderungen. Allerdings beschränkte sich dieser Effekt auf die visuell präsentierten Stimuli. Nach einer auditiven Präsentation der Nomen waren keine Effekte im α_2 -Band ersichtlich, weshalb die beobachteten Kohärenzveränderungen auch modalitätsspezifische Aufmerksamkeitsprozesse oder Vorgänge im Langzeitgedächtnis widerspiegeln könnten (Weiss & Rappelsberger 1998). Welcome et al. (2011) präsentierten ihren VPN ebenfalls konkrete und abstrakte Nomen. Die Aufgabe der Probanden war es, sich entweder ein zum präsentierten Wort passendes mentales Bild oder Geräusch vorzustellen oder ein Wort zu überlegen, das mit dem Stimulus in Beziehung stand. Sobald ihnen dies erfolgreich gelungen war, sollten sie eine Taste drücken. Neben einer ERP-Analyse führten Welcome et al. (2011) auch eine FFT-Analyse für das δ - (1-4 Hz), θ - (4-8 Hz) und α -Band (8-12 Hz) durch. In einem Intervall zwischen etwa 800 und 900 Millisekunden vor der Reaktion in der Imaginationsbedingung zeigte sich bei den Probanden eine signifikante Powerdifferenz im α -Band. Die durch die Elektroden F₈ und T₈ detektierte Power fiel bei der Verarbeitung abstrakter Nomen höher aus als bei der Verarbeitung konkreter Nomen (Welcome et al. 2011). Die Ergebnisse dieser Studien zeigten, dass die Oszillationen des α -Bandes nur sehr eingeschränkt und nur unter bestimmten Bedingungen auf den Kontrast zwischen konkreten und abstrakten Konzepten reagieren. Da die in der vorliegenden Studie detektierten nomenbezogenen Powerdifferenzen keinen eindeutigen Verlauf wiedergaben und der Frequenzbereich des α -Bandes tendenziell unsensibel gegenüber dem Konkretheitseffekt ist, werden auch die hier vorliegenden Effekte nicht als Indikatoren für Powerdifferenzen infolge des konkret-abstrakt Kontrastes gewertet.

Während die Effekte als Reaktion auf die Bewegungsbeobachtung in der vorliegenden Studie deutlich hervortraten, waren die Effekte als Reaktion auf die Präsentation bewegungsbezogener Verben weniger stark. Bei Betrachtung der Abbildungen 25.1 und 25.2 (S. 114) wird deutlich, dass die Powerwerte im μ -Bereich bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Verben unabhängig von der Art des Kontextes unmittelbar nach VERB-ONSET geringer ausfielen als bei der Verarbeitung der abstrakten Verben. Sowohl während der Verarbeitung bewegungsbezogener Verben in konkreten als auch in abs-

trakten Kontexten trat im Vergleich zur abstrakten Kontrollbedingung also eine leichte Desynchronisierung der Oszillationen im μ -Frequenzbereich ein. Diese war für den Vergleich zwischen KB- und A-Items in den Zeitintervallen zwischen 100 und 200 Millisekunden und 1300 bis 1500 Millisekunden nach VERB-ONSET signifikant. Zwischen 900 und 1200 Millisekunden sowie 1400 bis 1500 Millisekunden nach VERB-ONSET war die Power bei der Verarbeitung der AB-Items signifikant geringer als bei der Verarbeitung der A-Stimuli. Dass Desynchronisierungsprozesse im Bereich des μ -Rhythmus bei der Verarbeitung sprachlicher Bewegungsstimuli geringer ausfallen als bei der Beobachtung oder gar Ausführung einer Bewegung, beziehungsweise weniger konstant auftreten, stellten unter anderem Fargier et al. (2012) fest. Sie analysierten Oszillationsveränderungen des μ -Rhythmus (8-12 Hz) im Zusammenhang mit der Beobachtung einer Bewegung im Video sowie der Verarbeitung von sich auf die Bewegung beziehenden Verben in mehreren experimentellen Sitzungen. Die μ -ERD als Reaktion auf die Bewegungsbeobachtung trat konstant in jeder Sitzung in einem zentro-parietalen und einem fronto-zentralen Elektrodencluster zwischen 200 und 1000 Millisekunden nach Video-Onset auf. Als Reaktion auf die verbalen Stimuli zeigte sich hingegen lediglich in einer der Sitzungen eine μ -ERD zwischen 400 und 950 Millisekunden nach Verb-Onset (Fargier et al. 2012). Auch Moreno et al. (2013) schilderten deutlich schwächer ausgeprägte Powerreduktionen im Frequenzbereich zwischen 8 und 13 Hertz während der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprachstimuli als während der Verarbeitung visuell präsentierter Handbewegungen. In der hier diskutierten Studie fiel die μ -ERD bei der Verarbeitung von Bewegungsverben geringer aus als bei der Bewegungsbeobachtung und erreichte nur abschnittsweise ein signifikantes Niveau. Für die aktuelle Fragestellung ist aber von besonderer Relevanz, dass die Power bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Verben unabhängig vom Kontext geringer war als bei der Verarbeitung der abstrakten Kontrollitems. Dies spricht dafür, dass motorische Repräsentationen an Prozessen der Bedeutungskonstitution von Bewegungsverben unabhängig vom Kontext beteiligt sind. Speziell für den μ -Rhythmus zeigte sich lediglich ein kleiner Unterschied hinsichtlich der Latenz der sprachlich relatierten ERD zwischen den KB- und den AB-Items. Die Differenz zwischen den KB- und den A-Items erreichte bereits in einem sehr frühen Zeitintervall nach VERB-ONSET ein signifikantes Niveau, wohingegen die Differenzen zwischen den AB- und den A-Stimuli erst 900 Millisekunden nach VERB-ONSET signifikant waren. Dies ist ein mögliches Indiz dafür, dass sich die Beteiligung motorischer Repräsentationen an der Verarbeitung von Bewegungsverben in abstrakten Kontexten von der Verarbeitung von Bewegungsverben in konkreten Kontexten unterscheidet. Dafür spricht zum einen auch, dass sich bei der Verarbeitung der AB-Stimuli in einem Intervall zwischen 900 und 1200 Millisekunden post VERB-ONSET signifikant geringere Powerwerte ergaben als bei der Verarbeitung der KB-Items. Während also eine erste Desynchronisierungsphase relativ zur konkreten Verbverarbeitung abgeschlossen war, setzte sie für die abstrakte Verbverarbeitung

erst ein. Zum anderen sprechen auch die Resultate der FFT-Analyse dafür. In einem Zeitintervall zwischen 300 und 600 Millisekunden nach VERB-ONSET lag dort eine signifikant geringere Power für die KB- im Vergleich zu den AB- und A-Items vor. Ein signifikanter Powerunterschied zwischen den AB- und den A-Stimuli ergab sich hingegen in keinem Zeitintervall der FFT-Analyse. Die Kohärenzanalyse wurde nicht für den Frequenzbereich des μ -Rhythmus durchgeführt, weshalb an dieser Stelle keine Aussage zu einer möglichen stärkeren Verknüpfung von Neuronenverbänden bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Verben in konkreten und abstrakten Kontexten gemacht werden kann.

4.4.7.3 *Powerveränderungen während der Satzverarbeitung: β_2 -Rhythmus*

Während der Satzverarbeitung zeigten sich im β_2 -Band keine signifikanten Powerdifferenzen zwischen den drei Satztypen bis zum NOMEN-ONSET. Im Intervall zwischen 300 und 400 Millisekunden post NOMEN-ONSET lag die Power für die konkreten Nomen dann signifikant über der Power für die abstrakten Nomen. Dieser Effekt ist konträr zu den Resultaten früherer Studien, die belegten, dass Oszillationen im β -Band derart sensitiv gegenüber dem konkret-abstrakt Kontrast sind, dass die Power für konkrete Nomen geringer ausfällt als für abstrakte. Weiss und Müller (2013) beschrieben beispielsweise eine stärkere mittlere Kohärenz während der Verarbeitung konkreter im Vergleich zu abstrakten Sätzen im Bereich des θ - (3-7 Hz) und β_1 -Bandes (13-18 Hz). Weiss und Rappelsberger (1996) verglichen konkrete und abstrakte Nomen und schilderten Unterschiede hinsichtlich intra- und interhemisphärischer Kohärenzveränderungen zwischen den beiden Worttypen im β_1 -Band (13-18 Hz). In einer weiteren Studie zeigte sich, dass das β_1 -Band Kohärenzzunahmen zwischen frontalen Elektroden sowohl nach visueller als auch auditiver Präsentation der Stimuli aufzeigte. Im β_2 -Band (19-31 Hz) hingegen lagen nur nach visueller Stimuluspräsentation Kohärenzzunahmen zwischen frontalen sowie Kohärenzabnahmen zwischen zentro-parietalen Elektroden vor (Weiss & Rappelsberger 1998). In der hier vorgestellten Studie wurden β_2 -Oszillationen als Reaktion auf konkrete im Vergleich zu abstrakten Nomen analysiert. Es gibt mehrere mögliche Gründe dafür, dass kein klassischer Konkretheitseffekt detektiert werden konnte. Zum einen könnten mögliche Effekte durch Verarbeitungsprozesse während des Verbs überdeckt worden sein. Die Nomen in der vorliegenden Studie hatten eine mittlere Dauer von 434 Millisekunden. Das analysierte Intervall von 1000 Millisekunden post NOMEN-ONSET überschneidet sich folglich mit dem Onset des darauffolgenden Verbs für eine mittlere Dauer von 566 Millisekunden. Frühere Studien beschrieben eine Sensitivität des β_1 -Bandes oder des β_2 -Bandes im Frequenzbereich zwischen 19 und 31 Hertz gegenüber der Konkretheit von Nomen (s. oben). In der aktuellen Studie wurden aber Oszillationen im Frequenzbereich zwischen 16 und 25 Hertz analysiert. Möglicherweise ist dieser Frequenzbereich nicht sensitiv gegenüber der Konkretheit von Sätzen oder

Wörtern. Ein weiterer möglicher Grund dafür, dass kein Konkretheitseffekt detektiert wurde, könnte das analysierte Elektrodencluster sein. Es wurde ein zentrales Elektrodencluster über motorischen Kortexarealen gewählt, das eventuell nicht groß genug war, um mögliche Powerdifferenzen zwischen konkreten und abstrakten Nomen im relevanten Frequenzbereich aufzuzeigen. Die hier detektierten signifikanten Powerdifferenzen nach NOMEN-ONSET werden somit nicht als mit dem Konkretheitseffekt in Zusammenhang stehend interpretiert. Da der Vergleich konkreter und abstrakter Nomen nicht Teil der Hauptfragestellung in der hier vorgestellten Studie war, wurden diesbezüglich keine weiteren Analysen vorgenommen.

Die Effekte im β_2 -Band als Reaktion auf die Bewegungsbeobachtung setzten in der vorliegenden Studie wenige hundert Millisekunden nach dem BEWEGUNGS-ONSET ein und waren, wie auch die Reaktionen im μ -Bereich, stark ausgeprägt. Die Oszillationsveränderungen im Zusammenhang mit der Verbverarbeitung fielen sowohl im Vergleich zu den Reaktionen auf die Bewegungsbeobachtung als auch im Vergleich zu den verbbezogenen Effekten im μ -Bereich gering aus und wurden erst mit hoher Latenz nach dem VERB-ONSET signifikant. Eine weniger stark ausgeprägte ERD im β_2 - als im μ -Frequenzbereich wurde aber beispielsweise auch von Moreno et al. (2013) geschildert, sodass das hier aufgetretene entsprechende Ergebnis nicht überraschend ist. Der Vergleich zwischen den Powerwerten der KB- und A-Items zeigte einen unsteten Verlauf, wie aus Abbildung 27.1 (S. 117) hervorgeht. So fiel die Power bei der Verarbeitung der Bewegungsverben teilweise geringer aus als bei der Verarbeitung der abstrakten Kontrollverben und teilweise war sie höher. Die Interpretation der Ergebnisse wird zusätzlich dadurch erschwert, dass die FFT-Analyse keinerlei signifikante Powerdifferenzen zwischen den drei Satztypen im β_2 -Bereich ergab. Im Intervall zwischen 200 und 300 Millisekunden nach VERB-ONSET war die Power für die abstrakten Verben gegenüber den Bewegungsverben signifikant reduziert. In der Forschungsliteratur findet sich kein Hinweis auf den möglichen Ursprung dieses Effekts. Da er aber auch im Vergleich zwischen den AB- und den A-Stimuli auftrat, scheint er auf den Unterschied zwischen den konkreten und abstrakten Verben zurückzugehen. Allerdings spricht die Richtung des Effekts nicht für den klassischen Konkretheitseffekt, bei dem die Power für die konkreten Items geringer ausgefallen wäre als für die abstrakten Kontrollitems. Weiss und Rappelsberger (1998) detektierten eine Abnahme der Kohärenz zwischen zentro-parietalen Elektroden im β_2 -Frequenzbereich (19-31 Hz) bei der Verarbeitung konkreter im Vergleich zu abstrakten Nomen. Wie auch die Resultate der hier durchgeführten Studie zeigten, verlaufen Ergebnisse einer ERD und einer Kohärenzanalyse gegebenenfalls konträr zueinander. Auch wenn die synchrone Aktivität bestimmter summierter Neuronenverbände als Folge der Präsentation eines Reizes abnimmt, arbeiten einzelne Neuronenverbände bei der Verarbeitung dieses Reizes unter Umständen stärker zusammen. Im Umkehrschluss bedeutet eine Abnahme der Kohärenz also unter Umständen eine Zunahme der synchronen Aktivität und damit ein ERS. Die von Weiss

und Rappelsberger (1998) beobachtete Abnahme der Kohärenz zwischen zentro-parietalen Elektroden bei der Verarbeitung konkreter Nomen entspräche demzufolge unter Umständen einer Zunahme der synchronen Aktivität innerhalb der entsprechenden Neuronenverbände, was die höhere Power für konkrete Verben im Intervall zwischen 200 und 300 Millisekunden post VERB-ONSET in den vorliegenden Daten erklären könnte. Der Effekt wird bei Weiss und Rappelsberger (1998) allerdings nicht diskutiert und kann daher auch nicht weiterreichend Aufschluss über die hier aufgetretenen Effekte geben.

Im Zeitintervall zwischen 300 und 600 Millisekunden post VERB-ONSET zeigten sich im Vergleich zur Kontrollbedingung reduzierte Powerwerte bei der Verarbeitung von Bewegungsverben in konkreten Kontexten. Die Differenzen erreichten zwar keine Signifikanz, spiegelten aber möglicherweise bereits eine Desynchronisierung in Folge der Aktivierung motorisch relevanter Kortextareale wider. Diese Annahme wird weiterhin dadurch gestützt, dass die Kohärenzanalyse für das β_2 -Band in dem gleichen Zeitintervall eine signifikant höhere Kopplung der Elektroden C_3 und C_z bei der Verarbeitung von Bewegungsverben in konkreten Kontexten im Vergleich zu den abstrakten Kontrollitems ergab. Wie bereits in der Diskussion zu den Effekten während der Bewegungsbeobachtung diskutiert, handelte es sich bei der C_3 um eine Elektrode über links-hemisphärischen motorischen Kortextarealen. Die Effekte können somit auf eine lateralitätsspezifische Aktivierung motorischer Repräsentationen während der Verarbeitung von Bewegungsverben in konkreten Kontexten zurückgeführt werden. Ab 1000 Millisekunden post VERB-ONSET lag die Power für die Bewegungsverben in konkreten Kontexten erneut über einen längeren Zeitraum unterhalb der Power für die Kontrollitems, was einer Desynchronisierung im Zusammenhang mit der Aktivierung motorischer Repräsentationen entsprechen könnte. Diese Differenz wurde in einem Intervall zwischen 1200 und 1300 Millisekunden post VERB-ONSET signifikant.

Die Wertekurven für die AB- und die A-Items im β_2 -Band (s. Abb. 27.2, S. 117) verliefen insgesamt gleichförmiger. Zwischen 200 und 300 Millisekunden post VERB-ONSET wurde der bereits diskutierte signifikante Effekt deutlich, bei dem die Power bei der Verarbeitung der A-Items gegenüber der Power bei der Verarbeitung der AB-Stimuli reduziert war. Ab 1000 Millisekunden post VERB-ONSET ergab sich eine ERD während der Verarbeitung bewegungsbezogener Verben in abstrakten Kontexten. Signifikant wurde der Effekt ebenfalls im Intervall zwischen 1200 und 1300 Millisekunden nach VERB-ONSET.

Wie aus den oben diskutierten Resultaten ersichtlich wurde, setzten die signifikanten Powerunterschiede im β_2 -Band bei der Verarbeitung von Bewegungsverben in konkreten und abstrakten Kontexten in Relation zu der Powerreduktion bei der Beobachtung einer Bewegung verhältnismäßig spät ein. Ein Grund dafür könnte der in der vorliegenden Studie gewählte Frequenzbereich gewesen sein. Wie von Pfurtscheller et al. (1996) diskutiert, wurde die stärkste β -ERD als Reaktion auf die Ausführung einer will-

kürlichen Handbewegung in einem Frequenzbereich zwischen 16 und 28 Hertz detektiert. Ungefähr dieser Bereich wurde auch in der hier durchgeführten Studie analysiert. In der Vergangenheit wurde allerdings auch thematisiert, dass neuronale Aktivität in motorischen Kortexarealen eher durch eine β -ERS im Frequenzbereich um 16 Hertz reflektiert werden könnte und die β -ERD um 20 Hertz lediglich eine erste Harmonische der Aktivität im μ -Bereich sei (Pfurtscheller et al. 1996, Pineda 2005). Ob diese letzte Annahme haltbar ist, muss geklärt werden. Es erscheint aber eher unwahrscheinlich, dass sich die Lokalisationen der μ - und der β -ERD um 20 Hertz auf dem Skalp teilweise unterscheiden (Pfurtscheller et al. 1996, Pineda 2005). Dennoch könnte eine höhere Auflösung in Bezug auf die Frequenzintervalle zu einem stärkeren Hervortreten der hier beobachteten Effekte führen. Das späte Einsetzen der Desynchronisierungseffekte lässt sich allerdings relativieren. Die Stimulussätze wurden im Perfekt formuliert, sodass das Verb am Ende des Satzes stand. In mehreren früheren Studien wurde ein syntaktischer Komplexitätseffekt diskutiert, der beschreibt, dass Verstehensprozesse korrelierend mit einer Zunahme der syntaktischen Komplexität mehr Zeit in Anspruch nehmen (Ferreira 1991, King & Just 1991, Carpenter et al. 1995, Schriefers et al. 1995, Wingfield et al. 2003). Ferreira (1991) präsentierte VPN Sätze unterschiedlicher syntaktischer Komplexität, was als Anzahl der Knoten in einem Phrasenstrukturbaum definiert war. Die VPN lasen die Sätze und waren instruiert sich diese zu merken und sie zu wiederholen. Ferreira (1991) schilderte, dass sich die Latenz bis zur Artikulation des zu wiederholenden Satzes mit einer Zunahme der syntaktischen Komplexität steigerte. King und Just (1991) verglichen Subjekt- („*The reporter that attacked the senator admitted the error publicly after the hearing.*“) und Objekt-Relativsätze („*The reporter that the senator attacked admitted the error publicly after the hearing.*“) anhand der Messung der Lesespanne ihrer VPN. Die Probanden waren instruiert, sich die satzfinalen Wörter nach der Präsentation von einem, zwei oder drei Sätzen zu merken. Die syntaktische Struktur des letzten Satzes war entweder subjekt- oder objektrelativiert. Die Differenz bezüglich der Verstehensrate zwischen VPN mit einer hohen und denen mit einer niedrigen Lesespanne war für Objekt-Relativsätze signifikant höher als für Subjekt-Relativsätze. Zusätzlich waren die Lesezeiten für objektrelativierte Sätze im Vergleich zu subjektrelativierten Sätzen unabhängig von der Lesespanne der Probanden signifikant länger. Wingfield et al. (2003) schilderten ebenfalls längere RTs in Folge der Präsentation von Sätzen mit höherer syntaktischer Komplexität, also Objekt-Relativsätzen, als von Sätzen mit geringerer syntaktischer Komplexität. Die syntaktische Struktur in den Stimulussätzen der hier vorgestellten Studie war komplexer als in Studien, die einzelne Wörter oder Sätze im Präsens nutzten, was zu einem verhältnismäßig späteren Zugriff auf die Bedeutung des satzfinalen Verbs geführt haben könnte. Weiterhin ist der Diskriminationspunkt der Verben von Relevanz für die Latenz bis zur Erfassung der Wortbedeutung. Im Kohortenmodell wird der Diskriminationspunkt eines Wortes als der Punkt definiert, an dem ausreichend phonetische Information zur Verfügung steht, um ein

Wort eindeutig zu identifizieren (Marslen-Wilson 1987). Der Diskriminationspunkt in der vorliegenden Studie war gegenüber Verben im Präsens verzögert, da das satzfinale Verb als Partizip präsentiert wurde. Dementsprechend begann ein Großteil der Verben mit dem Präfix *ge-*, das keinerlei Informationen über den Inhalt des Verbs preisgab. Dieses sehr kurze Präfix hatte eine mittlere Dauer von 110 Millisekunden. Da die mittlere Dauer der Verben in den Stimulussätzen bei 735 Millisekunden lag und sie im Mittel drei Silben umschlossen, lag die mittlere Dauer der Silben (ausgenommen des Präfix) bei 310 Millisekunden. Angenommen, dass der Diskriminationspunkt in den meisten Fällen nach dem Ende der zweiten Silbe zu verorten war, sollte dieser bei ca. 450 Millisekunden post VERB-ONSET gelegen haben. Dementsprechend hätte die Latenz ausgehend vom Diskriminationspunkt bis zum Onset der signifikanten ERD ca. 750 Millisekunden betragen, was das späte Einsetzen des Effekts relativiert.

Der Umfang der wissenschaftlichen Literatur zur Analyse der β_2 -Oszillationen als Reaktion auf bewegungsbezogene sprachliche Stimuli ist bisher noch sehr begrenzt. Van Elk et al. (2010) detektierten eine β -ERD bei der Verarbeitung von Bewegungs-*verben* in einem Frequenzbereich zwischen 20 und 30 Hertz mit einer Latenz von 500 Millisekunden. Sie präsentierten ihren VPN konkrete Sätze, in denen die Bewegungs-*verben* entweder in einen menschlichen oder einen tierischen Kontext gesetzt wurden („*Der Athlet springt über die Hürde.*“ vs. „*Der Hirsch springt über den Zaun.*“). Elektrophysiologische Hirnreaktionen auf die Verben in den beiden Satztypen wurden im Rahmen einer ERS/ERD-Analyse miteinander verglichen. Es erfolgte kein Vergleich mit einer neutralen, beziehungsweise einer nicht motorischen Bedingung, wie es in der hier durchgeführten Studie der Fall war. Dementsprechend sind die Ergebnisse aus der Studie von van Elk et al. (2010) und die hier erhobenen Daten wenig vergleichbar. Das Stimulusmaterial und die Analyse, die von Moreno et al. (2013) genutzt wurden, lassen sich besser mit dem hier genutzten Material und der angewandten Analyse vergleichen. Konkrete Bewegungssätze („*Ich schneide jetzt das Brot.*“) wurden abstrakten Sätzen („*Ich bezweifle jetzt den Plan.*“) gegenübergestellt und μ - und β -Power bei der Ver-*verarbeitung* anhand einer FFT-Analyse zwischen den beiden Satztypen verglichen. Neben starken Effekten im Bereich des μ -Rhythmus detektierten Moreno et al. (2013) eine marginale Reduktion der β -Power zwischen 15 und 20 Hertz bei der Verarbeitung der konkreten Sätze. Im Gegensatz zu dem Vorgehen in den vorliegenden Analysen untersuchten Moreno et al. (2013) Abschnitte mit einer Dauer von zwei Sekunden. Folglich konnten aus ihrer Studie keine genauen Informationen bezüglich der Latenz bis zum Einsetzen der ERD gezogen werden. Die hier durchgeführte Studie erbrachte hingegen erste Indizien für ein spätes Einsetzen der β -ERD bei der Verarbeitung von Bewegungs-*verben* im Vergleich zu einer neutralen nicht motorischen Vergleichs-*bedingung*. Darüber hinaus zeigten die hier erhobenen Daten zum ersten Mal Desynchronisierungsprozesse bei der Verarbeitung von Bewegungs-*verben* in abstrakten Kontexten. An dieser Stelle soll noch einmal erwähnt werden, dass die signifikanten Effekte

erst verhältnismäßig spät nach dem VERB-ONSET auftraten, obwohl sich entsprechende Tendenzen schon wesentlich früher abzeichneten. Eine Erklärung dafür wäre, dass der Effekt nicht die Prozesse der Bedeutungskonstitution bezüglich der Bewegungsverben reflektierte, sondern vielmehr ein Indikator von Imaginations- oder Simulationsprozessen war, die durch die Erfassung der Verbsemantik elizitiert wurden. Dementsprechend würden die beobachteten Powerdifferenzen nicht darauf zurückgehen, dass motorische Repräsentationen als Teil der semantischen Verarbeitung des Satzes, sondern als Teil von Simulationsprozessen aktiviert würden, die als Folgeeffekt der semantischen Verarbeitung auftraten. Die Ergebnisse einer Studie von Andres et al. (2014), in der das Design eine Differenzierung zwischen verschiedenen Stadien der semantischen Dekodierung erlaubte, sprechen allerdings dafür, dass die motorisch relatierten elektro-physiologischen Hirnreaktionen auf sprachliche Bewegungsstimuli tatsächlich in Zusammenhang mit der semantischen Verarbeitung der Sprachreize stehen. Im übrigen ergaben sich für die Bewegungsverben in konkreten und abstrakten Kontexten vergleichbare Effekte, was den Schluss zulässt, dass die Verarbeitung von in abstrakten Kontexten genutzten bewegungsbezogenen Verben unabhängig von den zugrunde liegenden Mechanismen eher mit der Verarbeitung bewegungsbezogener Verben in konkreten Kontexten vergleichbar ist als mit der Verarbeitung abstrakter Verben.

4.5 Zusammenfassung der Studienergebnisse

Die hier geschilderten Desynchronisierungsprozesse im elektro-physiologischen Signal der VPN werden als Indikatoren für eine Beteiligung motorischer Repräsentationen an der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache gewertet. Diese Effekte sind im Einklang mit den Ergebnissen der verhaltensbezogenen RT-Experimente. Die VPN reagierten dort schneller auf sinnhafte konkrete Bewegungssätze („*Ich habe die Handbremse gezogen.*“), nachdem sie eine prototypische im Vergleich zu einer unrelatierten Bewegung vor dem Hören des Satzes ausführten. Bei den abstrakten Bewegungssätzen („*Ich habe die Konsequenz gezogen.*“) hingegen wirkten sich sowohl die Ausführung einer prototypischen als auch einer unrelatierten Bewegung positiv auf die RTs aus. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass sich die Beteiligung motorischer Repräsentationen an der Verarbeitung von Bewegungsverben in konkreten Kontexten hinsichtlich ihrer Intensität oder ihrer Art von der Beteiligung an der Verarbeitung von Bewegungsverben in abstrakten Kontexten unterscheidet. Während die konkret genutzten Bewegungs- verben die Aktivierung einer sehr detaillierten motorischen Repräsentation elizitieren könnten, scheint die Dekodierung der Bedeutung des Bewegungsverbs im abstrakten Kontext mit einer Aktivierung eher unspezifischer Repräsentationen einherzugehen. Dies lässt sich mit der Diskussion im aktuellen Forschungskontext in Einklang bringen, derzufolge eine graduelle Beteiligung motorischer Repräsentationen bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache angenommen wird (Desai et al. 2011, 2013, Romero

Lauro et al. 2013, Sakreida et al. 2013, Troyer et al. 2014). Desai et al. (2011) verglichen Aktivierungsmuster als Reaktion auf arm-/handbezogene Bewegungsverbren, die in konkrete und metaphorische Kontexte eingebettet wurden, in einer fMRT-Studie. Sie stellten fest, dass die Präsentation beider Satztypen eine gleich stark ausgeprägte Aktivierung im anterioren Lobulus parietalis inferior der linken Hemisphäre bewirkte. Während der Verarbeitung der metaphorischen Stimuli waren noch weitere Hirnregionen aktiv. Relevant ist aber vor allem, dass Desai et al. (2011) eine graduelle Aktivierung sensomotorisch relevanter Areale bei der Metaphernverarbeitung detektierten, wobei eine stärkere Aktivität bei eher unbekanntem Metaphern auftrat. In einer späteren Studie ergänzten Desai et al. (2013) ihr Stimulusmaterial um idiomatische Bewegungssätze und stellten fest, dass diese keinerlei Aktivität in motorisch relevanten Kortexarealen elizitierten. Romero Lauro et al. (2013) schilderten sehr ähnliche Ergebnisse. Auch von Troyer et al. (2014) wurde die Annahme einer graduellen Beteiligung gestützt. Sie nutzten *point-light walkers*, Lichtpunkte, die in Form einer gehenden Figur angeordnet waren, als visuelle Bewegungs-Primes. Im Anschluss an den Bewegungs-Prime lasen die Versuchsteilnehmenden konkrete und metaphorische bewegungsbezogene Sätze in einem selbstgesteuerten Lese-Paradigma, worüber die Lesezeiten erfasst wurden. Eine enge Beziehung zwischen dem visuellen Prime und dem Satztarget führte bei konkreten Sätzen zu Interferenzeffekten, also zu längeren Lesezeiten, bei metaphorischen Satztargets aber zu Kompatibilitätseffekten. Bei einer entfernten Beziehung zwischen Prime und Target stellte sich der umgekehrte Effekt ein (Troyer et al. 2014).

Unabhängig davon, ob die hier detektierten Differenzen bei der ERS/ERD-Analyse ein signifikantes Niveau erreichten, wurde deutlich, dass die ERD als Reaktion auf in konkreten Kontexten genutzte Verben etwas anders ausfiel als die Reaktion auf in abstrakten Kontexten genutzte Verben. Im Bereich des μ -Rhythmus zeigte sich die ERD zwar für beide Kontexte unmittelbar nach VERB-ONSET, der Effekt für die KB-Items setzte aber in einem Intervall zwischen etwa 600 und 1200 Millisekunden nach VERB-ONSET aus, während er für die AB-Items über das gesamte analysierte Intervall deutlich wurde. Im β_2 -Band trat bereits 300 Millisekunden nach VERB-ONSET eine Powerreduktion bei den KB-Stimuli auf, wohingegen eine vergleichbare ERD für die AB-Items erst ab ca. 1000 Millisekunden post VERB-ONSET detektierbar wurde. Wie die Ergebnisse der hier vorgestellten verhaltensbezogenen Experimente sprechen die EEG-Resultate dafür, dass motorische Repräsentationen in Abhängigkeit davon, ob die Bewegungsverbren in einem konkreten oder einem abstrakten Kontext auftraten, auf unterschiedliche Weise zu den Prozessen der Bedeutungskonstitution beitragen. Dabei spricht der durchgehend anhaltende Effekt im μ -Bereich eventuell dafür, dass die Integration der motorischen Information in die abstrakten Kontexte mehr Zeit in Anspruch nimmt als in konkrete Kontexte. Ein Grund dafür könnte sein, dass nur ein Teil der motorischen Information, die durch das Bewegungsverb vermittelt wird, für die Dekodierung der Bedeutung der AB-Sätze relevant ist. Diese relevanten motorischen Informationen

müssen selektiert und auf ein abstraktes Bedeutungslevel übertragen werden. So könnte beispielsweise bei der Verarbeitung des Satzes „*Ich habe die Konsequenz gezogen.*“ die für die Bedeutungserfassung des Satzes notwendige motorische Information die Intensität der Ziehbewegung sein, die sehr stark sein kann, oder auch die Richtung der Bewegung, die repräsentiert, dass der Vorgang des Ziehens eine Auswirkung auf die ziehende Person hat (z. B. ein leichterer Zugang zu einem Objekt). Die anhaltende μ -ERD nach dem Verb-Onset bei den AB-Items spiegelte also möglicherweise den höheren zeitlichen Aufwand wider, den die Selektion und Integration der relevanten motorischen Information in abstrakte Kontexte erfordert. Demzufolge sprechen die hier erhobenen Daten ebenfalls für eine graduelle Beteiligung motorischer Repräsentationen bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache. Wahrscheinlich ist sämtliche sensomotorische Information einer Bewegung relevant für den Prozess der Bedeutungskonstitution von Bewegungsverben in konkreten Kontexten. Folglich wird auch sämtliche vorhandene Information abgerufen. Im Gegensatz dazu wird bei der Verarbeitung von Bewegungsverben in abstrakten Kontexten lediglich ein Teil der sensomotorischen Information für die Bedeutungserfassung herangezogen.

Die hier vorgestellten Experimente konnten speziell im Hinblick auf die elektro-physiologischen Hirnantworten im Bereich des β_2 -Frequenzbandes zu neuen Informationen verhelfen. In bisherigen Studien, in denen das Verhalten von β_2 -Oszillationen als Reaktion auf bewegungsbezogene sprachliche Stimuli untersucht wurde, konnte noch keine präzise Aussage bezüglich der Latenz entsprechender Effekte getroffen werden. Hier wurde eine β_2 -ERD als Reaktion auf die Präsentation von Bewegungsverben in konkreten und abstrakten Kontexten detektiert, die ungefähr 250 Millisekunden nach dem mittleren Verb-Offset einsetzte und ca. 450 Millisekunden nach dem mittleren Verb-Offset signifikant wurde. Dieser Effekt spricht für eine Inanspruchnahme motorischer Repräsentationen bei Prozessen der Bedeutungskonstitution nicht nur während konkreter, sondern auch während abstrakter bewegungsbezogener Sprache. Die vorliegenden Ergebnisse stellen zum ersten Mal Informationen bezüglich der Latenz der β_2 -ERD bei der Verarbeitung bewegungsbezogener im Vergleich zu abstrakten Verben zur Verfügung. Weiterhin unterstützen die Resultate die Annahme einer graduellen Beteiligung sensomotorischer Kortexareale an der Sprachverarbeitung, was mit den Ergebnissen früherer Studien in Einklang steht.

5 Fazit

Der sprachliche Ansatz der Embodimenttheorie besagt, dass Areale des menschlichen Gehirns, die entweder perzeptuelle Reize bei der Auseinandersetzung mit der Umwelt verarbeiten oder die Planung und Ausführung motorischer Programme steuern, an der Sprachverarbeitung beteiligt sind. Je nachdem, wie stark dieser Ansatz ausgelegt wird, soll eine Beteiligung bei jeder Art sprachlichen Inhalts oder nur bei konkreten sensorischen und motorischen Wörtern und Sätzen vorliegen. Die Verwendung konkreter bewegungsbezogener Verben in abstrakten Kontexten, wie beispielsweise in Bewegungsmetaphern, stellt diesbezüglich eine Schnittstelle dar. In der vorliegenden Arbeit wurde analysiert, inwiefern sensomotorische Kortexareale an der Verarbeitung von Bewegungsverben in abstrakten Kontexten beteiligt sind und ob sich aus den Ergebnissen Rückschlüsse bezüglich der Ausprägung der sprachlichen Embodimenttheorie ziehen lassen. Vier Forschungsfragen wurden im Vorfeld der Studiendurchführung formuliert.

1. Lassen sich die in der Vergangenheit mehrfach für isoliert präsentierte Bewegungsverben und Bewegungsverben in konkreten Kontexten nachgewiesenen Kompatibilitätseffekte durch motorisches Priming auch für Bewegungsverben in abstrakten Kontexten nachweisen?

Wie die Ergebnisse der verhaltensbezogenen Experimente zeigten, lässt sich diese Frage positiv beantworten. Es stellten sich klare Verarbeitungsvorteile für Sätze heraus, in denen Bewegungsverben in abstrakten Kontexten eingebettet waren, wenn die VPN vor der auditiven Präsentation des Satzes eine Bewegung ausführten. Im Gegensatz zu den Trials, in denen es um die Verarbeitung konkreter bewegungsbezogener Sätze ging, machte es bei den abstrakten bewegungsbezogenen Sätzen keinen Unterschied, welche Art von Arm-/Handbewegung die Probanden ausführten. Dieses Resultat wird als Indiz dafür aufgefasst, dass der Umfang der motorischen Informationen, die zur Verarbeitung bewegungsbezogener Sprache herangezogen werden, in Abhängigkeit vom Grad der Konkretheit variiert.

Die zweite Forschungsfrage bezog sich auf die Beteiligung sensomotorischer Kortexareale bei der Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache bei Gebärdensprecher/Innen. Aufgrund der engen Verknüpfung zwischen motorischen und sprachlichen Repräsentationen bei der Kommunikation auf visuell-manueller Ebene stellen diese eine besondere VPN-Gruppe dar.

2. Wie verhält es sich mit dem Effekt des motorischen Primings bei Gebärdensprecher/Innen, die ausschließlich visuell-manuell kommunizieren? Lassen sich auch in dieser Gruppe Hinweise auf die Beteiligung senso-

motorischer Kortexareale bei der Verarbeitung bewegungsbezogener abstrakter Sprache finden?

Das mit den Sprechern der ASL durchgeführte Experiment gab in erster Linie Aufschluss darüber, dass Gebärdensprecher/Innen während der Verarbeitung von Metaphern in ihrer L2 auf Übersetzungsäquivalente ihrer L1 zurückgreifen. Vor dem Hintergrund, dass Diskussionen darüber geführt werden, ob bei einem hohen Kenntnisstand der L2 überhaupt auf Elemente der L1 zurückgegriffen wird, ist dies ein interessantes Resultat. Des Weiteren zeigte ein Teil der Ergebnisse aber auch, dass für Gebärdensprecher/Innen nicht nur die lexikalische Ebene eines gebärdeten Sprachsignals, sondern auch die motorische Ebene von Relevanz ist. Die Beteiligung sensomotorischer Repräsentationen an der Sprachverarbeitung scheint somit ein universales Phänomen zu sein, das von der Art des Kommunikationskanals unabhängig ist.

Die anderen beiden Forschungsfragen bezogen sich auf das Verhalten von elektro-physiologischen Gehirnoszillationen als Reaktion auf bewegungsbezogene Sprache. Eine Aktivität in motorisch relevanten Kortexarealen spiegelt sich in einer Reduktion der Power in den Frequenzbereichen des μ - und des β -Bandes wider. Dementsprechend wurden diese Frequenzbereiche auch in der hier durchgeführten Analyse zur Beantwortung folgender Fragen herangezogen:

3. Zeigen die bewegungsspezifischen elektroenzephalographischen Antworten auf visuelle Bewegungsreize und sprachliche bewegungsbezogene Stimuli vergleichbare Ausprägungen hinsichtlich des Frequenzbereichs, der Latenz oder des Ortes der Antwort?
4. Stimmen die elektroenzephalographischen Antworten auf abstrakte bewegungsbezogene sprachliche Stimuli eher mit den Antworten auf konkrete bewegungsbezogene sprachliche Stimuli überein oder liegt eine stärkere Übereinstimmung mit den Antworten auf abstrakte nicht bewegungsbezogene sprachliche Stimuli vor?

Die Resultate des EEG-Experiments ergaben, dass zwar sowohl bei der Beobachtung einer Bewegung als auch bei der Verarbeitung bewegungsbezogener sprachlicher Stimuli eine Reduktion der Power in den analysierten Frequenzbereichen einsetzte, diese Effekte aber hinsichtlich ihrer Ausprägung und Latenz nicht direkt vergleichbar waren. So waren die Desynchronisierungen bei der Bewegungsbeobachtung wesentlich stärker ausgeprägt und setzten auch mit einer geringeren Latenz ein als bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Verben. Allerdings fanden sich entsprechende Effekte sowohl für Bewegungsverben in konkreten als auch in abstrakten Kontexten, was die Beteiligung sensomotorischer Kortexareale an oder zumindest die Relevanz motorischer Repräsentationen für die Verarbeitung abstrakter Sprache mit Bewegungsbezug deutlich machte.

Sowohl die Ergebnisse der RT-Experimente als auch des EEG-Experiments sprechen für eine Beteiligung des sensomotorischen Systems an der Verarbeitung konkreter und abstrakter bewegungsbezogener Sprache. Allerdings werden die vorliegenden Resultate derart interpretiert, dass bei Prozessen der Bedeutungskonstitution von konkreten Bewegungsinhalten sämtliche sensomotorischen Informationen relevant sind, die auf neuronaler Ebene mit dem Wort verknüpft sind. In abstrakten Kontexten hingegen erfolgt eine Selektion der für die Dekodierung des Satzinhaltes relevanten motorischen Informationen. Darüber, welcher Art die selektierten Informationen sind, kann an dieser Stelle nicht geschlussfolgert werden. Möglicherweise handelt es sich aber auch nicht immer um dieselbe Art Information. So diskutierte beispielsweise Dove (2015), dass sich die Frage danach, ob sensomotorische Prozesse an der Verarbeitung abstrakter bewegungsbezogener Konzepte beteiligt sind, nicht so einfach beantworten ließe. Es sei eine umfassendere Perspektive auf diese Fragestellung notwendig, die Faktoren wie den Kontext, die Aufgabenstellung und die Zielsetzung mit in die Analyse einbeziehen müsse. Im Anschluss an die Selektion werden die Informationen dann auf ein abstraktes Bedeutungsniveau übertragen, damit die Bedeutung des abstrakten Satzes erfasst werden kann. Zusammengefasst fallen die vorliegenden Ergebnisse in die Tradition eines schwachen Embodimentansatzes oder sprechen für eine Sprachverarbeitungstheorie, in der sowohl modale als auch amodale Repräsentationen eine Rolle spielen (Meteyard et al. 2012, Pulvermüller 2013, Zwaan 2014). Zumindest für die abstrakten bewegungsbezogenen Sätze, wie sie in den hier vorgestellten Experimenten genutzt wurden, erfolgte während der Sprachverarbeitung ein Abstraktionsprozess.

Einen Anlass für Folgestudien geben in erster Linie die häufig nicht signifikant ausgefallenen Powerunterschiede zwischen den bewegungsbezogenen und den abstrakten Items in dem EEG-Experiment. Eine Replikation des Experiments mit einer höheren Anzahl VPN könnte die beobachteten Effekte verstärkt deutlich werden lassen. Weiterhin wäre ein EEG-Experiment aufschlussreich, in dem dieselbe Methode wie in den beschriebenen RT-Experimenten genutzt würde. Das Priming des Satzverstehens durch prototypische Bewegungen könnte sich in einer stärkeren Reduktion der Power bei der Verbverarbeitung auswirken. Ein solches Vorgehen würde die Vergleichbarkeit zwischen den Hirnstromantworten auf Bewegungsbeobachtung oder -ausführung und auf entsprechende bewegungsbezogene sprachliche Stimuli noch erhöhen. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem hier behandelten Thema ist bereits seit 1980 wieder aktuell. Durch die Untersuchung entsprechender Forschungsfragen mit modernen Methoden wurden seitdem eine Menge neuer Informationen bereitgestellt. Dementsprechend wäre es in einem breiteren wissenschaftlichen Diskurs interessant, die gewonnenen Erkenntnisse in einem psycholinguistisch ausgerichteten Sprachproduktions- und Sprachrezeptionsmodell zu integrieren, das die sensorischen und motorischen Repräsentationen mit einschließt.

Quellenverzeichnis

- Andres, M, Finocchiaro, C, Buiatti, M & Piazza, M (2014). Contribution of motor representations to action verb processing. *Cognition*, 134, 174-184.
- Aravena, P, Hurtado, E, Riveros, R, Cardona, JF, Manes, F & Ibáñez, A (2010). Applauding with closed hands: Neural signature of action-sentence compatibility effects. *PLoS ONE*, 5, e11751.
- Arévalo, AL, Baldo, JV & Dronkers, NF (2012). What do brain lesions tell us about theories of embodied semantics and the human mirror neuron system? *Cortex*, 48, 242-254.
- Bähr, M & Frotscher, M (2003). *Duus' Neurologisch-topische Diagnostik. Anatomie – Funktion - Klinik*. (8. Ausg.). Stuttgart: Thieme.
- Baker, SN (2007). Oscillatory interactions between sensorimotor cortex and the periphery. *Current Opinion in Neurobiology*, 17, 649-655.
- Barber, HA, Otten, LJ, Kousta, S-T & Vigliocco, G (2013). Concreteness in word processing: ERP and behavioral effects in a lexical decision task. *Brain and Language*, 125, 47-53.
- Barrós-Loscertales, A, González, J, Pulvermüller, F, Ventura-Campos, N, Bustamante, JC, Costumero, V, Parcet, MA & Ávila, C (2011). Reading salt activates gustatory brain regions: fMRI evidence for semantic grounding in a novel sensory modality. *Cerebral Cortex*, 22, 2554-2563.
- Barsalou, LW (1999). Language comprehension: Archival memory or preparation for situated action? *Discourse Processes*, 28, 61-80.
- Barsalou, LW (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Bergen, B (2007). Experimental methods for simulation semantics. In M Gonzalez-Marquez, I Mittelberg, S Coulson & M Spivey (Hrsg.), *Methods in cognitive linguistics* (pp. 277-301). Amsterdam: John Benjamins.
- Bergen, B & Wheeler, KB (2005). Sentence understanding engages motor processes. In BG Bara, LW Barsalou & M Bucciarelli (Hrsg.), *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 238-243). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Bergen, B, Narayan, S & Feldman, J (2003). Embodied verbal semantics: Evidence from an image-verb matching task. In R Alterman & D Kirsh (Hrsg.), *Proceedings of the 25th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 139-144). Boston: Cognitive Science Society.
- Binder, JR, Desai, RH, Graves, WW & Conant, LL (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, 19, 2767-2796.
- Binder, JR, Westbury, CF, McKiernan, KA, Possing, ET & Medler, DA (2005). Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 905-917.
- Bores Signal Processing (1998-2014). Introduction to DSP - frequency: windowing I. Zu erreichen unter: http://www.bores.com/courses/intro/freq/3_window.htm. Zugriff am 24.05.2016, 12:30 Uhr.
- Boroditsky, L, Ramscar, M & Frank, MC (2002). The roles of body and mind in abstract thought. *Psychological Science*, 13, 185-189.
- Borreggine, KL & Kaschak, MP (2006). The action-sentence compatibility effect: It's all in the timing. *Cognitive Science*, 30, 1097-1112.
- Bösel, RM (2006). *Das Gehirn. Ein Lehrbuch der funktionellen Anatomie für die Psychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.

- Bosworth, RG & Emmorey, K (2010). Effects of iconicity and semantic relatedness on lexical access in American Sign Language. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36, 1573-1581.
- Boulenger, V, Hauk, O & Pulvermüller, F (2008a). Grasping ideas with the motor system: Semantic somatotopy in idiom comprehension. *Cerebral Cortex*, 19, 1905-1914.
- Boulenger, V, Mechtouff, L, Thobois, S, Broussolle, E, Jeannerod, M, and Nazir, TA (2008b). Word processing in Parkinson's disease is impaired for action verbs but not for concrete nouns. *Neuropsychologia*, 46, 743-756.
- Bowlde, BF & Gentner, D (2005). The career of metaphor. *Psychological Review*, 112, 193-216.
- Brinkman, L, Stolk, A, Dijkerman, HC, de Lange, FP & Toni, I (2014). Distinct roles for alpha- and beta-band oscillations during mental simulation of goal-directed actions. *Journal of Neuroscience*, 34, 14783-14792.
- Buccino, G, Binkofski, F, Fink, GR, Fadiga, L, Fogassi, L, Gallese, V, Seitz, RJ, Ziller, K, Rizzolatti, G & Freund, H-J (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 13, 400-404.
- Buccino, G, Riggio, L, Melli, G, Binkofski, F, Gallese, V & Rizzolatti, G (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24, 355-363.
- Buccino, G, Vogt, S, Ritzl, A, Fink, GR, Zilles, K, Freund, H-J & Rizzolatti, G (2004). Neural circuits underlying imitation learning of hand actions. *Neuron*, 42, 323-334.
- Cardona, JF, Kargieman, L, Sinay, V, Gershanik, O, Gelormini, C, Amoruso, L, Roca, M, Pineda, D, Trujillo, N, García, AM, Szenkman, D, Bekinschtein, T, Manes, F & Ibáñez, A (2014). How embodied is action language? Neurological evidence from motor diseases. *Cognition*, 131, 311-322.
- Carota, F, Moseley, R & Pulvermüller, F (2012). Body-part-specific representations of semantic noun categories. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24, 1492-1509.
- Carpenter, PA, Miyake, A & Just, MA (1995). Language comprehension: Sentence and discourse processing. *Annual Review of Psychology*, 46, 91-120.
- Casasanto, D (2009). Embodiment of abstract concepts: Good and bad in right- and left-handers. *Journal of Experimental Psychology: General*, 138, 351-367.
- Cattaneo, L, Barchiesi, G, Tabarelli, D, Arfeller, C, Sato, M & Glenberg, AM (2011). One's motor performance predictably modulates the understanding of others' actions through adaptation of premotor visuo-motor neurons. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 6, 301-310.
- Chomsky, N (1956). Three models for the description of language. *IRE Transactions on Information Theory*, 2, 113-124.
- Connell, L (2007). Representing object colour in language comprehension. *Cognition*, 102, 476-485.
- Corballis, MC (2009). Language as gesture. *Human Movement Science*, 28, 556-565.
- D'Ausilio, A, Pulvermüller, F, Salmas, P, Bufalari, I, Begliomini, C & Fadiga, L (2009). The motor somatotopy of speech perception. *Current Biology*, 19, 381-385.
- De Lange, FP, Jensen, O, Bauer, M & Toni, I (2008). Interactions between posterior gamma and frontal alpha/beta oscillations during imagined actions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2, 1-12.

- De Vega, M & Urrutia, M (2011). Counterfactual sentences activate embodied meaning: An action–sentence compatibility effect study. *Journal of Cognitive Psychology*, 23, 962-973.
- De Vega, M, Moreno, V & Castillo, D (2013). The comprehension of action-related sentences may cause interference rather than facilitation on matching actions. *Psychological Research*, 77, 20-30.
- De Vega, M, Robertson, DA, Glenberg, AM, Kaschak, MP & Rinck, M (2004). On doing two things at once: Temporal constraints on actions in language comprehension. *Memory & Cognition*, 32, 1033-1043.
- Denis, D, Rowe, R, Mark Williams, A & Milne, E (2016). The role of cortical sensorimotor oscillations in action anticipation. *NeuroImage*, im Druck.
- Desai, RH, Binder, JR, Conant, LL & Seidenberg, MS (2010). Activation of sensory-motor areas in sentence comprehension. *Cerebral Cortex*, 20, 468-478.
- Desai, RH, Binder, JR, Conant, LL, Mano, QR & Seidenberg, MS (2011). The neural career of sensory-motor metaphors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 2376-2386.
- Desai, RH, Conant, LL, Binder, JR, Park, H & Seidenberg, MS (2013). A piece of the action: Modulation of sensory-motor regions by action idioms and metaphors. *NeuroImage*, 83, 862-869.
- Descartes, R (1972). *Regeln zur Ausrichtung der Erkenntniskraft*. (L. Gäbe, Hrsg.). Hamburg: Meiner.
- Diefenbach, C, Rieger, M, Massen, C & Prinz, W (2013). Action-sentence compatibility: The role of action effects and timing. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-13.
- Dove, G (2015). Three symbol ungrounding problems: Abstract concepts and the future of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23, 1109-1121.
- Emmorey, K, Borinstein, HB, Thompson, R & Gollan, TH (2008). Bimodal bilingualism. *Bilingualism: Language and Cognition*, 11, 43-61.
- Essig, K, Dornbusch, D, Prinzhorn, D, Ritter, H, Maycock, J & Schack, T (2012). Automatic analysis of 3D gaze coordinates on scene objects using data from eye-tracking and motion-capture systems. In SN Spencer (Hrsg.), *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications* (pp. 37-44). New York: ACM Press.
- Fadiga, L, Fogassi, L, Pavesi, G & Rizzolatti, G (1995). Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73, 2608-2611.
- Fargier, R, Paulignan, Y, Boulenger, V, Monaghan, P, Reboul, A & Nazir, TA (2012). Learning to associate novel words with motor actions: Language-induced motor activity following short training. *Cortex*, 48, 888-899.
- Fernandino, L, Conant, LL, Binder, JR, Blindauer, K, Hiner, B, Spangler, K & Desai, RH (2013a). Parkinson's disease disrupts both automatic and controlled processing of action verbs. *Brain and Language*, 127, 65-74.
- Fernandino, L, Conant, LL, Binder, JR, Blindauer, K, Hiner, B, Spangler, K & Desai, RH (2013b). Where is the action? Action sentence processing in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 51, 1510-1517.
- Ferreira, F (1991). Effects of length and syntactic complexity on initiation times for prepared utterances. *Journal of Memory and Language*, 30, 210-233.
- Gabriel, G (2008). *Grundprobleme der Erkenntnistheorie: Von Descartes bis Wittgenstein*. (3. Ausg.). Stuttgart: Schöningh.
- Gallese, V & Lakoff, G (2005). The brain's concepts: the role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 455-479.

- Gallese, V, Fadiga, L, Fogassi, L & Rizzolatti, G (1996). Action recognition in the pre-motor cortex. *Brain*, 119, 593-609.
- Gentilucci, M & Corballis, M (2006). From manual gesture to speech: A gradual transition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30, 949-960.
- Ghio, M & Tettamanti, M (2010). Semantic domain-specific functional integration for action-related vs. abstract concepts. *Brain and Language*, 112, 223-232.
- Gianelli, C & Dalla Volta, R (2015). Does listening to action-related sentences modulate the activity of the motor system? Replication of a combined TMS and behavioral study. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-8.
- Giora, R (1997). Understanding figurative and literal language: The graded salience hypothesis. *Cognitive Linguistics*, 8, 183-206.
- Giora, R (2002). Literal vs figurative language: Different or equal? *Journal of Pragmatics*, 34, 487-506.
- Glenberg, AM & Kaschak, MP (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 558-565.
- Glenberg, AM & Kaschak, MP (2003). The body's contribution to language. *The Psychology of Learning and Motivation*, 43, 93-126.
- Glenberg, AM & Robertson, DA (1999). Indexical understanding of instructions. *Discourse Processes*, 28, 1-26.
- Glenberg, AM & Robertson, DA (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory and Language*, 43, 379-401.
- Glenberg, AM, Lopez-Mobilia, G, McBeath, M, Toma, M, Sato, M & Cattaneo, L (2010). Knowing beans: Human mirror mechanisms revealed through motor adaptation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 1-6.
- Glenberg, AM, Sato, M & Cattaneo, L (2008b). Use-induced motor plasticity affects the processing of abstract and concrete language. *Current Biology*, 18, R290-R291.
- Glenberg, AM, Sato, M, Cattaneo, L, Riggio, L, Palumbo, D & Buccino, G (2008a). Processing abstract language modulates motor system activity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 905-919.
- Goldstein, A, Arzouan, Y & Faust, M (2012). Killing a novel metaphor and reviving a dead one: ERP correlates of metaphor conventionalization. *Brain and Language*, 123, 137-142.
- Grundmann, T (2008). *Analytische Einführung in die Erkenntnistheorie*. Berlin: de Gruyter.
- Grush, R (2004). The emulation theory of representation. Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences*, 27, 377-442.
- Hauk, O, Johnsrude, I & Pulvermüller, F (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41, 301-307.
- Herzberg, S (2011). *Wahrnehmung und Wissen bei Aristoteles: zur epistemologischen Funktion der Wahrnehmung*. Berlin: de Gruyter.
- Hickok, G (2008). Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 1229-1243.
- Hickok, G (2014). *Warum wir verstehen, was andere fühlen. Der Mythos der Spiegelneuronen*. München: Hanser.
- Hillyard, SA, Hink, RF, Schwent, VL & Picton, TW (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182, 177-180.
- Holcomb, PJ, Kounios, J, Anderson, JE & West, WC (1999). Dual-coding, context-availability, and concreteness effects in sentence comprehension: An electrophysiological investigation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 721-742.

- Iacoboni, M, Woods, RP, Brass, M, Bekkering, H, Mazziotta, JC & Rizzolatti, G (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286, 2526-2528.
- Institut für Deutsche Sprache (IDS) Mannheim (2003-2012). COSMAS IIweb, Version 1.8. Zu erreichen unter: <http://www.ids-mannheim.de/cosmas2/>. Zugriff am 22.01.2013, 18:30 Uhr.
- Jasper, HH (1958). The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jessen, F, Heun, R, Erb, M, Granath, D-O, Klose, U, Papassotiropoulos, A & Grodd, W (2000). The concreteness effect: Evidence for dual coding and context availability. *Brain and Language*, 74, 103-112.
- Kant, I (1900). *Kritik der reinen Vernunft*. (B Erdmann, Hrsg.) (5. Aufl.). Berlin: Reimer.
- Kaschak, MP & Borreggine, KL (2008). Temporal dynamics of the action-sentence compatibility effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 883-895.
- Kaschak, MP, Madden, CJ, Theriault, DJ, Yaxley, RH, Aveyard, M, Blanchard, AA & Zwaan, RA (2005). Perception of motion affects language processing. *Cognition*, 94, B79-B89.
- Katz, JJ & Fodor, JA (1963). The structure of a semantic theory. *Language*, 39, 170-210.
- Kiehl, KA, Liddle, PF, Smith, AM, Mendrek, A, Forster, BB & Hare, RD (1999). Neural pathways involved in the processing of concrete and abstract words. *Human Brain Mapping*, 7, 225-233.
- King, J & Just, MA (1991). Individual differences in syntactic processing: The role of working memory. *Journal of Memory and Language*, 30, 580-602.
- Klatzky, RL, Pellegrino, JW, McCloskey, BP & Doherty, S (1989). Can you squeeze a tomato? The role of motor representations in semantic sensibility judgments. *Journal of Memory and Language*, 28, 56-77.
- Klepp, A, Weissler, H, Niccolai, V, Terhalle, A, Geisler, H, Schnitzler, A & Biermann-Ruben, K (2014). Neuromagnetic hand and foot motor sources recruited during action verb processing. *Brain and Language*, 128, 41-52.
- Kuhlmann, WN (1978). Functional topography of the human mu rhythm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 44, 83-93.
- Kutas, M & Federmeier, KD (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, 62, 621-647.
- Kutas, M & Hillyard, SA (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Lai, VT & Curran, T (2013). ERP evidence for conceptual mappings and comparison processes during the comprehension of conventional and novel metaphors. *Brain and Language*, 127, 484-496.
- Lakoff, G & Johnson, M (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G & Johnson, M (1999). *Philosophy in the flesh: The embodied mind and its challenge to western thought*. New York: Basic Books.
- Leibnitz, GW (1968). *Die Theodizee*. Hamburg: Meiner.
- Leibnitz, GW (1971). *Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand*. (E Cassirer, Hrsg.) (3. Aufl.). Hamburg: Meiner.
- Levy-Drori, S & Henik, A (2006). Concreteness and context availability in lexical decision tasks. *The American Journal of Psychology*, 119, 45-65.
- Locke, J (1962). *Über den menschlichen Verstand*. In vier Büchern. Hamburg: Meiner.

- Lyons, DE, Santos, LR & Keil, FC (2006). Reflections of other minds: How primate social cognition can inform the function of mirror neurons. *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 230-234.
- Mahon, BZ & Caramazza, A (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of Physiology*, 102, 59-70.
- Marslen-Wilson, WD (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*, 25, 71-102.
- Mashal, N, Faust, M, Hendler, T & Jung-Beeman, M (2007). An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain and Language*, 100, 115-126.
- McFarland, D, Miner, LA, Vaughan, TM & Wolpaw, JR (2000). Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements. *Brain Topography*, 12, 177-186.
- Meir, I (2010). Iconicity and metaphor: Constraints on metaphorical extension of iconic forms. *Language*, 86, 865-896.
- Meteyard, L & Vigliocco, G (2009). Verbs in space: Axis and direction of motion norms for 299 English verbs. *Behavior Research Methods*, 41, 565-574.
- Meteyard, L, Bahrami, B & Vigliocco, G (2007). Motion detection and motion verbs: Language affects low-level visual perception. *Psychological Science*, 18, 1007-1013.
- Meteyard, L, Rodriguez Cuadrado, S, Bahrami, B & Vigliocco, G (2012). Coming of age: A review of embodiment and the neuroscience of semantics. *Cortex*, 48, 788-804.
- Moreno, I, de Vega, M & León, I (2013). Understanding action language modulates oscillatory mu and beta rhythms in the same way as observing actions. *Brain and Cognition*, 82, 236-242.
- Moreno, I, de Vega, M, León, I, Bastiaansen, M, Glen Lewis, A & Magyari, L (2015). Brain dynamics in the comprehension of action-related language. A time-frequency analysis of mu rhythms. *NeuroImage*, 109, 50-62.
- Morford, JP, Wilkinson, E, Villwock, A, Piñar, P & Kroll, JF (2011). When deaf signers read English: Do written words activate their sign translations? *Cognition*, 118, 286-292.
- Mukamel, R, Ekstrom, AD, Kaplan, J, Iacoboni, M & Fried, I (2010). Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions. *Current Biology*, 20, 750-756.
- Müller, HM (2013). *Psycholinguistik – Neurolinguistik. Die Verarbeitung von Sprache im Gehirn*. Fink: Paderborn.
- Näätänen, R (1995). The Mismatch Negativity: A powerful tool for cognitive neuroscience. *Ear & Hearing*, 16, 6-18.
- Neininger, B & Pulvermüller, F (2001). The right hemisphere's role in action word processing: A double case study. *Neurocase*, 7, 303-317.
- Ocampo, B, Painter, DR & Kritikos, A (2012). Event coding and motor priming: how attentional modulation may influence binding across action properties. *Experimental Brain Research*, 219, 139-150.
- Oldfield, RC (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Ortega, G & Morgan, G (2014). The effect of iconicity in the mental lexicon of hearing non-signers and proficient signers: evidence of cross-modal priming. *Language, Cognition and Neuroscience*, 1-12.

- Paivio, A (1986). *Mental representation: A dual-coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Pecher, D, Boot, I & Van Dantzig, S (2011). Abstract concepts: Sensory-motor grounding, metaphors, and beyond. In B Ross (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 217-248). Burlington: Academic Press.
- Pfurtscheller, G & Lopes da Silva, FH (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1842-1857.
- Pfurtscheller, G & Neuper, C (1997). Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neuroscience Letters*, 239, 65-68.
- Pfurtscheller, G, Brunner, C, Schlögl, A & Lopes da Silva, FH (2006). Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *NeuroImage*, 31, 153-159.
- Pfurtscheller, G, Stancák Jr, A & Neuper, C (1996). Post-movement beta synchronization. A correlate of an idling motor area? *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98, 281-293.
- Piaget, J (1973). *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Piñar, P, Dussias, PE & Morford, JP (2011). Deaf readers as bilinguals: An examination of deaf readers' print comprehension in light of current advances in bilingualism and second language processing. *Language and Linguistics Compass*, 5, 691-704.
- Pineda, JA (2005). The functional significance of mu rhythms: Translating "seeing" and "hearing" into "doing." *Brain Research Reviews*, 50, 57-68.
- Postle, N, McMahan, KL, Ashton, R, Meredith, M & de Zubicaray, GI (2008). Action word meaning representations in cytoarchitectonically defined primary and premotor cortices. *NeuroImage*, 43, 634-644.
- Pritzel, M, Brand, M & Markowitsch, HJ (2009). *Gehirn und Verhalten. Ein Grundkurs der physiologischen Psychologie*. Heidelberg: Springer Akademischer Verlag.
- Pulvermüller, F (2013). Semantic embodiment, disembodiment or misembodiment? In search of meaning in modules and neuron circuits. *Brain and Language*, 127, 86-103.
- Pulvermüller, F, Hauk, O, Nikulin, VV & Ilmoniemi, RJ (2005). Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience*, 21, 793-797.
- Quandt, LC & Marshall, PJ (2014). The effect of action experience on sensorimotor EEG rhythms during action observation. *Neuropsychologia*, 56, 401-408.
- Quizlet, Inc. (2016). Final (Anatomy). Zu erreichen unter: <https://quizlet.com/12081654/final-anatomy-flash-cards/>. Zugriff am 25.11.2016, 14:30 Uhr.
- Richardson, DC, Spivey, MJ, Edelman, S & Naples, AJ (2001). "Language is spatial": Experimental evidence for image schemas of concrete and abstract verbs. In JD Moore & K Stenning (Hrsg.), *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 845-850). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Richardson, JTE (2003). Dual coding versus relational processing in memory for concrete and abstract words. *European Journal of Cognitive Psychology*, 15, 481-509.
- 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, 1168-1187.
- Rizzolatti, G (2005). The mirror neuron system and its function in humans. *Anatomy and Embryology*, 210, 419-421.

- Rizzolatti, G & Arbib, MA (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21, 188-194.
- Rizzolatti, G & Craighero, L (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.
- Rizzolatti, G, Camarda, R, Fogassi, L, Gentilucci, M, Luppino, G & Matelli, M (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and the control of distal movements. *Experimental Brain Research*, 71, 491-507.
- Rizzolatti, G, Fadiga, L, Matelli, M, Bettinardi, V, Paulesu, E, Perani, D & Fazio, F (1996). Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Experimental Brain Research*, 111, 246-252.
- Romero Lauro, LJ, Mattavelli, G, Papagno, C & Tettamanti, M (2013). She runs, the road runs, my mind runs, bad blood runs between us: Literal and figurative motion verbs: An fMRI study. *NeuroImage*, 83, 361-371.
- Sakreida, K, Scorolli, C, Menz, MM, Heim, S, Borghi, AM & Binkofski, F (2013). Are abstract action words embodied? An fMRI investigation at the interface between language and motor cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1-13.
- Sato, M, Grabski, K, Glenberg, AM, Brisebois, A, Basirat, A, Ménard, L & Cattaneo, L (2011). Articulatory bias in speech categorization: Evidence from use-induced motor plasticity. *Cortex*, 47, 1001-1003.
- Schaller, F, Emmorey, K, Lee, B, Sehyr, ZS & O'Grady, C (2016). Iconic priming and metaphoric mapping in deaf signers of American Sign Language. Poster presented at Perception Metaphor Workshop, October 6-9, Nijmegen.
- Schaller, F, Weiss, S & Müller, HM (2015). The influence of hand or foot responses on response times in investigating action sentence processing. In DC Noelle, R Dale, AS Warlaumont, J Yoshimi, T Matlock, CD Jennings & PP Maglio (Hrsg.), *Proceedings of the 37th Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 2098-2103). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Schaller, F, Weiss, S & Müller, HM (im Druck). "Pushing the button while pushing the argument": Motor priming of abstract action language. *Cognitive Science*.
- Schaller, F, Weiss, S & Müller, HM (in Review). EEG beta-power changes reflect motor involvement in abstract action language processing. *Brain & Language*.
- Schneider, N (1998). *Erkenntnistheorie im 20. Jahrhundert. Klassische Positionen*. Stuttgart: Reclam.
- Schriefers, H, Friederici, AD & Kühn, K (1995). The processing of locally ambiguous relative clauses in German. *Journal of Memory and Language*, 34, 499-520.
- Schwanenflugel, PJ & Shoben, EJ (1983). Differential context effects in the comprehension of abstract and concrete verbal materials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 82-102.
- Secora, K & Emmorey, K (2014). The Action-Sentence Compatibility Effect in ASL: the role of semantics vs. perception. *Language and Cognition*, 40, 1-14.
- Shapiro, L (2011). *Embodied cognition*. New York: Routledge.
- Shtyrov, Y, Hauk, O & Pulvermüller, F (2004). Distributed neuronal networks for encoding category-specific semantic information: The mismatch negativity to action words. *European Journal of Neuroscience*, 19, 1083-1092.
- Simon, S & Mukamel, R (2016). Power modulation of electroencephalogram mu and beta frequency depends on perceived level of observed actions. *Brain and Behavior*, 6, e00494.
- Squires, NK, Squires, KC & Hillyard, SA (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38, 387-401.

- Stanfield, RA & Zwaan, RA (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science*, *12*, 153-156.
- Svensson, H (2001). *Notions of embodiment in cognitive science*. Universität Skövde, Skövde.
- Taub, SF (2001). *Language from the body: Iconicity and metaphor in American Sign Language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Taylor, LJ & Zwaan, RA (2007). Motor resonance and linguistic focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*, 896-904.
- Tettamanti, M, Buccino, G, Saccuman, MC, Gallese, V, Danna, M, Scifo, P, Fazio, F, Rizzolatti, G, Cappa, SF & Perani, D (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 273-281.
- Thelen, E (2000). Grounded in the world: Developmental origins of the embodied mind. *Infancy*, *1*, 3-28.
- Thierry, G & Wu, YJ (2007). Brain potentials reveal unconscious translation during foreign-language comprehension. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*, 12530-12535.
- Toga, AW & Thompson, PM (2003). Mapping brain asymmetry. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*, 37-48.
- Tomasino, B, Fink, GR, Sparing, R, Dafotakis, M & Weiss, PH (2008). Action verbs and the primary motor cortex: A comparative TMS study of silent reading, frequency judgments, and motor imagery. *Neuropsychologia*, *46*, 1915-1926.
- Troyer, M, Curley, LB, Miller, LE, Saygin, AP & Bergen, BK (2014). Action verbs are processed differently in metaphorical and literal sentences depending on the semantic match of visual primes. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1-16.
- Van Elk, M & Blanke, O (2011). The relation between body semantics and spatial body representations. *Acta Psychologica*, *138*, 347-358.
- Van Elk, M, van Schie, HT, Zwaan, RA & Bekkering, H (2010). The functional role of motor activation in language processing: Motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval. *NeuroImage*, *50*, 665-677.
- Vannuscorps, G, Andres, M & Pillon, A (2013). When does action comprehension need motor involvement? Evidence from upper limb apraxia. *Cognitive Neuropsychology*, *30*, 253-283.
- Vigliocco, G, Vinson, DP, Lewis, W & Garrett, MF (2004). Representing the meanings of object and action words: The featural and unitary semantic space hypothesis. *Cognitive Psychology*, *48*, 422-488.
- Wang, J, Conder, JA, Blitzer, DN & Shinkareva, SV (2010). Neural representation of abstract and concrete concepts: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, *31*, 1459-1468.
- Weiss, S & Müller, HM (2003). The contribution of EEG coherence to the investigation of language. *Brain and Language*, *85*, 325-343.
- Weiss, S & Müller, HM (2012). Processing arm-related verbs of motion: Behavioral and neurophysiological correlates. Talk presented at the 4th UK Cognitive Linguistics Conference, July 10-12, London.
- Weiss, S & Müller, HM (2013). The non-stop road from concrete to abstract: High concreteness causes the activation of long-range networks. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 1-13.
- Weiss, S & Rappelsberger, P (1998). Left frontal EEG coherence reflects modality independent language processes. *Brain Topography*, *11*, 33-42.

- Weiss, S & Rappelsberger, P.(1996). EEG coherence within the 13-18 Hz band as a correlate of a distinct lexical organisation of concrete and abstract nouns in humans. *Neuroscience Letters*, 209, 17-20.
- Weiss, S, Müller, HM & Rickheit, G (2011b). Large-scale synchronization during concrete and abstract language. *Proceedings of the 4th Conference of Embodied and Situated Language Processing (ESLP)*, 39.
- Weiss, S, Müller, HM, Mertens, M & Woermann, FG (2011a). “Tooth and truth”: Brain activation during passive listening to concrete and abstract nouns. *The Open Behavioral Science Journal*, 5, 37-47.
- Welcome, SE, Paivio, A, McRae, K & Joanisse, MF (2011). An electrophysiological study of task demands on concreteness effects: evidence for dual coding theory. *Experimental Brain Research*, 212, 347-358.
- Weninger, G (Hrsg.) (2001). *Lexikon der Psychologie. M bis Ref* (Band 3). Heidelberg: Spektrum.
- West, WC & Holcomb, PJ (2000). Imaginal, semantic, and surface-level processing of concrete and abstract words: An electrophysiological investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1024-1037.
- Whishaw, IQ, Sacrey, L-AR, Travis, SG, Gholamrezaei, G & Karl, JM (2010). The functional origins of speech-related hand gestures. *Behavioral Brain Research*, 214, 206-215.
- Willems, RM, Hagoort, P & Casasanto, D (2010). Body-specific representations of action verbs: Neural evidence from right- and left-handers. *Psychological Science*, 21, 67-74.
- Willems, RM, Toni, I, Hagoort, P & Casasanto, D (2009). Neural dissociations between action verb understanding and motor imagery. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 2387-2400.
- Wilson, M (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 625-636.
- Wilson, NL & Gibbs, Jr RW (2007). Real and imagined body movement primes metaphor comprehension. *Cognitive Science*, 31, 721-731.
- Wingfield, A, Peelle, JE & Grossman, M (2003). Speech rate and syntactic complexity as multiplicative factors in speech comprehension by young and older adults. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 10, 310-322.
- Wittgenstein, L (2001). *Philosophische Untersuchungen*. (J Schulte, Hrsg.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- York, C, Olm, C, Boller, A, McCluskey, L, Elman, L, Haley, J, Seltzer, E, Chahine, L, Woo, J, Rascovsky, K, McMillan, C & Grossman, M (2014). Action verb comprehension in amyotrophic lateral sclerosis and Parkinson’s disease. *Journal of Neurology*, 261, 1073-1079.
- Zwaan, RA (2004). The immersed experiencer: Toward an embodied theory of language comprehension. In B Ross (Hrsg), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 44, pp. 35-62). San Diego: Academic Press.
- Zwaan, RA (2014). Embodiment and language comprehension: Reframing the discussion. *Trends in Cognitive Sciences*, 18, 229-234.
- Zwaan, RA, Madden, CJ, Yaxley, RH & Aveyard, ME (2004). Moving words: Dynamic representations in language comprehension. *Cognitive Science*, 28, 611-619.
- Zwaan, RA, Stanfield, RA & Yaxley, RH (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects. *Psychological Science*, 13, 168-171.

Anhang

A Stimulussätze der Reaktionszeitexperimente 1 und 2

Kritische Stimulussätze

Ich habe die Klingel gedrückt.

Ich habe die Stimmung gedrückt.

Ich habe die Stimmung erzeugt.

Ich habe den Knopf gedrückt.

Ich habe den Preis gedrückt.

Ich habe den Preis erzielt.

Ich habe den Hund begraben.

Ich habe den Plan begraben.

Ich habe den Plan verwirklicht.

Ich habe das Opfer begraben.

Ich habe das Projekt begraben.

Ich habe das Projekt verwirklicht.

Ich habe das Geschirr gewaschen.

Ich habe das Schwarzgeld gewaschen.

Ich habe das Schwarzgeld deklariert.

Ich habe den Täter gefasst.

Ich habe den Entschluss gefasst.

Ich habe den Entschluss bereut.

Ich habe den Schläger geschmissen.

Ich habe den Laden geschmissen.

Ich habe den Laden vermietet.

Ich habe das Konfetti geschmissen.

Ich habe das Studium geschmissen.

Ich habe das Studium absolviert.

Ich habe den Deckel gehoben.

Ich habe den Standard gehoben.

Ich habe den Standard definiert.

Ich habe die Beute geteilt.

Ich habe die Ansicht geteilt.

Ich habe die Ansicht gestärkt.

Ich habe die Haustür geöffnet.

Ich habe die Grenze geöffnet.

Ich habe die Grenze festgelegt.

Ich habe die Pforte geschlossen.

Ich habe die Sitzung geschlossen.

Ich habe die Sitzung beendet.

Ich habe das Fenster geschlossen.

Ich habe das Bündnis geschlossen.

Ich habe das Bündnis kritisiert.

Ich habe den Täter ergriffen.

Ich habe den Beruf ergriffen.

Ich habe den Beruf gewechselt.

Ich habe die Hand ergriffen.

Ich habe die Macht ergriffen.

Ich habe die Macht eingebüßt.

Ich habe die Papiertüte aufgehoben.

Ich habe die Suspendierung aufgehoben.

Ich habe die Suspendierung abgewiesen.

Ich habe den Kübel aufgehoben.

Ich habe den Beschluss aufgehoben.

Ich habe den Beschluss veröffentlicht.

Ich habe die Fassade gestrichen.

Ich habe die Beihilfe gestrichen.

Ich habe die Beihilfe abgelehnt.

Ich habe das Gelände gestrichen.

Ich habe das Taschengeld gestrichen.

Ich habe das Taschengeld aufgebraucht.

Ich habe die Handbremse gezogen.

Ich habe die Konsequenz gezogen.

Ich habe die Konsequenz gefordert.

*Ich habe das Gold geteilt.
Ich habe das Leid geteilt.
Ich habe das Leid erlebt.*

*Ich habe die Rotbuche gefällt.
Ich habe die Entscheidung gefällt.
Ich habe die Entscheidung bereut.*

*Ich habe den Kirschbaum gefällt.
Ich habe den Beschluss gefällt.
Ich habe den Beschluss vertagt.*

*Ich habe den Bus gelenkt.
Ich habe den Staat gelenkt.
Ich habe den Staat beschützt.*

*Ich habe das Auto gelenkt.
Ich habe das Geschick gelenkt
Ich habe das Geschick erprobt.*

*Ich habe den Stiel abgebrochen.
Ich habe den Streik abgebrochen.
Ich habe den Streik organisiert.*

*Ich habe den Hebel abgebrochen.
Ich habe den Kontakt abgebrochen.
Ich habe den Kontakt intensiviert.*

*Ich habe die Bulldogge geschlagen.
Ich habe die Übermacht geschlagen.
Ich habe die Übermacht anerkannt.*

*Ich habe das Autogramm gegeben.
Ich habe das Versprechen gegeben.
Ich habe das Versprechen erneuert.*

*Ich habe den Schubs gegeben.
Ich habe den Tipp gegeben.
Ich habe den Tipp beherzigt.*

*Ich habe die Flagge hochgehalten.
Ich habe die Spannung hochgehalten.
Ich habe die Spannung abgewartet.*

*Ich habe den Rucksack genommen.
Ich habe den Urlaub genommen.
Ich habe den Urlaub genossen.*

*Ich habe den Stecker gezogen.
Ich habe den Nutzen gezogen.
Ich habe den Nutzen maximiert.*

*Ich habe die Schranke gesenkt.
Ich habe die Quote gesenkt.
Ich habe die Quote erreicht.*

*Ich habe das Flugzeug gesteuert.
Ich habe das System gesteuert.
Ich habe das System entwickelt.*

*Ich habe den Wagen gesteuert.
Ich habe den Verbrauch gesteuert.
Ich habe den Verbrauch optimiert.*

*Ich habe den Ausweis gezeigt.
Ich habe den Ehrgeiz gezeigt.
Ich habe den Ehrgeiz verspürt.*

*Ich habe das Gemälde gezeigt.
Ich habe das Verhalten gezeigt.
Ich habe das Verhalten erlernt.*

*Ich habe den Vater geschlagen.
Ich habe den Alarm geschlagen.
Ich habe den Alarm ausgelöst.*

*Ich habe die Krone abgenommen.
Ich habe die Prüfung abgenommen.
Ich habe die Prüfung vorbereitet.*

*Ich habe den Mantel abgelegt.
Ich habe den Makel abgelegt.
Ich habe den Makel empfunden.*

*Ich habe die Brille abgelegt.
Ich habe die Skepsis abgelegt.
Ich habe die Skepsis aufgelöst.*

*Ich habe das Stromkabel berührt.
Ich habe das Publikum berührt.
Ich habe das Publikum geliebt.*

*Ich habe das Spielzeug gehalten.
Ich habe das Niveau gehalten.
Ich habe das Niveau angestrebt.*

*Ich habe die Münze genommen.
Ich habe die Auszeit genommen.
Ich habe die Auszeit beantragt.*

*Ich habe den Schlüssel abgegeben.
Ich habe den Vorsitz abgegeben.
Ich habe den Vorsitz innegehabt.*

*Ich habe das Bild abgegeben.
Ich habe das Amt abgegeben.
Ich habe das Amt umstrukturiert.*

*Ich habe den Wein geerntet.
Ich habe den Ruhm geerntet.
Ich habe den Ruhm erworben.*

*Ich habe den Mais geerntet.
Ich habe den Spott geerntet.
Ich habe den Spott ertragen.*

Distraktorsätze

*Ich habe das Haus gekämmt.
Ich habe die Blume getrommelt.
Ich habe den Hügel dirigiert.
Ich habe das Mehl dirigiert.
Ich habe die Frucht unterschrieben.
Ich habe die Bürste gerührt.
Ich habe die Hose gewunken.
Ich habe das Foto gewunken.
Ich habe das Telefon zerrissen.
Ich habe den Staubsauger zerrissen.
Ich habe den Topf geschnitten.
Ich habe das Rad getippt.
Ich habe den Stein getippt.
Ich habe den Ball gehämmert.
Ich habe das Brötchen gewischt.
Ich habe den Ausgang gegessen.
Ich habe den Urlaub verpflichtet.
Ich habe die Tat verpflichtet.
Ich habe den Himmel veranlasst.
Ich habe die Würde versucht.
Ich habe den Ruhm versucht.
Ich habe den Zweck ermöglicht.
Ich habe die Krankheit gesichert.
Ich habe die Probe verpflichtet.
Ich habe die Akte verpflichtet.*

*Ich habe das Haar veranlasst.
Ich habe den Studenten ermöglicht.
Ich habe den Sand begründet.
Ich habe das Mehl begründet.
Ich habe das Papier vermutet.
Ich habe das Brot vermutet.
Ich habe den Becher verstanden.
Ich habe den Nagel verstanden.
Ich habe die Kerze gestärkt.
Ich habe das Springseil gestärkt.
Ich habe den Wert gekämmt.
Ich habe den Urlaub getrommelt.
Ich habe die Fahrt getrommelt.
Ich habe die Frage genäht.
Ich habe das Urteil genäht.
Ich habe den Umzug gesiebt.
Ich habe den Ausflug gesiebt.
Ich habe den Job gerührt.
Ich habe den Betrug geschnitten.
Ich habe die Ursache geschnitten.
Ich habe den Hunger getippt.
Ich habe den Unfall gehämmert.
Ich habe die Aussage gewischt.
Ich habe das Vorgehen gewischt.
Ich habe die Folge gegessen.*

B Stimulusmaterial des Reaktionszeitexperiments 3

Map Bedingung

Metapher

Communication collapsed during the difficult meeting.

Don't throw away your plans for the future.

Donations rose after the earthquake

Exercise can help you build up energy.

He hopped from job to job.

He wrapped up the project.

Her grades went up.

Her responsibilities were reduced.

His parents cut off his financial support.

Hold that thought for a second.

I asked him to swallow his pride.

I built up my confidence.

I could not catch what you said.

I gave you that idea.

I got through to him.

I need to put these feelings aside.

I put that thought aside.

My dreams collapsed.

My feelings for her decreased.

She gave you a hint.

Stock prices plummeted in 2008.

The city's population shrank by 10%.

The flu spread across the country.

The idea popped up during the conversation.

The number of college students is shrinking.

The settlers grabbed the unclaimed land.

The students grabbed all the good jobs.

We were throwing some ideas back and forth.

You have to grasp this opportunity.

You should hold that promise.

kongruente ikonische Prime-Gebärde (Verb)

COLLAPSE

THROW-AWAY

RISE

BUILD-UP

HOP

TIE

IMPROVE

REDUCE

CUT-OFF

HOLD

SWALLOW

BUILD-UP

CATCH

GIVE

GET THROUGH

PUT ASIDE

PUT-ASIDE

COLLAPSE

DECLINE

GIVE

GO-DOWN-FAST

SHRINK

SPREAD

POP UP

SHRINK

GRAB

GRAB

THROW

GRASP

HOLD

inkongruente ikonische Prime-Gebärde (Nomen)

BENEFIT

APPLE

BIOLOGY

FARM

MICROWAVE

EXPERIENCE

VEGETABLE

UNIVERSITY

TOBACCO

GARAGE

CLASS

FREEWAY

TROPHY

DEMAND

TEST

CHANCE

NUT

LECTURE

COMPUTER

LANGUAGE

THEATER

INTEREST

INTERPRETER

TOMATO

OFFICE

ALARM

EGG

DIAMOND

COUNTRY

MUSIC

No Map Bedingung

Metapher

He closes the deal.

He cut me off when I was talking.

He devoured the book.

He entered a state of euphoria.

He nailed the answer.

He spit out the answer.

He's coming out of the coma.

kongruente ikonische Prime-Gebärde (Verb)

CLOSE

CUT-OFF

DEVOUR

ENTER

NAIL

SPIT OUT

OUT

inkongruente ikonische Prime-Gebärde (Nomen)

HONOR

LEAF

NAME

HORSE

BATH

ELEGANCE

GIRL

<i>Her idea took off.</i>	TAKE OFF	SISTER
<i>Her mean words cut me deeply.</i>	CUT	DORMITORY
<i>His mind snapped.</i>	SNAP	EARTH
<i>I could not tear myself away from that book.</i>	TEAR	TRAIN
<i>I fell into a depression.</i>	FALL	CAFETERIA
<i>I had to juggle my schedule around.</i>	JUGGLE	ANIMAL
<i>I hold him accountable for the bad outcome.</i>	HOLD	MONTH
<i>My expectations sank after the announcement.</i>	SINK	PRESIDENT
<i>Night fell quickly.</i>	FALL	LIBRARY
<i>She walked away from the relationship.</i>	WALK-ON-TWO-LEGS	HOLIDAY
<i>Steer clear of that topic.</i>	STEER	BUTTER
<i>The acid ate the metal.</i>	EAT	PENNY
<i>The event shook her up.</i>	SHAKE	HUSBAND
<i>The price climbed.</i>	CLIMB	MACHINE
<i>The project took off immediately.</i>	TAKE OFF	GAME
<i>The weeks crawled by.</i>	CRAWL	LAWYER
<i>They like to stir up trouble.</i>	STIR UP	STAFF
<i>This theory breaks new ground.</i>	BREAK	NUMBERS
<i>Time flies.</i>	FLY	NIGHT
<i>We hammered out a deal.</i>	HAMMER	STUDENT
<i>Where did you dig up that idea?</i>	DIG UP	PAIN
<i>You cannot grasp the severity of this situation.</i>	GRASP	BREAD
<i>You have to put more effort in those things.</i>	PUT	PIG

Distraktorsätze

Metapher

A grapefruit die composition for classical would.
A long keyboard sees the too stick.
Always shoulder that strikes for way.
An everything shirt runs old through.
Another loves joke a day good.
Books step paying does not first stumbling.
Bread asking comes trickery.
Clear is often pregnant guitar.
Down small more sat once baby.
Eleven shiver chair makes number people.
Jumps and rum ways stew both.
Passionate toothbrush a slips on evening.
Says shooter nothing of goodbye the importance.
Shower to the wondrous likes drum.
Style fire house set shovel.
The ever is flailing present monkey.
The mind body goods the stole.

kongruente ikonische Prime-Gebärde (Verb)

EXPLANATION

KITCHEN

REVENGE

CHOCOLATE

ISLAND

YEAR

inkongruente ikonische Prime-Gebärde (Nomen)

KEYBOARD

SHOULDER

SHIRT

BOOK

GUITAR

BABY

TOOTHBRUSH

DRUM

SHOVEL

MONKEY

MIND

*Upon legs side the somebody other else's
stands.*

Violin is on ready table die not.

Your glove often floor is above.

BANK

VIOLIN

GLOVE

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig angefertigt habe, keine Textabschnitte von Dritten oder aus eigenen Prüfungsarbeiten ohne Kennzeichnung übernommen habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel und Quellen in der Arbeit angegeben habe. Die geltende Promotionsordnung der Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft der Universität Bielefeld ist mir bekannt. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Vermittlungstätigkeiten oder für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die vorliegende Arbeit wurde von mir noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht und ich habe weder die Arbeit noch eine in wesentlichen Teilen ähnliche Arbeit oder eine andere Abhandlung bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht.

Bielefeld, den 7. Dezember 2016

Unterschrift