

**Temporale Gehirn-Asymmetrie und Neural-Efficiency:
Psychophysiologische Mechanismen sportlicher Spitzenleistung
unter Wettkampfdruck im Tischtennis**

Dissertation

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Eberhard Karls Universität Tübingen

zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von

Dipl.-Psych. Sebastian Wolf

aus Ostfildern-Ruit

Tübingen

2012

Tag der mündlichen Prüfung: 16.04.2013

Dekan: Prof. Dr. Wolfgang Rosenstiel

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Martin Hautzinger

2. Berichterstatter: PD Dr. Ute Strehl

Abstract

Die Identifizierung neurophysiologischer Korrelate sportlicher Höchstleistung gewinnt innerhalb der Sportpsychologie immer mehr an Bedeutung. Studien weisen darauf hin, dass auf neurophysiologischer Ebene eine linkshemisphärische, temporale Inhibierung bzw. eine rechtshemisphärische Aktivierung mit Spitzenleistung einhergeht. Diese Aktivitätsasymmetrie könnte mit einer Reduktion verbal-analytischer und einer Steigerung visuell-räumlicher kognitiver Prozesse und damit mit einer Abnahme störender Gedanken, gesteigerter Aufmerksamkeit, dem Erleben von Flow und dadurch mit Automtizität in der Ausführung einer sportlichen Handlung korrelieren. Bei Experten aus statischen Sportarten verringert sich zudem die kortikale Aktivierung in relevanten, v.a. motorischen Hirnregionen, was für kortikale Effizienz spricht und zur „Neural Efficiency Hypothese“ geführt hat. Befunde hierzu sind jedoch widersprüchlich und scheinen von den Anforderungen der Aufgabe abhängig zu sein.

Bei hochreaktiven Sportarten wurden spezifische neurophysiologische Korrelate sportlicher Höchstleistung kaum untersucht. Ziel der vorliegenden Studie war daher den Nachweis der hemisphärischen Asymmetrie in der Sportart Tischtennis zu replizieren. Auch sollte die Aktivierung im motorischen Kortex in der Vorbereitungsphase einer sportartspezifischen Bewegung untersucht werden, um die „Neural Efficiency Hypothese“ zu testen. Hierfür wurde die EEG-Aktivität professioneller Tischtennisspieler mit Nachwuchstalenten und Amateuren während einer Bewegungsvorstellung in einer Wettkampfsituation verglichen.

In der vorliegenden Studie zeigen Tischtennis-Experten in der Vorbereitung auf den vorgestellten Tischtennisschlag eine stärkere Aktivierung des motorischen Kortex, was der „Neural Efficiency Hypothese“ zu widersprechen scheint, aber Befunden von Studien mit prozeduralen Aufgaben ähnelt. Die Befunde weisen zudem darauf hin, dass professionelle Tischtennisspieler im Vergleich zu Amateuren eine stärkere relative linkshemisphärische

Inhibierung kortikaler Prozesse aufweisen, welche okzipital und frontopolar am stärksten ausgeprägt ist. Im Übergang zur Handlungsphase aktivieren Experten im Vergleich zu Amateuren stärker rechtshemisphärische Prozesse, was im Temporallappen am deutlichsten ausgeprägt ist. Korrelationsanalysen zeigen, dass ausschließlich bei Experten eine Inhibierung der gesamten linken Hirnhälfte in der Vorbereitungsphase auf einen Tischtennisschlag mit mehr Flow-Erleben, Hoffnung auf Erfolg und positiven Affekt einhergeht. Die temporale Asymmetrie korreliert bei Experten zudem stark mit dem Weltranglistenplatz. Die Ergebnisse deuten somit auf einen psychophysiologischen Mechanismus hin, der als State erst ab einem gewissen Expertiseniveau auftritt. Die funktionale Bedeutung des Mechanismus ist nicht eindeutig zu klären, umfasst aber hoch wahrscheinlich folgende funktionale Korrelate: fokussierte Aufmerksamkeit, Automatisierung in der Ausführung sportlicher Handlungen und das Erleben von Flow.

Zum ersten Mal wurde die funktionelle hemisphärische Asymmetrie und die „Neural Efficiency Hypothese“ während der Imagination einer sportartspezifischen Bewegung untersucht. Die hemisphärische Aktivierungsasymmetrie konnte auch beim Tischtennis, einer hochreaktiven Sportart, erfolgreich reproduziert werden. Die stärkere kortikale Aktivierung des motorischen Kortex wird hinsichtlich einer kritischen Bezugnahme zur „Neural Efficiency Hypothese“ diskutiert.

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei PD Dr. Ute Strehl, Prof. Dr. Martin Hautzinger und Prof. Dr. Niels Birbaumer für die intensive und kritische Betreuung meiner Dissertation. Ein besonderer Dank gilt Ute, auf deren inhaltliche, organisatorische und persönliche Unterstützung ich mich in jeder Phase des Forschungsprojektes zu 100 % verlassen konnte. Nach kurzer Zeit konnte sie schon „an meinem Blick“ erkennen, ob es sich um eine inhaltliche Frage oder um ein Anliegen „finanzieller Natur“ handelte, wenn ich mal wieder an ihre Bürotür klopfte. Zudem bedanke ich mich bei meinen Diplomanden, Master-Studenten und Hilfskräften Benjamin Wesa, Ellen Brölz, Helena Schütze, Benedikt Joos und David Scholz, die mir bei meiner Dissertationsstudie und der darauffolgenden Neurofeedback-Studie im Rahmen des DFG-Projektes, eine nicht wegzudenkende Unterstützung waren. Ohne das Commitment der Bundestrainer des Deutschen Tischtennis Bundes und der Landestrainer des Tischtennisverbandes Baden-Württemberg wäre diese Studie nie zustande gekommen. Insbesondere bedanke ich mich bei Sönke Geil und Frank Fürste, die das Projekt von Anfang an maximal unterstützt und mir wertvolle Kontakte vermittelt haben.

Ein letzter Dank gilt meinen Eltern, die mir ohnehin in jeder Lebensphase uneingeschränkt zur Seite stehen.

Alle Genannten haben dazu beigetragen und mich darin unterstützt *mein eigenes Ding* zu machen und verwirklichen zu können, was mich bis zum Ende intrinsisch motiviert hat, worüber ich ausgesprochen dankbar bin!

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Herleitung	1
1.1	Sportliche Spitzenleistung	1
1.1.1	Ein Überblick über relevante Faktoren	1
1.1.2	Automatizität motorischer Handlungen	3
1.1.3	Wenn es darauf ankommt	6
1.1.3.1	Choking under pressure	7
1.1.3.2	Alles im Fluss	9
1.2	Neurophysiologische Prozesse im sportlichen Wettkampf	10
1.2.1	Neural Efficiency	10
1.2.2	Funktionelle Hemisphärenasymmetrie	14
1.3	Zusammenfassung und Ziele	17
1.4	Hypothesen	20
1.4.1	Hypothesen: Alpha-Asymmetrie	20
1.4.2	Hypothesen: Flow, Affekt, Leistungsmotiv und Freude	20
1.4.3	Hypothesen: Zusammenhänge zwischen der (temporalen) Alpha-Asymmetrie und Leistungsmaßen sowie emotionalem Erleben	21
1.4.4	Hypothesen: Neural Efficiency	21
2	Methode	23
2.1	Stichprobe	23
2.2	Probandenrekrutierung	26
2.3	Experimenteller Ablauf	28
2.4	Experimentelle Stimuli	32
2.5	Abhängige Maße	34
2.5.1	Leistungsmaße	35
2.5.1.1	ITTF-Weltrangliste (Experten)	35
2.5.1.2	DTTB-Jugendrangliste (Nachwuchstalente)	36
2.5.1.3	Bilanz (Amateure)	36
2.5.2	Fragebogendaten	37
2.5.2.1	Flow	37
2.5.2.2	Rumination	39
2.5.2.3	Leistungsmotive: „Hoffnung auf Erfolg“ und „Furcht vor Misserfolg“	40
2.5.2.4	Positiver und negativer Affekt (habituell: Trait)	41

2.5.2.5	Freude (aktuell: State).....	41
2.6	Manipulation Check: Druckinduktion.....	42
2.7	Kontroll- und Moderator Variablen.....	44
2.8	Analyse und Umgang mit fehlenden Werten	52
2.9	EEG-Aufnahme und Datenverarbeitung	53
2.9.1	EEG-Aufnahme.....	53
2.9.2	EEG-Datenverarbeitung und Artefaktkontrolle	53
2.9.3	Spektralanalyse (FFT).....	54
2.10	Statistische Analyse.....	55
2.10.1	Hypothesen Hemisphärische Asymmetrie	55
2.10.2	Hypothesen: Unterschiede im emotionalen Erleben	57
2.10.3	Hypothesen: Zusammenhangsanalysen Emotionen und AAS.....	58
2.10.4	Hypothesen: Neural Efficiency	58
2.10.5	Statistische Voraussetzungen und Umgang mit Verletzungen.....	60
3	Ergebnisse.....	66
3.1	Funktionelle Aktivierungs-Asymmetrie.....	66
3.1.1	Hypothese 1.1: AAS in der Vorbereitungsphase	66
3.1.2	Hypothese 1.2: Veränderung der AAS zwischen 4. und 5. Sekunde.....	71
3.1.3	Zusätzliche Post-hoc Analysen	81
3.2	Hypothesen: Flow, Rumination, Emotionen, Leistungsmotiv	85
3.2.1	Hypothese 2.1: Affekt (Trait).....	85
3.2.2	Hypothese 2.2: Freude (State).....	85
3.2.3	Hypothese 2.3 und 2.4: Flow und Rumination.....	86
3.2.4	Hypothese 2.5 und 2.6: Leistungsmotiv	87
3.3	Hypothesen: Zusammenhänge zwischen AAS, Leistung, Emotionen, Flow, Rumination und Leistungsmotiv	88
3.3.1	Hypothese 3.1: AAS und Leistung.....	88
3.3.2	Hypothese 3.2 und 3.3: AAS, Flow und Rumination.....	90
3.3.3	Hypothese 3.4: AAS und Affekt	92
3.3.4	Hypothese 3.5 AAS und Leistungsmotiv	94
3.3.5	Ergänzende Analysen.....	96
3.4	Hypothesen: Neural Efficiency	98
3.4.1	Hypothese 4.1: Alpha Power in der Vorbereitungsphase	98
3.4.2	Hypothese 4.2: Event-Related Synchronization (ERS).....	100

3.4.3	Hypothese 4.3: Event-Related Desynchronization (ERD).....	101
3.4.4	Ergänzende Analyse: Alpha-Aktivität im motorischen Cortex.....	105
4	Diskussion	108
4.1	Funktionelle Hemisphärenasymmetrie	109
4.1.1	Unterschiede im Erleben von Emotionen und im Auftreten störender Gedanken 113	
4.1.2	Zusammenhänge zwischen der Alpha-Asymmetrie und der Leistung.....	113
4.1.3	Zusammenhänge zwischen der Alpha-Asymmetrie und Flow	115
4.1.4	Hemisphärische Asymmetrie - mehr als das Erleben von Flow?.....	117
4.1.5	Hemisphärische Asymmetrie - State oder Trait?	118
4.2	Neural Efficiency.....	120
4.3	Limitationen.....	124
4.4	Was fehlt.....	127
4.5	Fazit	127
5	Literaturverzeichnis	129
6	Abkürzungsverzeichnis	139

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Videomaterial.....	32
Abbildung 2: Manipulation Check der mentalen Druckinduktion.....	43
Abbildung 3: AAS über Baseline, Vorbereitungs- und Handlungsphase	66
Abbildung 4: Interaktionseffekt aus Expertise und Region im AAS in der Vorbereitungsphase	69
Abbildung 5: Interaktionseffekt der Veränderung des AAS zwischen Vorbereitung und Handlung in Abhängigkeit der Expertise	73
Abbildung 6: Veränderungen der Alpha Power zwischen der 4. und 5. Sekunde in Abhängigkeit der Hemisphäre und der Expertise.....	76
Abbildung 7: Interaktionseffekt der Veränderung des temporalen (T3T4) AAS zwischen Vorbereitung und Handlung in Abhängigkeit der Expertise.....	80

Abbildung 8: Frontopolare AAS in Abhängigkeit der Expertise	83
Abbildung 9: Korrelation zwischen der T3T4 Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase und den Weltranglisten Punkten	89
Abbildung 10: Alpha Power in Abhängigkeit der Expertise.....	99
Abbildung 11: Event-Related Synchronization (ERS) zwischen Baseline und Bewegungsvorstellung	100
Abbildung 12: Verlauf der Alpha Power im motorischen Kortex über den gesamten Verlauf der Bewegungsvorstellung	103
Abbildung 13 Event Related Desynchronization (ERD)	104
Abbildung 14 Alpha Power im motorischen Kortex über Baseline, Vorbereitung und Handlung	107

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einschlusskriterien der Studie	24
Tabelle 2: Finale Stichprobe.....	25
Tabelle 3: Experimenteller Ablauf.....	29
Tabelle 4: Reliabilitäten der Fragebogenskalen	39
Tabelle 5: Reliabilitäten der Skalen Akzeptanz, Vorstellungsgüte Aufschlagqualität	45
Tabelle 6: Deskriptive Statistik aller relevanter Kontrollvariablen	46
Tabelle 7: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Studienakzeptanz.....	47
Tabelle 8: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Vorstellungsgüte	48
Tabelle 9: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Aufschlagqualität	49
Tabelle 10: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Wichtigkeit des eigenen Vorhand Top-Spins	50

Tabelle 11: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in verschiedenen Einschätzungen des Videogegegners.....	51
Tabelle 12: Berechnung der Alpha Asymmetrie Scores (AAS) in der Vorbereitungsphase ...	56
Tabelle 13: Berechnung der Alpha Power für jede Region	59
Tabelle 14: ANOVA zu den Veränderungen der AAS in der Vorbereitungsphase in Abhängigkeit der Hirnregion und Expertise	68
Tabelle 15: ANOVA zu den Veränderungen der AAS zwischen der Vorbereitungs- und Handlungsphase in Abhängigkeit der Hirnregion und Expertise.....	72
Tabelle 16: Wechselwirkungen aus Epoche (Sekunde 4 und 5) und Expertise in der Alpha-Asymmetrie bei allen Hirnregionen	78
Tabelle 17: Deskriptive Statistik der Flow- und Ruminationsskala.....	86
Tabelle 18: Deskriptive Statistik der Ausprägung des Leistungsmotivs.....	87
Tabelle 19: Korrelation zwischen Leistung und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase.....	88
Tabelle 20: Korrelation zwischen Leistung und der Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase	90
Tabelle 21: Korrelation zwischen Flow, Rumination und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase.....	91
Tabelle 22: Korrelation zwischen Flow, Rumination und Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase	92
Tabelle 23: Korrelation zwischen Emotionen und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase.....	93
Tabelle 24: Korrelation zwischen Emotionen und der Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase	94
Tabelle 25: Korrelation zwischen der Ausprägung des Leistungsmotivs und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase	95

Tabelle 26: Korrelation zwischen der Ausprägung des Leistungsmotivs und Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase.....	96
Tabelle 27: Korrelation zwischen Flow, positivem Affekt, Hoffnung auf Erfolg und AAS in der Vorbereitungsphase in Abhängigkeit der Elektrodenposition	97
Tabelle 28: Interkorrelationen der Fragebogenmaße	98
Tabelle 29: Ergebnisse (ANOVA) Alpha Power im motorischen Kortex in Baseline, Vorbereitungs- und Handlungsphase in Abhängigkeit der Expertise	106

III. Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Effektstärke partielles η^2	63
Formel 2: Berechnung der Effektstärke Cohen's d bei unabhängigen Vergleichen.....	64
Formel 3: Berechnung der Effektstärke Cohen's d bei abhängigen Vergleichen.....	64

1 Theoretische Herleitung

1.1 Sportliche Spitzenleistung

1.1.1 Ein Überblick über relevante Faktoren

Für Timo Boll sollten die olympischen Spiele 2012 in London endlich zur der lang erhofften olympischen Einzelmedaille führen. Vor der Viertelfinalpartie gegen Adrian Crisan, in welcher Boll klarer Favorit war, sagte Boll in einem Interview: "Das ist eine gefährliche Situation, man muss die Spannung hochhalten" (dpa, 2012). Boll spielte weit unter seinen Fähigkeiten und verlor die Partie. Er beendete den Einzelwettbewerb mit den Worten: "Ich würde am liebsten losheulen. So kurz danach fehlen mir etwas die Worte" (dpa, 2012). Anders lief es im darauffolgenden Mannschaftswettbewerb. Hier gewann er im Halbfinale deutlich gegen den Goldmedaillengewinner des Einzelwettbewerbs Zhang Jike. Die deutsche Mannschaft verlor klar mit 1:3. Timo Boll holte den einzigen Punkt und das gegen einen deutlich favorisierten Gegner in einem Mannschaftswettbewerb, der in den letzten Jahren nie gewonnen werden konnte. Er spielte also genau dann unter seinen Möglichkeiten, als es für ihn besonders wichtig war, und zwar in dem Wettbewerb, in dem es um seine olympische Einzelmedaille ging. Was war passiert? Die Frage könnte man auch anders formulieren: Wie schafft es ein Athlet, zu einem ganz bestimmten, für ihn besonders wichtigen, nicht wiederholbaren Zeitpunkt, sein Repertoire an gelernten motorischen Abläufen so einzusetzen, dass er am Schluss die olympische Medaille gewinnt?

Eine offensichtliche Voraussetzung für Spitzenleistung sind eingeschliffene, sportartspezifische, motorische Bewegungsabläufe („skills“), die durchschnittlich über einen Zeitraum von 10 Jahren mit einer Anzahl von ca. 10 000 Stunden geübt wurden (Krampe & Ericsson, 1996). Die Umsetzung dieser skills in Wettkämpfen ist jedoch von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängig. Hierzu zählt die Wahrnehmung bestimmter Umweltreize, deren

Fokussierung oder deren Ausblendung, im Falle von Irrelevanz, die Verarbeitung und Integration sensorischer Informationen, entsprechende Adjustierungen der motorischen Bewegungen sowie die letztendliche (explizite oder implizite) Entscheidung, eine bestimmte Handlung auszuführen. Zudem benötigen Sportler (implizites und explizites) Wissen darüber, welche Auswirkung ihre eigenen motorischen Handlungen haben können. Bedenkt man den Zeitdruck in Sportarten, welche sehr schnelle Entscheidungen erfordern, benötigen Sportler zudem Wissen über mögliche Konsequenzen sich verändernder Umweltbedingungen (z.B. die Rotation eines Tischtennisballs bei entsprechendem Handgelenkeinsatz eines gegnerischen Aufschlägers). Dieses Wissen über mögliche Konsequenzen eigenen und fremden Handelns wird auch mit Antizipation umschrieben und ist für Sportarten mit hohem Zeitdruck unerlässlich, um skills adäquat und effizient anpassen zu können (für ein Review siehe Yarrow, Brown, & Krakauer, 2009).

Ein Spitzensportler benötigt also eine gewisse Expertise, die es ihm ermöglicht motorische Bewegungsabläufe akkurat und effektiv einzusetzen, ferner die Fähigkeit, relevante Reize aus der Umwelt wahrzunehmen, zu fokussieren und irrelevante Reize auszublenden, zudem antizipatorische Fähigkeiten, um Konsequenzen eigenen und fremden Handelns abschätzen zu können. Er muss schnelle und akkurate, also erfolgreiche Entscheidungen treffen. Auf neurophysiologischer Ebene scheinen motorische Handlungsplanung und motorische Entscheidung zwei parallel ablaufende, flexible und auf sich abstimmende Prozesse zu sein (Cisek, 2006; Cisek & Kalaska, 2005). Diese kortikale Verarbeitungseffizienz könnte ein wichtiger Faktor darstellen, welcher auf Verhaltensebene zu schnellen und automatisierten Entscheidungen und Handlungen führt.

Diese Liste an Fähigkeiten ist sicherlich unvollständig, auch motivationale Faktoren, die Möglichkeit zur Regeneration und soziale Faktoren, wie Eltern, welche die Entwicklung

unterstützen, Einflüsse des Trainers, genetische Dispositionen, Intelligenz usw. können eine Rolle bei der Entwicklung von Spitzenleistung im Sport spielen (siehe Yarrow, et al., 2009).

Wie schafft es nun ein Spitzensportler, wie Timo Boll, zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt über die oben beschriebenen skills zu verfügen? Diese Arbeit beschäftigt sich insbesondere mit Faktoren, die Voraussetzungen für automatisierte Bewegungsabläufe in Wettkampfsituationen sind. Untersucht werden die neurophysiologischen Korrelate folgender einflussnehmender Faktoren: störende Gedanken, fokussierte Aufmerksamkeit bzw. Ablenkung, das Erleben von Flow sowie positiven Emotionen. Wenn diese Bedingungen in Wettkampfsituationen nicht gegeben sind, können automatisierte Bewegungsabläufe unterbrochen werden, was, wie eingangs beschrieben, Timo Boll vermutlich eine olympische Medaille gekostet hat. Dieses Phänomen wird in der Literatur auch mit „choking under pressure“ umschrieben, was im Gegensatz zum Erleben von Flow steht (Moran, 2012).

1.1.2 Automatizität motorischer Handlungen

In der Sportart Tischtennis beträgt die durchschnittliche Flugzeit eines Tischtennisballs etwa zwischen 0,1 und 1 Sekunde. Schläge können eine Geschwindigkeit bis zu 170 km/h aufweisen (Baron et al., 1992). Ein langer, komplexer motorischer Vorbereitungsprozess und bewusstes, intentionales Abwägen von Argumenten hinsichtlich der Entscheidung eine bestimmte motorische Handlung auszuführen, ist aufgrund großer zeitlicher Kosten nicht zielführend. Somit sollten motorische Bewegungen schnell, effizient, also ohne großen Aufwand, sowie effektiv geplant und ausgeführt werden. Diverse Studien aus verschiedenen Kontexten (Lernstudien, Entwicklung motorischer skills, Rechenleistung, usw.) konnten zeigen, dass durch Training der Aufwand bzw. die benötigte Zeit bei diversen Aufgaben reduziert werden kann, und das bei gleichbleibend guter Leistung (für ein Review siehe

Saling & Phillips, 2007). Geübtes oder trainiertes Verhalten läuft ab einem bestimmten Zeitpunkt „automatisiert“ im Gegensatz zu „kognitiv“ oder „kontrolliert“ ab. Fitts und Posner (1967) gehen in Ihrem Modell der Automatisierungsentwicklung von drei Phasen aus: von kognitiv (kontrolliert) über assoziativ (Verknüpfung durch Üben) zu automatisch (wenig kognitive Anstrengung). Shiffrin und Schneider (1977) entwickelten auf der Basis diverser empirischer Studien zur unterschiedlichen Informationsverarbeitung kontrollierter und automatisierte Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozesse eine generelle Theorie der Informationsverarbeitung. Danach sind automatisierte Prozesse nicht intentional, sondern bestimmte interne oder kontextuelle Reize aktivieren automatisch bestimmte Gedächtnisinhalte und Informationsverarbeitungsprozesse. Zur Entwicklung von Automtizität werden viele Wiederholungen benötigt. Bereits automatisierte Prozesse laufen zu großen Teilen unbewusst ab, sind schwer zu kontrollieren und zu verändern. Neue Studien, die insbesondere hirnpfysiologische Prozesse bei der Entwicklung automatisierter Informationsverarbeitung untersuchten, legen distinkte Automatisierungsprozesse nahe, die von Attributen der jeweiligen Aufgabe und des Kontextes abhängig sind. So können automatisierte Handlungen durchaus auch bewusst ablaufen, unterbrochen und damit kontrolliert sowie intentional ausgeführt werden (Saling & Phillips, 2007). Im Leistungssport ist dies sehr relevant. Tischtennispieler könnten beispielsweise die Intention haben auf einen bestimmten gegnerischen Aufschlag einen Top-Spin zu spielen. Daraufhin folgen parallele Prozesse der motorischen Planung und Entscheidung, „wie“ dieser Top-Spin gespielt werden soll, was implizit, unkontrolliert, nicht intentional und somit sehr effizient ablaufen könnte. Den Vorteil automatisierter motorischer Prozesse im Leistungssport konnten einige Studien zeigen. So lassen sich professionelle Sportler im Vergleich zu Amateuren (Footballspieler, Hockeyspieler und Golfer) bei „Dual-Task“-Aufgaben deutlich weniger ablenken (Beilock, Carr, MacMahon, & Starkes, 2002; Leavitt, 1979), was auf einen Immunsierungseffekt bei

automatisierten Handlungen hindeutet. Im Leistungssport ist Automatisierung jedoch nur dann ein Vorteil, wenn auch bereits ein hohes Leistungsniveau erreicht wurde. Automatisierung auf einem Niveau, in welchem ein skill unterentwickelt ist, behindert die Expertiseentwicklung im Sport (Yarrow et al., 2009). Automatisierung ist somit eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für Spitzenleistung im Wettkampf.

Aktuelle Studien, welche der Automatisierung zugrundeliegende neurophysiologische Mechanismen durch bildgebende Verfahren untersuchten, deuten auf quantitative (weniger neuronale Aktivität) und qualitative neurophysiologische Unterschiede (Aktivierung spezifischer Hirnareale) bei automatisierter im Vergleich zu kontrollierter Informationsverarbeitung hin (Saling & Phillips, 2007). In Abhängigkeit von der Art der Aufgabe (z.B. deklarative vs. prozedurale Aufgaben) werden unterschiedliche Hirnareale bei erreichter Automatisierung aktiviert, was für qualitativ unterschiedliche neurophysiologische Systeme bei der Automatisierungsentwicklung spricht (Ashby, Alfonso-Reese, Turken, & Waldron, 1998; Waldschmidt & Ashby, 2011). Viele Studien weisen darauf hin, dass die kortikale Aktivität bei der Automatisierung insgesamt abnimmt und vermehrt subkortikale Areale im Vergleich zu kortikalen aktiviert werden (für ein Review siehe Saling & Phillips, 2007). Eine Verringerung kortikaler Aktivität wird insbesondere bei Arbeitsgedächtnisaufgaben gefunden (siehe z.B. Chein & Schneider, 2005), wohingegen die Automatisierung bei prozeduralen Gedächtnisaufgaben (motorisches Lernen, sequentielle Bewegungsabläufe) mit einem Anstieg an Aktivität, v.a. in motorischen Arealen einhergeht (siehe z.B. Karni et al., 1995). Auch scheint insgesamt der Einfluss kortikaler Areale bei der Entwicklung von Automatisierung bei prozeduralen Aufgaben stärker zu sein. Beispielsweise steigt die kortikale Aktivität mit der Entwicklung von Automatisierung bei komplexen Kategorisierungsaufgaben in motorischen und visuellen Hirnarealen an (Waldschmidt & Ashby, 2011). Bei solchen Aufgaben müssen komplexe Wahrnehmungsleistungen integriert

und entsprechend darauf reagiert werden. Das Setting in hochreaktiven Sportarten wie im Tischtennis ähnelt solchen Kategorisierungsaufgaben. Auch im Tischtennis müssen viele visuelle Stimuli parallel wahrgenommen und integriert werden. Zudem ist das Erlernen motorischer Handlungen im Tischtennis sequentiell, stellt also eine prozedurale Aufgabe dar. Somit könnte Automatisierung im Tischtennis mit einer stärkeren Aktivierung motorischer und visueller Areale einhergehen.

Zusammengefasst sind automatisierte Handlungen auf der Verhaltensebene schnell und effizient. Auf systemisch-neurophysiologischer Ebene ist die automatisierte Informationsverarbeitung adaptiv (spezialisierte Systeme sind je nach Aufgabe bei der Automatisierung aktiviert), effizient (Aktivierung spezifischer Areale, bessere neuronale Verschaltung) und ökonomisch (es wird insgesamt weniger kortikale Aktivität benötigt). Automatisiertes Verhalten in hoch-reaktiven Sportarten wie der Sportart Tischtennis könnte mit einer Zunahme kortikaler Aktivität in motorischen und visuellen Arealen bei gleichzeitiger Abnahme an gesamtkortikaler Aktivität einhergehen (siehe auch Milton, Solodkin, Hlustik, & Small, 2007).

1.1.3 Wenn es darauf ankommt...

Wie eingangs beschrieben, „versagte“ Timo Boll in „seinem“ entscheidenden Spiel. Schon vor dem Viertelfinale war für Timo Boll klar, dass es „eine gefährliche Situation“ sei und dass er „die Spannung hochhalten“ müsse. Könnte es sein, dass die Spannung „zu hoch“ gewesen ist und dadurch seine hoch entwickelten, automatisierten motorischen Bewegungen unterbrochen wurden?

1.1.3.1 Choking under pressure

Subjektiv als wichtig empfundene Wettkämpfe erzeugen mentalen Druck, der mit bestimmten Leistungserwartungen verbunden ist. Für Boll war es subjektiv „sehr wichtig“ zu gewinnen, und es waren ihm voraussichtlich auch die Erwartungen seines Trainers und seiner Fans bewusst, was zusätzlich den Druck erhöht haben könnte (Baumeister, Hamilton, & Tice, 1985). Dieses Viertelfinale war einmalig, also nicht wiederholbar und ein Sieg wurde kontingent verstärkt (Aussicht auf olympische Medaille oder nicht). Die Faktoren persönliche Wichtigkeit und Erwartung, Bewertungen anderer, kontingente Verstärkung und erwartete Spitzenleistung sind entscheidend, welche in Sportsituationen mentalen Druck erzeugen (Baumeister & Showers, 1986; Hill, Hanton, Matthews, & Fleming, 2010) und zu Leistungseinbrüchen, zu sogenanntem “choking under pressure” (im folgenden nur Choking genannt) führen können (Baumeister, 1984; Ehrlenspiel, 2006; Hill, et al., 2010; Jordet, 2009a, 2009b).

Verschiedene vermittelnde Mechanismen wurden postuliert, wie mentaler Druck zu Choking führen könnte (Hill, et al., 2010). Aufmerksamkeitsorientierte Ansätze gehen von den Faktoren Ablenkung von aufgabenrelevanten Stimuli (Baumeister & Showers, 1986; Beilock, Kulp, Holt & Carr, 2004) oder gesteigerte Selbstaufmerksamkeit (Lewis & Linder, 1997; Liao & Masters, 2002; Mesagno & Mullane-Grant, 2010) aus. Im Leistungssport und insbesondere in hoch reaktiven Sportarten sind motorische skills ab einem bestimmten Trainingslevel automatisiert und benötigen keine oder wenig kognitive Kontrolle, was motorische Bewegungen effizient und (zumindest auf Verhaltensebene) schnell macht (siehe letztes Kapitel). Was passiert jedoch, wenn die Aufmerksamkeit wieder bewusst auf die Ausführung bereits automatisierter Handlungen gerichtet wird? Baumeister (1984) geht davon aus, dass genau diese Selbstaufmerksamkeit zu Choking führen kann. Durch den Versuch, kognitive Kontrolle über bereits automatisierte Bewegungen zu erhalten, kommt es zu zeitlichen und

inhaltlichen Interferenzen in der Bewegungsausführung, da einerseits mehr Zeit benötigt wird und intentional sowie bewusst überlegt wird, „welche“ Bewegung nun ausgeführt werden soll. Mentaler Druck steigert die Selbstaufmerksamkeit durch den unbedingten Willen, Leistung zu erbringen und dadurch motorische Handlungen akkurat, korrekt oder besonders gut auszuführen. Dies könnte zu Choking führen. Für diese Annahme gibt es ausreichend empirische Evidenz (Beilock & Carr, 2001; Clark, 2007; Jackson, Ashford, & Norsworthy, 2006; Lewis & Linder, 1997; Liao & Masters, 2002; Mesagno & Mullane-Grant, 2010). Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass ein interner, auf die eigene motorische Ausführung gelegter Fokus die kinematische Variabilität bei Basketballwürfen erhöht und dadurch die Leistung verschlechtert wird (Hossner & Ehrlenspiel, 2010). Auf der anderen Seite scheint implizites, also weniger regelgeleitetes (deklaratives) Lernen Choking zu verhindern (Masters, 1992) und ein externer Fokus in Wettkämpfen die Sprunghöhe zu verbessern (Wulf, Dufek, Lozano, & Pettigrew, 2010). Strategien, welche die Aufmerksamkeit auf die für die Ausführung einer Aufgabe relevanten Aspekte richten, scheinen wiederum mit Spitzenleistung einherzugehen (De Francesco & Burke, 1997; Durand-Bush & Salmela, 2002; Gould, Dieffenbach, & Moffett, 2002; Kitsantas & Zimmerman, 2002; Orlick & Partington, 1988). Weiterhin profitieren Schlaganfallpatienten eher von Interventionen, die die Aufmerksamkeit weg von ihren eigenen motorischen Bewegungen hin zu äußeren Reizen richtet (Wulf, Lewthwaite, Landers, & Tollner, 2009). Sogar hinsichtlich des Erlernens neuer motorischer skills sind Strategien, die auf externe, zielgerichtete Eigenschaften fokussieren erfolgversprechender (Chiviacowsky, Wulf, & Wally, 2010; Lohse & Sherwood, 2012).

Ein entscheidender Faktor, welcher zu Choking führen kann, ist das Erleben von Wettkampfangst. Gesteigerte Angst könnte durch eine stärkere Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu Ablenkung und Leistungseinbrüchen führen. Diese Annahmen

wurden vor allem außerhalb des Sportkontextes, wie z.B. beim Lösen von Mathematikaufgaben, empirisch bestätigt (Beilock & Carr, 2005; Beilock, et al., 2004; DeCaro, Thomas, Albert, & Beilock, 2011). Angst führt jedoch auch im Leistungssport zu einem Verlust der fokussierten Aufmerksamkeit (Janelle, Singer, & Williams, 1999; Nibbeling, Oudejans, & Daanen, 2012; Williams & Elliott, 1999) und zu Leistungseinbrüchen (Wang, Marchant, Morris, & Gibbs, 2004; Woodman & Hardy, 2003). Insbesondere scheinen die kognitiven Komponenten der Angstreaktion, also negative Gedanken („worries“) und Grübeln („Rumination“), z.B. über mögliches Versagen, zu Leistungseinbrüchen zu führen (Beilock, et al., 2004; DeCaro, et al., 2011; Oudejans, Kuijpers, Kooijman, & Bakker, 2011; Schlicht & Wilhelm, 1987; Woodman & Hardy, 2003). Auch die Leistungsmotive „Hoffnung auf Erfolg“ (approach) und „Furcht vor Misserfolg“ (withdrawal), welche mit aktuellem positivem oder negativem Affekt korrelieren, haben Einfluss auf die Leistung im Sport (Stroeber & Crombie, 2010).

Wettkampfdruck erzeugt also Wettkampfangst mit störenden Gedanken über die Ausführung der eigenen skills oder den Ausgang eines Wettkampfes. Dies wiederum könnte zu Ablenkung und Fokusverlust oder zu gesteigerter Selbstaufmerksamkeit bereits automatisierter Handlungen führen, die hierdurch unterbrochen werden.

1.1.3.2 Alles im Fluss...

Leistungssportler versagen jedoch nicht immer in wichtigen Wettkämpfen, sondern liefern im entscheidenden Moment ihre Bestleistung ab und gewinnen die olympische Goldmedaille. Was machen diese Sportler besser? Sie schaffen es ihre Aufmerksamkeit auf aufgabenrelevante Stimuli zu richten, sind hoch konzentriert, „eins mit der Wettkampfsituation“ und erleben ein Zustand von Absorbiertheit, Grübeln nicht über

potentiellen Misserfolg, sondern sind selbstbewusst, entspannt (wenig Anstrengung erforderlich), aber gleichzeitig wach und aktiv. Diese Sportler befinden sich in einem Zustand des Flows (Csikszentmihaly & Hunter, 2003; Csikszentmihalyi & LeFevre, 1989; Moneta & Csikszentmihalyi, 1999; Singer, 2002). Dieses Flow-Erleben steht im Gegensatz zu „choking under pressure“ (Moran, 2012). Einzelne Komponenten des Flow-Erlebens, wie selbstbewusste Gedanken bzw. Selbstvertrauen (Woodman & Hardy, 2003) oder positive Erwartungen hinsichtlich der eigenen Leistung (McKay, Lewthwaite, & Wulf, 2012) verbessern nachweislich die Leistung in bestimmten leistungsbezogenen Aufgaben.

1.2 Neurophysiologische Prozesse im sportlichen Wettkampf

Eine Reihe von Studien haben die neurophysiologischen Prozesse direkt während der Ausführung sportlicher (motorischer) Handlungen untersucht, teilweise auch unter wettkampfähnlichen Bedingungen (siehe z.B. Babiloni, Del Percio, et al., 2008; Hatfield, Haufler, Hung, & Spalding, 2004). Es kristallisieren sich zwei unterschiedliche neurophysiologische Erklärungsmodelle sportlicher Leistung im Wettkampf heraus: Die „Neural Efficiency Hypothese“ sowie die Hypothese der „funktionellen Hemisphärenasymmetrie“.

1.2.1 Neural Efficiency

Studien, welche die neurophysiologischen Korrelate von Leistungsparametern in Intelligenz-, Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnistests mit bildgebenden Verfahren untersuchten, zeigen mit steigender Expertise eine Abnahme fronto-parietaler Aktivität (Haier, Jung, Yeo, Head, & Alkire, 2004; Haier et al., 1992; Petersen, van Mier, Fiez, & Raichle, 1998; Rypma, Berger, Genova, Rebbeci, & D'Esposito, 2005), wobei auch gegenteilige Effekte gefunden

werden (siehe z.B. Gray, Chabris, & Braver, 2003). Aufgrund der Befunde abnehmender neuronaler Aktivität bei steigender Leistung wurde auch bei Leistungssportlern sowie bei Musikern eine solche „effiziente“ neuronale Verarbeitung und Aktivierung vermutet und daraus die „Neural Efficiency Hypothese“ abgeleitet (Babiloni et al., 2010). Vergleiche zwischen Experten und Amateuren bei Piano-Spielern deuten in der Tat auf eine geringere neuronale Aktivität bei steigender Expertise in relevanten Hirnregionen hin (Haslinger et al., 2004; Meister et al., 2005) und unterstützen die Annahme der “Neural-Efficiency” Hypothese. Jedoch weisen trainierte Golfspieler und Bogenschützen eine erhöhte Aktivität in Arealen auf, welche für visuelle Aufmerksamkeit, für die Integration sensorischer Reize sowie für die motorische Planung verantwortlich sind (temporaler und okzipitaler Gyrus, Parietallappen, dorsolateraler prämotorischer Kortex). Amateure hingegen aktivieren stärker als Experten das posteriore Cingulum, die Basalganglien, die Amygdala und präfrontale Regionen. Dieses neurophysiologische Aktivierungsmuster ähnelt dem beim Erwerb neuer motorischer Bewegungsabläufe sowie beim Erleben und Verarbeiten von Emotionen (Kim et al., 2008; Milton, et al., 2007). Diese Befunde sprechen für eine Aktivierung spezifischer aufgabenrelevanter Hirnregionen (hier fokussierte Aufmerksamkeit und motorische Vorbereitung) und eine Inhibierung aufgabenirrelevanter Areale (emotionales Erleben, sprachlich-verbale kognitive Prozesse) bei Experten.

Oben beschriebene Studien wurden mit bildgebenden Verfahren, z.B. der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) durchgeführt. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass auch die Aktivität subkortikaler Areale untersucht werden kann. Die zeitliche Auflösung der fMRT ist jedoch, insbesondere für die Anforderungen im Leistungssport oft mangelhaft. Deshalb erfasste der Großteil der Studien im Leistungssport die kortikale Aktivität mit dem Elektroenzephalogramm (EEG), bei welchem die zeitliche Auflösung deutlich besser ist (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2010). Bei Intelligenz- und Aufmerksamkeitstests wurde konsistent

eine Abnahme der Alpha Power kurz vor der Durchführung der Aufgabe (Reaktion auf einen Stimulus etc.) gefunden (Klimesch, 1999; Klimesch, Sauseng, & Hanslmayr, 2007). Das Alpha Band im EEG wird übereinstimmend in einem Frequenzbereich von 8-13 Hz angegeben und ist das dominante Frequenzband beim Menschen. Insbesondere bei geschlossenen Augen treten Alpha-Wellen vor allem im parieto-okzipitalen Bereich auf. Werden die Augen geöffnet und/oder Reize verarbeitet, kommt es zur sogenannten Alpha-Blockade – der Alpha-Rhythmus desynchronisiert, d.h. die Aktivität in diesem Frequenzbereich wird unterdrückt (Niedermeyer, 1999). Die Abnahme der Alpha Power bei der Präsentation von Reizen, bei der Vorbereitung einer Handlung oder bei sonstigen Aufgaben (z.B. Wahrnehmungstests) wird auch „event-related desynchronization“ (ERD) genannt. Es wird angenommen, dass ERD gesteigerte kortikale Erregbarkeit widerspiegelt. Ein Anstieg der Alpha-Aktivität wird mit “event-related synchronization” (ERS) umschrieben und hat die funktionelle Bedeutung kortikaler Inhibierung (Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999; Pfurtscheller, Stancak, & Neuper, 1996). ERS und ERD können regionenspezifisch sein. So synchronisiert Alpha in für Aufgaben irrelevanten Hirnarealen und desynchronisiert in relevanten Arealen (Rihs, Michel, & Thut, 2009; Sauseng et al., 2005; Worden, Foxe, Wang, & Simpson, 2000). Eine aktuelle Theorie hinsichtlich der Bedeutung der Alpha-Aktivität in Aufmerksamkeits-, Wahrnehmungs- und Gedächtnistests (Klimesch, 2011) geht davon aus, dass der Alpha-Rhythmus den Zugang zu sowie den Abruf von Informationen aus einem “complex knowledge system (KS)” reguliert. Der Autor unterscheidet hier nicht zwischen rein deklarativem Wissen, sondern schließt auch prozedurales oder implizites Wissen in das KS mit ein. Eine sehr frühe Synchronisierung des Alpha-Rhythmus spiegelt den Zugriff auf das KS wider, wobei eine ERD den Abruf relevanter Gedächtnisinhalte bedeutet. Auch hier ist die proximale physiologische und kognitive Funktion des Alpha-

Rhythmus die Inhibierung. Eine Synchronisierung des Alpha-Rhythmus bei Aufgaben soll den Abruf aufgabenirrelevanter Gedächtnisspuren inhibieren.

Vertreter der "Neural Efficiency Hypothese" im Leistungssport gehen nun davon aus, dass motorische Expertise mit einer geringeren ERD bei der Planung motorischer Handlungen einhergeht, weil Experten (durch gesteigerte Automatisierung) weniger „kortikale Erregbarkeit“ im motorischen Kortex und anderen relevanten Arealen benötigen würden. In der Tat zeigen sehr viele Studien eine geringere ERD bei Experten im Vergleich zu Amateuren während der Vorbereitungsphase auf einen sportartspezifischen motorischen skill (Babiloni, Capotosto, et al., 2008; Babiloni et al., 2009; Babiloni, et al., 2010; Del Percio, Babiloni, Bertollo, et al., 2009; Del Percio, Babiloni, Marzano, et al., 2009; Del Percio, Brancucci, Bergami, et al., 2007; Del Percio, Brancucci, Vecchio, et al., 2007; Haufler, Spalding, Maria, & Hatfield, 2000; Janelle et al., 2000; Landers et al., 1994; Loze, Collins, & Holmes, 2001; Salazar et al., 1990; Shaw, 1996). Karateka zeigen bei der Vorbereitungsphase ein Holz mit ihren Händen zu durchbrechen, eine gesamtkortikale Synchronisierung des Alpha-Rhythmus (Collins, Powell, & Davies, 1990). Auch unabhängig des Sportkontextes scheint eine ausgeprägte ERS vor allem mit Wahrnehmungsleistung einherzugehen (Klimesch, et al., 2007).

Diese Ergebnisse indizieren eine geringere Aktivierung bestimmter Hirnareale bei der Ausführung sportartspezifischer Handlungen oder bei Wahrnehmungstests. Experten sind in der Vorbereitungsphase ihrer skills somit in der Lage, irrelevante, interferierende kognitive Prozesse zu inhibieren, zeigen insgesamt weniger kortikale Aktivierung und rufen Gedächtnisinhalte effizient vom KS ab. Neben dem Alpha-Rhythmus als Indikator kortikaler Inhibierung, geben ereigniskorrelierte Potentiale Rückschlüsse über die kortikale Erregbarkeit. Potentiale, welche in Vorbereitung auf motorische Handlungen in motorischen Arealen auftreten, werden lateralisierte Bereitschaftspotentiale genannt. Große Amplituden

bedeuten hier eine stärkere kortikale Aktivierung. Einige Studien im Leistungssport konnten nun einen verzögerten Onset und niedrigere Amplituden des lateralisierten Bereitschaftspotentials bei Fecht-, Kendo- und Karateexperten im Vergleich zu Amateuren zeigen, was die „Neural-Efficiency“-Hypothese weiter untermauert (Del Percio et al., 2008; Di Russo, Pitzalis, Aprile, & Spinelli, 2005; Fattapposta et al., 1996; Kita, Mori, & Nara, 2001).

Die in diesem Kapitel beschriebenen Studien sprechen überwiegend für eine stärkere kortikale Inhibierung mit der Entwicklung von Expertise, was mit den neurophysiologischen Befunden automatisierter Informationsverarbeitung in Einklang ist (siehe Kapitel 1.1.2), wobei auch widersprüchliche Befunde existieren. Überzeugend belegt ist die Inhibierung aufgabenirrelevanter Hirnareale mit steigender Expertise. Da Choking automatisierte Handlungen unterbricht, könnte dies auf neurophysiologischer Ebene sowohl mit einer höheren kortikalen Erregbarkeit als auch mit der Aktivierung aufgabenirrelevanter Hirnareale einhergehen. Jedoch ist die Studienlage hinsichtlich einer stärkeren oder niedrigeren Aktivierung in aufgabenrelevanten Arealen (z.B. im motorischen Kortex) bei der Entwicklung von Expertise widersprüchlich. Viele EEG-Studien sprechen für eine niedriger ausgeprägte ERD bei der Ausführung motorischer Handlungen von Experten, andere zeigen genau das Gegenteil. Ferner weisen Studien mit bildgebenden Verfahren bei Golfern (im Vergleich zu Laien) eine stärkere Aktivität in aufgabenrelevanten Gehirnregionen nach und auch Studien zur Automatisierungsentwicklung bei prozeduralen Aufgaben (motorisches Lernen, Kategorisierungsaufgaben) sprechen für gesteigerte Aktivität in motorischen und visuellen Arealen.

1.2.2 Funktionelle Hemisphärenasymmetrie

Die funktionelle Hemisphärenasymmetrie stellt ein weiteren Erklärungsansatz für automatisierte Informationsverarbeitung in Wettkampfsituationen dar. Einige Studien konnten

eine erhöhte relative Alpha Power in der linken im Vergleich zur rechten Hemisphäre (vor allem temporal) während der Vorbereitung einer willentlichen motorischen Handlung bei Golfern, Schützen und Bogenschützen nachweisen (Bird, 1987; Hillman, Apparies, Janelle, & Hatfield, 2000; Janelle, et al., 2000; Kerick, Douglass, & Hatfield, 2004; Kerick, Iso-Ahola, & Hatfield, 2000; Loze, et al., 2001). Allerdings ist die Evidenz auch hier nicht eindeutig (Kim, et al., 2008). Crews und Landers (1993) konnten einen rechtshemisphärischen Abfall sowie ein linkshemisphärische Anstieg der Alpha Power im motorischen Kortex kurz vor einem Golfputt von professionellen Golfern zeigen. Zudem wiesen in einer Studie von Haufler, Spalding, Maria und Hatfield (2000) professionelle Schützen mehr Alpha Power in der linken Hemisphäre als Amateuren auf, während kein Unterschied in der rechten Hemisphäre bestand. Bei Schützen fand sich nach dem Training ein Anstieg linkstemporaler Alpha Power (T3), was mit besserer Schussleistung einherzugehen scheint (Kerick, et al., 2004; Landers, et al., 1994). In Anbetracht der hemmenden Funktion des Alpha-Rhythmus sprechen die Ergebnisse für ein spezifisches Aktivierungsmuster in Wettkampfsituationen: linkshemisphärische (temporale) kortikale Prozesse werden gehemmt und rechtshemisphärische kortikale Prozesse aktiviert.

In der linken Hemisphäre werden insbesondere verbal-analytische und in der rechten Hemisphäre visuell-räumliche Prozesse verarbeitet (D'Esposito et al., 1998; Galin & Ornstein, 1972; Hellige, 1990; Kinsbourne, 1982; Springer & Deutsch, 1998). Bei visuell-räumlicher Wahrnehmung spielt insbesondere der Temporallappen eine entscheidende Rolle. So ist der anteriore temporale Kortex für die Identifizierung komplexer visueller Stimuli und der posteriore superiore temporale Sulcus für die Wahrnehmung von (intentionalen) Körperbewegungen relevant (Jastorff, Kourtzi, & Giese, 2009; Jastorff & Orban, 2009; Pyles, Garcia, Hoffman, & Grossman, 2007; Saxe, Xiao, Kovacs, Perrett, & Kanwisher, 2004; Sowards & Sowards, 2002). Einen Anstieg rechtshemisphärischer Aktivität mit gesteigerter

Leistung bei komplexen visuell-räumlichen Aufgaben beobachtete Rebert, Low und Larsen (1984).

Der linke Temporallappen ist bei Aufgaben involviert, die sprachlich-analytische Prozesse benötigen (Price, 2000) und ist zudem beim Erlernen neuer motorischer Aufgaben aktiviert (Deeny, Hillman, Janelle, & Hatfield, 2003; Springer & Deutsch, 1998). Die kortikokortikale Kommunikation zwischen dem linken Temporallappen und dem prämotorischen Kortex nimmt unter Druck vor allem dann zu, wenn Golfern deklaratives, also explizites Wissen über die Ausführung von Golf-Putts zur Verfügung gestellt wird, im Kontrast zur impliziter Vermittlung (Zhu, Poolton, Wilson, Maxwell, & Masters, 2011).

Die linkshemisphärische Inhibierung und rechtshemisphärische Aktivierung in Wettkampfsituationen könnte somit mit gesteigerter visuell-räumlicher Wahrnehmung, fokussierter Aufmerksamkeit, Objekterkennung sowie gleichzeitig mit geringen Einflüssen von verbal-analytischen Prozessen, wie Selbstgesprächen oder störenden Gedanken einhergehen. Diese Faktoren sind, wie in Kapitel 1.1.2 beschrieben „key features“ automatisierten Verhaltens. Interessanterweise wird bei einer auf die eigene motorische Handlung gerichtete Aufmerksamkeit das Broca-Areal aktiviert (Binkofski et al., 2000), welches linkshemisphärisch lokalisiert ist und gemeinsam mit dem Wernickezentrum das Sprachzentrum bildet (Birbaumer & Schmidt, 2010). Eine Aufmerksamkeitsreorientierung auf eigene Handlungen ist, wie in Kapitel 1.1.3.1 diskutiert, eine Ursache für Choking, was als indirekter Beleg für einen Zusammenhang zwischen Choking und linkshemisphärischer Aktivierung angeführt werden kann. Eine aktuelle Studie zu Hirnhemisphären spezifischem Priming, indem Athleten die Muskulatur der linken Faust kontrahierten, um die rechte Hirnhälfte vor einer wichtigen sportlichen Handlung zu aktivieren, konnte erfolgreich Choking verhindern (Beckmann, Gropel, & Ehrlenspiel, 2012). Die funktionalen Korrelate der empirisch gefundenen Aktivitätsasymmetrie sind Hauptfaktoren des Flow-Erlebens (siehe

Kapitel 1.1.3.2) und genau dann gestört, wenn Athleten choken, also unter Wettkampfdruck versagen und automatisierte Handlungen unterbrochen werden.

1.3 Zusammenfassung und Ziele

Automatisierte Informationsverarbeitung geht mit einer effizienten (Aktivierung spezifischer Hirnareale, parallele Verarbeitung) und ökonomischen (weniger kortikale Aktivität) neuronalen Verarbeitung einher. Auch Spitzenleistung im Sport scheint mit einer effizienten neuronalen Verarbeitung einherzugehen: Insbesondere EEG- Studien weisen auf eine Inhibierung aufgabenirrelevanter Areale (linker Temporallappen) sowie auf eine Aktivierung aufgabenrelevanter Areale (rechter Temporallappen) hin. Dies könnte eine Reduktion verbal-analytischer Prozesse wie Selbstgespräche, Selbstfokus sowie ein Anstieg visuell-räumlicher Prozesse und verbesserter fokussierter Aufmerksamkeit bedeuten. Dies sind Faktoren des Flow-Erlebens und gestört, wenn Athleten choken, also automatisierte Handlungen unterbrochen werden. Diese funktionelle Aktivitätsasymmetrie wird durch eine Asymmetrie im Powerspektrum des Alpha-Rhythmus indiziert. Genauer durch mehr relative linkshemisphärische Alpha Power. Auch scheint die kortikale Aktivität bei professionellen Sportlern insgesamt niedriger zu sein als bei Amateuren („Neural Efficiency“) und insbesondere die Wahrnehmungsleistung mit einer frühen Inhibierung aufgabenirrelevanter Gedächtnisinhalte (ERS) in Zusammenhang zu stehen. Die Mehrheit der empirischen Studien zeigen bei Experten zudem eine geringere Aktivierung des motorischen Kortex bei der Planung und Ausführung einer motorischen Handlung. Im Widerspruch dazu zeigen einige Studien, in denen eine prozedurale, also implizite Informationsverarbeitung verlangt wird, eine stärkere Aktivierung motorischer und visueller Areale bei erreichter Automatisierung motorischer Prozesse.

Bisher wurden alle EEG- Studien mit Athleten aus statischen Sportarten wie Golf, Sportschießen, Bogenschießen und Darts durchgeführt. Diese Athleten initiieren motorische Handlungen intentional und müssen nicht schnell auf verschiedene komplexe Reize reagieren. Somit können die Ergebnisse nicht 1 zu 1 auf hoch reaktive Sportarten wie die Sportart Tischtennis generalisiert werden. Zudem wurden häufig Novizen als Vergleichsgruppe für Experten herangezogen, die per Definition mit der jeweiligen Sportart völlig unvertraut sind, was als methodischer Schwachpunkt anzusehen ist. Es gibt gute Gründe anzunehmen, dass sich das Gehirn eines Profisportlers deutlich von dem eines kompletten Novizen unterscheidet, sogar auf der strukturellen Ebene (Draganski et al., 2004; Yarrow, et al., 2009). Somit ist es schwer zu verifizieren, ob die neurophysiologischen Befunde aus einem Vergleich zwischen Experten und Novizen tatsächlich einem psychophysiologischen Mechanismus sportlicher Spitzenleistung im Leistungssport entsprechen. Langzeitstudien oder Vergleichsstudien mit Sportlern unterschiedlicher Expertise wären hier angebracht. Wie oben angesprochen, könnten die gefundenen hemisphärischen Aktivierungsunterschiede auch Choking bzw. das Erleben von Flow erklären. Bisher wurde jedoch noch keine Studie durchgeführt, in welcher tatsächlich der Zusammenhang zwischen der Alpha-Asymmetrie und dem Erleben von Flow untersucht wurde.

EEG- Studien bei hoch reaktiven Sportarten haben den Nachteil, dass die neurophysiologische Verarbeitung nicht während der realen motorischen Ausführung gemessen werden kann, da zu viele muskuläre Artefakte das Signal stören würden (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2010). In dieser Arbeit wurde deshalb das EEG während der Imagination sich in einem sportlichen Wettkampf zu befinden gemessen. Einige Studien zeigen sehr ähnliche neurophysiologische Prozesse bei tatsächlich ausgeführten und mental vorgestellten Handlungen (Ehrsson, Geyer, & Naito, 2003; Jeannerod, 2001; Naito et al., 2002; Porro et al., 1996; Roth et al., 1996), insbesondere wenn es sich um kinästhetische

Bewegungsvorstellungen handelt, man sich also vorstellt die motorische Bewegung tatsächlich (aus der Egoperspektive) auszuführen. Zudem scheinen auch die kortikalen Prozesse bei der Vorbereitung einer motorischen Handlung ähnlich zu sein wie die imaginierte Vorbereitung auf dieselbe Handlung (Kranczoch, Mathews, Dean, & Sterr, 2009). Somit ist die Bewegungsvorstellung als eine valide Methode zur Untersuchung der neurophysiologischer Prozesse bei der Ausführung einer spezifischen Sporthandlung anzusehen.

Ziele dieser Studien waren somit die Replikation der berichteten neurophysiologischen Befunde bei Tischtennisspielern unterschiedlicher Expertise (Experten vs. Nachwuchstalente vs. Amateure) während einer Vorstellungsaufgabe (Tischtennispielen in Gedanken) unter induziertem Wettkampfdruck. Ein weiteres Ziel war die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der asymmetrischen Gehirnaktivierung und dem Flow-Erleben und störenden Gedanken (Rumination). Auch wurde der Zusammenhang mit anderen Emotionen untersucht, die mit Flow in Verbindung stehen könnten: positiver Affekt, Freude sowie die Leistungsmotivkomponenten Hoffnung auf Erfolg und Furcht vor Misserfolg. Die Hypothesen lassen sich insgesamt stringent aus den oben beschriebenen Befunden ableiten (hemisphärische Asymmetrie, gesamtkortikale Inhibierung, ERS für Zugang zu KS und Inhibierung des Abrufes aufgabenirrelevanter Gedächtnisinhalte). Lediglich die Studienlage hinsichtlich der Aktivierung aufgabenrelevanter motorischer Areale (v.a. kontralateraler motorischer Kortex) ist nicht eindeutig. Da prozedurale Gedächtnisprozesse im Tischtennis eine sehr große Rolle spielen (implizites Wissen, schnelle Reaktion, prozedurales Lernen, Antizipation) und dies mit einer Aktivierung motorischer Areale einherzugehen scheint, wird bei Tischtennisexperten bei der motorischen Vorbereitung eine stärkere kontralaterale Aktivierung (stärkere ERD) erwartet.

1.4 Hypothesen

1.4.1 Hypothesen: Alpha-Asymmetrie

- *Hypothese 1.1:* Experten weisen in der Vorbereitungsphase einer Bewegungsvorstellung signifikant mehr relative linkshemisphärische Alpha Power auf als Nachwuchstalente und Amateure. Nachwuchstalente weisen mehr relative linkshemisphärische Alpha Power auf als Amateure. Dieser Alpha-Asymmetrie Effekt ist an den temporalen Elektroden am stärksten ausgeprägt.
- *Hypothese 1.2:* Die Unterschiede in der oben angenommenen Alpha-Asymmetrie sind am Ende der Vorbereitungsphase, also im Übergang zur motorischen Handlungsphase, maximal. D.h. bei Experten steigen sie an, bei Nachwuchstalenten bleiben sie konstant und bei Amateuren sinken sie. Auch hier ist der Effekt im Temporallappen am stärksten.

1.4.2 Hypothesen: Flow, Affekt, Leistungsmotiv und Freude

- Es wird erwartet, dass Experten (im Vergleich zu Nachwuchstalenten) bei der Bewegungsvorstellung
 - mehr positiven und weniger negativen Affekt (*Hypothese 2.1*),
 - mehr Freude (*Hypothese 2.2*),
 - mehr Flow (*Hypothese 2.3*)
 - und weniger Rumination (*Hypothese 2.4*) erleben und

- die Komponente „Hoffnung auf Erfolg“ stärker (*Hypothese 2.5*) und die Komponente „Furcht vor Misserfolg“ geringer (*Hypothese 2.6*) ausgeprägt sind.

1.4.3 Hypothesen: Zusammenhänge zwischen der (temporalen) Alpha-Asymmetrie und Leistungsmaßen sowie emotionalem Erleben

Je stärker die relative links hemisphärische Alpha Power ausgeprägt und je stärker die Asymmetrie im Übergang von Vorbereitungs- zu Handlungsphase ansteigt, desto

- besser die Leistung (*Hypothese 3.1*)
- mehr Erleben von Flow (*Hypothese 3.2*)
- weniger Rumination (*Hypothese 3.3*)
- mehr positiver, weniger negativer Affekt und mehr Freude (*Hypothese 3.4*), stärker die Leistungsmotivkomponente „Hoffnung auf Erfolg“ und desto weniger die Komponente „Furcht vor Misserfolg“ ausgeprägt (*Hypothese 3.5*)

1.4.4 Hypothesen: Neural Efficiency

- *Hypothese 4.1*: Experten weisen insgesamt mehr Alpha Power auf als Nachwuchstalente und Amateure; Nachwuchstalente wiederum mehr als Amateure (geringere kortikale Aktivierung bei Experten)
- *Hypothese 4.2*: Die Alpha Power steigt zwischen der Baseline-Periode (resting state) und der Bewegungsvorstellung bei Experten stärker ansteigen (ERS) als bei

Nachwuchstalenten und Amateuren (effizienter Zugang zum KS, Inhibierung irrelevanter Gedächtnisinhalte)

- *Hypothese 4.3*: Die Verringerung der Alpha Power (ERD) in der motorischen Vorbereitungsphase ist bei Experten im motorischen Kortex kontralateral zur Schlaghand (an C3) stärker ausgeprägt als bei Nachwuchstalenten und Amateuren, wobei die ERD bei Nachwuchstalenten stärker ausgeprägt sein soll als bei Amateuren (stärkere Aktivierung aufgabenrelevanter Hirnareale bei prozeduralen Aufgaben).

2 Methode

2.1 Stichprobe

60 Tischtennispieler und -spieler(innen), davon 16 Experten (davon 6 weiblich), 19 Amateure (davon 5 weiblich) und 25 Nachwuchstalente (davon 11 weiblich) wurden für die Studie rekrutiert. Alle Experten waren Nationalspieler des Deutschen Tischtennisverbandes und alle Nachwuchstalente waren Kaderathleten des Baden-Württembergischen Tischtennisverbandes. Amateure wurden aus regionalen Ligen (Bezirksklasse bis Landesliga) aus der Nähe von Tübingen rekrutiert. Einschlusskriterien, Begründung sowie ausgeschlossene Versuchspersonen sind in Tabelle 1 dargestellt. Alle Einschluss- und Ausschlusskriterien wurden mittels Fragebogen erhoben (siehe beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen). Da Rechtshänder in über 95 % der Fälle das Sprachzentrum linkshemisphärisch aufweisen (Hemisphärendominanz) und Linkshänder in ca. 30 % der Fälle das Sprachzentrum rechtshemisphärisch aufweisen (Birbaumer & Schmidt, 2010), wurden nur Rechtshänder eingeschlossen, um Einflüsse auf die angenommene funktionelle Aktivationsasymmetrie zu verringern. Die Entwicklung von Expertise in einer Rückschlagsportart wurde als valides Kriterium zur Bestimmung der Händigkeit herangezogen.

Tabelle 1: Einschlusskriterien der Studie

In der linken Spalte sind die Kriterien und in der mittleren Spalte die jeweiligen Begründungen für die Wahl der Kriterien und in der rechten Spalte die Anzahl der ausgeschlossenen Fälle in Abhängigkeit von der Studiengruppe und des Geschlechts dargestellt.

Einschlusskriterium	Begründung	Ausgeschlossene Fälle
Rechtshändigkeit	Sprachzentrum mit über 95 %	Exp.: N = 2 (1 ♀)
	Wahrscheinlichkeit	Amat.: N = 2 (1 ♀)
	linkshemisphärisch	Nachw. N: = 2 (1 ♀)
Alter > 14 Jahre	ab 14: Beginn der Pubertät	Nachw.: N = 8 (4 ♀)
	Veränderung der Alpha-Frequenz abgeschlossen	
Alter < 35 Jahre	Ab 35: Ende der Tischtenniskarriere bei Experten (Matching der Exp. und Amat.)	Amat: N = 2 (2 ♂)
Keine neurologischen, psychiatrischen oder sonstige medizinischen Krankheiten	Veränderungen des EEG	Keine
Kein Medikamentenkonsum	Veränderung des EEG	Keine
Nicht schwanger	Veränderung des EEG	Keine
In vergangener Saison aktiv Wettkämpfe bestritten	Einflüsse auf Imaginationsfähigkeit, Pressure	keine
Keine Spielpause von > 2 Monaten	Induction, Neurophysiologie	

Ein Mindestalter von 14 Jahren wurde angesetzt, um sicher zu gehen, dass sich die Alpha-Frequenz nicht mehr entwicklungsbedingt verändert. Vereinzelt EEG-Literatur weist darauf hin, dass die Alpha-Frequenz, welche im Spontan-EEG bei erwachsenen Menschen bei 8-13 Hz liegt und ein Peak bei 10 HZ aufweist, bereits bei Kindern mit 10 Jahren erreicht ist (Niedermeyer, 1999). Neuere Studien weisen jedoch auf eine Veränderung des Frequenzspektrums sowie der Alpha-Peak-Frequenz durch neuroendokrinologische Veränderung in der Pubertät hin (Cragg et al., 2011), somit ist die hier gesetzte Altersgrenze recht konservativ¹. Alle 14-jährigen Probanden wurden zusätzlich von einer gleichgeschlechtlichen Trainerin sowie vom Autor dieser Arbeit (männliche Probanden) hinsichtlich relevanter Pubertätskriterien befragt. Bei Jungen wurden die Kriterien Schambehaarung, Achselbehaarung, Bartwuchs und Stimmbruch abgefragt. Für Mädchen war das Kriterium die Menarche. Bei allen Probanden waren diese Kriterien erfüllt. Insgesamt wurden 16 Probanden aus der Analyse ausgeschlossen (siehe Tabelle 1). Die Gesamtstichprobe bestand somit 44 Probanden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Finale Stichprobe

In dieser Tabelle ist die Anzahl der Versuchspersonen in jeder Studiengruppe in Abhängigkeit des Geschlechts dargestellt

	Experten	Amateure	Nachwuchstalente
weiblich	5	4	6
männlich	9	11	9
gesamt	14	15	15

¹ Die jüngeren Spieler wurden trotzdem erhoben, da sie im Rahmen der auf diese Studie folgende Neurofeedbackstudie als Probanden teilnahmen.

Die drei Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich der Geschlechterverteilung $\chi^2(2, N = 44) = 0.617, p = .734$. Wie angenommen unterschieden sich die drei Gruppen in ihrem Alter ($F[2,43] = 24.849, p < .001$), wobei Post-hoc Tests (Bonferroni) zeigten, dass sich das Alter der Experten ($M = 23.6, SD = 4.86$) nicht vom Alter der Amateure ($M = 22.8, SD = 4.16, p = 1$) unterschied. Nachwuchstalente ($M = 14.93, SD = 2.48$) waren erwartungsgemäß signifikant jünger als die anderen Gruppen ($p < .001$).

Die Erhebungen fanden in Oberhof, Deutschland (weibliche Experten), in Faak, Österreich (männliche Experten), am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie in Tübingen, Deutschland (Amateure plus 2 Nachwuchstalente), sowie während eines Kaderlehrgangs in der Landessportschule Albstadt Tailfingen (Nachwuchstalente) statt.

2.2 Probandenrekrutierung

Bei allen Experten handelte es sich um Nationalspieler (A- und B- Kader) des Deutschen Tischtennisbundes (DTTB). Vorab wurde Kontakt mit dem Forschungskordinator des DTTB aufgenommen, um eine offizielle Genehmigung von Seiten des Tischtennisbundes für die Durchführung des Projektes zu erhalten. Nach der offiziellen Bestätigung wurde schriftlich Kontakt mit den Nationaltrainern aufgenommen. Neben einem offiziellen Anschreiben an die Trainer (siehe beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen: Informationsschreiben Trainer_DTTB), wurden zwei Informationsschreiben über die Teilnahmevoraussetzungen (siehe beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen: Trainerinfo_Teilnahmevoraussetzungen) sowie über benötigtes Equipment zur praktischen Durchführung der Studie (siehe beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen: Trainerinfo_Equipment) beigelegt. Ebenso enthielten die Experten ein Informationsschreiben (siehe beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen:

Informationsschreiben_Spitzenspieler), in welchem das Forschungsprojekt beschrieben wurde. Das Projekt wurde als Vorstudie für eine langzeitliche Neurofeedbackstudie eingeführt, welche aufbauend auf den Ergebnissen dieser Arbeit an Nachwuchstalenten durchgeführt wurde. Die Experten konnten frei entscheiden, an der Studie teilzunehmen. Mit den Trainern wurde eine Trainingswoche bestimmt, bei welcher alle Spitzenspieler(innen) anwesend waren, um das Forschungsprojekt durchzuführen. Ein Spitzenspieler des DTTB entschied sich aus unbekanntem Gründen, nicht am Projekt teilzunehmen. Alle Spieler erhielten nach Beendigung des Projektes eine individualisierte Zusammenfassung ihrer persönlichen Ergebnisse (Ergebnisse der Fragebogendaten) und hatten die Möglichkeit die Versuchsleiter von der Schweigepflicht zu entbinden, um relevante Ergebnisse auch an die Trainer weiter geben zu können. Sofern eine Schweigepflichtsentbindung vorlag, erhielten auch die Nationaltrainer individualisierte Zusammenfassungen über jeden Sportler. Zudem konnten alle Spieler(innen) sowie Trainer den Autor dieser Arbeit telefonisch kontaktieren, um Ergebnisse und deren Implikationen zu diskutieren.

Amateure wurden durch persönliche Kontakte des Autors dieser Arbeit, über direkte Anfragen an entsprechende Vereine in der Region Tübingen, Esslingen und Stuttgart (Bezirkssklasse bis Landesliga) sowie über die Internetseite des Baden-Württembergischen Tischtennisverbandes (www.ttvwh.de) rekrutiert. Entsprechende Flyer (siehe beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen: Flyer_Gehirn und Tischtennis) wurden verteilt, postalisch oder per E-Mail versandt und auf die Homepage gestellt. Interessierte Sportler konnten sich persönlich telefonisch oder per E-Mail an die Versuchsleiter wenden. Anschließend wurden persönliche Termine vereinbart.

Alle Nachwuchstalente waren Kaderathleten und -athletinnen des Baden-Württembergischen Tischtennisverbandes. Vorab wurde Kontakt mit dem Sportdirektor des Baden-Württembergischen Tischtennisverbandes aufgenommen. Die hier erhobenen Daten der

Nachwuchstalente stellten gleichzeitig eine Prä-Messung im Rahmen eines langfristig angelegten Forschungsprojektes zur Überprüfung eines Neurofeedbacktrainings dar. Für Trainer, Spieler(innen), wie auch für die Eltern, wurde diese Messung somit als Vortest für ein daraufhin folgendes Neurofeedbacktraining eingeführt. Alle Trainer, Spieler(innen) und Eltern erhielten ein Anschreiben, Informationen zu Teilnahmevoraussetzungen sowie eine Gesamtübersicht über das Forschungsprojekt. Alle Teilnehmer(innen) unterschrieben eine Erklärung an der Studie teilzunehmen (alle Unterlagen befinden sich in der beigelegten CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen).

2.3 Experimenteller Ablauf

Dieser Abschnitt gibt einen Gesamtüberblick über den inhaltlichen und zeitlichen Ablauf des Experiments (siehe Tabelle 3). Eine detaillierte Beschreibung und Entwicklung des Stimulusmaterials sowie Spezifika der EEG- Messung werden in den darauffolgenden Abschnitten ausführlich beschrieben.

Bei allen Tischtennispielern wurde ein EEG abgeleitet, während ihnen verschiedene Tischtennisvideos präsentiert wurden (aus der Egoperspektive), auf welchen ein Tischtennisgegner zu sehen war, der sich auf seinen Aufschlag vorbereitet und diesen ausführt. Die Probanden hatten die Aufgabe sich vorzustellen, wie sie selbst auf den Aufschlag mit einem Vorhand-Top-Spin reagieren. Sie saßen auf einem Stuhl, welcher ca. 2 Meter von der Wand entfernt war, auf welchem die Videos, sowie alle Instruktionen projiziert wurden. Instruktionen wurden für alle Probanden standardisiert schriftlich präsentiert. Hierfür und zur Darbietung der Videos wurde die Software E-Prime (Science Plus Group BV, Groningen, Netherlands) verwendet. Start und Endtrigger der Videos wurden durch E-Prime über ein Trigger Interface (NeXus Trigger Interface, Mind Media, Herten, Holland) zu einem

Lenovo Thinkpad T500 Notebook gesendet, auf welchem die EEG Signale aufgenommen wurden.

Das Experiment begann mit einer Videopräsentation von Prof. Dr. Niels Birbaumer, welcher das Ziel und die Wichtigkeit des Forschungsprojektes ausführlich erläuterte. Zum einen sollten die Expertise und das Charisma von Prof. Birbaumer die Sportler motivieren, zum anderen diente es der Standardisierung der experimentellen Durchführung (Durchführungsobjektivität). Nach dieser Einführung wurde die Anspannung sowie die Freude der Spieler mit dem Self Assessment Mannequin (SAM) gemessen.

Tabelle 3: Experimenteller Ablauf

Die Tabelle zeigt den zeitlichen und inhaltlichen Ablauf einer gesamten EEG-Messung

Minute	Prozedur / Aufgabe
1 – 20	Anbringung der EEG- Kappe
21 – 24	Einführungsvideo von Prof. Birbaumer
25 – 26	Messung von Anspannung und Freude
27 – 30	Instruktionen
31 – 40	Erste Imaginationsaufgabe (20 s) + Erklärungen
41 – 42	Druckinduktion
43 – 44	Messung von Anspannung und Freude
42 – 47	Bewegungsvorstellung (Videos 1 – 20)
48 – 49	Pause; Messung von Anspannung und Freude
50 – 54	Bewegungsvorstellung (Videos 21 – 40)
54 - 70	Fragebögen

Daraufhin wurden die Spieler instruiert, an eine kritische Wettkampfsituation in der vergangenen Saison zu denken, in welcher das Ergebnis (Gewinn/Verlust) nicht absehbar war. Sie wurden gebeten Ihre Augen zu schließen und sich in diese Situation für 20 Sekunden hineinzusetzen. Danach sollten sie die Situation, die einhergehenden Körperempfindungen, Gefühle sowie den Ausgang des Matches wiedergeben. Diese Aufgabe diente der Sensibilisierung und Vorbereitung auf die daraufhin folgende Imaginationsaufgabe sowie der Induzierung von Emotionen, Gedanken und Körperempfindungen welche mit wichtigen Wettkampfsituationen unter Druck einhergehen (Gerrards-Hesse, Spies, & Hesse, 1994).

Als nächstes folgte eine detaillierte Beschreibung der experimentellen Imaginationsaufgabe. Während der Videopräsentation sollten sich die Spieler vorstellen, es stünde 10:10 im letzten Satz eines wichtigen Matches und Sie müssten den Aufschlag des Gegners annehmen. Sie sollten sich vorstellen, wie sie selbst (aus der Egoperspektive) den Aufschlag mit einem Vorhand Top-Spin annehmen. Diese Form von Imagination soll eine kinästhetische Bewegungsvorstellung² ermöglichen, was ähnliche kortikalen Aktivierungsmuster aufweist, wie bei tatsächlicher motorischer Ausführung (Neuper, Scherer, Reiner, & Pfurtscheller, 2005; Stinear, Byblow, Steyvers, Levin, & Swinnen, 2006). Hier ist wichtig zu erwähnen, dass eine Bewegungsvorstellung aus der Egoperspektive nicht gleichzusetzen ist mit der Instruktion, sich die einzelnen Knotenpunkte einer Bewegung genau vorzustellen, was, wie im Abschnitt 1.1.3.1 beschrieben, mit Choking einherzugehen scheint (Hossner & Ehrlenspiel, 2010). Vielmehr geht es darum, sich als Subjekt zu fühlen anstelle eines Beobachters der eigenen Person. Um den mentalen Druck zu erhöhen, wurde allen Spieler(innen) erklärt, dass die Versuchsleiter am Computer genau nachvollziehen können, wie gut und intensiv sie sich den Vorhand Top-Spin tatsächlich vorstellen. Aufgrund dieser

² Eine andere Form der mentalen Vorstellung ist Vorstellung eines „mentalen Videos“. Probanden würden sich selbst (aus einer Dritten-Person Perspektive) mental beobachten, wie sie eine motorische Handlung ausführen. Diese Art der mentalen Vorstellung scheint mit sehr unterschiedlichen neurophysiologischen Prozessen (im Vergleich zu tatsächlichen Handlungen) einherzugehen und ist für diese Studie daher nicht geeignet

Ergebnisse würde dann ein Ranking aller teilnehmenden Spieler(innen) stattfinden. Direkt nach dieser „Druckinduktion“ wurden wiederum Anspannung und Freude gemessen (SAM), um zu überprüfen, ob die experimentelle Manipulation erfolgreich war. Nach dem Experiment wurden alle Teilnehmer aufgeklärt, dass es nicht möglich ist die Qualität und Intensität direkt am Computer abzulesen und das Ranking somit nie stattfand (Debriefing).

Kurz vor Beginn der Imaginationsaufgabe wurden die Probanden noch einmal erinnert, sich während der Imagination vorzustellen, es stehe 10:10 in einem wichtigen Tischtennismatch und den präsentierten Aufschlag mit einem Vorhand Top-Spin zu beantworten. Der Vorhand Top-Spin Schlag wurde gewählt, weil es ein elementarer und wichtiger Schlag im Tischtennis ist. Zudem ist es ein offensiver Schlag, mit welchem Spieler das Spiel bestimmen können. Dies erzeugt vermutlich mehr mentalen Druck, als Bälle nur passiv zurückzuspielen. Die Aufschläge des Videogegners wurden so gespielt, dass Vorhand Top-Spin der am Ehesten geeignete Rückschlag ist. Detaillierte Beschreibungen dieser und weiterer Eigenschaften des Videomaterials sind in Abschnitt 2.4 beschrieben.

Insgesamt wurden 40 Videoclips präsentiert mit einer Pause nach den ersten 20. Diese große Anzahl an Wiederholungen ist notwendig, um bei der EEG- Analyse (Mittelung der Frequenzspektren) reliable und valide Ergebnisse zu erhalten (siehe Kapitel 2.9). Nach jedem Video wurde der Satz „10:10 letzter Satz“ auf weißem Hintergrund präsentiert. Die Athleten wurden instruiert, auf diesen Satz zu fokussieren, um gedankliche Ablenkung zu verringern und weiterhin in einem „Wettkampfstadium“ zu bleiben. Während der Imaginationsaufgabe sollten sich die Probanden nicht bewegen, um Artefakte im EEG zu vermeiden. Am Ende der Imaginationsaufgabe beantworteten die Athleten verschiedene Fragebögen, um relevante abhängige- und Kontrollvariablen zu erfassen (siehe Abschnitt 2.7).

2.4 Experimentelle Stimuli

Die wichtigsten Ziele bei der Entwicklung, der Aufnahme und dem Schneiden des Videomaterials waren eine Standardisierung zwischen den Gruppen zu gewährleisten bei gleichzeitiger hoher ökologischer Validität sowie eine möglichst exakte Abgrenzung zwischen der motorischen Vorbereitungsphase und der Handlungsphase. Alle Videos wurden mit derselben Kamera, jedoch in unterschiedlichen Hallen aufgenommen. Die Videoattribute und die Standardisierung der Videos werden in diesem Abschnitt ausführlich erläutert.

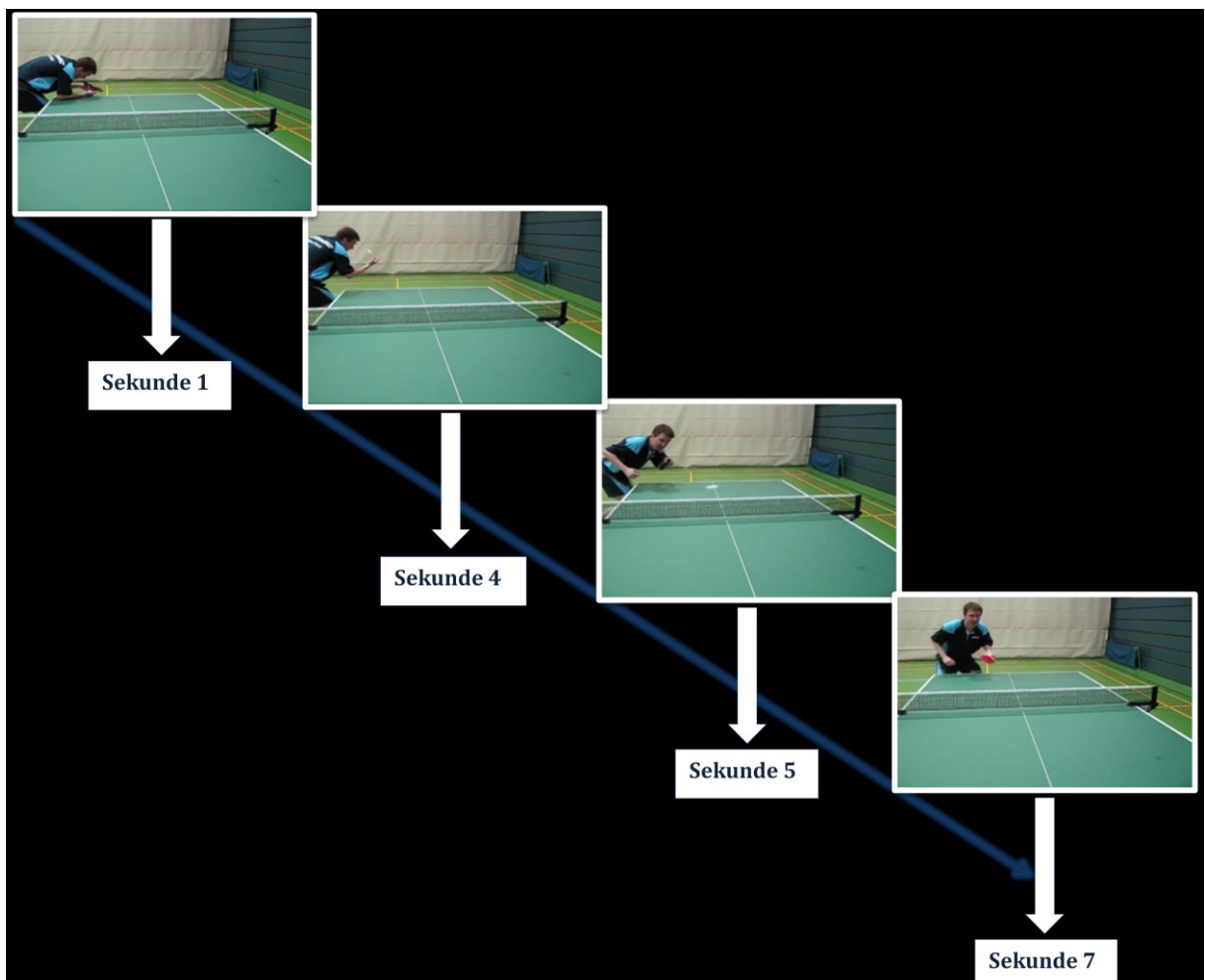


Abbildung 1: Videomaterial

Dargestellt ist ein exemplarisches Video (Experten männlich) von der ersten bis zur letzten Sekunde

Jedes Video dauerte exakt sieben Sekunden und stellte ein Durchgang in der EEG Analyse dar (bei der EEG Datenanalyse wurde über alle Durchgänge gemittelt). Nach der 4. Sekunde verließ der Ball die passive Hand des Aufschlägers, um seinen Aufschlag zu spielen. Da hier davon ausgegangen wird, dass vor den ersten 4 Sekunden keine Bewegungen stattfanden, wird diese Zeit im Folgenden „Vorbereitungsphase“ und die letzten drei Sekunden „Handlungsphase“ genannt. Die Höhe des Ballwurfs, Geschwindigkeit des Balles, Handgelenkstellung, Blickrichtung sowie die Hüft- und Schulterstellung geben erste Anhaltspunkte für die Platzierung, Rotation, Höhe und Geschwindigkeit des ankommenden Tischtennisballes (Singer, Cauraugh, Chen, Steinberg, & Frehlich, 1996). Bevor jedoch der Ball die Hand nicht verlässt, gibt es demnach keine validen Prädiktoren für die Eigenschaften des ankommenden Balles. Somit sollten in den ersten 4 Sekunden keine Bewegungen stattfinden, um einen Tischtennisschlag vorzubereiten (Beinarbeit, Armstellung usw.). Diese Unterscheidung ist für diese Untersuchung elementar, da angenommen wurde, dass sich die Alpha-Asymmetrie in der motorischen Vorbereitungsphase verstärkt und im Übergang zwischen Vorbereitungs- und Handlungsphase ein Maximum erreicht (siehe Hypothese 1.2. Deshalb wurde die 4. Sekunde (Ballhochwurf) als der frühestmögliche Zeitpunkt für eine Handlungen bestimmt und damit als Ende der Vorbereitungsphase definiert. Der Übergang von der 4. zur 5. Sekunde war somit (voraussichtlich) der Zeitpunkt, in welchem der Ball das Netz passierte, die Handlung gedanklich ausgeführt und letztlich der Ball getroffen (ca. 5. Sekunde) wurde.

Vier verschiedene Videos wurden in zufälliger Reihenfolge präsentiert. In allen Videos erfolgte der Aufschlag auf die Vorhandseite (rechte Tischhälfte aus der Egoperspektive). Die Aufschläge in den vier Videos variierten in Rotation (Unterschnittrotation vs. Seitschnittrotation) und exakter Platzierung (mehr zur Tischmitte vs. weite Vorhand), um die

Motivation der Probanden aufrechtzuerhalten. Alle Aufschläge wurden, wie oben bereits angesprochen, so gespielt, dass ein Vorhand Top-Spin der geeignete Schlag war, um die Aufschläge zu retournieren (der Ball ist so lang, dass er nicht zweimal auf der Spielseite des Probanden aufspringen kann). Um eine möglichst ökologisch valide, experimentelle Situation zu schaffen, in welcher Wettkampfdruck entstehen kann, wurde das Stimulusmaterial an das Geschlecht und die Expertise der Probanden angepasst, da weibliche Tischtennispielerinnen nie gegen männliche Tischtennispieler und Profis nie gegen Amateure spielen würden. Somit gab es für jede Gruppe (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente U15 vs. Nachwuchstalente U18) zwei unterschiedliche Videosets (weiblich vs. männlich). Alle Videos wurden in Länge, Höhe des Tisches, Platzierung, Rotation und Sequenz der Aufschläge standardisiert. Das Set Up des Tischtennistisches war in allen Gruppen gleich und wurde möglichst realistisch und wettkampfnah gestaltet. Die Videos variierten zusätzlich zum Geschlecht und der Expertise, in der Kleidung und Händigkeit der Aufschläger. Nur männlichen Experten wurde ein Videogegner präsentiert, der Linkshänder war. Dadurch wurden bei dieser Gruppe die Aufschläge eher von der linken gegnerischen Seite (aus der Egoperspektive) präsentiert, während bei allen anderen Gruppen die Aufschläge eher von der rechten präsentiert wurden (alle Videos siehe Anhang beigelegte CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen).

2.5 Abhängige Maße

Für jede Studiengruppe wurden objektive Leistungsmaße erhoben. Zudem wurden verschiedene Skalen präsentiert, um weitere relevante abhängige- und Kontrollvariablen zu erfassen.

2.5.1 Leistungsmaße

Bei Experten wurden Weltranglistenpunkte zur Zeit der Erhebung erfasst, bei Nachwuchstalenten die Rangliste des Deutschen Tischtennisbundes für Jugendliche und bei Amateuren ein Quotient aus gewonnenen und verlorenen Spielen der vergangenen Saison (Bilanzquotient). Die Leistungsdaten können nur innerhalb jeder Gruppe untersucht werden, da es keine gemeinsamen validen und reliablen Leistungsmaße über alle Gruppen hinweg gibt.

2.5.1.1 ITTF-Weltrangliste (Experten)

Als Leistungsmaß für die Stichprobe der Experten wurde die offizielle Weltrangliste herangezogen (September 2010). Diese wird vom Dachverband aller nationalen Sportverbände, der International Table Tennis Federation (ITTF), erstellt (für die Grundprinzipien siehe Gautreau & Jackson, 2011). Die Tabellen sind auf der Homepage der ITTF einzusehen (ITTF, 2002). Durch die standardisierte Berechnung der Weltranglistenpunkte kann von gegebener Objektivität ausgegangen werden. Auch Reliabilität ist prinzipiell gegeben, kann jedoch dadurch geschmälert werden, dass zur Berechnung der Werte eine unterschiedlich hohe Anzahl an Spielen einfließt und Ausfälle durch Verletzungen, Auslosung an Turnieren, Tagesform etc. nicht in die Kalkulation der Spielstärke eingeht. Die Rangliste ist sehr stark Inhalts- und Augenscheinvalide. Es liegen jedoch keine Zusammenhänge zu anderen Ranglisten, Bilanzen etc. vor. Somit ist es schwer die Kriteriumsvalidität der Rangliste zu beurteilen.

2.5.1.2 DTTB-Jugendrangliste (Nachwuchstalente)

Bei Nachwuchstalenten wurden als Leistungsmaß die Ranglistenpunkte der deutschen Jugendrangliste (Januar 2011) verwendet. In die Rangliste des Deutschen Tischtennisbundes (DTTB) fließen die Ergebnisse der Deutschen Meisterschaften, der Deutschen Ranglistenturniere (TOP 48, TOP 16, TOP 12) und dem Europe TOP 10 ein. Alle Spieler(innen), die diese Turniere spielen, sind in dieser Rangliste geführt. Die Berechnung der Punkte ist abhängig vom Turnier und der jeweiligen Platzierung. Zusätzlich werden bei der DTTB-Rangliste zwei Altersklassen nach Mädchen und Jungen (U15 und U18) unterschieden. Dadurch ergeben sich vier separate DTTB-Ranglisten mit jeweiligen Punkten. Die Tabellen mit detaillierter Beschreibung und Punktevergabe ist auf der Internetseite des DTTB abzurufen (Metternich, 2012). Objektivität, Reliabilität und Validität der DTTB-Rangliste sind vergleichbar mit den Kriterien der ITTF- Weltrangliste. Zum Zeitpunkt der Abrufung der Punktwerte (Januar 2011) gingen lediglich zwei Wettkämpfe (Top 48, Top 16) in die Rangliste ein. Dies verringert die Reliabilität, wie auch die Validität der Punktwerte.

2.5.1.3 Bilanz (Amateure)

Da die Amateursportler weder in der ITTF - noch in der DTTB Rangliste geführt werden, wurde hier die Bilanz aus Siegen und Niederlagen in der vergangenen Saison als Quotient herangezogen. Die Daten wurden mittels Fragebogen erhoben (siehe Item 113 im Studienfragebogen). Objektivität ist gegeben. Die Reliabilität ist fragwürdig, weil die Anzahl gewonnener und verlorener Spiele abhängig ist von den Spieleinsätzen, welche wiederum abhängig sind von der Position im Team, dem Ausgang eines Matches und weiteren persönliche Faktoren (Lust, Verletzung, alternative Termine), welche nicht abgefragt wurden. Auch die Validität ist in Frage zu stellen, weil die tatsächliche Spielstärke neben der Bilanz von der Spielklasse sowie der Position innerhalb eines Teams abhängt.

2.5.2 Fragebogendaten

Mit dem Studienfragebogen wurde das Erleben von Flow (State), Freude (State), Rumination (State), positiver Affekt (Trait) und „Hoffnung auf Erfolg“ bzw. „Furcht vor Misserfolg“ (Trait) erfasst.

2.5.2.1 Flow

Flow wurde mit der standardisierten und validierten Flow-Kurz-Skala (Rheinberg, Vollmeyer, & Engeser, 2003) erfasst. In der Originalliteratur wird von einer hohen internen Konsistenz (Cronbach's α im Median bei unterschiedlichen Stichproben: $\alpha = .9$) der Gesamtskala, bestehend aus zehn 7-stufigen Items (von „trifft nicht zu – Codierung = 1 bis „trifft zu“ – Codierung = 9), berichtet (Items 93-102 des Studienfragebogens, siehe beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen). Die Items wurden in dieser Studie exakt so codiert wie in der Originalliteratur. Die Gesamtskala weist eine 2-stufige Faktorenstruktur auf und kann in die Subskalen „Absorbiertheit“ (Items 93, 95, 98 und 102) und „Glatter Verlauf“ (Items 94, 96, 97, 99, 100 und 101) unterteilt werden. Die Reliabilitäten der Subskalen sind ähnlich wie die der Hauptskala. Zusätzlich gibt es zwei aus drei Items bestehende Skalen: die Besorgnis- (Items 103, 104 und 105) und Passungsskala (Items 109, 110, 111). Die Skala Passung wurde in dieser Untersuchung nicht in die Analyse mit eingeschlossen, da sie nicht direkt das Erleben von Flow erfasst. Die Kriteriumsvalidität der Gesamtskala kann als gegeben betrachtet werden, da sie immerhin ca. 5 % zusätzliche Varianz der Leistung einer Statistiklausur aufklären kann. Auch korrelierten die Gesamtskala sowie die Subskalen mit inhalts- und kriteriumsvalidierten Fremdskalen, wie die Skalen „Hoffnung auf Erfolg“ und „Furcht vor Misserfolg“ als Komponenten des Leistungsmotivs (siehe auch Abschnitt 2.5.2.3). Die Reliabilitäten in dieser Stichprobe sind in Tabelle 4 dargestellt. In unserer Studie wies die Flow- Gesamtskala eine gute interne Konsistenz auf. Die Reliabilitäten

unterschieden sich auch nur gering zwischen den Gruppen. Die Unterskalen Absorbiertheit und Besorgnis hatten über alle Gruppen hinweg nicht zufriedenstellende Reliabilitäten.

Tabelle 4: Reliabilitäten der Fragebogenskalen

In dieser Tabelle sind alle Reliabilitäten (Cronbach's α) der Fragebogenskalen sowie deren Subskalen angegeben. Sie wurden jeweils getrennt nach Studiengruppe dargestellt.

Cronbach's α	Gesamt	Experten	Amateure	Nachwuchs
	N = 44	N = 14	N = 15	N = 15
<hr/>				
Flow				
Gesamtskala	.80	.88	.70	.80
Absorbiertheit	.53	.49	.44	.60
Glatter Verlauf	.79	.89	.75	.74
Besorgnis	.60	.58	.25	.76
<hr/>				
Rumination	.64	.40	.74	.77
<hr/>				
AMS- Sport				
Hoffnung auf Erfolg	.75	.71*	.79	.77
Furcht vor Misserfolg	.86	.90	.69	.87
<hr/>				
PANAS				
Positiver Affekt	.72	.78	.73	.74
Negativer Affekt	.76	.84	.71	.74

* Das Item 39 wurde wegen einer Varianz von 0 aus der Reliabilitätsanalyse ausgeschlossen

2.5.2.2 *Rumination*

Da kein standardisiertes und validiertes State-Maß bekannt ist, welches Rumination misst, wurde eine eigene Skala entwickelt, welche aus 3 Items bestand:

1. „Ich habe mich gefragt, ob ich diese Vorstellungsaufgabe gut mache“
2. „Meine Gedanken schweiften ab, ohne dass ich es wollte“

3. „Gedanken, die mir durch den Kopf gingen, haben mich von meiner Aufgabe abgelenkt“.

Ziel war es Items zu finden, welche aufkommende Gedanken während der Aufgabe und hierdurch resultierende Ablenkung erfassen. Wie auch die Flow-Kurz-Skala war die Skala 7-stufig mit den Antwortkategorien von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“. Die Reliabilitäten sind in Tabelle 4 dargestellt. Cronbach's Alpha in der Gruppe der Experten ist nicht zufriedenstellend.

2.5.2.3 Leistungsmotive: „Hoffnung auf Erfolg“ und „Furcht vor Misserfolg“

Die Achievement Motives Scale-Sport (AMS-Sport; Elbe, Wenhold, & Müller, 2005) wurde entwickelt, um die Ausprägung des Leistungsmotivs von professionellen Sportlern zu erfassen. Der Fragebogen misst die beiden Leistungsmotivkomponenten „Hoffnung auf Erfolg“ (HE) und „Furcht vor Misserfolg“ (FME) mit jeweils 15 Items (HE: Items 37 – 51, FME: Items 52 – 66). Die Skala ist 4-stufig mit den Antwortkategorien 3 = „trifft genau auf mich zu“, 2 = „trifft überwiegend auf mich zu“, 1 = „trifft weniger auf mich zu“, 0 = „trifft auf mich überhaupt nicht zu“. Die hier angewandte Codierung war identisch zur Originalskala. Zur Berechnung des Gesamtleistungsmotivs wurden die jeweiligen Skalenwerte aufsummiert. Dadurch können die Skalenwerte zwischen 0 und 45 streuen. Die internen Konsistenzen liegen bei unterschiedlichen Stichproben in der Originalliteratur bei über $\alpha = .90$. Die Skalen korrelieren mit anderen Skalen, welche ähnliche Konstrukte messen (für Details siehe Elbe, et al., 2005). Ebenfalls korrelieren die Ausprägungen der beiden Skalen mit der Wahl realistischer Aufgaben beim Handball und beim Golf. Konstrukt-/Kriterien und inkrementelle Validität können als gegeben erachtet werden. Die Reliabilitäten in dieser Studie sind zufriedenstellend bis gut (siehe Tabelle 4).

2.5.2.4 Positiver und negativer Affekt (*habituell: Trait*)

Zur Messung des habituellen (Trait) positiven und negativen Affekts während der Vorstellungsaufgabe wurde die deutsche Version der „Positive And Negative Affect Scale“ (PANAS; Krohne, Egloff, Kohlmann, & Tausch, 1996) verwendet. Sie besteht aus zwei Subskalen, welche unabhängig voneinander positiven (PA) und negativen Affekt (NA) messen. Beide Skalen bestehen aus 10 Items (Items im Studienfragebogen für PA: 67, 69, 70, 72, 76, 77, 79, 81, 83, 84; NA: 68, 71, 73, 74, 75, 78, 80, 82, 85, 86). Der Fragebogen wurde folgendermaßen eingeführt: „Geben Sie bitte an, wie Sie sich im Verlauf der letzten 12 Wochen gefühlt haben“. Die Skala war 5- stufig mit den Antwortalternativen: 1 = ganz wenig oder gar nicht, 2 = ein bisschen, 3 = einigermaßen, 4 = erheblich und 5 = äußerst. Es wurde hier nach den letzten 12 Wochen gefragt, weil die Retest-Reliabilitäten für aktuellen Affekt bei der PANAS als unzureichend anzusehen sind ($r = .19, ns.$). Die Retest- Reliabilitäten der Skala zur habituellen (Trait) Erfassung von PA ($r = .66, p < .001$) und NA ($r = .54, p < .001$) sind jedoch zufriedenstellend. Cronbach's α der Skalen wird in der Originalliteratur mit .84 für PA und .86 für NA angegeben. Die Reliabilitäten der Skalen in dieser Studie sind in Tabelle 4 dargestellt und können mit einem Cronbach's α von $> .7$ in allen Stichproben, als gut erachtet werden. Konstrukt- und externe Validität sind durch starke Korrelationen mit weiteren validierten Skalen zur Emotionsmessung (z.B. Tagebuchberichte) und Messung von Persönlichkeitseigenschaften gegeben (für Details siehe Krohne, et al., 1996).

2.5.2.5 Freude (*aktuell: State*)

Zur direkten Messung von Freude (State) wurde eine von drei Skalen des Self-Assessment Manikins (SAM; Bradley & Lang, 1994) verwendet. Freude wird hier über eine 9- stufige Skala erfasst (siehe Studienfragebogen beiliegende CD in vorliegender Printversion der UB Tübingen S 1.2, S 2.2 und S 3.2), welche aus neun Bildern eines Männchens mit

unterschiedliche Gesichtsausdrücken (von sehr traurig= 0 bis sehr fröhlich = 8) besteht. Die Entwickler des SAM konnten zeigen, dass diese Skala mit einem etablierten Emotionsmaß, der Semantic Differential Scale (Mehrabian & Russell, 1974), hoch korreliert ($r = .96$). Die Skala „Freude“ der Semantic Differential Scale wird mit den Adjektiv- Paaren „glücklich vs. unglücklich“, „verärgert vs. erfreut“, „unzufrieden vs. zufrieden“, „melancholisch vs. befriedigt“, „verzweifelt vs. hoffnungsvoll“ und „gelangweilt vs. entspannt“ gebildet. Somit korreliert die Skala „emotionale Stimmung“ des SAM mit einer Skala, die diverse emotionale Komponenten erfasst. Die Skala wurde, wie in Tabelle 3 dargestellt, drei Mal präsentiert. Der erste Zeitpunkt korreliert signifikant mit dem zweiten ($r(44) = .58, p < .01$) sowie dritten Messzeitpunkt ($r(44) = .45, p < .01$) und der zweite Messzeitpunkt signifikant mit dem dritten Messzeitpunkt ($r(44) = .56, p < .01$). Retest- Reliabilität ist somit gegeben und das Instrument kann als reliabel und valide angesehen werden.

2.6 Manipulation Check: Druckinduktion

Um den Erfolg der Druckinduktion zu überprüfen, wurde zu drei Zeitpunkten die Anspannung gemessen und miteinander verglichen, wobei insbesondere der Unterschied zwischen der ersten Messung (zu Beginn des Versuchs) und zur zweiten Messung (direkt nach der Erregungsinduktion) relevant ist. Wie auch die Emotion Freude, wurde auch die Anspannung durch eine Skala des SAM erfasst (Beschreibung siehe 2.5). Diese Skala korreliert sehr hoch mit der Skala Anspannung der Semantic Differential Scale ($r = .95$) und ist somit valide. Der erste Messzeitpunkt korreliert signifikant mit dem zweiten ($r(44) = .64, p < .01$) sowie dritten Messzeitpunkt ($r(44) = .60, p < .01$) und der zweite Messzeitpunkt signifikant mit dem dritten Messzeitpunkt ($r(44) = .68, p < .01$). Die Retest- Reliabilität ist somit sichergestellt. Die Ergebnisse der Berechnungen zur Druckinduktion sind in Abbildung 2 dargestellt.

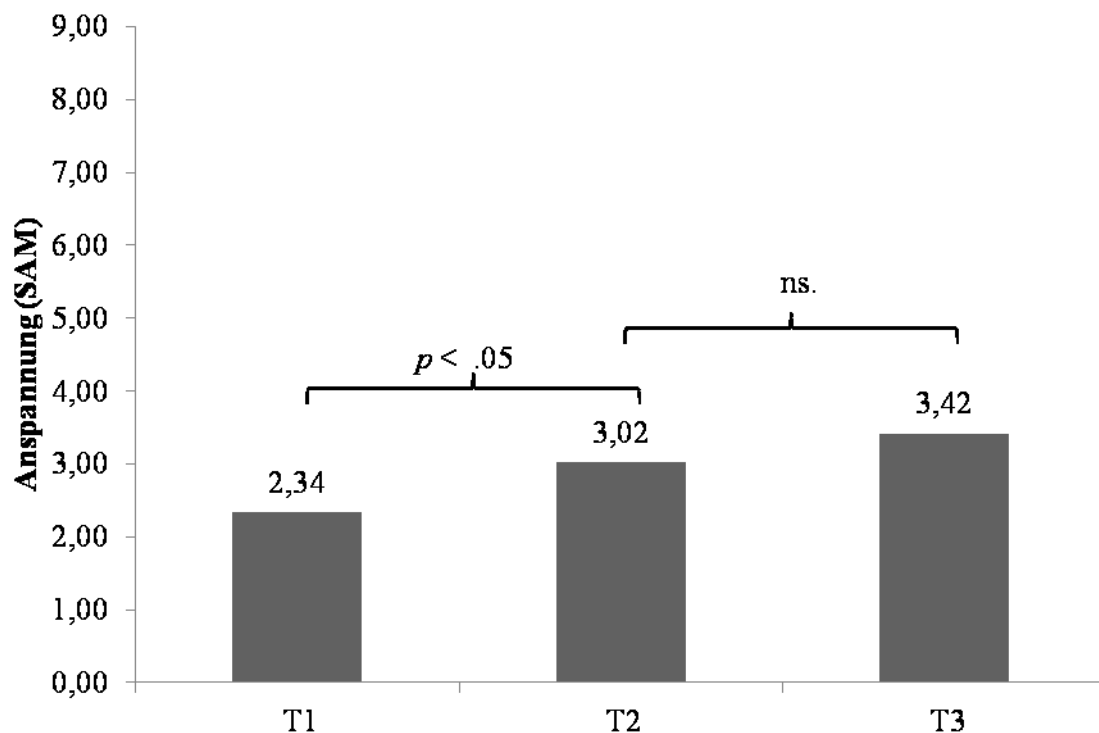


Abbildung 2: Manipulation Check der mentalen Druckinduktion

Die Abbildung zeigt die Mittelwerte der Anspannungs-Skala des SAM's aller Probanden zu unterschiedlichen Messzeitpunkten. T1 erfolgte zu Beginn des Experimentes, T2 nach der Druckinduktion und T3 nach den ersten 20 Videos. Signifikante Veränderungen sind durch Klammern und Signifikanzniveau gekennzeichnet.

Eine univariate Varianzanalyse mit den Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ (Experte vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) und dem Messwiederholungsfaktor „Zeit“ (T1 vs. T2 vs. T3) ergab einen signifikanten Haupteffekt von „Zeit“ ($F(2, 82) = 16.033, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .28$), keinen signifikanten Haupteffekt „Gruppe“ ($F(1, 42) = 0.044, p = .96, \text{partial } \eta^2 = .002$) sowie keinen signifikanten Interaktionseffekt aus „Zeit“ und „Gruppe“ ($F(1, 82) = 1.125, p = .35, \text{partial } \eta^2 = .05$). Post-hoc Analysen (Bonferroni) zeigten, dass sich die Anspannung zwischen der ersten ($M = 2.34, SD = 1,52$) und zweiten ($M = 3.02, SD = 1,39$) Messung signifikant erhöhte ($p < .05$). Zwischen der zweiten und dritten Messung ($M = 3.43, SD =$

1,60) gab es zwar einen erneuten, jedoch nicht signifikanten, Anstieg in der Anspannung ($p = .08$). Da sich die Anspannung nach der Druckinduktion über alle Gruppen hinweg signifikant erhöhte, war die experimentelle Manipulation erfolgreich. Es gab zudem keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, was die erfolgreiche Induktion zusätzlich unterstreicht.

2.7 Kontroll- und Moderator Variablen

Es wurden diverse Kontroll- und potentielle Moderatorvariablen erhoben, um Unterschiede zwischen den Studiengruppen zu erfassen und daraus resultierende Störeinflüsse zu kontrollieren. Es wurden einzelne Items sowie selbstgenerierte Skalen erstellt. Vier Items erfassten die Akzeptanz der Studie (Items 124 bis 127 im Studienfragebogen). Es wurde die Motivation und das Interesse an der Studie teilzunehmen, erfasst sowie die Professionalität der Versuchsleiter und die Relevanz des Forschungsprojektes erfragt. Die Skalen waren 5-stufig (0 – 4), wobei hohen Werten hohe Merkmalsausprägungen entsprachen. Eine weitere Skala erfasste die Vorstellungsgüte der Probanden (Items 119 bis 121). Hier wurde erfasst, wie gut sie sich in die Situation hineinversetzen und wie intensiv sie sich vorstellen konnten, auf den Aufschlag zu reagieren und wie gut sie sich vorstellen konnten, sich tatsächlich in einem Match zu befinden. Auch hier waren die Skalen 5-stufig. Die wahrgenommene Aufschlagqualität wurde mit 4 5-stufigen Items gemessen (Items 115 – 118) und umfasste Fragen zur Schwierigkeit, Rotation, Variabilität und zum Realitätsbezug der Aufschläge. Alle Reliabilitäten der selbstgenerierten Kontrollskalen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Reliabilitäten der Skalen Akzeptanz, Vorstellungsgüte Aufschlagqualität

Diese Tabelle zeigt die Reliabilitäten (Cronbach's α) relevanter Kontrollvariablen: Akzeptanz der Studie, Vorstellungsgüte der Bewegungsvorstellung und die wahrgenommene Aufschlagqualität des Videogegners. Die Reliabilitäten sind in Abhängigkeit der Studiengruppe dargestellt.

Cronbach's α	Gesamt:	Experten	Amateure	Nachwuchs
	N = 44	N = 14	N = 15	N = 15
Akzeptanz	0.73	0.85	0.29	0.73
Vorstellungsgüte	0.79	0.83	0.83	0.75
Aufschlagqualität	0.54	0.69	0.55	0.37

Die Reliabilität der Skala Akzeptanz der Studie der Gesamtskala war zufriedenstellend, jedoch unterschied sich die Reliabilität zwischen den Gruppen. Insbesondere das Cronbach's α bei den Amateuren war deutlich niedriger als bei den anderen Gruppen und wies negative Inter-Itemkorrelationen zwischen den Items Motivation und Relevanz auf, was auf ein unterschiedliches Beantwortungsverhalten der Gruppen hinweist. Da auch die Reliabilität der Skala Aufschlagqualität unzureichend war, wurden einfaktorielle Varianzanalysen zur Überprüfung der Unterschiede zwischen den Gruppen bei diesen Skalen auf Item- Ebene durchgeführt. Da die Reliabilitäten der Skala Vorstellungsgüte insgesamt sehr gut war, wurde die gesamte Skala in die Analyse aufgenommen. Weitere Kontrollvariablen (einzelne Items) waren die wahrgenommene Spielstärke des Gegners (Item 114), die Häufigkeit an Wettkämpfen gegen den Videogegner (Item 113), sowie die wahrgenommene Wichtigkeit und Qualität des eigenen Vorhand-Top-Spins. Tabelle 6 enthält die deskriptiven Werte aller relevanten Kontroll-Variablen.

Tabelle 6: Deskriptive Statistik aller relevanter Kontrollvariablen

Mittelwerte und Standardabweichungen aller Kontrollvariablen sind in Abhängigkeit der Studiengruppe dargestellt.

Deskriptive Statistik	Gesamt (N = 44)		Experten (N = 14)		Amateure N = 15		Nachwuchs N = 15	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Akzeptanz								
Motivation	3.13	0.67	2.75	0.58	3.20	0.56	3.40	0.74
Professionalität	3.48	0.63	3.29	0.73	3.53	0.52	3.60	0.63
Relevanz	2.75	0.84	2.36	1.01	2.73	0.12	3.13	0.83
Vorstellungsgüte								
	2.46	0.82	2.45	0.81	2.71	0.84	2.22	0.79
Aufschlagqualität								
Schwierigkeit	1.0	0.70	1.07	0.73	0.93	0.70	1.13	0.83
Rotation	1.5	0.95	1.71	1.14	1.53	0.83	1.27	0.88
Variabilität	1.80	0.88	1.71	1.00	1.67	0.90	2.00	0.76
Realitätsbezug	2.40	0.12	1.96	1.25	2.33	1.23	2.87	0.99
Vorhand Top-Spin								
Wichtigkeit	3.48	0.79	3.64	0.84	3.60	0.83	3.20	0.68
Expertise	2.63	0.79	2.53	0.69	2.80	0.86	2.53	0.83
Gegner								
Häufigkeit *	1.74	1.55	1.64	1.55	1.00	1.56	2.47	1.36
Spielstärke	1.95	1.44	2.43	1.02	1.73	1.28	1.73	1.03

* 2 fehlende Werte bei den Amateuren, somit gingen bei Amateuren (N= 13) sowie bei der Gesamtstichprobe (N = 42) zwei Probanden weniger in die Statistik ein.

Um Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Kontrollvariablen zu untersuchen, wurden univariate Varianzanalysen (ANOVAs) mit dem Zwischensubjekt Gruppe (Experte vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) und den jeweiligen Kontrollvariablen als abhängige Variablen durchgeführt. Die Ergebnisse der Items hinsichtlich der Akzeptanz der Studie sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Studienakzeptanz

Ergebnisse der ANOVA mit der Studiengruppe als Zwischensubjektfaktor und den abhängigen Variablen Motivation der Probanden, Professionalität der Versuchsleiter und Relevanz des Projektes. Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau.

Akzeptanz	Df	F	partial η^2	p
Motivation				
Gruppe	2	3.990*	0.163	.03
Fehler	41			
Professionalität				
Gruppe	2	0.996	0.046	.38
Fehler	41			
Relevanz				
Gruppe	2	3.461*	0.144	.04
Fehler	41			

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$

Die Motivation unterschied sich signifikant zwischen den Gruppen. Post-hoc Tests (Bonferroni) ergaben eine signifikant geringere Motivation bei Experten als bei Nachwuchstalenten ($p < .05$). Keine signifikanten Unterschiede gab es zwischen Experten und Amateuren ($p = .19$) und zwischen Amateuren und Nachwuchstalenten ($p = 1$). Auch die

wahrgenommene Relevanz des Forschungsprojektes unterschied sich signifikant zwischen den Gruppen. Experten schätzten das Projekt signifikant weniger relevant ein als die Nachwuchstalente ($p < .05$). Zwischen Experten und Amateuren ($p = .63$) sowie zwischen Amateuren und Nachwuchstalenten ($p = .53$) gab es keine signifikanten Unterschiede.

Die Vorstellungsgüte unterschied sich nicht zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 8)

Tabelle 8: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Vorstellungsgüte

Ergebnisse der ANOVA mit der Studiengruppe als Zwischensubjektfaktor und der abhängigen Variable Vorstellungsgüte. Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau.

Vorstellungsgüte	df	F	partial η^2	p
Gruppe	2	1.344	.062	.27
Fehler	41			

Auch hinsichtlich der Einschätzung der Aufschlagqualität gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Tabelle 9: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Aufschlagqualität

Ergebnisse der ANOVA mit der Studiengruppe als Zwischensubjektfaktor und der abhängigen Variable Aufschlagqualität. Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau.

Aufschlagqualität	df	F	partial η^2	p
Schwierigkeit				
Gruppe	2	.273	.013	.76
Fehler	41			
Rotation				
Gruppe	2	.806	.038	.45
Fehler	41			
Variabilität				
Gruppe	2	.617	.029	.55
Fehler	41			
Realitätsbezug				
Gruppe	2	2.221	.098	.12
Fehler	41			

Die Wichtigkeit des eigenen Vorhand Top-Spins sowie die Einschätzung der eigenen Expertise des Vorhand Top-Spins unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in der Wichtigkeit des eigenen Vorhand Top-Spins

Ergebnisse der ANOVA mit der Studiengruppe als Zwischensubjektfaktor und der abhängigen Variable Wichtigkeit des eigenen Vorhand Top-Spins. Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau.

Vorhand Top-Spin	df	F	partial η^2	p
Wichtigkeit				
Gruppe	2	1.433	.065	.25
Fehler	41			
Expertise				
Gruppe	2	.542	.026	.59
Fehler	41			

Wie zu erwarten war, unterschieden sich die Gruppen signifikant bei der Frage, wie häufig sie schon in der Realität gegen den Videogegner gespielt haben (siehe Tabelle 11). Post-hoc Tests (Bonferroni) zeigten, dass die Nachwuchstalente signifikant häufiger gegen den Videogegner gespielt haben als die Amateure ($p < .05$). Es gab keine Unterschiede zwischen Experten und Amateuren ($p = .78$) sowie zwischen Experten und Nachwuchstalenten ($p = .41$).

Tabelle 11: Ergebnisse der Gruppenunterschiede in verschiedenen Einschätzungen des Videogegners

Ergebnisse der ANOVA mit der Studiengruppe als Zwischensubjektfaktor und den abhängigen Variablen Spielstärke des Gegners und die Häufigkeit, wie oft die Probanden bereits gegen den Videogegner gespielt haben. Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau.

Gegnereinschätzung	df	F	partial η^2	p
Häufigkeit				
Gruppe	2	3.567	.16	.04
Fehler	41			
Spielstärke				
Gruppe	2	1.844	.083	.17
Fehler	41			

Bewertung der Gruppenunterschiede in Kontrollvariablen

Insgesamt war die Akzeptanz (Motivation, Interesse, Relevanz) des Projektes über alle Gruppen hinweg sehr hoch (MW = 3.13 bei einer Skala von 0-4). Experten zeigten etwas weniger Motivation als Nachwuchstalente und schätzten auch die Relevanz des Projektes geringer ein. Insgesamt waren jedoch auch die Experten überdurchschnittlich motiviert (MW = 2.75 bei einer Skala von 0-4) und schätzen das Projekt als durchschnittlich relevant ein (MW = 2.38 bei einer Skala von 0-4). Bei der Einschätzung der Aufschlagqualität des Videogegners sowie der Einschätzung der eigenen Expertise und Wichtigkeit des Vorhand Top-Spins gab es keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Lediglich der Bekanntheitsgrad des Videogegners, operationalisiert als die Häufigkeit von tatsächlichen Wettkämpfen, unterschied sich signifikant zwischen den Gruppen. Da die Vorstellungsgüte zwischen den Gruppen gleich war, kann dieser Unterschied vernachlässigt werden. Ebenfalls unterschieden sich die relevanten Einschätzungen der Videoattribute nicht zwischen den Gruppen. Die

Standardisierung der Videos hinsichtlich der relevanten Merkmale ist somit groß. Aufgrund dieser Ergebnisse sowie der hohen Studienakzeptanz wird nicht davon ausgegangen, dass die erhobenen Kontrollvariablen die Ergebnisse der Hauptfragestellungen beeinflussen. Somit wurde darauf verzichtet, die Kontrollvariablen als Kovariaten in die Hauptanalysen zu integrieren.

2.8 Analyse und Umgang mit fehlenden Werten

Die Analyse fehlender Werte wurde für die Arbeit in zwei Schritten vollzogen. In einer Arbeit des Autors (Wolf et al., in Vorbereitung) wurden lediglich die Daten der Experten und Amateure (Experten-Amateur-Vergleich) verglichen und als eigenständige Studie betrachtet. Für diesen Vergleich wurden die fehlenden Werte gesondert betrachtet. Aus 36 (Probanden) x 125 (Variablen) = 4500 Datenpunkten, gab es 16 (0,4 %) unsystematisch fehlenden Werte. Diese niedrige Rate an fehlenden Daten spricht für eine akkurate und vollständige Bearbeitung der Fragebögen. Fehlende Werte wurden mit zwei unterschiedlichen Methoden geschätzt und imputiert: Estimation Maximization (EM) und Regressionsschätzer. Im Falle von divergenten Schätzungen der beiden unabhängigen Methoden, wurde der Mittelwert beider Werte für die Imputation herangezogen. Bei einem ungeraden Mittelwert, der exakt in der Mitte zweier ganzer Zahlen lag (z.B. 5.5), wurde zufällig (durch Würfelwurf) auf- oder abgerundet, um einen Einfluss durch systematisches Runden zu verhindern. Bei der Analyse fehlender Werte der Nachwuchstalente wurden eine größere Anzahl und andere Auswahl an Variablen zur Schätzung herangezogen. Da die Erhebung der Nachwuchstalente gleichzeitig einen Prätest im Rahmen einer langzeitlichen Interventionsstudie zur Wirksamkeit eines Neurofeedbacktrainings darstellte, wurden z.B. auch die Daten der Posttests dieser Studie zur

Schätzung der fehlenden Werte herangezogen. Die Miss- Prozedur war identisch, wie oben beschrieben.

2.9 EEG-Aufnahme und Datenverarbeitung

2.9.1 EEG-Aufnahme

Für die Ableitung des EEG wurde ein 32- Kanal System (Nexus 32, Mind Media B.V., Herten, Holland) verwendet. Mit einer 21- Kanal EEG- Haube aus gesinterten Ringelektroden mit Karbonbeschichtung und aktiver Abschirmung standen die folgende Elektrodenpositionen zur Verfügung: Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8, Cz, C3, C4, T3, T4, T5, T6, Pz, P3, P4, O1, O2, A1 und A2. Diese waren nach dem 10-20 System angeordnet (Jasper, 1958). Als Referenz wurde der “common average” verwendet, um Störeinflüsse aufgrund von Referenzierungen an einzelnen Elektroden zu verhindern (Qin, Xu, & Yao, 2010). Der DC-Offset wurde während der gesamten EEG- Aufnahme unterhalb 25 mV gehalten. Das EEG wurde mit einem NeXus 32 Verstärker mit 24 Bit A/D Wandler verstärkt (Mind Media B.V., Herten, Holland) und mit einer Rate von 2048 Hz digitalisiert.

2.9.2 EEG-Datenverarbeitung und Artefaktkontrolle

Die Daten wurden im Datenformat der Firma Biotrace (bcd) aufgenommen und daraufhin im EDF+ Format exportiert. Dieser Schritt war nötig, um das Analyse-Programm Brain Vision Analyzer (Brain Products, Gilching, Germany) zur weiteren Datenverarbeitung und Analyse verwenden zu können. Es wurde ein Bandpassfilter von 0.1 bis 50 Hz eingesetzt und alle Daten auf 512 Hz heruntergetaktet. Zudem wurde ein 50 Hz Kerbfilter angewandt, um Rauschartefakte zu entfernen. Artefakte aufgrund von Augenbewegungen wurden durch eine

„Independent Component Analysis (ICA)“ bereinigt. Die ICA ist eine gängige Methode, welche verwendet wird um Artefakte durch Augenbewegungen zu ermitteln und zu entfernen. Sie stützt sich auf die Annahme, dass EEG Signale aus unabhängigen anatomischen Quellen stammen und dass das EEG eine lineare Kombination aus multiplen unabhängigen Komponenten besteht. Der grundlegende mathematische Algorithmus, auf welchem die ICA basiert, ist die klassische “Principal Component Analysis (PCA)”. Diese wurde nicht über alle Daten gerechnet. Da lediglich die Artefakte während den Videotrials identifiziert werden sollten, wurde für die PCA als Referenz das Zeitintervall der ersten 20 Videoclips verwendet. Dies war somit ein 240 sekundenlanges Intervall. Es wurden 512 Schritte in der Analyse verwendet. Aufgrund der Anzahl an Kanälen wurden 21 Komponenten berechnet. Um die Gewichtung der Komponenten zu berechnen, wurde die „iterative gradient“ Methode verwendet. Der Infomax Algorithmus wurde gewählt, da er im Rahmen einer Artefaktkontrolle durch ICA als valide erachtet wird und im Vergleich zu anderen Algorithmen konsistentere Ergebnisse liefert (Lee, Girolami, & Sejnowski, 1999). Komponenten, welche eindeutig als Augenbewegungen identifiziert werden konnten, wurden manuell unterdrückt. Danach wurde das EEG- Signal semi-automatisch nach Artefakten untersucht. Kriterien waren eine maximale Veränderung in Volt von $50 \mu\text{V}/\text{ms}$ sowie eine maximale Amplitude von $\pm 100 \mu\text{V}$. Zudem wurden Segmente mit Differenzwerten größer als $200 \mu\text{V}$ in einem Intervall von 200ms sowie einer Aktivität kleiner als $0.5 \mu\text{V}$ über eine 100 Millisekunden lange Periode, markiert und manuell unterdrückt.

2.9.3 Spektralanalyse (FFT)

Die Daten jedes Videotrials wurden in artefaktfreie Epochen von einer Sekunde unterteilt. Es wurde ein Hamming Window verwendet, welches 10 % der Daten am Ende jeder Epoche abflacht, um nicht valide Elemente der Spektralanalyse zu verhindern. Daraufhin erfolgte eine

Fast Fourier Transformation, um die Power Spektren (μV^2) in 1 Hz Bins zu bestimmen. Das Spektrum wurde über artefaktfreie Epochen eines 7- Sekunden langen Durchgangs gemittelt. Alpha Power (8-13 Hz) wurde berechnet, indem die Powerwerte über alle 1 Hz Bins im Rahmen des Alpha-Bandes gemittelt wurden. Da Alpha Power Werte natürlicherweise schief verteilt sind, wurden die Daten daraufhin natürlich logarithmiert, um die Daten in eine Normalverteilung zu überführen.

2.10 Statistische Analyse

Alle statistischen Analysen wurden mit der Statistiksoftware SPSS (Version 19) durchgeführt.

2.10.1 Hypothesen Hemisphärische Asymmetrie

Hypothese 1.1: AAS in der Vorbereitungsphase

Um die Unterschiede in der Alpha-Asymmetrie während der Vorbereitungsphase zu untersuchen, wurden „Alpha-Asymmetrie Scores“ (im Folgenden AAS genannt) gebildet. Zu jeder Sekunde der Baseline- Periode (Sekunden -5 bis -1), sowie zu jeder Sekunde der Bewegungsvorstellung (Sekunden 1 bis 4 und Sekunden 5 bis 7) wurden Differenzwerte für jede Elektrodenposition (linke minus rechte Alpha Power) gebildet (siehe Tabelle 12). Zudem wurden Mittelwerte aller AAS (für alle Elektrodenpositionen separat sowie über das gesamte Gehirn) über die Baselineperiode sowie über die Vorbereitungsphase (Sekunden 1 bis 4) berechnet.

Tabelle 12: Berechnung der Alpha Asymmetrie Scores (AAS) in der Vorbereitungsphase

Die die Berechnung der AAS wird in Abhängigkeit der Region dargestellt. Es wurde immer die Alpha Power der rechten Elektrodenposition von der linken Elektrodenposition subtrahiert.

Frontal	zentral	temporal	parietal	occipital	gesamt
Fp1 - Fp2	C3 - C4	T3 - T4	P3 - P4	O1 - O2	links – rechts
F3 - F4		T5 - T6			
F7 - F8					

Zur Überprüfung, ob Experten in der Vorbereitungsphase höhere AAS aufweisen und der Effekt bei den temporalen Elektrodenpositionen am stärksten ist, wurde eine ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren Epoche (Sekunde 1 vs. 2 vs. 3 vs. 4), Region (Fp1Fp2 vs. F3F4 vs. F7F8 vs. C3C4 vs. T3T4 vs. T5T6 vs. P3P4 vs. O1O2) und dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) durchgeführt. Einer Alpha-Inflation wurde bei allen Post-hoc Tests durch Bonferroni- Korrektur entgegengewirkt.

Hypothese 1.2: AAS Übergang von Vorbereitungs- zu Handlungsphase

Um die Unterschiede der Alpha-Asymmetrie im Übergang zwischen der Vorbereitungsphase (Sekunde 4) und vorgestellten motorischer Handlung (Sekunde 5) zu untersuchen, wurde eine ANOVA mit den Faktoren Epoche (4. vs. 5. Sekunde), Region (Fp1Fp2 vs. F3F4 vs. F7F8 vs. C3C4 vs. T3T4 vs. T5T6 vs. P3P4 vs. O1O2) und dem Zwischensubjekt- Faktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) durchgeführt. Da a priori angenommen wurde, dass die Interaktion aus Epoche und Expertise im Temporallappen am stärksten ausgeprägt

ist, wurden unabhängig einer signifikanten 3- Fach Interaktion aus Epoche, Region und Expertise, acht einzelne ANOVAS (für jede Region bzw. jede Elektrodenposition separat) durchgeführt, um die Effektstärken zu vergleichen.

Zusätzlich und unabhängig von der Haupthypothese, wurden Unterschiede im AAS der Baselineperiode mit einer ANOVA mit den Faktoren Epoche (Sekunden -5 bis -1) und Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) durchgeführt. Eine ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor Epoche (letzte Sekunde Baseline vs. erste Sekunde Vorstellungsaufgabe) und dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experte vs. Amateure vs. Nachwuchs) analysierte eine mögliche Veränderung der AAS zum Beginn der Bewegungsvorstellung. Bei signifikanten Effekten in anderen Elektrodenpositionen wurden ebenfalls Post-hoc- Analysen ergänzend durchgeführt (Faktoren: Epoche mal Expertise), um den Verlauf der AAS zu untersuchen. Um die Unterschiede im AAS zwischen den Gruppen zu Beginn der Handlungsphase, also in der 5. Sekunde zu untersuchen, wurde eine weitere ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) und dem Messwiederholungsfaktor Region (fp1fp2 vs. F3F4 vs. F7F8 vs. C3C4 vs. T3T4 vs. T5T6 vs. P3P4 vs. O1O2) durchgeführt.

2.10.2 Hypothesen: Unterschiede im emotionalen Erleben

Um zu überprüfen, ob sich die Skalen der abhängigen Maße (Fragebogendaten) zwischen den Gruppen unterscheiden, wurden ANOVAs mit dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) mit den jeweiligen Skalen als abhängige Maße durchgeführt.

2.10.3 Hypothesen: Zusammenhangsanalysen Emotionen und AAS

Es wurden diverse Produkt-Moment-Korrelationsanalysen (Pearson-Korrelation) durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen dem temporalen bzw. gesamthemisphärischen AAS und den Leistungsdaten sowie Fragebogendaten zu untersuchen. Für jedes abhängige Maß (Leistung, Fragebogenmaße) wurden drei Korrelationsanalysen durchgeführt, um zu überprüfen, ob der durchschnittliche AAS in der Vorbereitungsphase (Gesamt vs. T3T5 vs. T5T6) mit dem Maß korreliert. Da ein positiver AAS mit einer stärkeren relativen rechtshemisphärischen Aktivierung einhergeht, wurden positive Korrelationen erwartet.

Um den Zusammenhang einer Veränderung zwischen der 4. auf die 5. Sekunde mit den abhängigen Maßen zu überprüfen, wurden vorab Kontraste wie folgt berechnet (am Beispiel eines Kontrastes im Temporallappen bei T3 und T4):

1. Kontrast: $T3_{s4}$ minus $T3_{s5}$: positiver Wert = T3 Alpha nimmt ab
2. Kontrast : $T4_{s4}$ minus $T4_{s5}$: positiver Wert= T4 Alpha nimmt ab
3. Kontrast final: Kontrast 1 minus Kontrast 2: je positiver der Wert, desto stärker nimmt Alpha an T3 ab im Vergleich zu T4 (linke Hemisphäre wird stärker aktiviert als die rechte)

Somit sollte der finale Kontrast negativ mit den Maßen korrelieren (Je negativer der Wert, desto mehr Flow sollte vorhanden sein).

2.10.4 Hypothesen: Neural Efficiency

Um Unterschiede zwischen den Studiengruppen in der Alpha Power (sowie Alpha Power Veränderung ERS/ERS) in Abhängigkeit von der Gehirnregion zu analysieren, wurden

einzelne Elektrodenpositionen zusammengefasst und die Power-Werte gemittelt (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Berechnung der Alpha Power für jede Region

Für jede Region wurde die Alpha Power über die dazugehörigen Elektrodenpositionen gemittelt.

Frontal	Zentral	Temporal	Parietal	Okzipital	Gesamt
Fp1, F3, F7,	C3, CZ, C4	T3, T5, T4,	P3, PZ, P4	O1, O2	alle
FZ, Fp2, F4,		T6			Positionen
F8					

Unterschiede zwischen den Gruppen in der Alpha Power während der Vorbereitungsphase (Hypothese 4.1) wurde durch eine univariate ANOVA mit der abhängigen Variable Alpha Power (gemittelt über die Sekunden 1 bis 4) mit dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) sowie dem Messwiederholungsfaktor Region (frontal vs. zentral vs. temporal vs. parietal vs. okzipital) analysiert.

Zur Überprüfung der Veränderungen der Alpha Power in Abhängigkeit der Studiengruppe zwischen der letzten Sekunde der Baseline-Periode und der ersten Sekunde der Bewegungsvorstellung (ERS, siehe Hypothese 4.2), wurde eine ANOVA mit den Faktoren Expertise (Experte vs. Amateur vs. Nachwuchstalente), Epoche (Sekunde -1 vs. Sekunde 1) und Region (frontal vs. zentral vs. temporal vs. parietal vs. okzipital) durchgeführt.

Es wurden spezifische Annahmen über die Abnahme der Alpha Power (ERD) im motorischen Kortex kontralateral zur Schlaghand (an C3) in Abhängigkeit der Expertise gemacht (siehe Hypothese 4.3). Hier wurden die stärksten Effekte während der vorgestellten

Bewegungsausführung (also zwischen Sekunde vier und fünf) erwartet, mit einer kontinuierlichen Abnahme in der Vorbereitungsphase (von Sekunde 1 bis 5). Um die Veränderung (ERD) zwischen den Gruppen zu vergleichen, wurden Differenzwerte an beiden Elektrodenpositionen im motorischen Kortex (C3 und C4) berechnet (Alpha Sekunde 1 minus Alpha Sekunde 5). Hohe Werte sind hier gleichbedeutend mit einer starken ERD. Zum Abschluss wurde eine ANOVA mit der abhängigen Variablen ERD an C3 und Expertise als Zwischensubjektfaktor (Experten vs. Nachwuchstalente vs. Amateure) durchgeführt. Ergänzend wurde eine ANOVA mit den Faktoren Epoche (Sekunden -5 bis 7), Hemisphäre (C3 vs. C4) und Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) durchgeführt, um weitere Effekte über Baselineperiode und Bewegungsvorstellung Post-hoc zu untersuchen.

2.10.5 Statistische Voraussetzungen und Umgang mit Verletzungen

Bei jedem durchgeführten statistischen Test wurden alle relevanten statistischen Voraussetzungen geprüft. Im Statistikeil wird nicht gesondert auf die Voraussetzungen eingegangen, es sei denn, dass die Voraussetzungen nicht erfüllt wurden. Im Folgenden werden die Voraussetzungen verdeutlicht, Prüfgrößen dargestellt und der jeweilige Umgang mit eventuellen Verletzungen erläutert

Ausreißer

Vor der Durchführung von Varianzanalysen wurde jede Variable auf Ausreißer untersucht. Ausreißer über 3 Standardabweichungen sollten aus den Analysen ausgeschlossen werden. Es gab keine Ausreißer, somit wurden keine Probanden aus den Analysen ausgeschlossen.

Unabhängigkeit

Alle Stichproben wurden unabhängig voneinander erhoben. Dies ist ein entscheidendes Kriterium zur statistischen Analyse, da die Varianzanalyse sehr empfindlich gegen eine Abweichung von der Unabhängigkeit ist. Die Verletzung der Unabhängigkeit kann zu einem drastischen Ansteigen der wahren Irrtumswahrscheinlichkeit führen (Bühner & Ziegler, 2009)

Normalverteilung

Alle Alpha-Werte wurden vor der statistischen Analyse natürlich logarithmiert, um die Normalverteilung der Daten sicherzustellen. Trotzdem wurde jede einzelne Variable getrennt auf Normalverteilung getestet. Hierfür wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet, welcher die Abweichungen zwischen der vermuteten theoretischen und der tatsächlich beobachteten empirischen Verteilungsfunktion von einer Variablen misst. Die Null-Hypothese lautet, dass die Verteilungsfunktion eine Normalverteilung ist. Sollte die Voraussetzung der Normalverteilung bei zu analysierenden abhängigen Variablen der Hauptanalysen verletzt worden sein, wird dies im Ergebnisteil berichtet. Da ANOVAs sehr robust sind gegen die Verletzung der Normalverteilung (Bühner & Ziegler, 2009), werden Verletzungen zwar berichtet, aber Analysen trotzdem durchgeführt.

Varianzhomogenität

Eine wichtige Voraussetzung bei der Durchführung von Varianzanalysen (ANOVA und t-Test für Mittelwertvergleiche) ist die Gleichheit der Varianzen der Untersuchungsgruppen. Die Varianzen der Grundgesamtheiten, aus denen die Stichproben stammen, müssen somit immer gleich sein. Bei Zwischen-Subjekt Faktoren wurde der Levene- Test durchgeführt, um

auf Homoskedastizität zu testen. Die Varianzanalyse ist dann sehr robust gegen die Verletzung der Varianzhomogenität, wenn die Untersuchungsgruppen gleich groß sind, was bei dieser Studie gegeben ist (siehe Tabelle 2). Deshalb werden ANOVAs auch bei der Verletzung der Annahme von Homogenität der Varianzen durchgeführt. Sollte die Annahme verletzt sein, wird dies im Statistikeil berichtet.

Bei Varianzanalysen mit Messwiederholungsfaktoren müssen die Varianzen aller Stichproben gleich und die Korrelationen zwischen den einzelnen Faktorstufen homogen sein (Annahme von Sphärizität). Dies wird durch den Mauchly-W-Test überprüft. Dieser Test überprüft die Annahme (0- Hypothese), dass die Varianz in allen Bedingungen gleich und ihre Kovarianz 0 ist. Bei einem signifikanten Ergebnis, müssen F- Wert (und Freiheitsgrade) korrigiert werden. Typischerweise wird hier die Greenhouse- Geisser Korrektur angewandt, welche eine konservative Korrekturmethode darstellt (Bühner & Ziegler, 2009). Kleine Stichproben führen zu einer geringen Teststärke des Mauchly-Tests und somit auch dazu, dass Sphärizität angenommen wird, obwohl sie eigentlich nicht vorliegt.

Statistische Kenngrößen

Alle Analysen wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0.05$ durchgeführt. Effektstärken wurden bei Haupt- und Interaktionseffekten von ANOVAS mit partiellem η^2 angegeben. Partielles η^2 wird von SPSS standardmäßig als Effektgröße berechnet und wird nach folgender Formel berechnet.

$$\text{Partial } \eta^2 = \text{QS}_{\text{Effekt}} / (\text{QS}_{\text{Effekt}} + \text{QS}_{\text{Inn}})$$

QS_{Effekt} = Quadratsummen des Effektes

QS_{inn} = Quadratsummen des Fehlers

Formel 1: Berechnung der Effektstärke partielles η^2

Formel zur Berechnung der Effektstärke bei Varianzanalysen (ANOVA).

Eta² wird nach Cohen (1988) wie folgt klassifiziert: $\eta^2 > .001$ ist ein kleiner, $\eta^2 > .06$ ist ein mittlerer und $\eta^2 > .14$ ein großer Effekt. Hier ist jedoch zu erwähnen, dass es sich beim partiellen η^2 um eine Effektgröße handelt, welche die Quadratsummen eines jeden Effektes nicht an den gesamten Quadratsummen aller Effekte standardisiert. Die wahren Effektgrößen werden durch das partielle η^2 somit überschätzt. Die statistischen Analysen dieser Arbeit sind ausschließlich gemischt-faktorielle Designs mit Zwischensubjektfaktoren sowie Messwiederholungsfaktoren, welche die Gesamtquadratsummen in Quadratsummen von Zwischensubjekt und Messwiederholungsfaktoren, sowie deren Interaktionen, aufteilt. Die Berechnung der tatsächlichen Effektstärken (in η^2) ist bei diesem gemischten Design sehr komplex und wird in Statistikbüchern oft nicht behandelt (Bühner & Ziegler, 2009). Auch Veröffentlichungen in vielen hochrangigen Journalen beachten nicht die unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen von Effektgrößen bei gemischt mehrfaktoriellen Varianzanalysen (Richardson, 2011). Die Interpretation des partiellen η^2 wird in dieser Arbeit somit sehr vorsichtig und im Bewusstsein möglicher Überschätzungen des Effektes, vollzogen. Die Effektstärken der t-Tests werden bei unabhängigen Stichproben mit Cohen's d und bei abhängigen Stichproben mit Cohen's dz angegeben und gemäß den Formeln 2 und 3 berechnet. Zur Berechnung von Cohen's d und dz wurde das Statistikprogramm G*Power verwendet (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007).

$d = \frac{M_{x1} - M_{x2}}{\sqrt{\frac{sd_1^2 + sd_2^2}{2}}}$	M_{x1} = Mittelwert Gruppe 1
	M_{x2} = Mittelwert Gruppe 2
	SD_1 = Standardabweichung Gruppe 1
	SD_2 = Standardabweichung Gruppe 2

Formel 2: Berechnung der Effektstärke Cohen's d bei unabhängigen Vergleichen

Formel zur Berechnung der Effektstärke bei Mittelwertvergleichen bei unabhängigen Stichproben (t-Tests)

$dz = \frac{M_{x1} - M_{x2}}{\sqrt{sd_1^2 + sd_2^2 - 2 * r_{12} * sd_1 + sd_2}}$	M_{x1} = Mittelwert Testzeitpunkt 1
	M_{x2} = Mittelwert Testzeitpunkt 2
	SD_1 = Standardabweichung Testzeitpunkt 1
	SD_2 = Standardabweichung Testzeitpunkt 2
	r_{12} = Korrelation zwischen den Messwerten T1 und T2

Formel 3: Berechnung der Effektstärke Cohen's d bei abhängigen Vergleichen

Formel zur Berechnung der Effektstärke bei Mittelwertvergleichen bei abhängigen Stichproben und Messwiederholungsfaktoren (t-Tests)

Nach Cohen (1988) wird die Stärke des Effektes folgendermaßen klassifiziert: $d = 0.2$ ist ein kleiner, $d = 0.5$ ist ein mittlerer und $d = 0.8$ ist ein großer Effekt. Bei gerichteten Hypothesen und t-Tests oder Korrelationen wurde immer einseitig getestet und das Alpha-Niveau halbiert. Im Falle einer gerichteten Hypothese, eines bedeutsamen Effektes (im Sinne Cohens oder durch Einschätzung der Bedeutsamkeit durch den Autor dieser Arbeit), aber mangelnder Signifikanz, wurde Post-hoc die Teststärke und der Beta- Fehler berechnet, um die Wahrscheinlichkeit zu bestimmen die H_0 - Hypothese beizubehalten, obwohl H_1 zutrifft. Bei geringer Teststärke, aber gegebenem Effekt, wird die Problematik mangelnder Power

(geringer Stichprobenumfang) diskutiert. Die Teststärke und der Beta- Fehler wurde ebenfalls mit G*Power berechnet (Faul, et al., 2007).

Darstellung statistischer Ergebnisse

Alle Effekte werden grafisch in Form von Balken oder Liniendiagrammen dargestellt. Fehlerbalken repräsentieren immer den Standardfehler. Zur besseren Übersicht werden Ergebnisse der ANOVA in tabellarischer Form dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Funktionelle Aktivierungs-Asymmetrie

3.1.1 Hypothese 1.1: AAS in der Vorbereitungsphase

Um zu überprüfen, ob die Alpha-Asymmetrie bei Experten im Vergleich mit Nachwuchstalenten und Amateuren in der Vorbereitungsphase am stärksten ausgeprägt war, sind die AAS über alle Epochen in Abbildung 3 dargestellt.

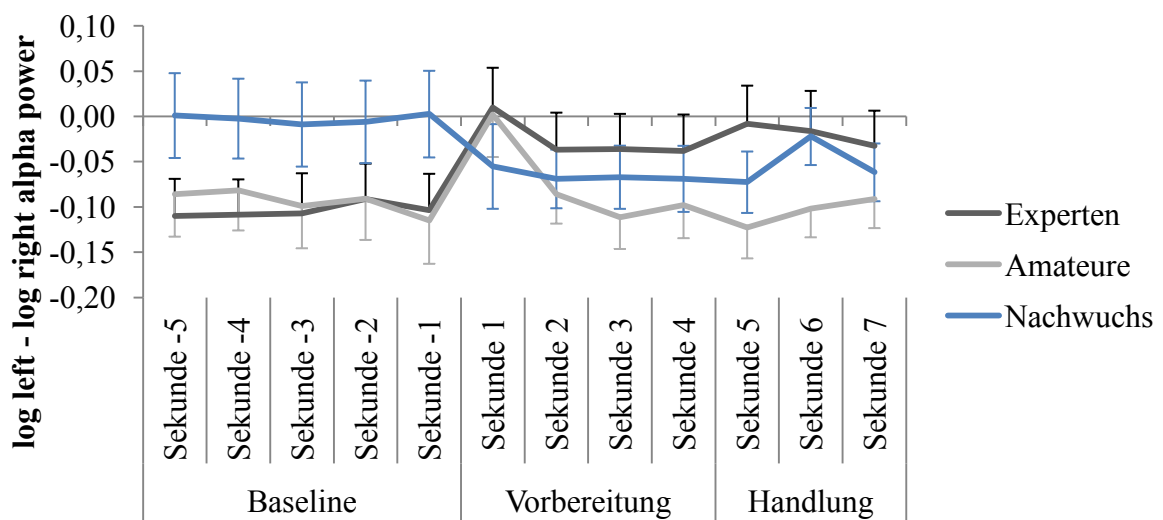


Abbildung 3: AAS über Baseline, Vorbereitungs- und Handlungsphase

Mittelwerte der gesamthemisphärischen logarithmierten Alpha-Asymmetrie sind in der Baseline, in der motorischen Vorbereitungs- und in der Handlungsphase für jede Studiengruppe dargestellt.

Die Baseline-Periode ist als Sekunde -5 bis -1 dargestellt, die Vorbereitungsphase dauert von Sekunde 1 bis 4 und die Handlungsphase beginnt bei Sekunde 5. Nachwuchstalente wiesen deskriptiv in der Baseline deutlich höhere AAS auf als die anderen Gruppen. Ebenso gab es zu Beginn der Bewegungsvorstellungsaufgabe einen deutlichen Anstieg bei Experten und Amateuren, jedoch einen Abfall bei den Nachwuchstalenten. Wie erwartet, zeigten Experten in der Vorbereitungsphase einen größeren AAS als Amateure und Nachwuchstalente, also

mehr relative linkshemisphärische Alpha Power und damit eine stärkere linkshemisphärische Inhibierung. Diese Unterschiede wurden, ebenfalls wie erwartet, maximal zwischen 4. und 5. Sekunde (Übergang zur Handlungsphase).

Um die Hypothese, dass Experten einen höheren (temporalen) AAS in der Vorbereitungsphase (Sekunde 1 bis 4) aufweisen als Nachwuchstalente und diese wiederum höhere Werte als Amateure, wurde eine ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren Epoche (Sekunde 1 vs. 2 vs. 3 vs. 4), Region (Fp1Fp2 vs. F3F4 vs. F7F8 vs. C3C4 vs. T3T4 vs. T5T6 vs. P3P4 vs. O1O2) und dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) durchgeführt. Der Levene-Test wurde bei folgenden abhängigen Variablen signifikant: AAS bei Fp1Fp2 in Sekunde 1 ($p < .05$), AAS bei O1O2 in Sekunde 2 ($p < .05$), AAS bei Fp1Fp2 in Sekunde 3 ($p < .05$) sowie AAS bei Fp1Fp2 in Sekunde 4 ($p < .05$). Ergebnisse des Mauchly Tests auf Sphärizität legen nahe, dass die Voraussetzung der Varianzhomogenität der Faktoren Region ($\chi^2(27) = 41.772, p < .05$) und der Wechselwirkung Epoche und Region ($\chi^2(230) = 359.485, p < .001$) verletzt wurde. Deshalb wurden die Freiheitsgrade mit der Greenhouse-Geisser Schätzmethode für Sphärizität korrigiert ($\epsilon = 0.76$ für Region und $\epsilon = 0.54$ für Epoche und Region).

Die Ergebnisse der ANOVA sind in Tabelle 14 dargestellt. Wider Erwarten unterschied sich der AAS nicht signifikant zwischen den Gruppen (Haupteffekt Expertise).

Tabelle 14: ANOVA zu den Veränderungen der AAS in der Vorbereitungsphase in Abhängigkeit der Hirnregion und Expertise

Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau der Effekte der ANOVA mit der gesamthemisphärischen Alpha-Asymmetrie als abhängiges Maß. Zwischensubjektfaktor war die Expertise (Studiengruppe) und Messwiederholungsfaktoren waren die Epoche (Sekunde 1 bis 4) und die Hirnregion (frontal vs. temporal vs. zentral vs. parietal vs. okzipital)

Varianzquelle	Df	F	partial η^2	p
Expertise	2	.594	.028	.56
Fehler	41			
Epoche	3	.381	.009	.77
Fehler	123			
Epoche * Expertise	6	.456	.022	.84
Fehler	123			
Region	7	1.504	.035	.19
Fehler	219.021			
Region * Expertise	14	2.785**	.120	.002
Fehler	219.021			
Epoche * Region	21	2.785	.023	.48
Fehler	461.362			
Epoche * Region * Expertise	42	0.725	.034	.90
Fehler	461.362			

** = Signifikanzniveau $\alpha < .01$

Jedoch gab es einen signifikanten Interaktionseffekt aus Expertise und Region, welcher in Abbildung 4 dargestellt ist.

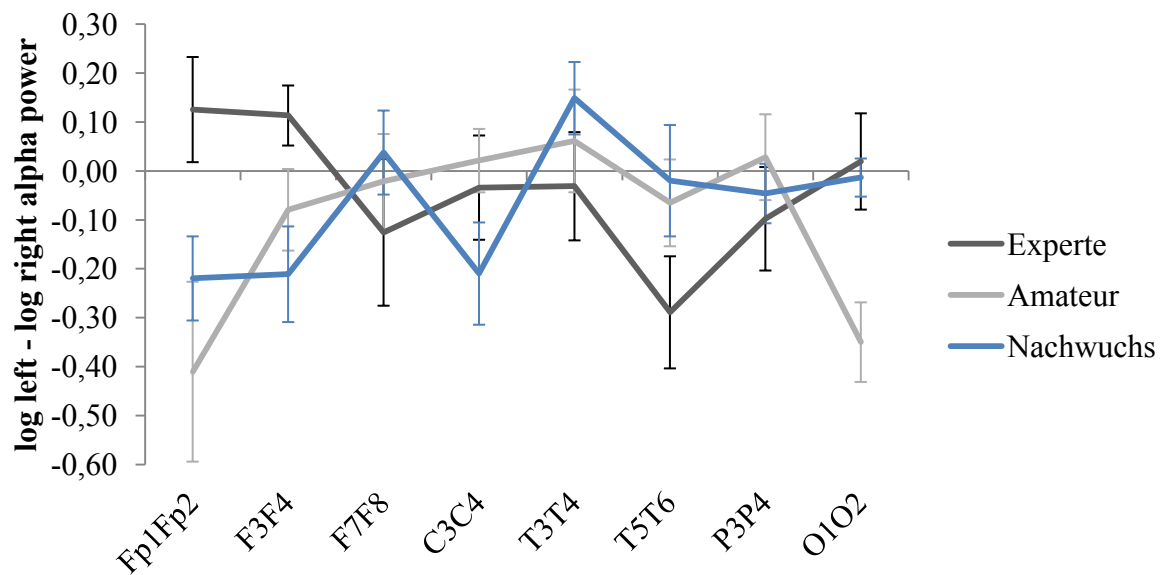


Abbildung 4: Interaktionseffekt aus Expertise und Region im AAS in der Vorbereitungsphase

Dargestellt sind die Alpha-Asymmetrie-Scores (AAS) in der Vorbereitungsphase (gemittelt über Sekunde 1 bis 4) in Abhängigkeit der Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) und der Hirnregion. Fp, frontopolar. F, frontal. C, zentral. T, temporal. P, parietal. O, okzipital.

Die Hypothese, dass Experten (neben dem gesamthemisphärischen Asymmetrieeffekt), vor allem mehr relatives links temporales Alpha im Vergleich zu Amateuren und Nachwuchstalenten aufweisen sollten, konnte nicht bestätigt werden. Wie in Abbildung 4 zu erkennen, wiesen Experten bei T3T4 wie auch bei T5T6 einen geringeren AAS auf als die beiden anderen Gruppen. Post-hoc Tests³ zeigten jedoch, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen weder bei T3T4 ($F[2,41] = 0.844, p = .44, partial \eta^2 = .04$) noch bei T5T6 ($F[2,41] = 1.804, p = .18, partial \eta^2 = .081$) signifikant wurden. Bei den frontopalen Elektroden und den Elektroden an F3F4 zeigten Experten deskriptiv zwar deutlich höhere AAS als Amateure und

³ Es wird an dieser Stelle die Bonferroni Korrektur verwendet und das Alpha- Niveau dividiert durch 8 und somit auf 0.0063 herabgesetzt, da acht einzelne Vergleiche aus der selben Hypothesenfamilie (gesamthemisphärische Asymmetrie) untersucht werden.

Nachwuchstalente, doch aufgrund der Bonferroni- Korrektur waren die Unterschiede weder frontopolar ($F[2,41] = 4.050, p = .03, \text{partial } \eta^2 = .165$) noch bei F3F4 ($F[2,41] = 3.795, p = .03, \text{partial } \eta^2 = .155$) signifikant. Auch bei F7F8 ($F[2,41] = .529, p = .59, \text{partial } \eta^2 = .025$), C3C4 ($F[2,41] = 1.696, p = .20, \text{partial } \eta^2 = .076$) und P3P4 ($F[2,41] = .540, p = .59, \text{partial } \eta^2 = .026$) gab es keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Die einzigen signifikanten Unterschiede im AAS zeigten sich okzipital ($F[2,41] = 7.295, p < .006, \text{partial } \eta^2 = .262$). Hier wiederum durchgeführte Post-hoc Tests (Bonferroni) ergaben, dass Experten sowie Nachwuchstalente signifikant höhere okzipitale AAS aufweisen als Amateure ($p < .01$ für beide Gruppen). Kein Unterschied bestand zwischen Experten und Nachwuchstalenten ($p = 1$). Experten und Nachwuchstalente zeigen somit links okzipital deutlich mehr Alpha Power (relativ zu rechts okzipital) als Amateure.

Weitere Post-hoc Tests zu Unterschieden in den AAS zwischen den Regionen innerhalb jeder Gruppe⁴, ergaben keine Unterschiede zwischen den Regionen bei Experten ($F[7,91] = 1.519, p = .17, \text{partial } \eta^2 = .105$). Bei Amateuren war der Mauchly Test auf Sphärizität signifikant ($\chi^2(27) = 44.49, p < .05$) und die Freiheitsgrade wurden mit der Greenhouse-Geisser Schätzmethode für Sphärizität korrigiert ($\epsilon = 0.45$). Der Faktor Region war nicht signifikant ($F[7,98] = 3.206, p = .03, \text{partial } \eta^2 = .105$). Bei Nachwuchstalenten zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Regionen ($F[7,98] = 2.559, p < .02, \text{partial } \eta^2 = .155$). Weitere Post-hoc Tests (Bonferroni) zeigten jedoch keine signifikanten Unterschiede der einzelnen Paare. Lediglich der AAS bei T3T4 war marginal signifikant höher als der AAS frontopolar ($p = .079$).

⁴ Hier wurde das Alpha-Niveau dividiert durch 3 und damit auf .02 herab gesetzt

3.1.2 Hypothese 1.2: Veränderung der AAS zwischen 4. und 5. Sekunde

Wie in Abbildung 3 bereits dargestellt, wurde der AAS bei Experten zum Ende der Vorbereitungsphase größer, bei Amateuren wurde er kleiner und bei Nachwuchstalenten blieb er etwa konstant. Zur Überprüfung der Hypothese wurde eine ANOVA mit den Faktoren Epoche (4. vs. 5. Sekunde), Region (Fp1Fp2 vs. F3F4 vs. F7F8 vs. C3C4 vs. T3T4 vs. T5T6 vs. P3P4 vs. O1O2) und dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) durchgeführt. Der Levene-Test zeigte bei den frontopolen Asymmetrien der 4. ($p < .05$) sowie 5. ($p < .05$) Sekunde ein signifikantes Ergebnis. Auch die Varianzhomogenität der okzipitalen Asymmetrie der 5. Sekunde kann als nicht gesichert angesehen werden ($p < .05$). Ergebnisse des Mauchly Tests auf Sphärizität legen nahe, dass die Voraussetzung der Varianzhomogenität der Faktoren Region ($\chi^2(27) = 46.009, p < .05$) und der Wechselwirkung Epoche und Region ($\chi^2(27) = 65.028, p < .001$) verletzt wurde. Deshalb wurden die Freiheitsgrade mit der Greenhouse-Geisser Schätzmethode für Sphärizität korrigiert ($\varepsilon = 0.74$ für Region und $\varepsilon = 0.71$ für Epoche und Region). Die Ergebnisse der ANOVA sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: ANOVA zu den Veränderungen der AAS zwischen der Vorbereitungs- und Handlungsphase in Abhängigkeit der Hirnregion und Expertise

Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau der Effekte der ANOVA mit der gesamthemisphärischen Alpha-Asymmetrie als abhängiges Maß. Zwischensubjektfaktor war die Expertise (Studiengruppe) und Messwiederholungsfaktoren waren die Epoche (Sekunde 4 und 5) und die Hirnregion (frontal vs. temporal vs. zentral vs. parietal vs. okzipital)

Varianzquelle	Df	F	partial η^2	p
Expertise	2	1.116	.052	.34
Fehler	41			
Epoche	1	.004	0	.95
Fehler	41			
Epoche * Expertise	2	3.691*	.153	.03
Fehler	41			
Region	7	1.822	.043	.11
Fehler	213.428			
Region * Expertise	14	2.149*	.095	.02
Fehler	213.428			
Epoche * Region	7	.737	.018	.60
Fehler	202.929			
Epoche * Region * Expertise	14	0.72	.034	.70
Fehler	202.929			

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$

Die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Epoche und Expertise, welche den Anstieg der AAS bei Experten und den Abfall bei Amateuren anzeigt, war signifikant. Die Interaktion wird grafisch in Abbildung 5 verdeutlicht.

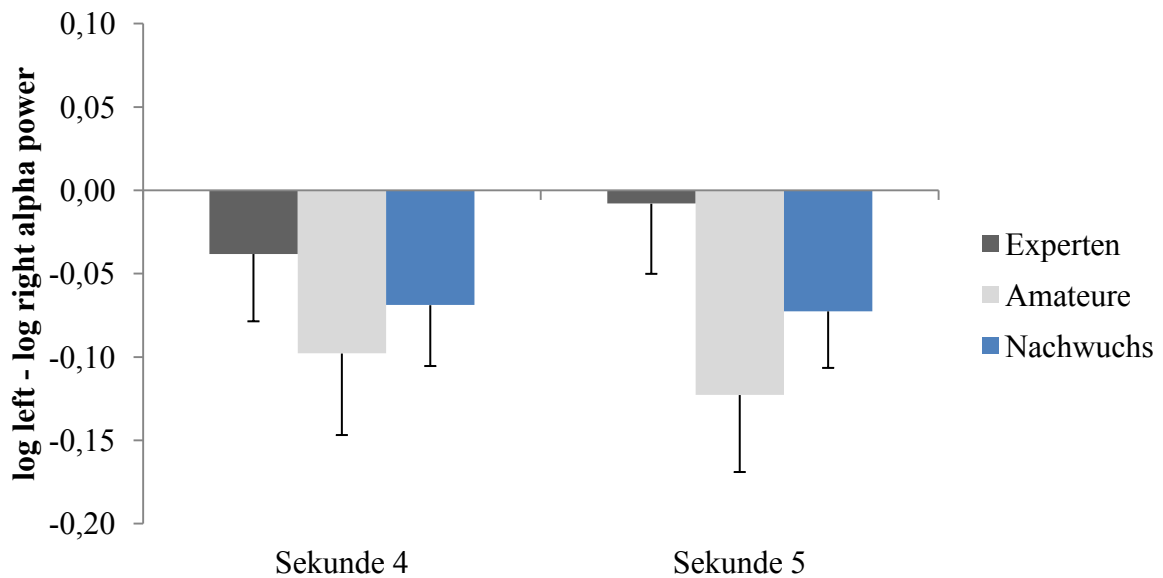


Abbildung 5: Interaktionseffekt der Veränderung des AAS zwischen Vorbereitung und Handlung in Abhängigkeit der Expertise

Dargestellt sind die Alpha-Asymmetrie-Scores (AAS) zwischen der Vorbereitungs- und Handlungsphase (Sekunde 4 und Sekunde 5) in Abhängigkeit der Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente).

Post-hoc Tests⁵ zeigten keine Unterschiede im AAS zwischen den Gruppen zur 4. Sekunde ($F[2,41] = 0.491, p = .62, partial \eta^2 = .023$). Auch in der 5. Sekunde unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant ($F[2,41] = 1.939, p = .18, partial \eta^2 = .086$). Da jedoch der Unterschied in der 5. Sekunde a priori angenommen wurde, wurden 3 t-Tests für unabhängige

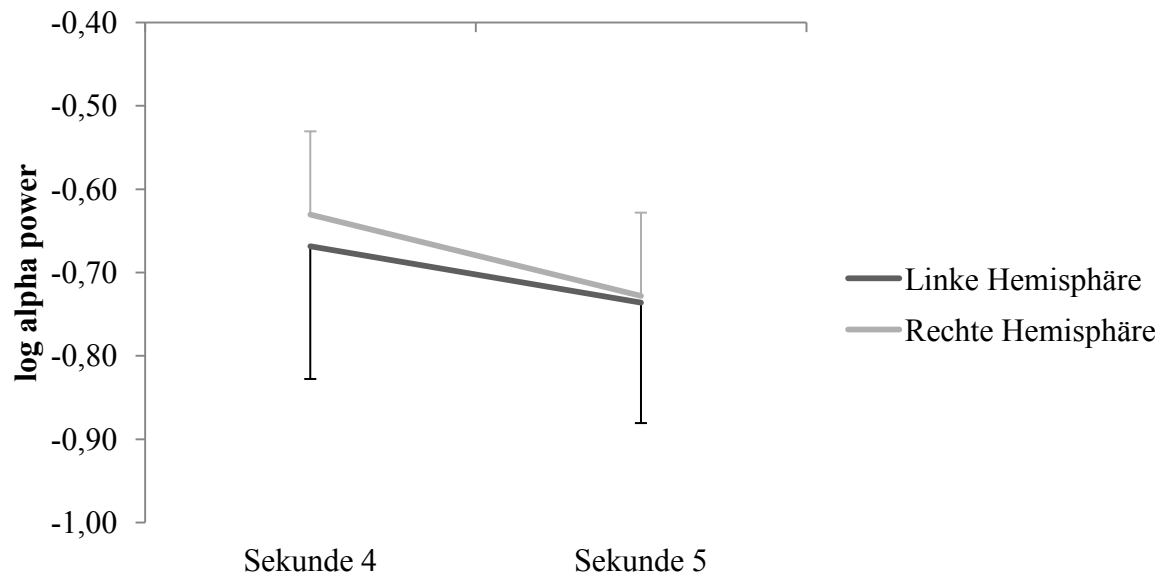
⁵ An dieser Stelle werden keine Bonferroni Korrekturen des Alpha- Niveaus für Mehrfachvergleiche vorgenommen, da die gefunden Effekte exakt den a priori erwarteten Effekten entspricht. Es müssen somit keine Post- Hoc Korrekturen vorgenommen werden

Stichproben durchgeführt und einseitig getestet⁶. Experten und Amateure unterschieden sich signifikant, zudem bei einer hohen Effektstärke ($t(27) = 1.829, p < .05, d = .68$). Unterschiede zwischen Amateuren und Nachwuchstalenten ($t(28) = 0.876, p = .19, d = .32$) sowie zwischen Experten und Nachwuchstalenten ($t(27) = 1.203, p = .17, d = .45$) wurden nicht signifikant. Jedoch sollte man beachten, dass für die beiden letzten Vergleiche die Effektstärken nach Cohen (1988) mittelstark waren und die Teststärken bei $df = 27$ bzw. $df = 28$ sehr gering waren (0.21 vs. 0.31). Somit ist die Wahrscheinlichkeit einen Fehler 2. Art zu begehen, also die 0- Hypothese fälschlicherweise beizubehalten, sehr hoch.

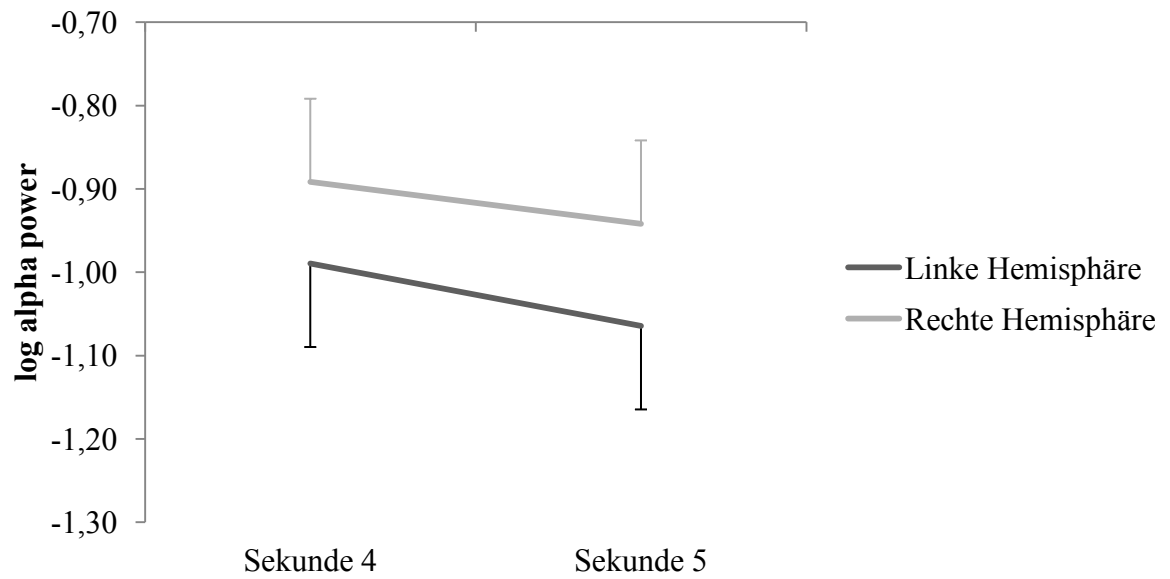
Hinsichtlich der Veränderungen der AAS innerhalb der jeweiligen Gruppe ergaben abhängige t-Tests (auch hier wurde einseitig getestet) einen marginal signifikanten Anstieg bei Experten ($t(13) = 1.649, p = .06, dz = .44$) mit einer mittleren Effektstärke und einer signifikanten Abnahme des AAS bei Amateuren ($t(14) = 2.248, p < .05, dz = .58$) mit einer großen Effektstärke. Keine signifikante Veränderung gab es bei den Nachwuchstalenten ($t(14) = 0.280, p = .78, dz = .11$). Um zu überprüfen, ob die Veränderung der AAS innerhalb der Amateure durch eine Verringerung linkshemisphärischen Alpha Power zustande kam und innerhalb der Experten durch einen rechtshemisphärischen Rückgang der Alpha Power, wurden weitere Post-hoc Tests durchgeführt, in welchen die Veränderungen jeder einzelnen Hemisphäre untersucht wurde. Die Folgende Abbildung zeigt die Veränderungen der Alpha Power zwischen der 4. und 5. Sekunde getrennt für jede Gruppe und in Abhängigkeit der Hemisphäre.

⁶ Bei einseitigem Testen wurde immer das Alpha-Niveau durch 2 geteilt

(a) Experten



(b) Amateure



(c) Nachwuchstalente

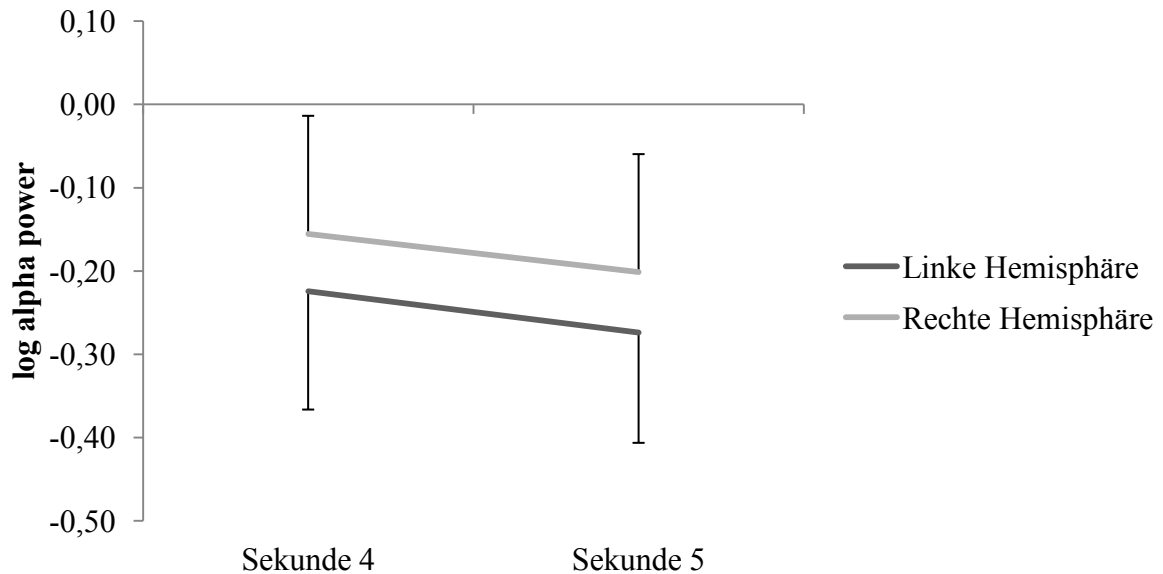


Abbildung 6: Veränderungen der Alpha Power zwischen der 4. und 5. Sekunde in Abhängigkeit der Hemisphäre und der Expertise

Dargestellt ist die Alpha Power zwischen der Vorbereitungs- und Handlungsphase (Sekunde 4 und Sekunde 5) in Abhängigkeit der Hemisphäre. (a) Verlauf bei Experten, (b) Verlauf bei Amateuren, (c) Verlauf bei Nachwuchstalenten.

Wie erwartet, weisen Experten rechtshemisphärisch eine deutlich stärkere Alpha Power Abnahme auf als linkshemisphärisch (stärkere relative Aktivierung der rechten Hemisphäre). Bei Amateuren ist es genau entgegengesetzt. Sie zeigen eine starke linkshemisphärische Desynchronization (stärkere linkshemisphärische Aktivierung). Einseitige t-Tests mit den berechneten Kontrasten der Veränderung zwischen der 4. und 5. Sekunde jeweils links bzw. rechtshemisphärisch, ergaben bei allen sechs Vergleichen keine signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen. Betrachtet man somit die Veränderungen separat für jede Hemisphäre, zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Wie erwartet, wiesen Amateure in Sekunde 5 mehr rechts- als linkshemisphärisches Alpha auf ($t(14) = 2.659, p <$

.05, $dz = .69$), wohingegen es bei Experten keinen ($t(13) = 0.190$, $p = .85$, $dz = .05$) und bei Nachwuchstalenten einen geringeren Unterschied gab ($t(14) = 2.659$, $p = .05$, $dz = .56$). Bei Amateuren war also im entscheidenden Momente die linke Hemisphäre stärker aktiviert als die rechte.

Zudem war bei allen Gruppen eine Verringerung der Alpha Power über beide Hemisphären zu erkennen (ERD) und deutlich mehr rechtshemisphärische als linkshemisphärische Alpha-Aktivität. Eine ANOVA ergab sowohl einen signifikanten Haupteffekt Epoche ($F[1,41] = 13.671$, $p < .001$, $partial \eta^2 = .25$) als auch einen signifikanten Haupteffekt Hemisphäre ($F[1,41] = 8.229$, $p < .01$, $partial \eta^2 = .167$). Insbesondere auf die ERD (Haupteffekt Epoche) wird im Abschnitt 3.4.3 Neural Efficiency noch einmal eingegangen.

Wie in Tabelle 15 dargestellt, wurde neben dem eben ausführlich dargestellten Interaktionseffekt aus Epoche und Expertise die Wechselwirkung aus den Faktoren Region und Expertise signifikant. Diese Interaktion ist von Ihrem Effekt nahezu identisch zur gefundenen Wechselwirkung in der Vorbereitungsphase (siehe Tabelle 14 sowie Abbildung 4).

Es wurde erwartet, dass die Veränderung zwischen der vierten und fünften Sekunden am stärksten im Temporallappen (T3T4) zu finden ist. Die Wechselwirkung aus Epoche, Region und Expertise wurde jedoch nicht signifikant. Da dieser Effekt a priori erwartet wurde, wurden trotzdem acht ANOVAS gerechnet und die Effektstärken der Wechselwirkung aus Epoche und Expertise verglichen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Wechselwirkungen aus Epoche (Sekunde 4 und 5) und Expertise in der Alpha-Asymmetrie bei allen Hirnregionen

Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau der Interaktionseffekte aus Epoche und Expertise, jeweils separat für jede Hirnregion. Fp, frontopolar. F, frontal. T, temporal. C, zentral. P, parietal. O, okzipital.

Varianzquelle	df	F	partial η^2	p
Fp1/Fp2				
Epoche*Expertise	2	0.194	.009	.82
Fehler	41			
F3/F4				
Epoche*Expertise	2	0.667	.032	.52
Fehler	41			
F7/F8				
Epoche*Expertise	2	0.037	.002	.96
Fehler	41			
T3/T4				
Epoche*Expertise	2	2.081	.092	.14
Fehler	41			
T5/T6				
Epoche*Expertise	2	1.285	.059	.29
Fehler	41			
C3/C4				
Epoche*Expertise	2	0.768	.036	.47
Fehler	41			

Varianzquelle	df	F	partial η^2	p
P3/P4				
Epoche*Expertise	2	1.291	.059	.29
Fehler	41			
O1/O2				
Epoche*Expertise	2	1.079	.050	.35
Fehler	41			

Der stärkste Effekt, wenn auch nicht signifikant, wurde im Temporallappen (T3/T4) gefunden. Der großer F-Wert sowie das partielle eta² sprechen dafür, dass die Power zu gering ist und mit einer größeren Stichprobe signifikant werden würde. Abbildung 7 zeigt, dass der temporale AAS bei Experten stärker steigt als bei Nachwuchstalenten und bei Amateuren und dass der temporale AAS bei Amateuren sinkt. Insgesamt haben aber die Nachwuchstalente den am stärksten ausgeprägten temporalen AAS im Vergleich zu Experten und Amateuren.

Da die Unterschiede in den Veränderungen der temporalen AAS zwischen den Gruppen a priori angenommen wurden, werden an dieser Stelle drei Vergleiche der a priori berechneten Kontraste der Veränderungen der AAS zwischen 4. und 5. Sekunde berichtet (einseitige t-Tests). Es wurde angenommen, dass der temporale AAS bei Experten signifikant stärker ansteigt als bei Amateuren. Der Unterschied in der Veränderung der beiden Gruppen war signifikant und wies eine sehr hohe Effektstärke auf ($t(27) = 1.926, p < .05, d = .72$). Es gab jedoch weder Unterschiede zwischen Experten und Nachwuchstalenten ($t(27) = 1.178, p = .249, d = .44$), noch zwischen Amateuren und Nachwuchstalenten ($t(28) = 0.956, p = .35, d = .35$). Eine univariate ANOVA ergab keine Unterschiede zwischen den Gruppen in der 5. Sekunde ($F[2,41] = 2.0819, p = .14, partial \eta^2 = .092$).

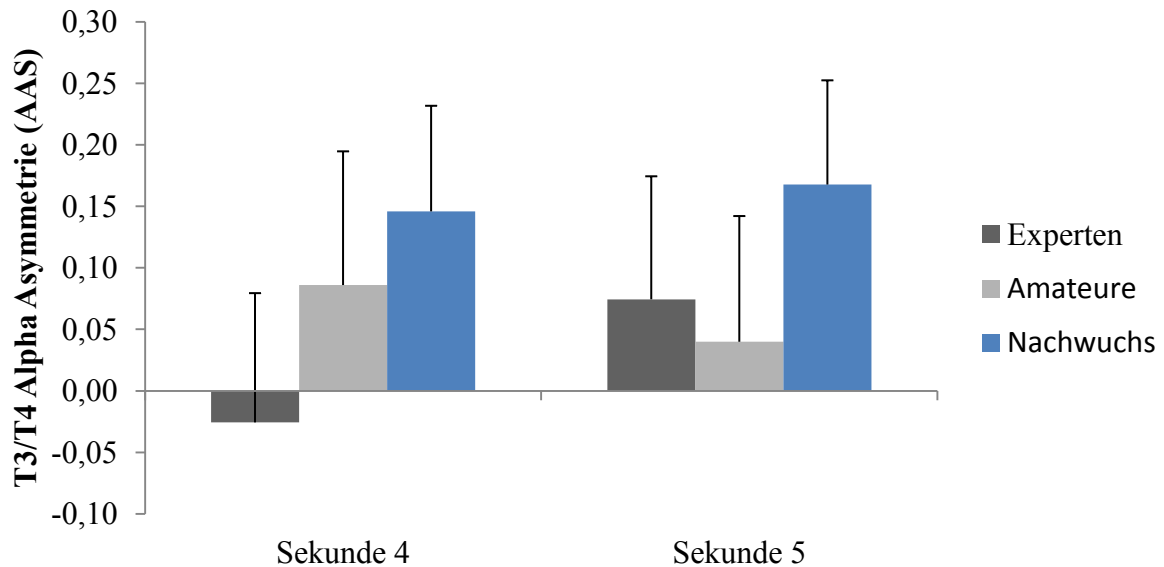


Abbildung 7: Interaktionseffekt der Veränderung des temporalen (T3T4) AAS zwischen Vorbereitung und Handlung in Abhängigkeit der Expertise

Dargestellt sind die temporalen Alpha-Asymmetrie-Scores (AAS) zwischen der Vorbereitungs- und Handlungsphase (Sekunde 4 und Sekunde 5) in Abhängigkeit der Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente).

Um den Einfluss anderer Hirnregionen auf die Unterschiede zwischen den Gruppen in der 5. Sekunde zu untersuchen, wurde eine ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten versus Amateure versus Nachwuchstalente) und dem Messwiederholungsfaktor Region (Fp1Fp2 vs. F3F4 vs. F7F8 vs. C3C4 vs. T3T4 vs. T5T6 vs. P3P4 vs. O1O2) hinsichtlich der AAS in der 5. Sekunde gerechnet. Wie auch schon in der Vorbereitungsphase (siehe Tabelle 14 und Abbildung 4) gab es eine signifikante Interaktion aus der Expertise und Hirnregion ($F[2,41] = 1.934, p < .05, partial \eta^2 = .086$). Die Ergebnisse sind vergleichbar mit der ANOVA der Vorbereitungsphase. Deshalb wird hier auf Abbildung 4 verwiesen. Die einzigen signifikanten Unterschiede (nach Bonferroni Korrektur) zwischen den Gruppen zeigte sich, wie schon in der Vorbereitungsphase, im Okzipitallappen ($p < .001$). Experten und Nachwuchstalente unterschieden sich nicht in ihren okzipitalen AAS ($p = .60$). Amateure

hatten aber einen signifikant niedrigeren AAS als Experten ($p < .001$) und Nachwuchstalente ($p < .05$). Die Unterschiede in der fünften Sekunde sind somit insbesondere durch Unterschiede im Okzipitallappen erklärbar.

3.1.3 Zusätzliche Post-hoc Analysen

Deskriptiv fanden sich Unterschiede, die über die direkten Analysen zur Überprüfung der Hypothesen hinausgehen. Sie sind aber für die Diskussion relevant und werden deshalb im Folgenden vorgestellt.

AAS in der Baseline-Periode

Wie bereits unter 3.1.1 (siehe Abbildung 3) angesprochen, unterschied sich auf rein deskriptiver Ebene der AAS in der Baselineperiode zwischen den Gruppen. Diese Unterschiede erwiesen sich aber nicht als signifikant.

AAS zwischen Baseline und Vorbereitungsphase

Aus Abbildung 3 ist ein deutlicher Anstieg des AAS zwischen der letzten Sekunde der Baseline-Periode und der Bewegungsvorstellung ersichtlich. Eine ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor Epoche (letzte Sekunde Baseline vs. erste Sekunde Vorstellungsaufgabe) und dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experte vs. Amateure vs. Nachwuchs), ergab eine signifikante Interaktion $F[2,41] = 4.89, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .193$), sowie einen signifikanten Haupteffekt Epoche $F[1,41] = 4.810, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .034$). Da es sich um eine disordinale Interaktion handelt, in welcher sich die Rangreihen für den

Haupteffekt Epoche zwischen den Gruppen ändern, kann der Haupteffekt an dieser Stelle nicht interpretiert werden. Zur Erklärung der Interaktion wurden 9 Post-hoc Tests durchgeführt: zwei univariate ANOVAs jeweils zu Epoche 1 und 2 (entsprechen 6 t-Tests) sowie 3 abhängige t-Tests hinsichtlich der Veränderung der AAS zwischen Epoche 1 und 2 in jeder Gruppe. In der letzten Sekunde der Baseline-Periode ($F[2,41] = 1.987, p = .15, \text{partial } \eta^2 = .088$) sowie in der ersten Sekunde der Vorstellungsaufgabe unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant in den AAS ($F[2,41] = 0.542, p = .59, \text{partial } \eta^2 = .026$). Experten zeigten einen sehr starken und signifikanten Anstieg zwischen der letzten Baseline-Sekunde und der 1. Sekunde der Vorstellungsaufgabe ($t(13) = 3.047, p < .017^7, dz = .75$), auch Amateure zeigten einen Anstieg, dieser war jedoch nicht signifikant, wies aber ebenfalls eine hohe Effektstärke auf ($t(14) = 2.626, p = .02^1, dz = .68$). Die Verringerung des AAS bei Nachwuchstalenten war nicht signifikant ($t(14) = 1.106, p = .29^1, dz = .29$) und wies auch eine deutlich geringere Effektstärke auf.

Veränderung der AAS bei frontopolaren und okzipitalen Elektrodenpositionen

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, wurde die signifikante 2-fach Interaktion aus Region und Expertise für die Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase insbesondere durch Unterschiede im Okzipitallappen erklärt. Auch der nicht signifikante frontopolare Effekt wies eine hohe Effektstärke auf und wird deshalb an dieser Stelle zusätzlich dargestellt. Der Verlauf des frontopolaren AAS über die Zeit ist in Abbildung 8 dargestellt.

⁷ Das Alpha-Niveau wurde durch 3 dividiert (Bonferroni-Korrektur)

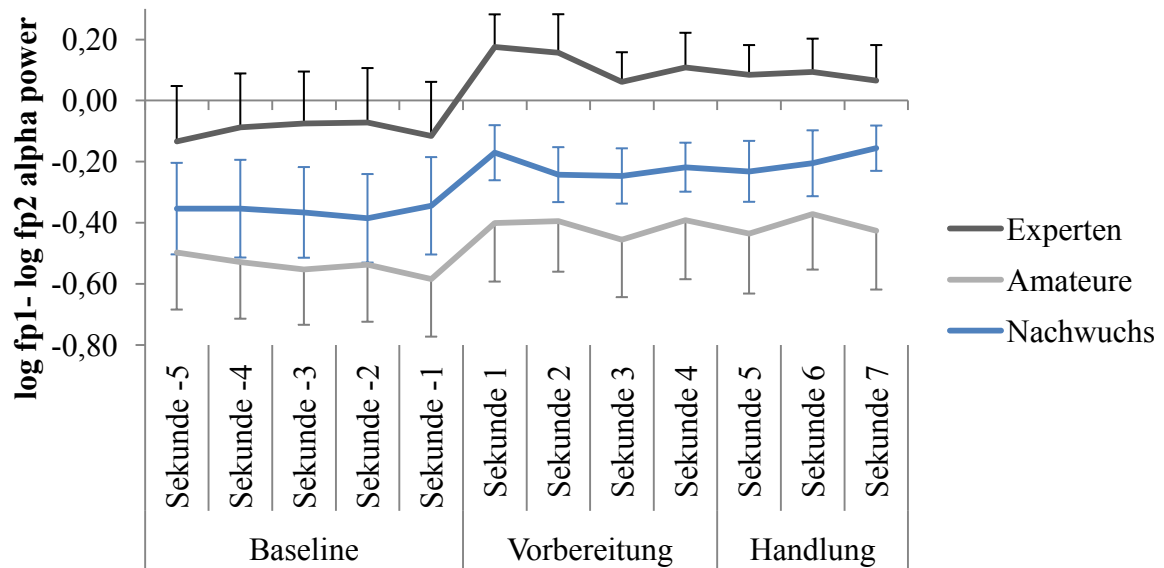


Abbildung 8: Frontopolare AAS in Abhängigkeit der Expertise

Dargestellt sind die frontopolaren Alpha-Asymmetrie-Scores (AAS) in der Baseline, der Vorbereitungs- sowie Handlungsphase in Abhängigkeit der Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente).

Deutlich zu erkennen ist ein Anstieg des AAS zwischen der Baseline-Periode und der ersten Sekunde der experimentellen Aufgabe. Eine ANOVA mit den Faktoren Epoche (Sekunden 1-12) und Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) ergab einen Haupteffekt Epoche ($F[1.84, 75.27] = 10.046, p < .001, partial \eta^2 = .20$). Ergebnisse des Mauchly Tests auf Sphärizität legen nahe, dass die Voraussetzung der Varianzhomogenität des Faktors Epoche ($\chi^2(65) = 472.54, p < .001$) verletzt wurde. Deshalb wurden die Freiheitsgrade mit der Greenhouse-Geisser Schätzmethode für Sphärizität korrigiert ($\epsilon = 0.18$).

Post-hoc Tests (Bonferroni) zeigten, dass der AAS in der ersten Sekunde der experimentellen Aufgabe signifikant höher war als in Sekunden -5, -3, -2 und -1 der Baseline-Periode ($p < .05$). Der signifikante Unterschied zwischen Sekunde 1 und Sekunde 3 der Vorstellungsaufgabe ($p < .05$) verdeutlicht ein erneutes Abfallen des AAS. Die Interaktion aus Epoche und Expertise war nicht signifikant $F[3.67, 75.27] = .564, p = .68, partial \eta^2 =$

.03). Deutlich ersichtlich ist der Unterschied im frontopolaren AAS zwischen den Gruppen unabhängig von der zeitlichen Veränderung. Dieser Haupteffekt wurde jedoch nicht signifikant ($F[2,41] = 2.77, p = .08, \text{partial } \eta^2 = .12$). Betrachtet man jedoch ausschließlich die motorische Vorbereitungsphase während der Bewegungsvorstellung, ist der Effekt stärker und signifikant ($F[2,41] = 4.05, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .17$). Post-hoc Tests (Bonferroni) zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen Experten und Amateuren ($p < .05$). Weder zwischen Experten und Nachwuchstalenten ($p = .23$) noch zwischen Amateuren und Nachwuchstalenten ($p = .94$) gibt es einen signifikanten Unterschied.

Der Verlauf der okzipitalen Asymmetrie unterschied sich vom Verlauf der frontopolaren Asymmetrie (siehe Abbildung 9). Bei Experten stieg der AAS, während er bei den Nachwuchstalenten sank und bei Amateuren konstant blieb. Die Interaktion aus Epoche und Expertise war signifikant ($F[6.05, 124.05] = 3.189, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .135$). Sphärizität des Faktors Epoche war nicht gegeben ($\chi^2(65) = 281.23, p < .001$). Deshalb wurden die Freiheitsgrade mit der Greenhouse-Geisser Schätzmethode für Sphärizität korrigiert ($\epsilon = 0.28$). Neben dem Interaktionseffekt gab es einen Haupteffekt Expertise ($F[2,41] = 7.148, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .28$). Zwischen Experten und Nachwuchstalenten gibt es keinen Unterschied ($p = 1$), jedoch hatten Experten sowie Nachwuchstalente eine deutlich stärkere okzipitale Asymmetrie als Amateure ($p < .01$)

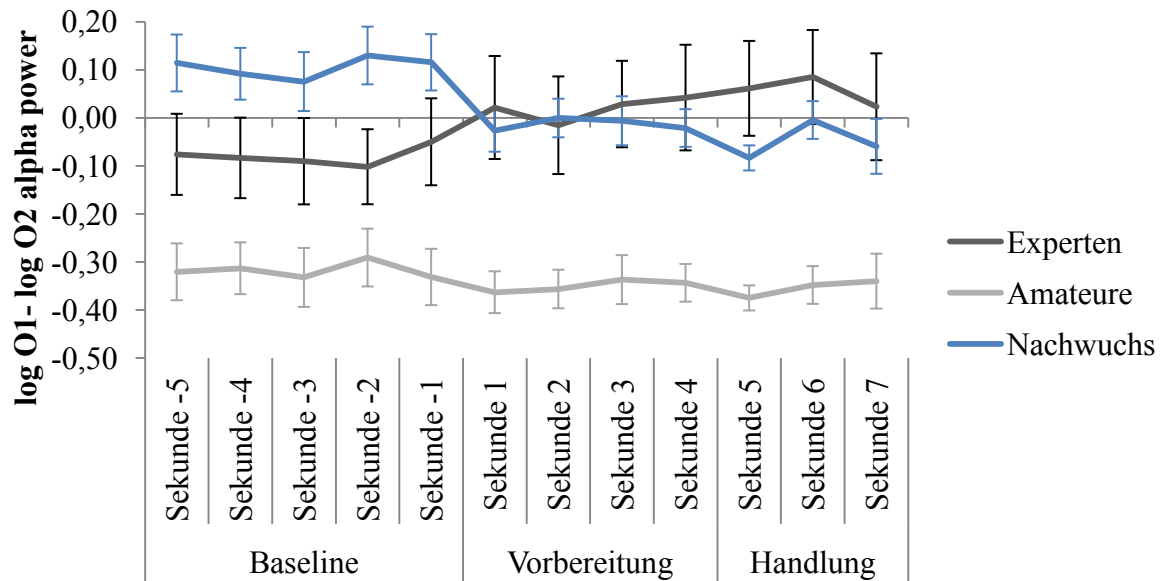


Abbildung 9: okzipitale AAS in Abhängigkeit der Expertise

Dargestellt sind die frontopolen Alpha-Asymmetrie-Scores (AAS) in der Baseline, der Vorbereitungs- sowie Handlungsphase in Abhängigkeit der Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente).

3.2 Hypothesen: Flow, Rumination, Emotionen, Leistungsmotiv

3.2.1 Hypothese 2.1: Affekt (Trait)

Erwartet wurde, dass Experten mehr positiven Affekt bzw. weniger negativen Affekt erleben als Amateure und Nachwuchstalente. Es gab jedoch keine Unterschiede zwischen den Studiengruppen beim Erleben positiven Affekts ($F[2,41] = 0.375, p = .69, \text{partial } \eta^2 = .018$) sowie negativen Affekts ($F[2,41] = 0.748, p = .48, \text{partial } \eta^2 = .035$).

3.2.2 Hypothese 2.2: Freude (State)

Experten ($M = 5.00, SD = 1.11$) erlebten wider Erwarten weniger Freude als Amateure ($M = 5.80, SD = 1.21$) und Nachwuchstalente ($M = 5.13, SD = 1.36$). Diese Unterschiede waren jedoch nicht signifikant ($F[2,41] = 1.786, p = .18, \text{partial } \eta^2 = .08$).

3.2.3 Hypothese 2.3 und 2.4: Flow und Rumination

Die deskriptiven Werte der Flow-Kurz-Skala (FKS- Sport) sowie der selbst generierten Ruminations-Skala sind in Tabelle 17 dargestellt. Die Werte der Gesamtskala sowie der Subskalen und der Ruminations-Skala streuen jeweils um den Skalenmittelwert.

Tabelle 17: Deskriptive Statistik der Flow- und Ruminationsskala

Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Flow- und Ruminationsskala sowie deren Subskalen.

	Gesamt (N = 44)		Experten (N = 14)		Amateure N = 15		Nachwuchs N = 15	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Flow								
Gesamtskala	4.91	0.85	4.96	0.92	4.82	0.75	4.95	0.94
Absorbiertheit	4.68	0.97	4.75	0.93	4.42	0.91	4.88	1.07
Glatter Verlauf	5.06	0.96	5.11	0.98	5.10	0.94	4.99	1.02
Besorgnis	4.23	1.30	4.50	1.14	4.07	1.04	4.16	1.67
Rumination	3.89	1.23	3.69	0.92	4.04	1.27	3.93	1.47

Weder die Flow- Gesamtskala ($F[2,41] = 0.1095, p = .89, \text{partial } \eta^2 = .005$), die Unterskalen Absorbiertheit ($F[2,41] = 0.913, p = .41, \text{partial } \eta^2 = .043$), Glatter Verlauf ($F[2,41] = 0.068, p = .934, \text{partial } \eta^2 = .003$) und Besorgnis ($F[2,41] = 0.433, p = .651, \text{partial } \eta^2 = .021$) noch die Ruminations-Skala ($F[2,41] = 0.302, p = .74, \text{partial } \eta^2 = .015$) unterschieden sich signifikant.

3.2.4 Hypothese 2.5 und 2.6: Leistungsmotiv

Die deskriptiven Werte der Ausprägungen des Leistungsmotivs sind in Tabelle 18 dargestellt. Lediglich bei der Komponente „Furcht vor Misserfolg“ unterschieden sich die Gruppen dahingehend, dass die Nachwuchstalente deutlich misserfolgsängstlicher waren als Amateure und Experten. Es zeigten sich jedoch weder statistischen Unterschiede bei der Komponente „Hoffnung auf Erfolg“ ($F[2,41] = 0.208, p = .81, \text{partial } \eta^2 = .010$) noch bei „Furcht vor Misserfolg“ ($F[2,41] = 2.475, p = .097, \text{partial } \eta^2 = .108$).

Tabelle 18: Deskriptive Statistik der Ausprägung des Leistungsmotivs

Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistungsmotivkomponenten Hoffnung auf Erfolg sowie Furcht vor Misserfolg

Deskriptive Statistik	Gesamt (N = 44)		Experten (N = 14)		Amateure (N = 15)		Nachwuchs (N = 15)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Hoffnung auf Erfolg	34.05	4.35	34.64	3.46	33.6	4.45	33.93	5.16
Furcht vor Misserfolg	11.16	6.15	9.71	6.67	9.73	3.99	13.93	1.76

3.3 Hypothesen: Zusammenhänge zwischen AAS, Leistung, Emotionen, Flow, Rumination und Leistungsmotiv

3.3.1 Hypothese 3.1: AAS und Leistung

Erwartet wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der AAS in der Vorbereitungsphase und für jede Studiengruppe entsprechenden Leistungsmaßen mit dem stärksten Zusammenhängen im Temporallappen (T3/T4- Asymmetrie). Je stärker also die linke Hemisphäre inhibiert wird, desto besser die Leistungen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Korrelation zwischen Leistung und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen den Leistungsmaßen ITTF Weltranglistenpunkten (Experten), nationale Ranglistenpunkte des DTTB (Nachwuchstalente), Bilanzen (Amateure) und der Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase (gemittelt über die ersten 4 Sekunden), jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Experten	Amateure	Nachwuchstalente
	(N= 14)	(N = 15)	(N=15)
	ITTF – Punkte	Bilanz	DTTB – Punkte
Gesamt	.17	.05	- .27
T3/T4	.60*	- .18	.27
T5/T6	.26	.08	- .22

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$

Bei Experten zeigte sich, wie erwartet, ein signifikanter und starker Zusammenhang zwischen dem temporalen AAS (T3/T4) und den Weltranglistenpunkten (siehe Abbildung 9). Je stärker linkstemporale im Vergleich zu rechtstemporalen Prozessen inhibiert werden, desto höher die Platzierung in der Weltrangliste. Alle anderen Korrelationskoeffizienten waren nicht signifikant.

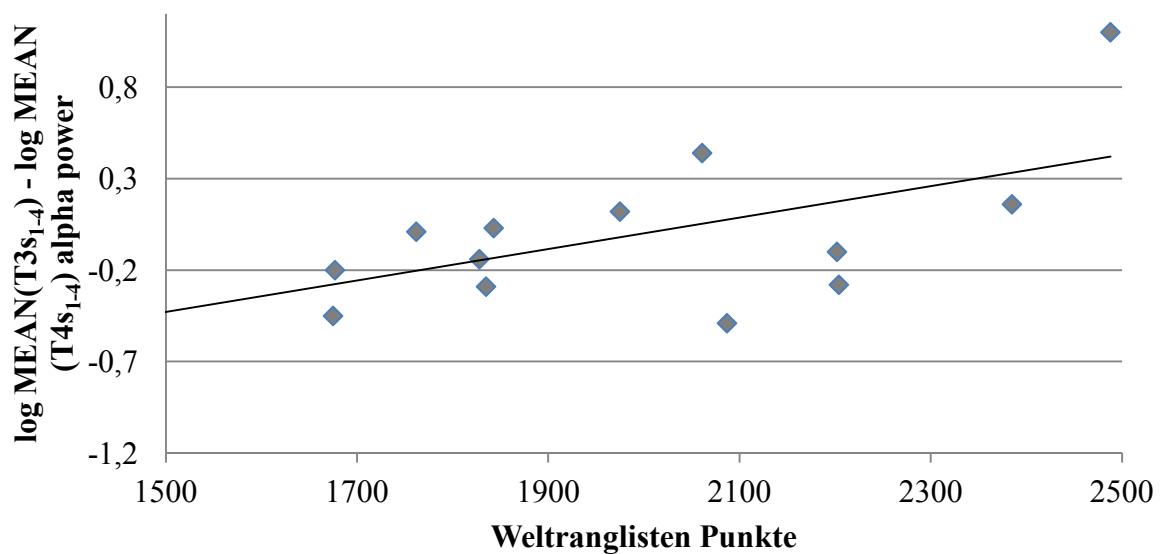


Abbildung 9: Korrelation zwischen der T3T4 Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase und den Weltranglisten Punkten

Im Diagramm dargestellt ist der Zusammenhang zwischen der über die Vorbereitungsphase (ersten 4 Sekunden) gemittelten Alpha-Asymmetrie (y-Achse) und den Weltranglistenpunkten (y-Achse) bei Experten. Jeder Punkt im Diagramm stellt einen Probanden dar.

Die Korrelation ist tatsächlich auch nur in der Vorbereitungsphase der Imagination mit den Weltranglistenpunkten korreliert. In der Baselineperiode gibt es keine Korrelation ($r(14) = .38, p = .19$)

Die Veränderung zwischen der 4. und 5. Sekunde im AAS korrelierte hingegen nicht mit den Leistungsmaßen (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Korrelation zwischen Leistung und der Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen den Leistungsmaßen ITTF Weltranglistenpunkten (Experten), nationale Ranglistenpunkte des DTTB (Nachwuchstalente), Bilanzen (Amateure) und der Veränderung der Alpha-Asymmetrie zwischen der 4. und 5. Sekunde jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Experten	Amateure	Nachwuchstalente
	(N= 14)	(N = 15)	(N=15)
	ITTF- Punkte	Bilanz	DTTB - Punkte
Gesamt	- .21	- .04	- .04
T3/T4	.24	.14	- .01
T5/T6	- .17	-.3	.09

3.3.2 Hypothese 3.2 und 3.3: AAS, Flow und Rumination

In der Vorbereitungsphase (Sekunde 1-4) wurde ein positiver Zusammenhang zwischen dem AAS und der Flow-Skala sowie der Subskala „Glatter Verlauf“⁸ angenommen und ein negativer Zusammenhang mit der Ruminations-Skala. Tabelle 21 zeigt die Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit der Studiengruppe und der Elektrodenposition. Auch hier wurde a priori vermutet, dass die Koeffizienten im Temporallappen am Stärksten ausgeprägt sind.

⁸ Die Skalen Absorption und Besorgnis wurden von den Analysen wegen unzureichender Reliabilität ausgeschlossen

Tabelle 21: Korrelation zwischen Flow, Rumination und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen der Flow Gesamt-Skala, der Skala Glatter Verlauf, der Ruminationsskala und der Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase (gemittelt über die ersten 4 Sekunden), jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Flow und Rumination								
	Gesamt-Skala			Glatter Verlauf			Rumination		
	E	A	N	E	A	N	E	A	N
Gesamt	.57*	-.10	-.54*	.61*	.02	-.52*	-.52*	-.05	.31
T3/T4	0	-.57*	-.46	.13	-.40	-.50	-.35	.09	-.24
T5/T6	.23	-.43	.11	.24	-.27	.10	-.38	-.03	.04

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$

Interessant ist, dass sich die Korrelationskoeffizienten zwischen den Studiengruppen stark unterscheiden. So korreliert bei Experten, wie erwartet, der AAS positiv mit der Flow-Gesamtskala, bei Nachwuchstalente jedoch negativ. Auch bei Amateuren gibt es eine negative Korrelation zwischen der T5/T6 Asymmetrie und der Flow-Gesamtskala. Somit ist das Muster bei Experten hypothesenkonform, bei Amateuren und Nachwuchstalente sind die Effekte jedoch entgegengesetzt. Hinsichtlich der Ruminations-Skala zeigten sich erwartungsgemäß negative Zusammenhänge der AAS bei Experten, jedoch ausschließlich gesamthemisphärisch.

Die Zusammenhänge zwischen den Veränderungen von der 4. auf die 5. Sekunde der AAS und den Fragebogenskalen ist in Tabelle 22 dargestellt. Es wurden negative Korrelationen mit den Flow-Skalen und positive Korrelationen mit der Ruminations-Skala erwartet. Lediglich die Veränderung bei T3/T4 bei Experten korrelierte signifikant negativ mit der Flow-

Gesamtskala. Auch hier waren die Korrelationen bei Amateuren und Nachwuchstalenten entgegengesetzt den erwarteten Effekten.

Tabelle 22: Korrelation zwischen Flow, Rumination und Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen der Flow Gesamt-Skala, der Skala Glatter Verlauf, der Ruminationsskala und der Veränderung der Alpha-Asymmetrie zwischen der 4. und 5. Sekunde jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Flow								
	Gesamt-Skala			Glatter Verlauf			Rumination		
	E	A	N	E	A	N	E	A	N
Gesamt	.23	.54*	-.23	.16	.56*	-.11	-.44	-.26	-.44
T3/T4	-.46*	.22	-.17	-.42	.44	-.36	-.05	-.27	.35
T5/T6	.30	.33	.24	.27	.19	.44	-.16	-.51*	-.58*

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$, ** = Signifikanzniveau $\alpha < .01$

3.3.3 Hypothese 3.4: AAS und Affekt

Auch hier wurde ein positiver Zusammenhang zwischen dem AAS und positivem Affekt und Freude sowie ein negativer Zusammenhang zwischen AAS und negativem Affekt erwartet. Es zeigte sich jedoch lediglich bei Experten die erwartete positive Korrelation aus dem AAS über alle Elektrodenpositionen mit positivem Affekt (siehe Tabelle 23)

Tabelle 23: Korrelation zwischen Emotionen und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen den Skalen positiver Affekt, negativer Affekt, Freude und der Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase (gemittelt über die ersten 4 Sekunden), jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Affekt								
	Positiver Affekt			Negativer Affekt			Freude		
	E	A	N	E	A	N	E	A	N
Gesamt	.59*	.20	-.03	-.43	-.07	.28	.25	-.24	.15
T3/T4	.22	-.13	-.37	-.05	.35	.27	-.04	-.43	.17
T5/T6	.31	.16	.19	-.28	-.12	.46	-.05	-.09	.26

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$, ** = Signifikanzniveau $\alpha < .01$

Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der Veränderung des AAS von 4. auf 5. Sekunde, ergab sich bei Experten die erwartete negative Korrelation zwischen der T3/T4 Asymmetrie und positivem Affekt. Bei den Nachwuchstalenten zeigte sich die erwartete negative Korrelation zwischen der Gesamtasymmetrie und positivem Affekt. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Korrelation zwischen Emotionen und der Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen Positivem sowie Negativem Affekt, Freude und der Veränderung der Alpha-Asymmetrie zwischen der 4. und 5. Sekunde jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Affekt								
	Positiver Affekt			Negativer Affekt			Freude		
	E	A	N	E	A	N	E	A	N
Gesamt	-.13	.23	-.58*	.10	0	.14	.01	-.01	.11
T3/T4	-.59*	.37	.19	.20	-.76**	-.02	-.24	.51*	.27
T5/T6	-.03	.39	-.34	.26	.33	-.01	.30	-.26	.29

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$, ** = Signifikanzniveau $\alpha < .01$

Auch hier zeigten sich gegenteilige Korrelationskoeffizienten bei den Amateuren. Bei ihnen ging ein stärkerer Anstieg relativer linkstemporaler Alpha-Aktivität mit weniger Freude und mehr negativem Affekt einher.

3.3.4 Hypothese 3.5 AAS und Leistungsmotiv

Bei den Experten korrelierte der gesamte AAS, wie erwartet, positiv mit der Komponente „Hoffnung auf Erfolg“. Vermehrte relative Alpha Power an T3 bei den Nachwuchstalente korrelierte mit geringeren Werten der Komponente „Hoffnung auf Erfolg“, was nicht erwartet wurde (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25: Korrelation zwischen der Ausprägung des Leistungsmotivs und AAS (gesamt und temporal) in der Vorbereitungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen den Skalen Hoffnung auf Erfolg, Furcht vor Misserfolg und der Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase (gemittelt über die ersten 4 Sekunden), jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Leistungsmotiv					
	„Hoffnung auf Erfolg“			„Furcht vor Misserfolg“		
	E	A	N	E	A	N
Gesamt	.54*	.06	-.13	-.10	-.01	.10
T3/T4	.30	.01	-.56*	-.09	.10	.50 ⁺
T5/T6	.20	.04	.10	-.16	.15	.12

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$, ⁺ = Signifikanzniveau $\alpha < .06$

Die Veränderung der temporalen Alpha-Asymmetrie von der 4. zur 5. Sekunde korrelierte bei den Experten mit der Ausprägung der Komponenten „Hoffnung auf Erfolg“ und „Furcht vor Misserfolg“ korreliert: je stärker die relative Alpha Power links temporal ansteigt, desto mehr Hoffnung und desto weniger Furcht.

Tabelle 26: Korrelation zwischen der Ausprägung des Leistungsmotivs und Veränderung des AAS (gesamt und temporal) von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen den Skalen Hoffnung auf Erfolg, Furcht vor Misserfolg und der Veränderung der Alpha-Asymmetrie zwischen der 4. und 5. Sekunde jeweils gesamthemisphärisch und an temporalen Elektrodenpositionen (T3T4 und T5T6)

Asymmetrie	Leistungsmotiv					
	„Hoffnung auf Erfolg“			„Furcht vor Misserfolg“		
	E	A	N	E	A	N
Gesamt	.15	.42	-.09	.15	.23	-.25
T3/T4	-.58*	.32	-.33	.51*	-.17	.31
T5/T6	-.17	.37	.35	.22	.47	-.36

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$, ** = Signifikanzniveau $\alpha < .01$

3.3.5 Ergänzende Analysen

Zusammenhang zwischen AAS anderer Regionen und Emotionen

Wie in Abschnitt 3.1.5 berichtet, weisen Experten starke positive Korrelationen zwischen den Fragebogenmaßen und dem gesamthemisphärischem AAS auf. Die Effekte sind deutlich niedriger und nicht signifikant im Temporallappen ausgeprägt, was nicht die Erwartungen des Autors entsprach. Um diese gesamthemisphärische Korrelation bei Experten zu erklären, wurden weitere sechs Korrelationsanalysen für alle Elektrodenposition durchgeführt⁹, welche in Tabelle 27 dargestellt sind.

⁹ Hier wurde eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Da es sich um sechs Elektrodenpositionen handelt, wurde an dieser Stelle das Signifikanzniveau durch 6 dividiert und auf 0.008 festgelegt

Tabelle 27: Korrelation zwischen Flow, positivem Affekt, Hoffnung auf Erfolg und AAS in der Vorbereitungsphase in Abhängigkeit der Elektrodenposition

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen den Skalen Flow, Positivem Affekt, Hoffnung auf Erfolg und der Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase (gemittelt über die ersten 4 Sekunden), an allen Elektrodenpositionen. Fp, frontopolar. F, frontal. C, zentral. P, parietal. O, okzipital.

Asymmetrie	Affekt		
	Flow	Positiver Affekt	„Hoffnung auf Erfolg“
Fp1/Fp2	.27	-.09	.40
F3/F4	-.11	-.12	-.17
F7/F8	.29	.32	-.14
C3/C4	.36	.04	.30
O1/O2	.38	.55	.53
P3/P4	.06	.39	.20

Keine der Post-hoc durchgeführten Korrelationsanalysen war signifikant. Die stärksten Zusammenhänge zeigten sich bei allen Skalen im Okzipitallappen.

Zusammenhang der Konstrukte Flow, Affekt, Rumination und Freude

Die Analysen legen insbesondere bei Experten einen konsistenten Zusammenhang zwischen Flow, Affekt, Hoffnung auf Erfolg, Rumination und der gesamthemisphärischen (temporalen) AAS nahe. In Abschnitt 1.1.3.2 wurde diskutiert, dass positive Emotionen sowie die Leistungsmotivkomponente Hoffnung auf Erfolg mit dem Erleben von Flow in Verbindung stehen. Um Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Konstrukten zu erfassen, wurden Korrelationen zwischen positivem Affekt, Freude, Flow, Hoffnung auf Erfolg und

Rumination berechnet (siehe Tabelle 28). Die Flow-Gesamtskala korreliert signifikant positiv mit positivem Affekt, Freude und Hoffnung auf Erfolg und signifikant negativ mit der Skala Rumination. Alle anderen Skalen weisen keine signifikante gemeinsame Varianz auf. Diese Befunde unterstreichen die Validität des Flow-Konstruktes und unterstützen die These, dass die zusätzlich erhobenen Konstrukte mit dem Erleben von Flow in Verbindung stehen.

Tabelle 28: Interkorrelationen der Fragebogenmaße

Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten zwischen allen Fragebogenmaßen über alle Gruppen hinweg.

Korrelationen	Flow N = 44	Rumination N = 44	PA N = 44	HE N = 44	Freude N = 44
Flow		-.51**	.35*	.40**	.36*
Rumination	-.51**		-.21	-.19	-.20
PA	.35*	-.21		.12	.24
HE	.40**	-.19	.12		.09
Freude	.36*	-.20	.24	.09	

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$, ** = Signifikanzniveau $\alpha < .01$

3.4 Hypothesen: Neural Efficiency

3.4.1 Hypothese 4.1: Alpha Power in der Vorbereitungsphase

In Abbildung 10 ist der Verlauf der Alpha-Aktivität (über alle Elektrodenpositionen gemittelt) für die Gruppen dargestellt. Deutlich ersichtlich sind die Unterschiede zwischen den Gruppen über die gesamten 12 Sekunden und der Alpha-Anstieg (ERS) zwischen der letzten Sekunde der Baseline-Periode und dem Beginn der Bewegungsvorstellung.

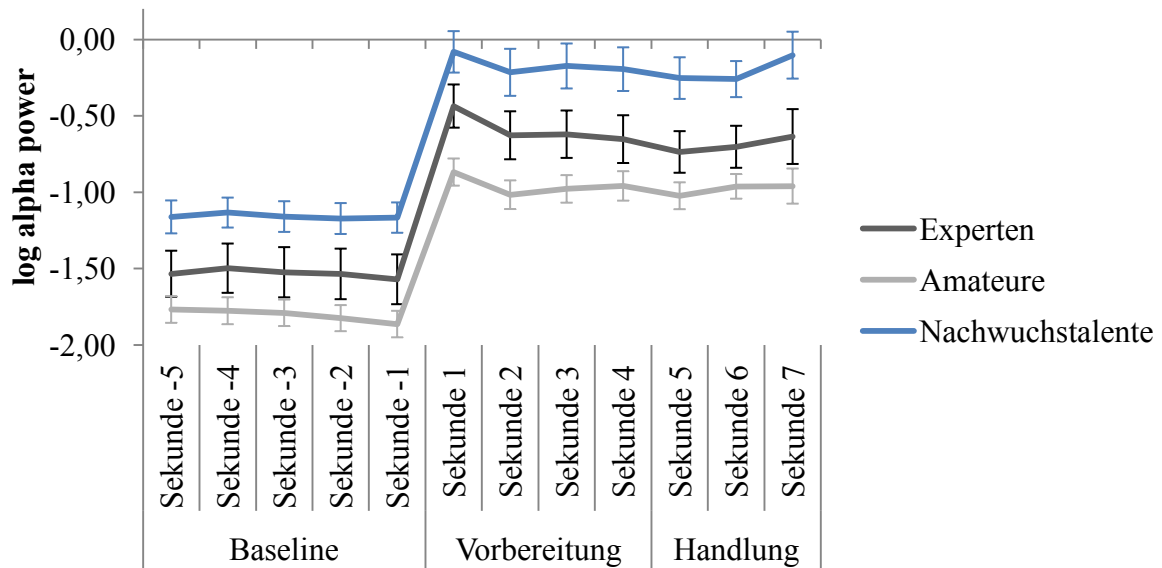


Abbildung 10: Alpha Power in Abhängigkeit der Expertise

Dargestellt sind die frontoparen Alpha-Asymmetrie-Scores (AAS) in der Baseline, der Vorbereitungs- sowie Handlungsphase in Abhängigkeit der Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente).

Angenommen wurde, dass Experten insbesondere in der Vorbereitungsphase deutlich mehr Alpha aufweisen als Amateure und Nachwuchstalente. Eine univariate ANOVA mit der abhängigen Variable Alpha Power (gemittelt über die Sekunden 1 bis 4) mit dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) sowie dem Messwiederholungsfaktor Region (frontal vs. zentral vs. temporal vs. parietal vs. okzipital) ergab einen signifikanten Haupteffekt Expertise ($F[2,41] = 9.353, p < .001, partial \eta^2 = .31$) und keine Interaktion aus den Faktoren Region und Expertise¹⁰ ($F[6.52,133.69] = 1.143, p = .34, partial \eta^2 = .31$). Die Unterschiede sind somit unabhängig von der Region. Post-hoc Tests (Bonferroni) zeigten deutlich mehr Alpha Power bei den Nachwuchstalente als bei den Amateuren ($p < .001$). Die Unterschiede zwischen den Nachwuchstalente und den Experten ($p = .09$) sowie zwischen den Experten und den Amateuren ($p = .16$) waren nicht signifikant.

¹⁰ Sphärizität war nicht gegeben ($\chi^2(9) = 18.043, p < .05$). Freiheitsgrade wurden mit der Greenhouse-Geisser Schätzmethode für Sphärizität korrigiert ($\epsilon = 0.82$)

3.4.2 Hypothese 4.2: Event-Related Synchronization (ERS)

In Abbildung 10 ist der Alpha Anstieg zwischen der letzten Sekunde der Baseline-Periode und der ersten Sekunde der Imaginationsaufgabe über alle Gruppen hinweg deutlich sichtbar. Dies wurde erwartet, weil ein starker Alpha-Anstieg bei Wahrnehmungstests mit besserer Leistung assoziiert ist. Um zu überprüfen, ob Experten eine stärkere ERS aufweisen als die anderen beiden Gruppen, wurde eine ANOVA mit den Faktoren Expertise (Experte vs. Amateur vs. Nachwuchstalente), Epoche (Sekunde -1 vs. Sekunde 1) und Region (frontal vs. zentral vs. temporal vs. parietal vs. okzipital) durchgeführt. Der Haupteffekt Epoche wurde signifikant ($F[1,41] = 407.791, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .91$). Die a priori angenommene Interaktion aus Epoche und Expertise wurde nicht signifikant ($F[2,41] = .395, p = .68, \text{partial } \eta^2 = .02$). Somit ist die ERS unabhängig von der Expertise.

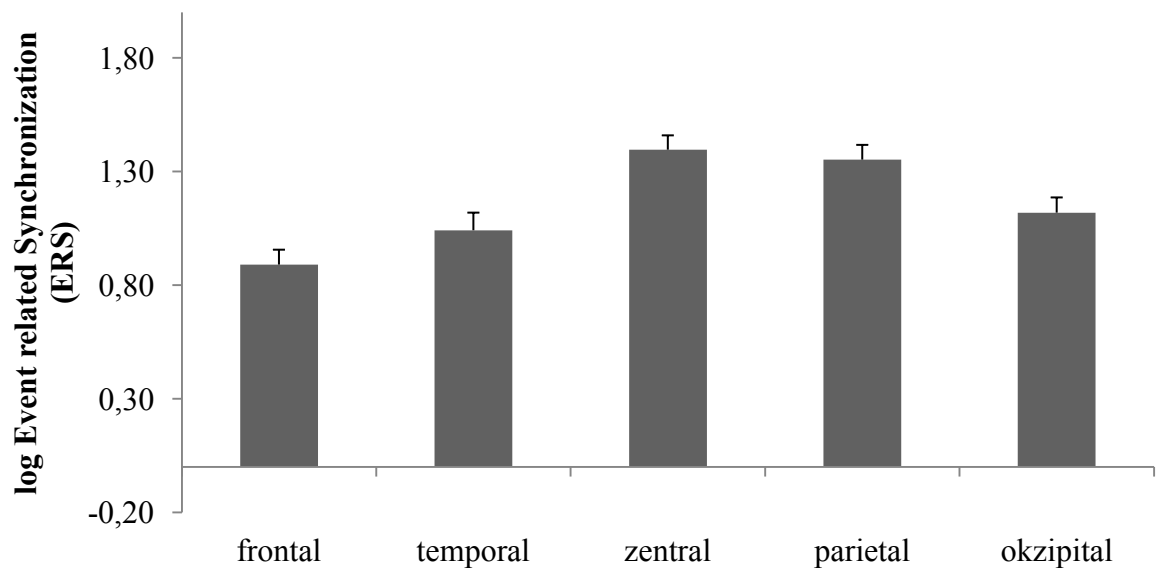


Abbildung 11: Event-Related Synchronization (ERS) zwischen Baseline und Bewegungsvorstellung

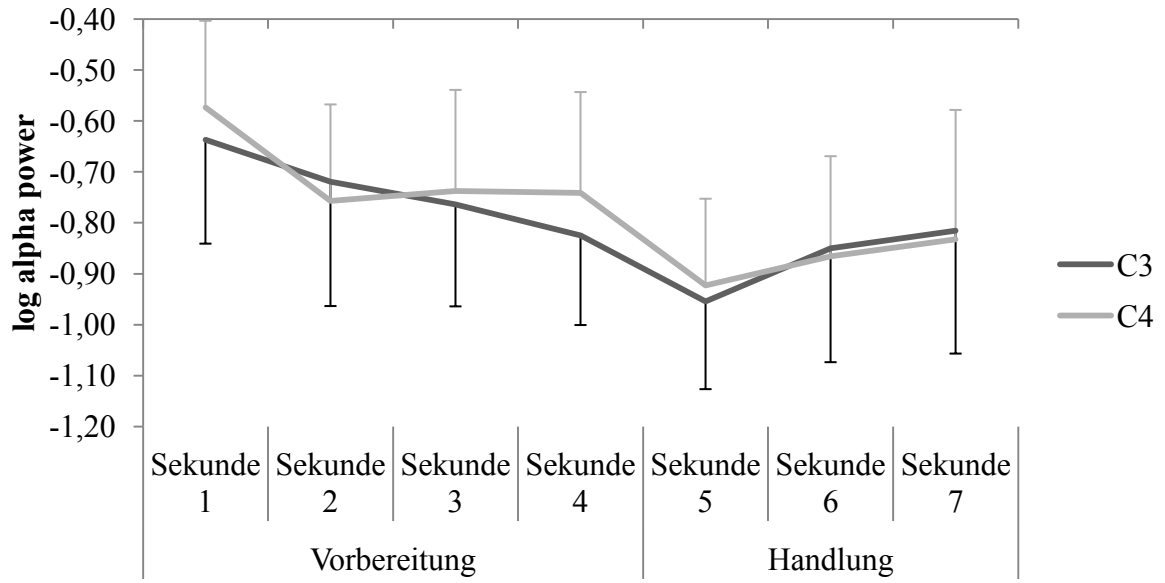
Dargestellt ist die Synchronisierung des Alpha-Bandes (ERS) zwischen der letzten Sekunde der Baseline zur ersten Sekunde der Bewegungsvorstellung (Start des Videos): Alpha Power 1. Sekunde Bewegungsvorstellung minus Alpha Power letzte Sekunde Baseline. Die ERS ist angegeben in Abhängigkeit der Hirnregion.

Es gab keine 3-fach Interaktion aus den Faktoren Epoche, Region und Expertise ($F[8,164] = .972$, $p = .46$, $partial \eta^2 = .05$). Jedoch war die ERS, wie in Abbildung 11 dargestellt, abhängig von der Hirnregion ($F[4,164] = 26.02$, $p < .001$, $partial \eta^2 = .39$). Für weitere Post-hoc Analysen wurden Kontraste berechnet (Alpha Power 1. Sekunde Bewegungsvorstellung minus Alpha Power letzte Sekunde Baseline). Der Anstieg der Alpha Power im motorischen Cortex (zentrale Elektrodenpositionen) war deutlich stärker als im Frontal-, Temporal- und Okzipitallappen ($p < .001$). Auch die parietale ERS war deutlich stärker als die frontale, zentrale und okzipitale ERS (jeweils $p < .001$). Okzipital war der Alpha Anstieg wiederum signifikant stärker als im Frontallappen ($p < .05$). Zwischen der temporalen und frontalen ($p = .14$) sowie okzipitaler ERS ($p = 1$) gab es keine Unterschiede.

3.4.3 Hypothese 4.3: Event-Related Desynchronization (ERD)

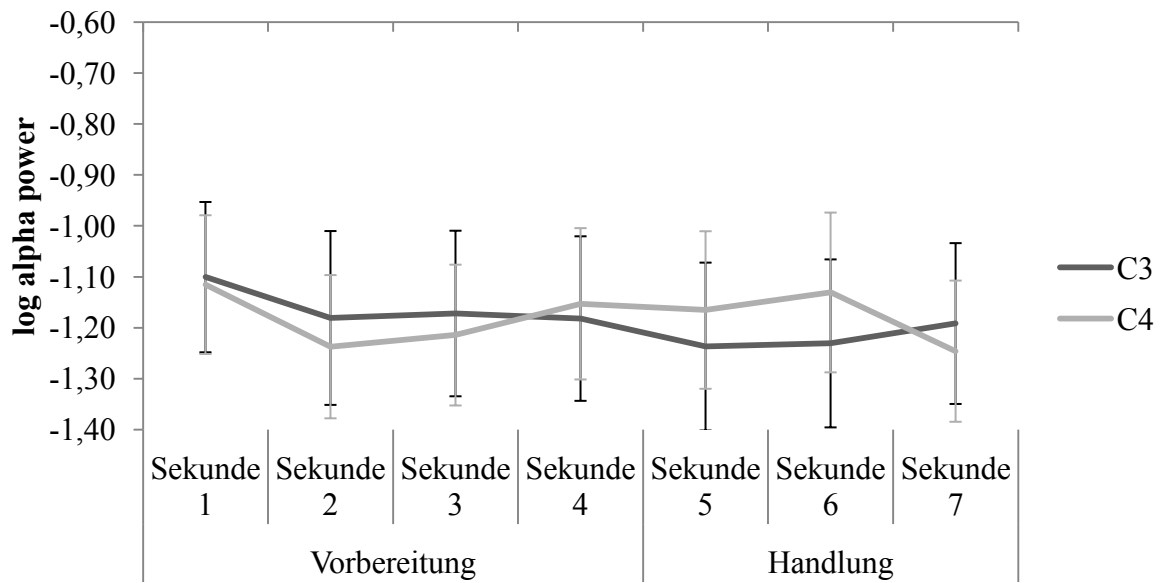
Es wurde angenommen, dass Experten eine stärker ausgeprägte kontralaterale ERD aufweisen als Amateure und Nachwuchstalente. Abbildungen 12 a) bis c) zeigen die Verläufe der Alpha-Aktivität an den Elektrodenpositionen C3 und C4 über die Epochen der gesamten Bewegungsvorstellung.

(a) Experten



(b)

Amateure



(c) Nachwuchstalente

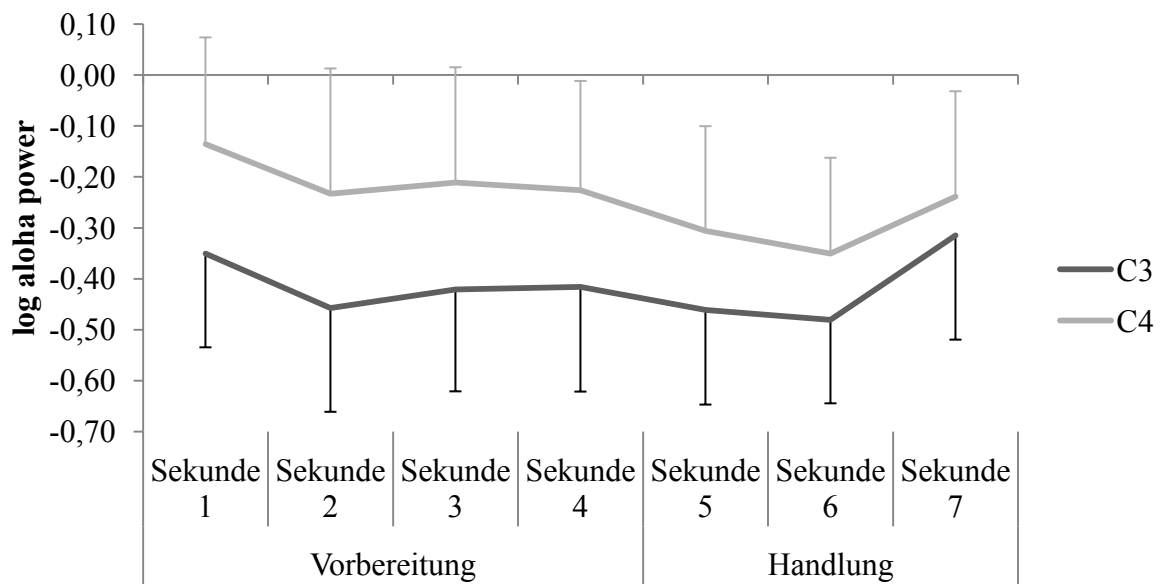


Abbildung 12: Verlauf der Alpha Power im motorischen Kortex über den gesamten Verlauf der Bewegungsvorstellung

Dargestellt ist die logarithmierte Alpha Power im motorischen Kortex kontralateral (C3) und ipsilateral (C4) über die Vorbereitungs- und Handlungsphase in Abhängigkeit der Expertise. a) Experten, b) Amateure, c) Nachwuchstalente.

Erwartet wurde eine stärkere ERD (stärkere kontralaterale Aktivierung an C3) bei Experten. Eine ANOVA mit der abhängigen Variablen ERD an C3 und Expertise als Zwischensubjektfaktor, ergab einen marginal signifikanten Haupteffekt Expertise ($F[2,41] = 2.77, p = .07, partial \eta^2 = .12$), welcher in Abbildung 13 grafisch verdeutlicht ist (Zusätzlich ist hier auch noch die ERD an C4 dargestellt). Je größer die Werte, desto stärker die Alpha Desynchronization. Somit haben Experten eine stärker ausgeprägte ERD als Amateure und Nachwuchstalente. Kaum Unterschiede gab es zwischen Experten und Nachwuchstalente.

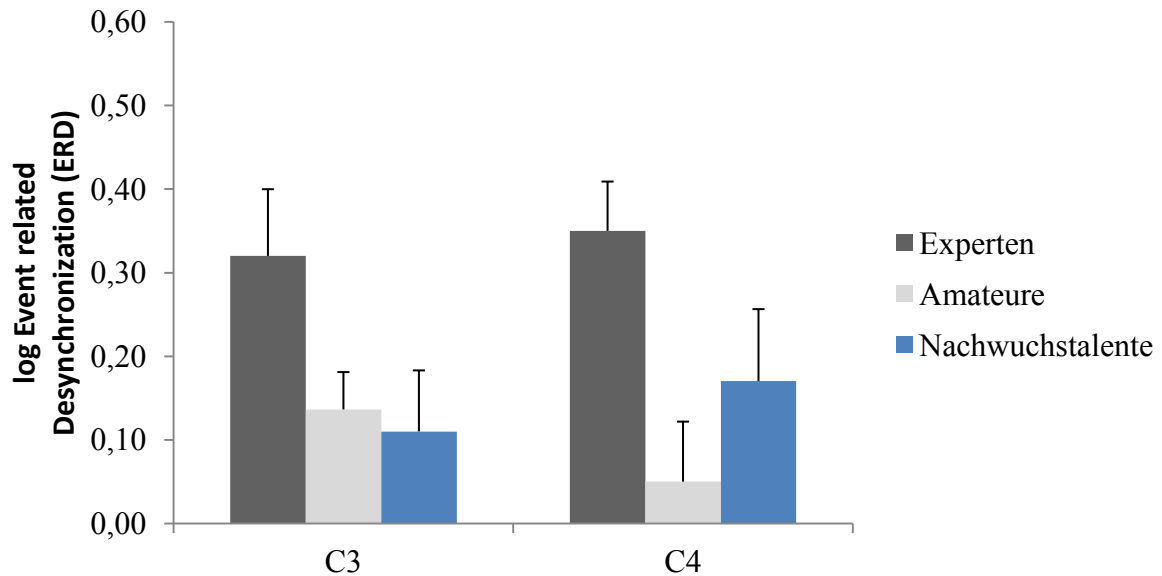


Abbildung 13 Event Related Desynchronization (ERD)

Dargestellt ist die Desynchronisierung des Alpha-Bandes (ERD) in der Vorbereitung auf die motorische Handlung (Alpha Power Sekunde 1 – Alpha Power Sekunde 5)

Die Unterschiede in der ERD an C4 sind denen an C3 sehr ähnlich (siehe Abbildung 13 rechts). Jedoch ist die ERD bei Experten hier noch stärker ausgeprägt als an C3 und auch die Unterschiede zu den anderen Gruppen sind deutlicher als bei C3. Nachwuchstalente zeigen deskriptiv ebenfalls eine stärker ausgeprägte ipsilaterale ERD im Vergleich zu den Amateuren. Eine durchgeführte ANOVA ergab einen (im Vergleich zum Effekt bei C3) stärkeren und signifikanten Haupteffekt Expertise ($F[2,41] = 4.111, p < .05, partial \eta^2 = .17$). Post-hoc Analysen (Bonferroni) zeigten eine signifikant stärkere ERD bei Experten im Vergleich zu Amateuren ($p < .05$), jedoch keine Unterschiede zwischen Experten und Nachwuchstalenten ($p = .29$) und zwischen Amateuren und Nachwuchstalenten ($p = .75$).

3.4.4 Ergänzende Analyse: Alpha-Aktivität im motorischen Cortex

Um die Unterschiede im Verlauf der Alpha-Aktivität zwischen der Baseline-Periode und der Bewegungsvorstellung detaillierter zu untersuchen, wurde eine ANOVA mit den Faktoren Epoche (Sekunden -5 bis 7), Hemisphäre (C3 vs. C4) und Expertise (Experten vs. Amateure vs. Nachwuchstalente) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 dargestellt. Ergebnisse des Mauchly Tests auf Sphärizität weisen auf eine Verletzung der Varianzhomogenität des Faktors Epoche ($\chi^2(65) = 712.428, p < .001$) und der Wechselwirkung Epoche und Hemisphäre ($\chi^2(65) = 418.544, p < .001$) hin. Deshalb wurden die Freiheitsgrade mit der Greenhouse-Geisser Schätzmethode für Sphärizität korrigiert ($\epsilon = 0.14$ für Epoche und $\epsilon = 0.20$ für Epoche und Hemisphäre).

Keine der Messwiederholungsfaktoren interagierten mit dem Gruppenfaktor Expertise. Post-hoc Analysen zum signifikanten Haupteffekt Epoche ergaben, dass die Alpha Power zu jeder Sekunde der Baseline- Periode signifikant geringer war ($p < .05$), als die Alpha Power während der Bewegungsvorstellung. Es gab keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Baseline-Periode. Ein signifikanter Abfall der Alpha Power während der Bewegungsvorstellung war erkennbar. In Sekunde 3, 4 und 5 war die Alpha Power signifikant geringer als die Alpha Power zu Sekunde 1 ($p < .05$) mit dem stärksten Unterschied zwischen Sekunde 1 und 5. Sekunden 2 und 7 unterschieden sich nicht voneinander.

Tabelle 29: Ergebnisse (ANOVA) Alpha Power im motorischen Kortex in Baseline, Vorbereitungs- und Handlungsphase in Abhängigkeit der Expertise

Dargestellt sind Freiheitsgrade, F-Werte, Effektstärke (partial η^2) und das Signifikanzniveau der Effekte der ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor Expertise (Experte vs. Amateure vs. Nachwuchstalente), den Innersubjektfaktoren Epoche (12 Sekunden über Baseline und Bewegungsvorstellung) und Hemisphäre (linkszentral C3 vs. rechtszentral C4)

Varianzquelle	df	F	partial η^2	P
Expertise	2	8.447**	.292	.001
Fehler	41			
Epoche	1.59	199.784**	.830	.001
Fehler	65			
Epoche * Expertise	3.438	.412	.020	.76
Fehler	65			
Hemisphäre	1	.222	.005	.64
Fehler	2			
Hemisphäre * Expertise	2	.639	.030	.53
Fehler	41			
Epoche * Hemisphäre	2.21	3.90*	.087	.02
Fehler	90.59			
Epoche * Hemisphäre * Expertise	4.42	1.412	.064	.23
Fehler	90.59			

* = Signifikanzniveau $\alpha < .05$, ** = Signifikanzniveau $\alpha < .01$

Abbildung 14 zeigt den Verlauf der Alpha Power über alle Gruppen in Abhängigkeit von C3 und C4. Die signifikante Wechselwirkung aus Epoche und Hemisphäre ist deutlich

ersichtlich, so dass in der Baseline-Periode die Alpha Power an C3 stärker ausgeprägt war als an C4. Zu Beginn der motorischen Bewegungsvorstellung dreht sich dieses Muster in die umgekehrte Richtung. Der stärkste Unterschied besteht zwischen der 4. und 5. Sekunde, also im Übergang von der Vorbereitungs- zur motorischen Handlungsphase.

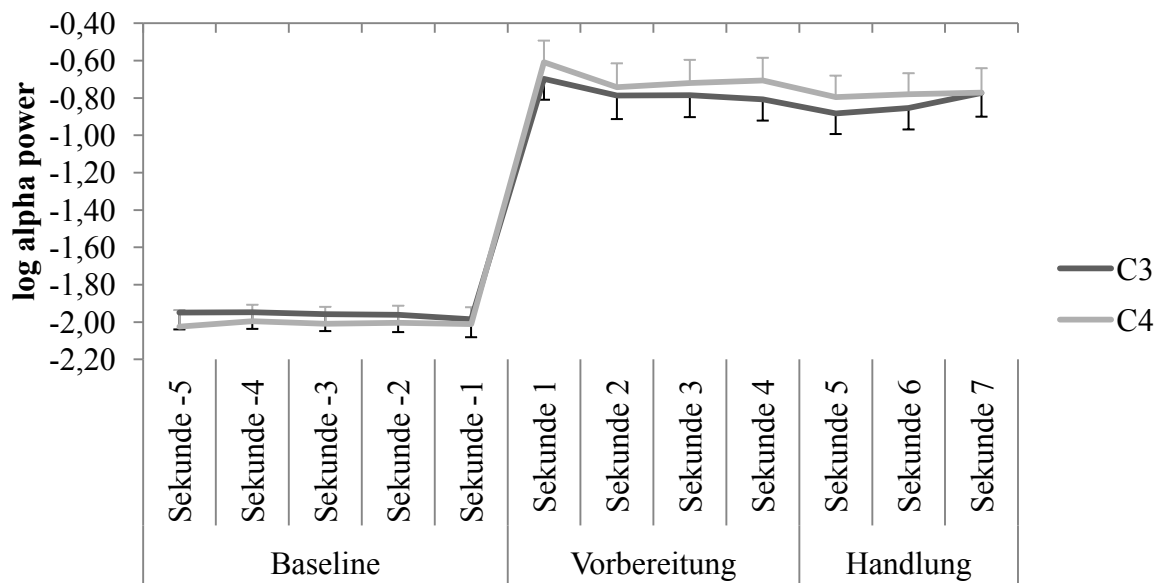


Abbildung 14 Alpha Power im motorischen Kortex über Baseline, Vorbereitung und Handlung

Dargestellt ist Alpha Power im kontralateralen und ipsilateralen motorischen Cortex in der Baseline, der Vorbereitungs- und Handlungsphase

4 Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war die Identifizierung neurophysiologischer Parameter sportlicher Spitzenleistung unter Wettkampfdruck in der Sportart Tischtennis. Bisher gab es kaum Untersuchungen neurophysiologischer Prozesse bei hoch-reaktiven Sportarten. Grund hierfür sind die von Natur aus schnellen und intensiven Muskelkontraktionen in diesen Sportarten, welche die neurophysiologische Signale stören und somit das direkte Messen im Wettkampf unmöglich machen. So wurden bisher fast ausschließlich Athleten statischer Sportarten wie Golfer oder Sportschützen untersucht (Hatfield, et al., 2004; Haufler, et al., 2000). In dieser Studie sollten Tischtennispieler deshalb imaginieren auf unterschiedliche Aufschläge eines Videogegners mit einem spezifischen Tischtennisschlag zu reagieren. Es wurde zudem erfolgreich Wettkampfdruck induziert, um ein möglichst realistisches Wettkampfszenario zu erstellen. Verglichen wurden 14 professionelle Tischtennispieler des A- und B-Kaders des Deutschen Tischtennisbundes mit 15 Amateur- und 15 Nachwuchssportlern des Württembergischen Tischtennisverbandes. Untersucht wurden EEG-Korrelate in der Vorbereitungsphase des vorgestellten Tischtennisschlages und diese mit Leistungsmaßen sowie dem Erleben von Flow, Hoffnung auf Erfolg und positiven Emotionen in Zusammenhang gesetzt. Die Haupthypothesen bezogen sich auf zwei bereits existierende psychophysiologische Erklärungsmodelle sportlicher Spitzenleistung: die funktionelle hemisphärische Aktivierungsasymmetrie und die „Neural Efficiency Hypothese“. Die exakten Hypothesen der Studie und die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten zusammengefasst und diskutiert.

4.1 Funktionelle Hemisphärenasymmetrie

Professionelle Sportler zeigen im Vergleich zu Novizen eine stärkere relative linkshemisphärische Inhibierung bzw. eine stärkere relative rechtshemisphärische, insbesondere temporale Aktivierung kurz vor der erfolgreichen Ausführung einer motorischen Handlung (Hatfield, et al., 2004). Erklärt wird diese Asymmetrie mit einer Aktivierung visuell-räumlicher (rechter Temporallappen) und einer Inhibierung verbal-analytischer Prozesse (linker Temporallappen), was mit fokussierter- anstelle von Selbstaufmerksamkeit sowie automatisierten Handlungen einhergehen könnte.

Ziel dieser Studie war die Replikation dieser Befunde bei der Sportart Tischtennis. Da Automatisierung und fokussierte Aufmerksamkeit Komponenten des Flow-Erlebens sind, wurde ein Zusammenhang zwischen der funktionellen Hemisphärenasymmetrie in der Vorbereitungsphase der vorgestellten Handlung und dem Erleben von Flow, Freude, positiven Affekts, dem Auftreten störender Gedanken und der Leistungsmotivkomponente Hoffnung auf Erfolg sowie Leistungsmaßen (Ranglistenplatzierungen, Bilanzen) angenommen. Verglichen wurden Experten, Nachwuchstalente und Amateure mit der Erwartung eines stärkeren Anstiegs der Hemisphären-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase proportional zur Expertise der Sportler.

In der Vorbereitungsphase des vorgestellten Tischtennisschlages zeigen Tischtennisexperten, wie erwartet, eine stärkere relative linkshemisphärische Inhibierung im Vergleich zu Nachwuchstalenten und Amateuren. Die Asymmetrie bei Nachwuchstalenten ist ebenfalls stärker ausgeprägt bei den Amateuren. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Auch sind die Unterschiede nicht im Temporallappen zu finden. Signifikante Unterschiede gab es nur okzipital und frontopolar.

Jedoch zeigt sich im Übergang zur Handlungsphase ein marginal signifikanter Anstieg relativer rechtshemisphärischer Aktivität bei den Experten. Bei den Amateuren nimmt wiederum die relative linkshemisphärische Aktivität zu und bei den Nachwuchstalenten zeigt sich keine Veränderung. Vergleicht man die Effektstärken dieser Veränderungen in jeder Hirnregion, findet man, wie erwartet, den stärksten Effekt im Temporallappen (T3T4). Da jedoch keine statistisch signifikante Wechselwirkung mit der Hirnregion besteht, können die Veränderungen von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase nur gesamthemisphärisch interpretiert werden. Aufgrund der großen Effektstärke im Temporallappen, könnte man jedoch argumentieren, dass bei einer größeren Stichprobe dieser Effekt signifikant werden würde.

Im entscheidenden Moment, also mit dem Beginn der Handlungsphase, weisen die Amateure wie erwartet signifikant mehr relative links- im Vergleich zu rechtshemisphärischer Aktivität auf. Bei Nachwuchstalenten ist dieses Muster ähnlich, aber weniger stark ausgeprägt und nicht signifikant. Professionelle Tischtennispieler aktivieren beide Hemisphären gleich stark.

Die Aktivierungsunterschiede zu Beginn der Handlung gehen jedoch nicht auf Unterschiede im Temporallappen zurück. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in der asymmetrischen Aktivierung gibt es zu diesem Zeitpunkt ausschließlich im Okzipitallappen. Hier zeigen Experten eine signifikant stärkere relative rechtshemisphärische Aktivierung als Amateure.

Die Hypothesen sind somit nur teilweise bestätigt. In der Vorbereitungsphase zeigen Experten nur deskriptiv eine stärkere relative rechtshemisphärische Aktivierung. Bei Experten steigt jedoch im Übergang zur Handlungsphase die rechtshemisphärische Aktivität und bei Amateuren die linkshemisphärische Aktivität signifikant an. Die stärksten Veränderungen gibt es, wie erwartet, im Temporallappen. Experten zeigen auch im entscheidenden Moment

mehr relative rechtshemisphärische Aktivität als Amateure, was für bessere fokussierte Aufmerksamkeit, visuell-räumliche Integration und dem Erleben von Flow sprechen könnte. Die Unterschiede zu diesem Zeitpunkt sind jedoch nicht auf den Temporallappen beschränkt, sondern okzipital am stärksten ausgeprägt.

Zu Beginn des Videos, also im Übergang von der Baseline zur Bewegungsvorstellung steigt die relative rechtshemisphärische Aktivität bei den Experten und Amateuren signifikant an. Dies spricht für eine starke Aktivierung visuell-räumlicher Prozesse, sobald die Probanden anfangen den Videogegner zu beobachten. Die konstant hohe relative rechtshemisphärische Aktivierung (und der leichte Abfall zu Beginn der Videos) bei den Nachwuchstalenten könnte für eine *konstante* Aktivierung visuell-räumlicher Prozesse bei Nachwuchstalenten sprechen. Ein Grund könnte eine höhere Erwartungshaltung sein, die zu einer durchgehend fokussierten Aufmerksamkeit führt, wobei es keine Belege für diese Argumentation gibt. Lediglich die leicht höheren Motivationswerte der Nachwuchstalente könnten einen Hinweis hierfür darstellen (siehe Abschnitt 2.7).

Ergänzende Analysen legen nahe, dass Experten im Vergleich zu Amateuren eine stärkere relative rechtshemisphärische frontopolare Aktivierung in der Vorbereitungsphase aufweisen (Nachwuchstalente liegen hier in der Mitte). Interessanterweise gibt es Evidenz, dass der linke präfrontale Kortex aktiviert ist wenn Probanden die Aufmerksamkeit auf die Ausführung motorischer Bewegungen richten, anstelle die Bewegungen automatisch auszuführen (Jueptner et al., 1997), was wie in Abschnitt 1.1.3.1 berichtet, zu Choking führen kann (Baumeister, 1984). Auch scheinen eine rechts frontopolare Aktivierung sowie eine links frontale Deaktivierung mit besseren Reaktionszeiten in Aufmerksamkeitstests einherzugehen (Lawrence, Ross, Hoffmann, Garavan, & Stein, 2003). Einige Studien zeigen eine stärkere links frontale Aktivierung in Aufmerksamkeitstests mit steigender Schwierigkeit (Nebel et al., 2005) und eine Reihe von Untersuchungen belegen, dass automatisierte Handlungen mit einer

Reduktion des linken dorsolateralen präfrontalen Kortex einhergehen, welcher häufig bei Arbeitsgedächtnisaufgaben aktiviert ist (Birbaumer, 2003; Debaere, Wenderoth, Sunaert, Van Hecke, & Swinnen, 2004; Frith, Friston, Liddle, & Frackowiak, 1991; Garavan, Kelley, Rosen, Rao, & Stein, 2000; Jansma, Ramsey, Slagter, & Kahn, 2001). Diese Befunde unterstützen die theoretischen Überlegungen erhöhter Automatizität und fokussierter Aufmerksamkeit bei der Ausführung von skills bei professionellen Sportlern. Tischtennisspieler fokussieren somit besser als Amateure auf aufgabenrelevante Reize (z.B. Handgelenkeinsatz des Gegners, Armposition, Schulterdrehung usw.) im Vergleich zu Amateuren.

Experten sowie Nachwuchstalente weisen zudem eine stärkere relative rechtsokzipitale Aktivierung im Vergleich zu Amateuren auf und zwar über die gesamte Vorbereitungsphase. Die Asymmetrie steigt bei Experten während der Bewegungsvorstellung kontinuierlich an. Der primäre visuelle Kortex ist insbesondere bei der direkten visuellen Wahrnehmung aktiviert. Somit könnten Einflüsse des Stimulusmaterials diesen Effekt verursacht haben. In der Tat ist bei männlichen Experten der Aufschlag von der linken Tischhälfte (aus der Perspektive der Probanden) gespielt worden. Der visuelle Stimulus liegt somit im linken visuellen Feld. Hemifield-Experimente legen hier eine kontralaterale Aktivierung nahe (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2010). Dies erklärt aber nicht den Effekt bei den Nachwuchstalenten, welche, ebenso wie Amateure, einen rechtshändigen Aufschläger und dadurch Aufschläge von der rechten Seite präsentiert bekamen. Auch können die Experten den Kopf im Laufe der 40 Videotrials nach links richten, was dazu führen könnte, dass sich der Reiz nicht mehr im linken visuellen Feld befindet. Somit ist der Einfluss des Stimulusmaterials auf die okzipitale Asymmetrie bei Experten und Nachwuchstalenten unwahrscheinlich, aber auch nicht komplett auszuschließen. Dem Autor dieser Arbeit sind keine weiteren Studien bekannt, welche ähnliche okzipitale Asymmetrieeffekte bei Bewegungsvorstellungen bzw.

Wahrnehmungsaufgaben zeigen konnten. Zum jetzigen Zeitpunkt fällt es schwer eine weitere Erklärung für die Unterschiede in der Aktivierung des Okzipitallappens zwischen Experten und Amateuren zu finden. Um einen Einfluss des Stimulusmaterials ausschließen zu können, sollten zukünftige Studien das Stimulusmaterial hinsichtlich der Reiz-Präsentation im identischen visuellen Feld über alle Gruppen hinweg standardisieren.

4.1.1 Unterschiede im Erleben von Emotionen und im Auftreten störender Gedanken

Die Studiengruppen unterscheiden sich nicht im Erleben von Flow, Freude, Affekt, der Ausprägung des Leistungsmotives und dem Auftreten von störenden Gedanken. Das Erleben der Emotionen bei der Bewegungsvorstellung war also unabhängig von der Expertise der Probanden. Somit lassen sich die Befunde zu den Unterschieden im EEG nicht vollständig durch Emotionen, Leistungsmotiv oder dem Auftreten störender Gedanken erklären.

4.1.2 Zusammenhänge zwischen der Alpha-Asymmetrie und der Leistung

Es wurde erwartet, dass die Ausprägung der Asymmetrie mit den jeweiligen Leistungsparametern korreliert. Dies waren für die Experten die Weltranglistenpunkte, für die Nachwuchstalente die nationalen Ranglistenpunkte und für die Amateure die Spielbilanzen. Bei den Experten ist der Zusammenhang zwischen der asymmetrischen Aktivierung während der Imaginationsaufgabe und der Leistung sehr deutlich: Je stärker professionelle Tischtennispieler linkstemporale (T3) Prozesse in der motorischen Vorbereitungsphase inhibieren bzw. rechtstemporale (T4) Prozesse aktivieren, desto mehr Weltranglistenpunkte weisen sie auf. Jedoch zeigen weder Amateure noch Nachwuchstalente signifikante Zusammenhänge zwischen Ranglistenpunkten (Nachwachstalente) und Bilanzen (Amateure). Diese könnte, im Falle der Amateure, an der schlechten Reliabilität und Validität der

Bilanzen, welche als Kriterium herangezogen wurden, liegen. Für jeden Spieler floss hier eine unterschiedliche Anzahl an Spielen mit ein, was die Reliabilität schmälert. Ebenfalls wurden die Spielliga und das Paarkreuz in der Mannschaft nicht berücksichtigt, was wichtige Leistungsparameter sind. Die DTTB- Rangliste als Leistungskriterium der Nachwuchstalente ist, wie die ITTF- Weltrangliste, reliabel und valide, dennoch gibt es hier keine Zusammenhänge mit der Ausprägung der Aktivierungsasymmetrie. Somit stellen sich verschiedene Fragen:

1. Ist die Asymmetrie ein Trait, also eine stabile Eigenschaft, die eine Voraussetzung für die Entwicklung von Expertise darstellt?
2. Handelt es sich bei der hemisphärischen Aktivierungsasymmetrie um einen State, welcher jederzeit und von jedem Sportler unabhängig der Expertise abrufbar ist, z.B. in kritischen Wettkampfsituationen?
3. Oder handelt es sich um einen State, der jedoch erst ab einer gewissen Expertise zum Tragen kommt, von Experten reliabler und stärker produziert werden kann und auch erst dann Leistung vorhersagen kann?

Sollte es ein State sein, also beispielsweise ein zeitlich begrenztes Erleben von Flow in Wettkampfsituationen, könnte die Bilanz als Kriterium bei Amateuren wiederum valide sein, da die Asymmetrie oder das Erleben von Flow unabhängig von der Spielklasse und des Gegners sind. Diese Fragen werden in Abschnitt 4.1.4 und 4.1.5 ausführlich diskutiert.

4.1.3 Zusammenhänge zwischen der Alpha-Asymmetrie und Flow

Es wurde postuliert, dass die temporale Aktivierungsasymmetrie mit dem Erleben von Flow, positiven Emotionen, Hoffnung auf Erfolg und Rumination zusammenhängen könnte. Verbal-analytische Prozesse (linke Hirnhälfte) könnten bei Wettkampfangst, Selbstfokus und Grübeln (Rumination) mehr im Vordergrund stehen, wohingegen visuell-räumliche Prozesse mit fokussierter Aufmerksamkeit und mit der Integration visuell-räumlicher Informationen einhergehen könnten. Dies wiederum sind Aspekte des Flow-Erlebens (hohe Konzentration, Absorption, eins sein mit der Situation, fokussiert), was im Gegensatz zu Choking steht. Da auch positive Emotionen wie Freude, positiver Affekt und die Leistungsmotivkomponente Hoffnung auf Erfolg Leistung vorhersagen können, und negativ mit Angst korrelieren, wurden auch hier Zusammenhänge mit der Aktivierungsasymmetrie erwartet.

In der Tat scheint eine stärkere relative rechtshemisphärische Aktivierung bei Experten in der Vorbereitungsphase konsistent mit mehr Flow, weniger Rumination, mehr positivem Affekt und einer stärkeren Ausprägung der Leistungsmotivkomponente Hoffnung auf Erfolg einherzugehen. Dieser Effekt zeigt sich bei Experten aber nur gesamthemisphärisch, war also nicht auf temporale Elektrodenpositionen beschränkt. Zusätzliche Analysen zeigen keine spezifischen Zusammenhänge hemisphärischer Unterschiede in anderen Regionen (frontal, parietal, zentral, okzipital). Neben der in dieser Arbeit vorgestellten *temporalen* Aktivierungsasymmetrie (Hatfield, et al., 2004), postuliert die *frontale* Aktivierungsasymmetrie (hier stärkere relative linksfrontale Aktivierung) einen Zusammenhang mit dem Erleben positiver Emotionen, Achtsamkeit, sowie Annährungsverhalten (Davidson, 2002; Davidson, Ekman, Saron, Senulis, & Friesen, 1990; Keune, Bostanov, Hautzinger, & Kotchoubey, 2011). Aufgrund dieser Theorie könnte man einen Zusammenhang zwischen Affekt, Hoffnung, Rumination und Flow mit frontalen Aktivierungsasymmetrien erwarten. Es zeigen sich jedoch keinerlei Zusammenhänge

zwischen den Emotionsmaßen, Leistungsmotivkomponenten und frontalen Aktivierungsasymmetrien in dieser Studie. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass der Zusammenhang zwischen den frontalen Asymmetrien und Affekt insbesondere bei depressiven Probanden gefunden wurden. Da es sich hier um gesunde Leistungssportler handelt, könnten hier andere neurophysiologische Parameter, welche mit fokussierter Aufmerksamkeit einhergehen, positiven Affekt besser vorhersagen.

Zusätzlich zu den eben beschriebenen Zusammenhängen zwischen der Alpha-Asymmetrie in der Vorbereitungsphase und dem Flow-Erleben, gibt es ähnliche Effekte zwischen der Veränderung der temporalen Alpha-Asymmetrie beim direkten Übergang von der Vorbereitungs- zur Handlungsphase und den Emotionsmaßen. Je stärker linkstemporale (T3) Prozesse inhibiert bzw. je stärker rechtstemporale (T4) Prozesse aktiviert werden, desto mehr Flow und positiven Affekt erleben Tischtennisprofis und desto stärker ist ihre Hoffnung auf Erfolg ausgeprägt.

Es gibt also genau in der Phase starke Zusammenhänge zwischen der asymmetrischer Aktivierung des gesamten Gehirns und dem Erleben von Flow, in welcher auch die Unterschiede zwischen den Gruppen vor allem gesamthemisphärisch zu sehen sind, also in der Vorbereitungsphase. Die temporale Asymmetrie ist wiederum genau dann mit Flow, positivem Affekt und Hoffnung korreliert, wenn auch die Veränderung in der Alpha-Asymmetrie am stärksten temporal ausgeprägt ist, als kurz bevor die Probanden beginnen den Vorhandtopspin auszuführen.

Interessanterweise sind die Ergebnisse bei Amateuren entgegengesetzt zu denen der Experten. Bei Amateuren ist eine relative linkstemporale Aktivierung in der Vorbereitungsphase mit mehr Flow-Erleben assoziiert. Zudem ist ein Anstieg linkshemisphärischer sowie linkstemporaler Aktivität im Übergang zur Handlungsphase mit mehr Flow, Freude und

weniger negativen Affekt assoziiert, was nicht den Hypothesen entspricht. Bei den Nachwuchstalenten ist das Muster ähnlich wie bei Amateuren, jedoch inkonsistent. Auch bei ihnen korreliert eine stärkere relative linkshemisphärische Aktivität mit mehr Flow-Erleben und mehr linkstemporale Aktivität (T3) mit weniger Hoffnung auf Erfolg und mehr Furcht vor Misserfolg. Beim Übergang zur Handlungsphase ist die linkshemisphärische Inhibierung jedoch mit mehr positivem Affekt korreliert, was doch dem Muster von Experten ähnelt.

4.1.4 Hemisphärische Asymmetrie - mehr als das Erleben von Flow?

Die Befunde dieser Studie sprechen für hemisphärische Aktivierungsunterschiede als ein psychophysiologischer Mechanismus sportlicher Spitzenleistung: Experten weisen im entscheidenden Moment der motorischen Ausführung eine signifikant stärker ausgeprägte hemisphärische Asymmetrie auf als Amateure. Der Übergang zur Handlungsphase ist insbesondere durch Änderungen in der temporalen Aktivierungsasymmetrie gekennzeichnet, wenn auch die Unterschiede zu Beginn der Handlungsphase vor allem durch okzipitale Unterschiede erklärt werden können. Zudem hängt die Ausprägung der temporalen Asymmetrie in der Vorbereitungsphase bei Experten mit dem Weltranglistenplatz zusammen. Ferner konnte bei Experten hypothesenkonform ein Zusammenhang der Asymmetrie mit dem Erleben von Flow nachgewiesen werden. Bei Amateuren und Nachwuchstalenten war dieser Zusammenhang genau entgegengesetzt. Nur bei Experten geht somit eine relative rechtshemisphärische Aktivierung mit mehr Leistung und Flow einher, während Amateure bei einer linkshemisphärischen Aktivierung mehr Flow erleben. Man kann also schlussfolgern, dass die Asymmetrie nur bei Experten, jedoch nicht *per se*, einen psychophysiologischen Mechanismus sportlicher Spitzenleistung darstellt. Weiterhin scheint die Asymmetrie nicht ausschließlich auf das Erleben von Flow, Affekt, Rumination, Freude und Hoffnung auf Erfolg zurückzuführen sein. Hierfür waren einerseits die Korrelationskoeffizienten nicht

große genug. Noch bedeutsamer ist, dass es zwar hemisphärische Aktivierungsunterschiede zwischen den Gruppen gibt, aber keine Unterschiede im Erleben von Flow.

Die temporale Aktivierungsasymmetrie ist also nur dann ein Prädiktor für Spitzenleistung und Flow-Erleben, wenn sie bei Tischtennispielern auftritt, die bereits ein hohes Leistungsniveau entwickelt haben und sie muss mehr bedeuten als das reine Erleben von Flow und die Unterbindung störender Gedanken.

Viele relevante Faktoren, die mit einer stärkeren rechtshemisphärischen Aktivierung einhergehen könnten, also Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungsleistungen, wurden in dieser Studie nicht erfasst. Folgende Facetten des psychophysiologischen Mechanismus erscheinen jedoch als hoch wahrscheinlich: frühe Wahrnehmungsleistungen und Integration komplexer visueller Stimuli, Erkennung intentionaler Bewegungen, Fokussierung auf externe Reize anstelle auf die eigene motorische Ausführung. Hierfür sprechen auch die oben diskutierten Befunde der frontoparen asymmetrischen Aktivierungsunterschiede zwischen Experten und Amateuren. Nicht auszuschließen sind zusätzliche, momentan unbekannte Faktoren, die die gefundene Asymmetrie zusätzlich erklären können. Wie oben erwähnt, gibt es starke okzipitale Unterschiede zwischen Experten sowie Nachwuchstalenten und Amateuren, für die bisher keine Erklärung besteht.

4.1.5 Hemisphärische Asymmetrie - State oder Trait?

Aus dem letzten Abschnitt geht hervor, dass es sich bei der hemisphärischen Asymmetrie um einen psychophysiologischen Mechanismus handelt, der erst ab einer bestimmten Expertise zum Tragen kommt und mehr bedeuten muss als das Erleben von Flow. Es stellt sich jedoch immer noch die Frage, ob es sich bei der Asymmetrie um einen stabilen Trait oder um einen State handelt. Ein Trait wäre eine stabile Persönlichkeitseigenschaft, sozusagen ein

Talentfaktor, den Spitzensportler „von Haus aus mitbringen“. Ein State wäre ein Zustand, welcher von Experten situativ und adaptiv hergestellt werden kann.

Entscheidende Faktoren sprechen gegen die Einschätzung der hemisphärischen Asymmetrie als einen Trait:

- Die Unterschiede in der Hemisphärischen Asymmetrie zwischen den Gruppen ändern sich im Verlauf Vorbereitungs- und Handlungsphase. Die Asymmetrie verändert sich also situativ und adaptiv zu den Anforderungen der Aufgabe.
- die temporale Asymmetrie ist bei Experten geringer ausgeprägt im Vergleich zu Nachwuchstalenten und Amateuren, wenn auch nicht signifikant. Trotzdem korreliert die Ausprägung der temporalen Asymmetrie bei Experten mit dem Weltranglistenplatz.
- Die *Veränderung* der temporalen Alpha-Asymmetrie korreliert mit dem Flow-Erleben.
- Die Asymmetrien sind ausschließlich während der Bewegungsvorstellung mit Leistung und Flow-Erleben korreliert, nicht in der Baseline.

Diese Gründe sprechen überzeugend dafür, dass es sich bei der temporalen und gesamthemisphärischen Asymmetrie um einen Zustand, also einen State handelt. Dieser State ist jedoch ausschließlich bei Experten mit Flow-Erleben und Leistung korreliert. Somit scheinen andere zugrundeliegende Faktoren, die sich mit der Expertiseentwicklung herauskristallisieren, den Mechanismus zu bedingen. Erwähnenswert ist, dass sich die gesamthemisphärische Asymmetrie in ihrer Funktionalität von der temporalen Asymmetrie unterscheiden könnte. Beispielsweise korreliert bei Experten der Weltranglistenplatz in der Vorbereitungsphase mit der temporalen Asymmetrie, nicht jedoch mit der gesamthemisphärischen Asymmetrie. Andererseits korrelieren die Emotionsmaße Flow,

Affekt und Hoffnung in der Vorbereitungsphase mit der gesamthemisphärischen Asymmetrie, nicht jedoch mit der temporalen Asymmetrie. Gleichzeitig gibt es einen Zusammenhang zwischen der Veränderung der temporalen Asymmetrie im Übergang zur Handlungsphase mit dem Flow-Erleben, nicht jedoch mit dem Weltranglistenplatz.

Zusammengefasst sprechen die Veränderungen der asymmetrischen temporalen Aktivierung in Abhängigkeit der Aufgabe (Beginn der motorischen Ausführung) und der Zusammenhang mit dem Erleben von Flow und Leistung bei Experten für einen Zustand, also einen State. Diese Asymmetrie kann jedoch ausschließlich bei Experten Leistung und Flow-Erleben vorhersagen, was für einen psychophysiologischen Mechanismus spricht, der sich erst durch intensives Training oder andere Erfahrungen im Verlauf der Expertiseentwicklung entwickelt. Hierfür sprechen auch die Befunde der Nachwuchstalente. Es gibt kaum signifikante Unterschiede zwischen Experten und Nachwuchstalenten in der Ausprägung der hemisphärischen Asymmetrie. Trotzdem kann nur bei Experten eine stärkere relative rechtshemisphärische Aktivierung Leistung und Flow konsistent vorhersagen. Nachwuchstalente ähneln in manchen Ergebnissen denen der Amateure und manchmal denen der Experten.

4.2 Neural Efficiency

Erwartet wurde eine niedrigere gesamthemisphärische Aktivität bei Experten (Neural Efficiency), eine stärkere Synchronisierung des Alpha-Bandes (ERS) zu Beginn der Bewegungsvorstellung, also der Videopräsentation, und eine stärkere kontralaterale Aktivierung des motorischen Kortex vor der vorgestellten motorischen Ausführung des Tischtennisschlages.

Die niedrigere gesamtkortikale Aktivität bei Experten konnte nicht bestätigt werden. Nachwuchstalente zeigen sogar eine geringere Aktivität als Experten, auch wenn die Unterschiede nicht signifikant sind. Diese Effekte müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da ein entscheidender methodischer Mangel diese Effekte beeinflusst haben könnte. Die Alpha Power, als Index kortikaler Inhibierung, ist nach direkter sportlicher aerober Betätigung erhöht (Crabbe & Dishman, 2004). Experten sowie Nachwuchstalente wurden, wie in Abschnitt 2.2 berichtet, während Trainingslagern in der Regel nach sportlichen Aktivitäten gemessen. Dies könnte die Unterschiede in der Alpha Power, insbesondere im Vergleich zu Amateuren, beeinflusst haben. Die beobachteten Änderungen der Alpha Power während der Bewegungsvorstellung werden davon aber nicht beeinflusst und sind somit valide. Hier zeigt sich ein sehr starker und signifikanter Anstieg der Alpha Power bei allen Probanden zu Beginn der Videopräsentation (ERS). Dieser Effekt wurde erwartet, weil er bei Wahrnehmungsexperimenten häufig beobachtet wird und mit Wahrnehmungsleistung einherzugehen scheint (Klimesch, et al., 2007). Die Experten zeigen jedoch keine stärkere ERS als Amateure und Nachwuchstalente. Somit konnte diese Hypothese nicht bestätigt werden. Evt. ist dieser sehr frühe Aufmerksamkeitseffekt ein prinzipieller Salienzeffekt, der auftritt, wenn Stimuli wahrgenommen werden. Für eine erfolgreiche sportliche Handlung entscheidend sind vermutlich eher spätere Prozesse, also Prozesse der sensorischen Verarbeitung, Fokussierung, Antizipation, motorischen Planung und der Ausführung einer Handlung. Somit könnte man stärkere Unterschiede im Verlauf der Videopräsentation zwischen den Gruppen annehmen.

Entsprechend wurde eine stärker ausgeprägte kontralaterale Desynchronisierung der Alpha Power im motorischen Cortex bei den Experten erwartet. In der Literatur zu statischen Sportarten, wie Golf oder Sportschießen, wird zwar häufig eine weniger stark ausgeprägte kontralaterale Desynchronisierung berichtet, also eine geringere Aktivierung relevanter

motorischer Areale, was als Beleg der „Neural Efficiency Hypothese“ im Leistungssport angesehen wurde (siehe z.B. Babiloni, Del Percio, et al., 2008). Jedoch sind die Anforderungen bei statischen Sportarten sehr unterschiedlich im Vergleich zu hoch reaktiven Sportarten. Im Golf werden motorische Ausführungen geplant und es muss nicht unter Zeitdruck auf komplexe Reize reagiert werden. Hier wurde deshalb postuliert, dass die Reaktion auf Tischtennisschläge prozeduralen Aufgaben ähnelt (sequentielles Lernen, komplexe Integration visueller Stimuli) und Prozesse des Arbeitsgedächtnisses weniger stark als beim Golf involviert sind. Bei prozeduralen Aufgaben gehen Leistung und Automatisierung wiederum eher mit einer stärkeren Aktivierung motorischer und visueller Hirnareale einher (Karni, et al., 1995).

In der Tat ist die Aktivierung des motorischen Kortex kurz vor der mentalen motorischen Ausführung bei Experten signifikant stärker als bei Amateuren. Jedoch ist dieser Effekt nicht auf den kontralateralen motorischen Kortex beschränkt, sondern zeigt sich ausgeprägter und signifikant ipsilateral. Tischtennispieler zeigen also mit steigender Expertise eine stärkere Aktivierung des gesamten motorischen Kortex, wenn sie die Reaktion auf einen Aufschlag eines Gegners mit einem Vorhand Topspin imaginieren.

Kritik am Konzept „Neural Efficiency“

Das Konzept der „Neural Efficiency“ wurde im Sportbereich insbesondere mit geringerer kortikaler Aktivität gleichgesetzt (siehe z.B. Babiloni, et al., 2010). Wie oben diskutiert und wie die Befunde dieser Arbeit zeigen, sind neurophysiologische Prozesse jedoch stark abhängig von Attributen der jeweiligen Aufgabe sowie des sportlichen Kontextes. Unterschiedliche Sportarten stellen unterschiedliche Anforderungen. Warum sollten neurophysiologische Parameter sportlicher Spitzenleistung im Golf identisch sein mit denen

im Tischtennis, wenn bereits auf phänomenaler (Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Reaktion, Motorik) Ebene unterschiedliche Faktoren für die Leistung verantwortlich sind? Die unter 1.1.2 beschriebenen differierenden neurophysiologischen Befunde zwischen Arbeitsgedächtnisaufgaben (eher explizit) und prozedurale (eher implizite) Aufgaben sind sicherlich nur ein, wenn auch wichtiges, Beispiel unterschiedlicher neurophysiologischer Verarbeitungsmuster in Abhängigkeit von Anforderungen einer Aufgabe.

Diese Arbeit konnte ein distinktes Aktivierungsmuster bei Experten im Vergleich zu Amateuren zeigen. Die Befunde sprechen für eine linkshemisphärische (frontale, temporale, okzipitale) Inhibierung und eine rechtshemisphärische Aktivierung, sowie eine stärkere Beteiligung des motorischen Kortex. Muss man nun schlussfolgern, dass die Experten in dieser Untersuchung keine effiziente kortikale Verarbeitung aufweisen, weil sie gesamthemisphärisch nicht weniger Aktivität zeigen als Amateure? Es erscheint fragwürdig, kortikale Effizienz, also eine effiziente kortikale Aktivierung und Verarbeitung, lediglich mit geringerer Aktivität gleichzusetzen. Spitzenleistung entwickelt sich durch intensives Training (Krampe & Ericsson, 1996) unter sportartspezifischen Bedingungen mit entsprechend spezifischen Anforderungen, worauf sich das Gehirn anpasst (Yarrow, et al., 2009). Dies könnte die heterogene Studienlage, wie in Abschnitten 1.1.2 und 1.2.1 berichtet, mit erklären. Nichtsdestotrotz bleibt die Frage offen, ob aufgabenrelevante Areale mit steigender Expertise stärker oder weniger stark aktiviert werden, und wie diese Unterschiede erklärt werden. Beim Lesen der bestehenden Literatur könnte man den Eindruck gewinnen, einige Autoren diskutieren und interpretieren ihre Befunde „nach gusto“: geringere Aktivierung aufgabenrelevanter Areale mit ansteigender Expertise wird im Sinne erhöhter Automatisierung und dadurch mit „weniger Bedarf an kortikaler Aktivität“ dieses Areals erklärt. Bei einer stärkeren Aktivierung wird wiederum von einer gesteigerten Relevanz und Beteiligung dieses Areals und dadurch mit „erhöhter kortikaler Aktivität“ argumentiert. Die

Befunde der vorliegenden Arbeit weisen auf eine stärkere Aktivierung aufgabenrelevanter Areale hin. Rechtstemporale Prozesse, relevant für Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsleistungen sowie motorische Prozesse relevant für die Ausführung einer Handlung werden bei Experten im Verlauf der Bewegungsvorstellung stärker aktiviert. Zudem werden aufgabenirrelevante Areale inhibiert. Hier insbesondere die linke Hemisphäre und hier v.a. links temporale, frontopolare Areale und okzipitale Prozesse, welche mit Selbstaufmerksamkeit, Ruminaton und Fokusverlust einhergehen könnten.

Somit könnte man hier durchaus schlussfolgern, dass die kortikale Aktivierung bei professionellen Tischtennispielern „effizienter“ ist als bei Amateuren (Nachwuchstalente liegen dazwischen): es werden genau die Areale stärker aktiviert, die für die Ausführung eines Tischtennisschlages in einer Wettkampfsituation relevant sind: fokussierte Aufmerksamkeit, motorische Ausführung, Verhinderung von Ruminaton und Flow-Erleben.

4.3 Limitationen

Ein limitierender Faktor wurde oben bereits angesprochen. Die Erhebungsorte variierten je nach Studiengruppe. So wurden Experten und Nachwuchstalente in Trainingslagern getestet und waren vor den Erhebungen sportlich aktiv. Für die Amateure liegen keine Informationen über ihre sportliche Aktivität vor dem Experiment vor. Diese Tatsache hat einen unkontrollierten Einfluss auf die gesamthemisphärische Alpha Power und damit auf die Hypothese der geringeren Aktivität bei Experten (Neural Efficiency). Alle anderen Hypothesen, insbesondere jene, die sich auf Veränderungen der Alpha Power während der Bewegungsvorstellung beziehen, sind von diesem Störeinfluss unberührt. Die Auswirkungen können nur Effekte auf die absolute Alpha Power haben, nicht jedoch auf die relative Veränderung im Verlauf des Experimentes.

Das Stimulusmaterial unterschied sich je nach Gruppe in Abhängigkeit von Geschlecht und Expertise (bei Nachwuchstalenten zusätzlich in Abhängigkeit des Alters). Dies könnte die Ergebnisse beeinflusst haben, auch wenn es keine signifikanten Unterschiede in der Einschätzung der Videos und in der Vorstellungsgüte gab. Zudem waren die Unterschiede intendiert, um die ökologische Validität, die Motivation und dadurch die Validität der Daten zu erhöhen. Die wichtigste Voraussetzung für die Validität der EEG-Daten ist die „tatsächliche“ Vorstellung einer Tischtennisbewegung. Wären beispielsweise die Experten „gelangweilt“ von den Aufschlägen des Videogegners, hätten sie die Vorstellungen evt. gar nicht mental durchgeführt. Ein wichtiger methodischer Mangel hinsichtlich des Stimulusmaterials betrifft jedoch die Händigkeit der Videogegner und damit deren Aufschlagposition. Männliche Experten haben als einzigen Videogegner einen linkshändigen Spieler präsentiert bekommen. Dadurch wurde der Aufschlag von der linken Seite (aus der Egoperspektive des Probanden) gespielt. Bei allen anderen Probanden von der rechten Seite. Somit wurde die Aufmerksamkeit und der Blick (evt. auch der Kopf) nach links gerichtet. Dies könnte Einflüsse auf die Aktivitätsasymmetrie gehabt haben, da man durch Hemifield-Experimente weiß, dass Reize, welche im linken Gesichtsfeld präsentiert werden, rechtshemisphärisch, insbesondere im visuellen Kortex verarbeitet werden. Dies könnte Auswirkungen auf die okzipitale Asymmetrie gehabt haben. In der Tat scheinen Experten auch im visuellen Kortex rechtshemisphärisch mehr Aktivität aufzuweisen, jedoch sollten hier die Unterschiede zu Beginn der Präsentation maximal werden, weil hier die Aufmerksamkeit erstmals ausgerichtet wird. Dies ist jedoch nicht der Fall. Die Asymmetrien unterscheiden sich zu Beginn des Videos nicht zwischen Experten und Nachwuchstalenten, die immer Aufschläge von der rechten Seite präsentiert bekamen. Zusätzlich nimmt die relative rechtsokzipitale Aktivität bei Experten im Verlauf der Vorstellungsaufgabe stetig zu, was man aufgrund von Aufmerksamkeits- Fokussierung und der dadurch entsprechenden leichten

Kopfdrehung nicht erwarten würde. Auch hier sollten die Hemifield-Effekte eher kleiner werden. Abschließend ist zu erwähnen, dass der Abstand zum Video ca. 2 Meter betraf, somit befindet sich ohnehin das Video und der Aufschläger in beiden Gesichtsfeldern und die Effekte sollten dadurch wenig stark ausgeprägt sein. Trotzdem kann ein Störeinfluss auf die okzipitale Asymmetrie nicht ausgeschlossen werden. Da auch die gesamthemisphärischen Unterschiede zu Beginn der Handlungsphase vor allem durch okzipitale Unterschiede erklärbar sind, kann auch ein Einfluss auf die Hauptanalyse nicht ausgeschlossen werden, insbesondere weil es, wie oben bereits angesprochen, noch keine Erklärung für die starken okzipitalen Unterschiede zwischen Experten und Amateure gibt. Wobei abschließend an dieser Stelle noch einmal erwähnt werden muss, dass Nachwuchstalente eine zu Experten vergleichbare okzipitale Asymmetrie aufweisen, deren Stimulusmaterial vergleichbar zu jenem der Amateure war. Dies lässt auf einen Expertiseeffekt hinsichtlich der Ausprägung der okzipitalen Asymmetrie schließen.

Die ersten 4 Sekunden des Videos wurden in dieser Studie als Vorbereitungsphase definiert und die 5. Sekunde als Beginn der Handlungsphase. Es wurde davon ausgegangen, dass Tischtennispieler sich erst anfangen zu bewegen, wenn der Ball des gegnerischen Aufschlägers hochgeworfen wird, was in dieser Studie immer in der vierten Sekunde geschah. Jedoch gab es kein objektives, valides und reliables Kriterium, ob die Probanden sich tatsächlich genau zu diesem Zeitpunkt vorgestellt haben den Tischtennisschlag auszuführen. Dies könnte die Ergebnisse beeinflusst haben. So hätten Experten sich früher vorstellen können einen Top-Spin zu spielen. Dies kann nicht komplett ausgeschlossen werden. Ein Argument gegen diesen Störeinfluss ist die gesamtkortikale Aktivierung (ERD) zwischen der 4. auf die 5. Sekunde sowie die kontralaterale Desynchronisierung im motorischen Kortex zwischen der 4. und 5. Sekunde über alle Gruppen hinweg, was eine stärkere kognitive

Verarbeitung spricht und vermuten lässt, dass sich die Probanden tatsächlich vorstellten einen Schlag auszuführen.

4.4 Was fehlt....

Diese Arbeit hatte den Fokus auf die funktionelle Alpha-Asymmetrie bzw. auf die Alpha-Aktivität als Indikator für die kortikale Inhibierung bzw. Erregbarkeit in spezifischen Hirnarealen. Aktuelle Studien legen jedoch nahe, dass auch andere Frequenzbänder wie Theta (4-7 Hz) mit Aufmerksamkeit oder Leistung einhergehen (siehe z.B. Doppelmayr, Finkenzeller, & Sauseng, 2008). Neben dem Ansatz die Erregung oder Aktivierung bestimmter Hirnareale, gewinnen Methoden der Kohärenz, also der Kommunikation zwischen einzelnen Hirnregionen immer mehr an Bedeutung (siehe z.B. Deeny, et al., 2003). Deshalb werden die Daten hinsichtlich kortiko-kortikaler Kommunikation reanalysiert, um zusätzliche Erkenntnisse, v.a. über die Kohärenz zwischen temporalen und prämotorischen Arealen zu eruieren (Wolf, Broelz, Hautzinger, & Strehl, in Vorbereitung). Wie oben bereits thematisiert, fehlen in dieser Studie Indikatoren für Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsleistungen. Hier wären Studien sinnvoll, um weitere psychologische Faktoren der Hemisphärenasymmetrie zu untersuchen.

4.5 Fazit

Neurophysiologische Korrelate sportlicher Leistung unter Wettkampfdruck wurden in dieser Studie erstmals bei der Imagination sich in einem Wettkampf zu befinden, untersucht. Bisher gab es kaum Studien, die neurophysiologische Messungen bei hoch-reaktiven Sportarten untersucht haben, deshalb wurden in dieser Studie professionelle Tischtennispieler mit Amateuren und Nachwuchssportler hinsichtlich ihrer EEG-Aktivität bei einer

Imaginationsaufgabe verglichen. Die Ergebnisse sprechen für die Validität der Bewegungsvorstellung als adäquate Untersuchungsmethode, da einige Befunde aus anderen Studien während der Imaginationsaufgabe repliziert werden konnten. Der motorische Kortex wurde in der Vorbereitungsphase bei Experten signifikant stärker aktiviert als bei Amateuren, was Ergebnissen von Studien entspricht, die prozedurale Aufgaben mit ähnlichen Anforderungen, z.B. der Integration komplexer visueller Stimuli, präsentierten. Zudem scheint eine stärkere relative linkshemisphärische Inhibierung kortikaler Prozesse auch bei Tischtennispielern mit Expertise einherzugehen. Während die Unterschiede in der asymmetrischen Aktivierung zwischen Experten und Amateuren in der motorischen Vorbereitungsphase insbesondere okzipital und frontopolar zu sehen sind, aktivieren professionelle Tischtennispieler in der Übergangsphase zur Handlung stärker rechtshemisphärische, und hier insbesondere rechtstemporale, Prozesse als Amateursportler. Bei Experten korrelierte die gesamthemisphärische asymmetrische Aktivierung signifikant mit mehr Flow-Erleben, Hoffnung auf Erfolg, positivem Affekt und die temporale Asymmetrie signifikant mit dem Weltranglistenplatz. Diese Asymmetrie deutet auf einen psychophysiologischen Mechanismus hin, der als State erst ab einem gewissen Expertiseniveau zu tragen kommt, da die gleiche asymmetrische Aktivierung bei Amateuren und Nachwuchstalenten mit weniger Flow-Erleben einhergeht und zudem nicht mit Leistungsparametern korreliert. Die Fähigkeit, diese Asymmetrie in Wettkampfsituationen herzustellen, könnte mit Flow-Erleben, fokussierter Aufmerksamkeit und Automatizität motorischer Bewegungen einhergehen und dadurch „choking under pressure“ verhindern. Ein entsprechendes Training diese Asymmetrie könnte eine schnellere Herbeiführung und eine stärkere Ausprägung der Asymmetrie bewirken und dadurch die Leistung in Wettkampfsituationen steigern (Beckmann, et al., 2012; Wolf, Broelz, Schütze, Joos, & Strehl, in Vorbereitung).

5 Literaturverzeichnis

- Ashby, F. G., Alfonso-Reese, L. A., Turken, A. U., & Waldron, E. M. (1998). A neuropsychological theory of multiple systems in category learning. *Psychological Review*, *105*(3), 442-481.
- Babiloni, C., Capotosto, P., Brancucci, A., Del Percio, C., Petrini, L., Buttiglione, M., et al. (2008). Cortical alpha rhythms are related to the anticipation of sensorimotor interaction between painful stimuli and movements: a high-resolution EEG study. *Journal of Pain*, *9*(10), 902-911.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Iacoboni, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N., et al. (2008). Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *The Journal of Physiology*, *586*(1), 131-139.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Rossini, P. M., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., et al. (2009). Judgment of actions in experts: a high-resolution EEG study in elite athletes. *Neuroimage*, *45*(2), 512-521.
- Babiloni, C., Marzano, N., Infarinato, F., Iacoboni, M., Rizza, G., Aschieri, P., et al. (2010). "Neural efficiency" of experts' brain during judgment of actions: a high-resolution EEG study in elite and amateur karate athletes. *Behav Brain Res*, *207*(2), 466-475.
- Baron, R., Petschnig, R., Bachl, N., Raberger, G., Smekal, G., & Kastner, P. (1992). Catecholamine excretion and heart rate as factors of psychophysical stress in table tennis. *International Journal of Sports Medicine*, *13*(7), 501-505.
- Baumeister, R. F. (1984). Choking under pressure: Self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, *46*(3), 610-620.
- Baumeister, R. F., Hamilton, J. C., & Tice, D. M. (1985). Public Versus Private Expectancy of Success - Confidence Booster or Performance Pressure. *Journal of Personality and Social Psychology*, *48*(6), 1447-1457.
- Baumeister, R. F., & Showers, C. J. (1986). A Review of Paradoxical Performance Effects - Choking under Pressure in Sports and Mental Tests. *European Journal of Social Psychology*, *16*(4), 361-383.
- Beckmann, J., Gropel, P., & Ehrlenspiel, F. (2012). Preventing Motor Skill Failure Through Hemisphere-Specific Priming: Cases From Choking Under Pressure. *Journal of Experimental psychology: General*.
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2001). On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure? *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(4), 701-725.
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2005). When high-powered people fail: Working memory and "choking under pressure" in math. *Psychological Science*, *16*(2), 101-105.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., & Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *8*(1), 6-16.
- Beilock, S. L., Kulp, C. A., Holt, L. E., & Carr, T. H. (2004). More on the fragility of performance: Choking under pressure in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(4), 584-600.
- Binkofski, F., Amunts, K., Stephan, K. M., Posse, S., Schormann, T., Freund, H. J., et al. (2000). Broca's region subserves imagery of motion: a combined cytoarchitectonic and fMRI study. *Human Brain Mapping*, *11*(4), 273-285.

- Birbaumer, N., & Schmidt, F. (2010). *Biologische Psychologie* (Vol. 7). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Bird, E. I. (1987). Psychophysiological processes during rifle shooting. *International Journal of Sport Psychology*, *18*(1), 9-18.
- Birnboim, S. (2003). The automatic and controlled information-processing dissociation: is it still relevant? *Neuropsychological Review*, *13*(1), 19-31.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*(1), 49-59.
- Bühner, M., & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* München: Pearson
- Chein, J. M., & Schneider, W. (2005). Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain-general control network for learning. *Cognitive Brain Research*, *25*(3), 607-623.
- Chiviawosky, S., Wulf, G., & Wally, R. (2010). An external focus of attention enhances balance learning in older adults. *Gait Posture*, *32*(4), 572-575.
- Cisek, P. (2006). Integrated neural processes for defining potential actions and deciding between them: a computational model. *Journal of Neuroscience*, *26*(38), 9761-9770.
- Cisek, P., & Kalaska, J. F. (2005). Neural correlates of reaching decisions in dorsal premotor cortex: specification of multiple direction choices and final selection of action. *Neuron*, *45*(5), 801-814.
- Clark, R. D. (2007). A longitudinal study of "choking" in professional golfers. *Perceptual and Motor Skills*, *105*(3), 827-837.
- Cohen, J. C. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2 ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Collins, D., Powell, G., & Davies, I. (1990). An electroencephalographic study of hemispheric processing patterns during karate performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *12*, 223-234.
- Crabbe, J. B., & Dishman, R. K. (2004). Brain electrocortical activity during and after exercise: a quantitative synthesis. *Psychophysiology*, *41*(4), 563-574.
- Cragg, L., Kovacevic, N., McIntosh, A. R., Poulsen, C., Martinu, K., Leonard, G., et al. (2011). Maturation of EEG power spectra in early adolescence: a longitudinal study. *Science and Development Network*, *14*(5), 935-943.
- Csikszentmihaly, M., & Hunter, J. (2003). Happiness in everyday life: The uses of experience sampling. *Journal of Happiness Studies*, *4*, 185-199.
- Csikszentmihalyi, M., & LeFevre, J. (1989). Optimal experience in work and leisure. *Journal of Personality and Social Psychology*, *56*(5), 815-822.
- D'Esposito, M., Aguirre, G. K., Zarahn, E., Ballard, D., Shin, R. K., & Lease, J. (1998). Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory. *Cognitive Brain Research*, *7*(1), 1-13.
- Davidson, R. J. (2002). Anxiety and affective style: role of prefrontal cortex and amygdala. *Biological Psychiatry*, *51*(1), 68-80.
- Davidson, R. J., Ekman, P., Saron, C. D., Senulis, J. A., & Friesen, W. V. (1990). Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology. *Journal of Personality and Social Psychology*, *58*(2), 330-341.
- De Francesco, C., & Burke, K. L. (1997). Performance enhancement strategies used in a professional tennis tournament. *International Journal of Sport Psychology*, *28*(2), 185-195.

- Debaere, F., Wenderoth, N., Sunaert, S., Van Hecke, P., & Swinnen, S. P. (2004). Changes in brain activation during the acquisition of a new bimanual coordination task. *Neuropsychologia*, *42*(7), 855-867.
- DeCaro, M. S., Thomas, R. D., Albert, N. B., & Beilock, S. L. (2011). Choking Under Pressure: Multiple Routes to Skill Failure. *Journal of Experimental Psychology: General*, *140*(3), 390-406.
- Deeny, S. P., Hillman, C. H., Janelle, C. M., & Hatfield, B. D. (2003). Cortico-cortical communication and superior performance in skilled marksmen: An EEG coherence analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *25*(2), 188-204.
- Del Percio, C., Babiloni, C., Bertollo, M., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., et al. (2009). Visuo-attentional and sensorimotor alpha rhythms are related to visuo-motor performance in athletes. *Human Brain Mapping*, *30*(11), 3527-3540.
- Del Percio, C., Babiloni, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Vecchio, F., et al. (2009). "Neural efficiency" of athletes' brain for upright standing: a high-resolution EEG study. *Brain Research Bulletin*, *79*(3-4), 193-200.
- Del Percio, C., Brancucci, A., Bergami, F., Marzano, N., Fiore, A., Di Ciolo, E., et al. (2007). Cortical alpha rhythms are correlated with body sway during quiet open-eyes standing in athletes: a high-resolution EEG study. *Neuroimage*, *36*(3), 822-829.
- Del Percio, C., Brancucci, A., Vecchio, F., Marzano, N., Pirritano, M., Meccariello, E., et al. (2007). Visual event-related potentials in elite and amateur athletes. *Brain Research Bulletin*, *74*(1-3), 104-112.
- Del Percio, C., Rossini, P. M., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Aschieri, P., et al. (2008). Is there a "neural efficiency" in athletes? A high-resolution EEG study. *Neuroimage*, *42*(4), 1544-1553.
- Di Russo, F., Pitzalis, S., Aprile, T., & Spinelli, D. (2005). Effect of practice on brain activity: an investigation in top-level rifle shooters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *37*(9), 1586-1593.
- Doppelmayr, M., Finkenzeller, T., & Sauseng, P. (2008). Frontal midline theta in the pre-shot phase of rifle shooting: differences between experts and novices. *Neuropsychologia*, *46*(5), 1463-1467.
- dpa (Producer). (2012, 12.10.12) Boll scheidert schon im Achtelfinale. *Tischtennis-Pleite*. retrieved from <http://www.spiegel.de/sport/sonst/olympia-2012-boll-scheidert-im-achtelfinale-a-847289.html>
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature*, *427*(6972), 311-312.
- Durand-Bush, N., & Salmela, J. H. (2002). The development and maintenance of expert athletic performance: Perceptions of world and Olympic champions. *Journal of Applied Sport Psychology*, *14*(3), 154-171.
- Ehrlenspiel. (2006). Choking under pressure – Attention and motor control in performance situations (Doctoral dissertation).
- Ehrsson, H. H., Geyer, S., & Naito, E. (2003). Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations. *Journal of Neurophysiology*, *90*(5), 3304-3316.
- Elbe, A.-M., Wenhold, F., & Müller, D. (2005). Zur Reliabilität und Validität des AMS-Sport- ein Instrument zur Bestimmung der sportspezifischen Leistungsmotivs. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *12*(2), 57-68.
- Fattapposta, F., Amabile, G., Cordischi, M. V., Di Venanzio, D., Foti, A., Pierelli, F., et al. (1996). Long-term practice effects on a new skilled motor learning: an

- electrophysiological study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(6), 495-507.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*(39), 175-191.
- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Human performance. Oxford, England: Brooks/Cole Brooks/Cole Print.
- Frith, C. D., Friston, K., Liddle, P. F., & Frackowiak, R. S. (1991). Willed action and the prefrontal cortex in man: a study with PET. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, 244(1311), 241-246.
- Galin, D., & Ornstein, R. (1972). Lateral specialization of cognitive mode: an EEG study. *Psychophysiology*, 9(4), 412-418.
- Garavan, H., Kelley, D., Rosen, A., Rao, S. M., & Stein, E. A. (2000). Practice-related functional activation changes in a working memory task. *Microscopy Research and Technique*, 51(1), 54-63.
- Gautreau, T., & Jackson, D. (Producer). (2011, 18.09.2012) ITTF World Ranking Basic Description. retrieved from http://www.ittf.com/stories/pictures/basic_principles_2011.pdf
- Gerrards-Hesse, A., Spies, K., & Hesse, F. W. (1994). Experimental inductions of emotional states and their effectiveness: A review. *British Journal of Psychology*, 85(1), 55-78.
- Gould, D., Dieffenbach, K., & Moffett, A. (2002). Psychological characteristics and their development in Olympic champions. *Journal of Applied Sport Psychology*, 14(3), 172 – 204.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(3), 316-322.
- Haier, R. J., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K., & Alkire, M. T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *Neuroimage*, 23(1), 425-433.
- Haier, R. J., Siegel, B. V., Jr., MacLachlan, A., Soderling, E., Lottenberg, S., & Buchsbaum, M. S. (1992). Regional glucose metabolic changes after learning a complex visuospatial/motor task: a positron emission tomographic study. *Brain Research*, 570(1-2), 134-143.
- Haslinger, B., Erhard, P., Altenmuller, E., Hennenlotter, A., Schwaiger, M., Grafín von Einsiedel, H., et al. (2004). Reduced recruitment of motor association areas during bimanual coordination in concert pianists. *Human Brain Mapping*, 22(3), 206-215.
- Hatfield, B. D., Haufler, A. J., Hung, T.-M., & Spalding, T. W. (2004). Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 21(3), 144-156.
- Haufler, A. J., Spalding, T. W., Maria, D. L. S., & Hatfield, B. D. (2000). Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: Comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological Psychology*, 53(2-3), 131-160.
- Hellige, J. B. (1990). Hemispheric asymmetry. *Annual Review of Psychology*, 41, 55-80.
- Hill, J. C., Hanton, S., Matthews, N., & Fleming, S. (2010). Choking in sport: a review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 3(1), 24-39.
- Hillman, C. H., Apparies, R. J., Janelle, C. M., & Hatfield, B. D. (2000). An electrocortical comparison of executed and rejected shots in skilled marksman. *Biological Psychology*, 52(1), 71-83.
- Hossner, E. J., & Ehrlenspiel, F. (2010). Time-Referenced Effects of an Internal vs. External Focus of Attention on Muscular Activity and Compensatory Variability. *Frontiers in Psychology*, 1, 230.

- ITTF, I. T. T. F. (Producer). (2002) World Ranking System and World Ranking Policy for 2011
retrieved from
http://www.ittf.com/_front_page/ittf_full_story1.asp?ID=22863&Category=#
- Jackson, R. C., Ashford, K. J., & Norsworthy, G. (2006). Attentional focus, dispositional reinvestment, and skilled motor performance under pressure. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 28*(1), 49-68.
- Janelle, C. M., Hillman, C. H., Apparies, R. J., Murray, N. P., Meili, L., Fallon, E. A., et al. (2000). Expertise differences in cortical activation and gaze behavior during rifle shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 22*(2), 167-182.
- Janelle, C. M., Singer, R. N., & Williams, A. M. (1999). External distraction and attentional narrowing: Visual search evidence. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 21*(1), 70-91.
- Jansma, J. M., Ramsey, N. F., Slagter, H. A., & Kahn, R. S. (2001). Functional anatomical correlates of controlled and automatic processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*(6), 730-743.
- Jasper, H. H. (1958). Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography: 1957 *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 10*(4), 370-375.
- Jastorff, J., Kourtzi, Z., & Giese, M. A. (2009). Visual learning shapes the processing of complex movement stimuli in the human brain. *Journal of Neuroscience, 29*(44), 14026-14038.
- Jastorff, J., & Orban, G. A. (2009). Human functional magnetic resonance imaging reveals separation and integration of shape and motion cues in biological motion processing. *Journal of Neuroscience, 29*(22), 7315-7329.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage, 14*(1 Pt 2), S103-109.
- Jordet, G. (2009a). When superstars flop: Public status and choking under pressure in international soccer penalty shootouts. *Journal of Applied Sport Psychology, 21*(2), 125 – 130.
- Jordet, G. (2009b). Why do English players fail in soccer penalty shootouts? A study of team status, self-regulation, and choking under pressure. *Journal of Sports Sciences, 27*(2), 97-106.
- Jueptner, M., Stephan, K. M., Frith, C. D., Brooks, D. J., Frackowiak, R. S., & Passingham, R. E. (1997). Anatomy of motor learning. I. Frontal cortex and attention to action. *Journal of Neurophysiology, 77*(3), 1313-1324.
- Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature, 377*(6545), 155-158.
- Kerick, S. E., Douglass, L. W., & Hatfield, B. D. (2004). Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 36*(1), 118-129.
- Kerick, S. E., Iso-Ahola, S. E., & Hatfield, B. D. (2000). Psychological momentum in target shooting: Cortical, cognitive-affective, and behavioral responses. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 22*(1), 1-20.
- Keune, P. M., Bostanov, V., Hautzinger, M., & Kotchoubey, B. (2011). Mindfulness-based cognitive therapy (MBCT), cognitive style, and the temporal dynamics of frontal EEG alpha asymmetry in recurrently depressed patients. *Biological Psychology, 88*(2-3), 243-252.

- Kim, J., Lee, H. M., Kim, W. J., Park, H. J., Kim, S. W., Moon, D. H., et al. (2008). Neural correlates of pre-performance routines in expert and novice archers. *Neuroscience Letters*, 445(3), 236-241.
- Kinsbourne, M. (1982). Hemispheric specialization and the growth of human understanding. *American Psychologist*, 37(4), 411-420.
- Kita, Y., Mori, A., & Nara, M. (2001). Two types of movement-related cortical potentials preceding wrist extension in humans. *Neuroreport*, 12(10), 2221-2225.
- Kitsantas, A., & Zimmerman, B. J. (2002). Comparing self-regulatory processes among novice, non-expert, and expert volleyball players: A microanalytic study. *Journal of Applied Sport Psychology*, 14(2), 91 – 105.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Review*, 29(2-3), 169-195.
- Klimesch, W. (2011). Evoked alpha and early access to the knowledge system: the P1 inhibition timing hypothesis. *Brain Research*, 1408, 52-71.
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Review*, 53(1), 63-88.
- Krampe, R. T., & Ericsson, K. A. (1996). Maintaining excellence: deliberate practice and elite performance in young and older pianists. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(4), 331-359.
- Krancioch, C., Mathews, S., Dean, P. J., & Sterr, A. (2009). On the equivalence of executed and imagined movements: Evidence from lateralized motor and nonmotor potentials. *Human Brain Mapping*, 30(10), 3275-3286.
- Krohne, H. W., Egloff, B., Kohlmann, C. W., & Tausch, A. (1996). Untersuchungen mit einer deutschen Version der "Positive and Negative Affect Schedule" (PANAS) [Investigations with a German version of the Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)]. *Diagnostica*, 42(2), 139-156.
- Landers, D. M., Han, M., Salazar, W., Petruzzello, S. J., Kubitz, K. A., & Gannon, T. L. (1994). Effects of learning on electroencephalographic and electrocardiographic patterns in novice archers. *International Journal of Sport Psychology*, 25(3), 313-330.
- Lawrence, N. S., Ross, T. J., Hoffmann, R., Garavan, H., & Stein, E. A. (2003). Multiple neuronal networks mediate sustained attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(7), 1028-1038.
- Leavitt, J. L. (1979). Cognitive demands of skating and stickhandling in ice hockey. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 4(1), 46-55.
- Lee, T. W., Girolami, M., & Sejnowski, T. J. (1999). Independent component analysis using an extended infomax algorithm for mixed subgaussian and supergaussian sources. *Neural Computation*, 11(2), 417-441.
- Lewis, B. P., & Linder, D. E. (1997). Thinking about choking? Attentional processes and paradoxical performance. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 23(9), 937-944.
- Liao, C. M., & Masters, R. S. W. (2002). Self-focused attention and performance failure under psychological stress. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 24(3), 289-305.
- Lohse, K. R., & Sherwood, D. E. (2012). Thinking about muscles: the neuromuscular effects of attentional focus on accuracy and fatigue. *Acta Psychologica (Amst)*, 140(3), 236-245.
- Loze, G. M., Collins, D., & Holmes, P. S. (2001). Pre-shot EEG alpha-power reactivity during expert air-pistol shooting: A comparison of best and worst shots. *Journal of Sports Sciences*, 19(9), 727-733.
- Masters, R. S. W. (1992). Knowledge, Knerves and Know-How - the Role of Explicit Versus Implicit Knowledge in the Breakdown of a Complex Motor Skill under Pressure. *British Journal of Psychology*, 83, 343-358.

- McKay, B., Lewthwaite, R., & Wulf, G. (2012). Enhanced expectancies improve performance under pressure. *Frontiers in Psychology*, 3, 8.
- Mehrabian, A., & Russell, J. A. (1974). *An approach to environmental psychology*. Cambridge, MA: MIT.
- Meister, I., Krings, T., Foltys, H., Boroojerdi, B., Muller, M., Topper, R., et al. (2005). Effects of long-term practice and task complexity in musicians and nonmusicians performing simple and complex motor tasks: implications for cortical motor organization. *Human Brain Mapping*, 25(3), 345-352.
- Mesagno, C., & Mullane-Grant, T. (2010). A Comparison of Different Pre-Performance Routines as Possible Choking Interventions. *Journal of Applied Sport Psychology*, 22(3), 343-360.
- Metternich, C. (Producer). (2012, 18.12.2012) Richtlinien für die Punktevergabe. retrieved from http://www.tischtennis.de/media/downloads/statistik/national/ranglisten/Richtlinien_Punktrangliste_0512.pdf
- Milton, J., Solodkin, A., Hlustik, P., & Small, S. L. (2007). The mind of expert motor performance is cool and focused. *Neuroimage*, 35(2), 804-813.
- Moneta, G. B., & Csikszentmihalyi, M. (1999). Models of concentration in natural environments: A comparison approach based on streams of experimental data. *Social Behavior and Personality*, 27(6), 603 - 638.
- Moran, A. (2012). Thinking in action: Some insights from cognitive sport psychology. *Thinking Skills and Creativity*, 7(2), 85-92.
- Naito, E., Kochiyama, T., Kitada, R., Nakamura, S., Matsumura, M., Yonekura, Y., et al. (2002). Internally simulated movement sensations during motor imagery activate cortical motor areas and the cerebellum. *Journal of Neuroscience*, 22(9), 3683-3691.
- Nebel, K., Wiese, H., Stude, P., de Greiff, A., Diener, H. C., & Keidel, M. (2005). On the neural basis of focused and divided attention. *Cognitive Brain Research*, 25(3), 760-776.
- Neuper, C., Scherer, R., Reiner, M., & Pfurtscheller, G. (2005). Imagery of motor actions: differential effects of kinesthetic and visual-motor mode of imagery in single-trial EEG. *Cognitive Brain Research*, 25(3), 668-677.
- Nibbeling, N., Oudejans, R. R. D., & Daanen, H. H. A. M. (2012). Effects of anxiety, a cognitive secondary task, and expertise on gaze behavior and performance in a far aiming task. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 34, S264-S264.
- Niedermeyer, E. (1999). The Normal EEG of the Waking Adult. In E. Niedermeyer & F. H. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields* (4 ed., pp. 149-173). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Orlick, T., & Partington, J. (1988). Mental links to excellence. *The Sport Psychologist*, 2(2), 105-130.
- Oudejans, R. R. D., Kuijpers, W., Kooijman, C. C., & Bakker, F. C. (2011). Thoughts and attention of athletes under pressure: skill-focus or performance worries? *Anxiety Stress and Coping*, 24(1), 59-73.
- Petersen, S. E., van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 853-860.
- Pfurtscheller, G., & Lopes da Silva, F. H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: Basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842-1857.

- Pfurtscheller, G., Stancak, A., & Neuper, C. (1996). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band - an electrophysiological correlate of cortical idling: A review. *International Journal of Psychophysiology*, 24(1-2), 39-46.
- Porro, C. A., Francescato, M. P., Cettolo, V., Diamond, M. E., Baraldi, P., Zuiani, C., et al. (1996). Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 16(23), 7688-7698.
- Price, C. J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*, 197 Pt 3, 335-359.
- Pyles, J. A., Garcia, J. O., Hoffman, D. D., & Grossman, E. D. (2007). Visual perception and neural correlates of novel 'biological motion'. *Vision Research*, 47(21), 2786-2797.
- Qin, Y., Xu, P., & Yao, D. (2010). A comparative study of different references for EEG default mode network: the use of the infinity reference. *Clinical Neurophysiology*, 121(12), 1981-1991.
- Rebert, C. S., Low, D. W., & Larsen, F. (1984). Differential hemispheric activation during complex visuomotor performance: alpha trends and theta. *Biological Psychology*, 19(3-4), 159-168.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier Pelster & F. Rheinberg (Eds.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (Vol. 2, pp. 261-279). Göttingen: Hogrefe.
- Richardson, J. T. E. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review*, 6(2), 135-147.
- Rihs, T. A., Michel, C. M., & Thut, G. (2009). A bias for posterior alpha-band power suppression versus enhancement during shifting versus maintenance of spatial attention. *Neuroimage*, 44(1), 190-199.
- Roth, R., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., DelonMartin, C., Segebarth, C., et al. (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport*, 7(7), 1280-1284.
- Rypma, B., Berger, J. S., Genova, H. M., Rebbechi, D., & D'Esposito, M. (2005). Dissociating age-related changes in cognitive strategy and neural efficiency using event-related fMRI. *Cortex*, 41(4), 582-594.
- Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M. W., Crews, D. J., & Kubitz, K. A. (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61(351-359).
- Saling, L. L., & Phillips, J. G. (2007). Automatic behaviour: efficient not mindless. *Brain Research Bulletin*, 73(1-3), 1-20.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Stadler, W., Schabus, M., Doppelmayr, M., Hanslmayr, S., et al. (2005). A shift of visual spatial attention is selectively associated with human EEG alpha activity. *European Journal of Neuroscience*, 22(11), 2917-2926.
- Saxe, R., Xiao, D. K., Kovacs, G., Perrett, D. I., & Kanwisher, N. (2004). A region of right posterior superior temporal sulcus responds to observed intentional actions. *Neuropsychologia*, 42(11), 1435-1446.
- Schlicht, W., & Wilhelm, A. (1987). Der Effekt handlungsbegleitender Kognitionen auf die Leistung im Hallenhandballspiel. Eine quasi-experimentelle Einzelfallstudie. *Sportwissenschaft*, 17(4), 439-448.
- Sewards, T. V., & Sewards, M. A. (2002). On the neural correlates of object recognition awareness: relationship to computational activities and activities mediating perceptual awareness. *Consciousness and Cognition*, 11(1), 51-77.

- Shaw, J. C. (1996). Intention as a component of the alpha-rhythm response to mental activity. *International Journal of Psychophysiology*, 24(1-2), 7-23.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending, and a General Theory. *Psychological Review*, 84(2), 127-190.
- Singer, R. N. (2002). Preperformance state, routines and automaticity: What does it take to realize expertise in self-paced events? *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 24(4), 359-375.
- Singer, R. N., Cauraugh, J. H., Chen, D. P., Steinberg, G. M., & Frehlich, S. G. (1996). Visual search, anticipation, and reactive comparisons between highly-skilled and beginning tennis players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 8(1), 9-26.
- Springer, S. P., & Deutsch, G. (1998). *Left brain, right brain: Perspectives from cognitive neuroscience* (5th ed.). New York, NY, US: W H Freeman/Times Books/ Henry Holt & Co.
- Stinear, C. M., Byblow, W. D., Steyvers, M., Levin, O., & Swinnen, S. P. (2006). Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Experimental Brain Research*, 168(1-2), 157-164.
- Stroeber, J., & Crombie, R. (2010). Achievement goals and championship performance: Predicting absolute performance and qualification success. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(5), 513-521.
- Waldschmidt, J. G., & Ashby, F. G. (2011). Cortical and striatal contributions to automaticity in information-integration categorization. *Neuroimage*, 56(3), 1791-1802.
- Wang, J., Marchant, D., Morris, T., & Gibbs, P. (2004). Self-consciousness and trait anxiety as predictors of choking in sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(2), 174-185.
- Williams, A. M., & Elliott, D. (1999). Anxiety, expertise, and visual search strategy in karate. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 21(4), 362-375.
- Wolf, S., Broelz, E., Hautzinger, M., & Strehl, U. (in Vorbereitung). Theta coherence in table tennis athletes.
- Wolf, S., Broelz, E., Keune, P. M., Wesa, B., Hautzinger, M., Birbaumer, N., et al. (in Vorbereitung). Peak performance in athletes is predicted by neural efficiency and enhanced relative right hemispheric brain activity.
- Wolf, S., Broelz, E., Schütze, H., Joos, B., & Strehl, U. (in Vorbereitung). Neurofeedback and Biofeedback to enhance performance in table tennis athletes.
- Woodman, T., & Hardy, L. (2003). The relative impact of cognitive anxiety and self-confidence upon sport performance: a meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 21(6), 443-457.
- Worden, M. S., Foxe, J. J., Wang, N., & Simpson, G. V. (2000). Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific alpha-band electroencephalography increases over occipital cortex. *The Journal of Neuroscience*, 20(6), RC63:61-66.
- Wulf, G., Dufek, J. S., Lozano, L., & Pettigrew, C. (2010). Increased jump height and reduced EMG activity with an external focus. *Human Movement Science*, 29(3), 440-448.
- Wulf, G., Lewthwaite, R., Landers, M., & Tollner, T. (2009). External Focus Instructions Reduce Postural Instability in Individuals With Parkinson Disease Author Response. *Physical Therapy*, 89(2), 170-172.
- Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. W. (2009). Inside the brain of an elite athlete: The neural processes that support high achievement in sports. *Nature Reviews Neuroscience* 10(8), 585-596.

Zhu, F. F., Poolton, J. M., Wilson, M. R., Maxwell, J. P., & Masters, R. S. (2011). Neural co-activation as a yardstick of implicit motor learning and the propensity for conscious control of movement. *Biological Psychology*, 87(1), 66-73.

6 Abkürzungsverzeichnis

AAS	Alpha-Asymmetrie-Score
ANOVA	Varianzanalyse
bcd	EEG-Datenformat der Firma Biotrace
d	Cohen's d: Effektstärkemaß bei Mittelwertsvergleichen
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DTTB	Deutscher Tischtennisbund
EDF	Europäisches standardisiertes EEG-Datenformat
EEG	Elektroenzephalogramm
EM	Expectation-Maximization-(Analyse)
ERD	Event-Related Desynchronization
ERS	Event-Related Synchronization
η^2	Eta ² : Effektstärkemaß bei Varianzanalysen
FFT	Fast-Fourier-Transformation
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
ICA	Independent Component Analysis
MW	Mittelwert
N	Stichprobengröße
PANAS	Positive and Negative Affect Schedule
PCA	Principle Component Analyse
SD	Standardabweichung
SE	Standardfehler
TTBW	Tischtennis Baden-Württemberg e. V.
U 15 / U18	Verschiedene Altersklassen im Tischtennis