



Technische Universität München

Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft

Lehrstuhl für Sportpsychologie

**NEURONALE KORRELATE FOKUSSierter AUFMERKSAMKEIT  
UND DER ZUSAMMENHANG MIT LEISTUNGSBEZOGENEN  
PARAMETERN IM SPORT**

EEG-Studien im Sportschießen Pistole und Basketball

Christoph Kreinbacher

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Joachim Hermsdörfer

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Jürgen Beckmann  
2. Univ.-Prof. Dr. Michael Doppelmayr,  
Johannes Gutenberg Universität Mainz

Die Dissertation wurde am 13.07.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät der Sport- und Gesundheitswissenschaft am 27.10.2015 angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	II
Danksagung .....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Abbildungsverzeichnis .....	VIII
Tabellenverzeichnis .....	XI
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>4</b>
2.1 Leistungsbezogene physische Parameter im Sport .....	4
2.2 Leistungsbezogene psychologische Parameter im Sport .....	7
2.3 Psychologisches Anforderungsprofil im Sport .....	8
2.3.1 Sportschießen .....	8
2.3.2 Basketball .....	9
2.4 Konzentration und Aufmerksamkeit .....	10
2.4.1 Begriffsdefinitionen .....	10
2.4.2 Konzentration und Aufmerksamkeit im Sport .....	12
2.4.3 Flow-Zustand .....	14
2.4.4 Exkurs: Verlauf- vs. ergebnisorientierte Rückmeldung .....	16
2.4.5 Operationalisierung von Konzentration und Aufmerksamkeit im Sport .....	18
2.4.5.1 Generelle Methoden in der Psychologie .....	18
2.4.5.2 Neurophysiologische Methoden .....	19
2.4.5.3 EEG-Messung und die Rolle der Frequenzbänder .....	21
2.5 Neuronale Korrelate von Konzentration und Aufmerksamkeit .....	24
2.6 Neuronale Korrelate von Konzentration, Aufmerksamkeit und Leistung im Sport .....	28
2.6.1 Effekte im Alpha-Frequenzband .....	29
2.6.2 Effekte im Theta-Frequenzband .....	35
2.7 Integration der neurophysiologischen Befunde .....	36
<b>3 Fragestellung .....</b>	<b>37</b>
<b>4 Studie I – Sportschießen Pistole .....</b>	<b>40</b>
4.1 Einleitung .....	40
4.2 Hypothesen .....	41

4.3	Methode .....	43
4.3.1	Untersuchungsteilnehmer/innen .....	43
4.3.2	Untersuchungsvariablen .....	43
4.3.3	Untersuchungsmaterialien .....	45
4.3.4	Untersuchungsdurchführung .....	49
4.3.5	Datenanalyse .....	50
4.4	Ergebnisse .....	53
4.4.1	Behaviorale Daten .....	53
4.4.1.1	Physische Voraussetzungen der Teilnehmer/innen .....	53
4.4.1.2	Subjektive Einschätzung der Aufmerksamkeit .....	53
4.4.1.3	Schussresultat .....	53
4.4.1.4	Zusammenhänge der leistungsbezogenen Parameter .....	54
4.4.2	Neurophysiologische Daten .....	56
4.4.2.1	Individuelle Alpha-Frequenz (IAF) .....	56
4.4.2.2	Ergebnisse der ERP-Analysen .....	57
4.4.2.3	Aktivitätsveränderungen in den einzelnen Frequenzbändern .....	58
4.4.3	Behaviorale Daten in Kombination mit neurophysiologischen Daten .....	61
4.4.4	Regressionsanalysen .....	65
4.4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	69
4.5	Diskussion .....	69
4.5.1	Beurteilung der Studienvoraussetzungen .....	70
4.5.2	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	72
4.5.3	Fazit und Ausblick .....	75
<b>5</b>	<b>Studie II – Sportschießen Pistole ohne Ergebnisrückmeldung .....</b>	<b>77</b>
5.1	Einleitung .....	77
5.2	Hypothesen .....	78
5.3	Methode .....	79
5.3.1	Untersuchungsteilnehmer/innen .....	79
5.3.2	Untersuchungsvariablen .....	80
5.3.3	Untersuchungsmaterialien .....	80
5.3.4	Untersuchungsdurchführung .....	81
5.3.5	Datenanalyse .....	82
5.4	Ergebnisse .....	82

5.4.1 Behaviorale Daten .....	82
5.4.1.1 Physische Voraussetzungen der Teilnehmer/innen .....	82
5.4.1.2 Schussresultat .....	82
5.4.1.3 Zusammenhänge der leistungsbezogenen Parameter .....	84
5.4.2 Behaviorale Daten in Kombination mit neurophysiologischen Daten .....	85
5.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	88
5.5 Diskussion .....	89
5.5.1 Beurteilung der Studienvoraussetzungen .....	89
5.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	90
5.5.3 Fazit und Ausblick .....	93
<b>6 Studie III – Basketball Freiwurf .....</b>	<b>95</b>
6.1 Einleitung .....	95
6.1.1 Pilotstudie .....	96
6.1.1 Diskussion und Einordnung der Erfahrung aus der Pilotstudie .....	97
6.2 Hypothesen .....	98
6.3 Methode .....	98
6.3.1 Untersuchungsteilnehmer .....	98
6.3.2 Untersuchungsvariablen .....	99
6.3.3 Untersuchungsmaterialien .....	100
6.3.4 Untersuchungsdurchführung .....	102
6.3.5 Datenanalyse .....	105
6.4 Ergebnisse .....	106
6.4.1 Behaviorale Daten .....	106
6.4.1.1 Physische Voraussetzungen der Teilnehmer .....	106
6.4.1.2 Wurfresultat .....	106
6.4.1.3 Zusammenhänge der Wurfparameter .....	107
6.4.2 Neurophysiologische Daten .....	108
6.4.2.1 Ergebnisse der ERP-Analysen .....	108
6.4.3 Behaviorale Daten in Kombination mit neurophysiologischen Daten .....	109
6.4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	111
6.5 Diskussion .....	112
6.5.1 Beurteilung der Studienvoraussetzungen .....	112
6.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	113

6.5.3 Fazit und Ausblick .....	116
<b>7 Sportartsspezifische Vergleiche .....</b>	<b>117</b>
7.1 Einleitung .....	117
7.2 Fragestellung .....	118
7.3 Methode .....	118
7.3.1 Untersuchungsteilnehmer/innen .....	118
7.3.2 Datenanalyse .....	119
7.4 Ergebnisse .....	119
7.4.1 Ruhewerte allgemein .....	119
7.4.2 Vergleich der Ruhewerte aus den Studien I und II .....	120
7.4.3 Vergleich der neuronalen Korrelate während körperlicher Aktivität .....	121
7.4.4 Vergleich der neuronalen Korrelate körperlicher Aktivität in Bezug zur Ruhe .....	124
7.4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	126
7.5 Diskussion .....	126
7.5.1 Beurteilung der Studienvoraussetzungen .....	126
7.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	127
7.5.3 Fazit und Ausblick .....	129
<b>8 Abschlussdiskussion .....</b>	<b>130</b>
8.1 Zusammenfassung der Teilstudien .....	130
8.2 Einordnung der Ergebnisse in bestehende Literatur .....	131
8.3 Implikationen für die praktische Sportwelt .....	137
8.4 ADHS und andere aufmerksamkeitsbasierte Phänomene .....	141
8.5 Einsatzmöglichkeiten eines Neurofeedbacks .....	144
8.6 Fazit und Ausblick .....	148
<b>9 Zusammenfassung .....</b>	<b>151</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>152</b>
<b>Anhang</b>	

...for all those who supported me in the last 30 (+2) years...

## Abkürzungsverzeichnis

ACC	Anteriorer cingulärer Cortex
ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
BISp	Bundesinstitut für Sportwissenschaften
CNV	Contingent negative variation = langsame Potentialschwankung
EEG	Elektroenzephalographie
ERD	Event-related desynchronisation = Potentialabfall im Vergleich zu einer Ruhebedingung
ERS	Event-related synchronisation = Potentialanstieg im Vergleich zu einer Ruhebedingung
ERP	Event related potential = Potentialveränderung bezogen auf den Reiz
fMRI	Funktionelle Magnetresonanztomographie
HRV	Herz-Raten-Variabilität
Hz	Hertz
ICD-10	International classification of diseases (10. Auflage)
KP	Knowledge of performance = verlaufsorientierte Rückmeldung
KR	Knowledge of result = ergebnisorientierte Rückmeldung
kΩ	Kilo-Ohm
LED	Leuchtdiode
mm	Millimeter
ms	Millisekunde(n)
N100, N1	Spannungsschwankung negativer Polarität 100 ms nach einem Reiz
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
P300, P3	Spannungsschwankung positiver Polarität 300 ms nach einem Reiz
rCBF	Regional cerebral blood flow = Durchblutungsanzeige im fMRI
ROI	Regions of Interest = Zusammengefasste Elektroden auf Basis der Forschungsinteressen
SCATT	Zielweganalyzesystem für das Sportschießen
SCP	Slow cortical potentials = langsam veränderliche Potentialschwankungen
ZHS	Zentraler Hochschulsport
μV	Mikrovolt

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Arten der Aufmerksamkeitsausrichtung nach Nideffer (1976) .....	12
Abbildung 2:	Schematische Darstellung des menschlichen Cortex mit Aufteilung in die unterschiedlichen Bereiche (Stern & Neubauer, 2013) .....	21
Abbildung 3:	EEG-Setup (Ebner & Deuschl, 2006) .....	23
Abbildung 4:	Übersicht der gängigen Frequenzbänder (Ebe & Homma, 2002) .....	23
Abbildung 5:	Elektrodenpositionen nach 10-20 System (Klem, Luders, Jasper & Elger, 1999) .....	29
Abbildung 6:	Langsame Potentialveränderungen eine Sekunde vor Schussabgabe auf C3/4, Fz und Oz in der Studie von Kontinen et al. (2000).....	30
Abbildung 7:	Unterschiede in der parietalen Alpha-Power zwischen Experten und Novizen in der Studie von Baumeister et al. (2008) .....	33
Abbildung 8:	Power-Unterschiede zwischen Experten und Novizen in der Studie von Doppelmayr et al. (2008).....	35
Abbildung 9:	Luftpistolenscheibe für die Entfernung von 10 Metern mit Ringen von 1-10.....	41
Abbildung 10:	Positionen und Verwendung der Elektroden auf einer ActiCAP-Haube nach 10-20 System (Klem et al., 1999) in Studie I.....	46
Abbildung 11:	Benötigte Materialien für die Zielweganalyse mittels SCATT .....	47
Abbildung 12:	SCATT Zielscheibe mit Angabe der erreichten Ringzahl (9.7) und Zielweglänge L (93.1 mm) sowie die jeweiligen Kontrolllinien ....	47
Abbildung 13:	Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufes der Studie I mit Zeitangaben in Minuten .....	50
Abbildung 14:	ERP für die Theta-Frequenz auf Fz in Studie I .....	57
Abbildung 15:	ERP für die Theta-Frequenz auf Pz in Studie I .....	57
Abbildung 16:	Verlauf der Theta-Frequenz auf Fz in den vier Zeitpunkten vor Schussabgabe in Studie I.....	58
Abbildung 17:	Verlauf der unteren Alpha-Frequenz für die vier Regionen (Okzipital, Parietal, Temporal, Zentral) in den vier Zeitpunkten vor Schussabgabe in Studie I.....	59



Abbildung 18:	Verlauf der oberen Alpha-Frequenz für die vier Regionen (Okzipital, Parietal, Temporal, Zentral) in den vier Zeitpunkten vor Schussabgabe in Studie I.....	60
Abbildung 19:	Typischer 10-Meter Luftpistolenstand mit Rückmeldemonitor (links vom Schützen).....	77
Abbildung 20:	Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufes der Studie II mit Zeitangaben in Minuten .....	81
Abbildung 21:	Schematische Darstellung des Basketballkorbes mit Ring und Brett inklusive Maßangaben in Metern (Neumann, 2012).....	96
Abbildung 22:	Schematischer Ablauf der Pilotstudie zu Studie III .....	96
Abbildung 23:	Beispielbilder der Pilotstudie: Athlet 1 am Fahrradergometer mit Standard-EEG-System links und Athlet 2 bei der Freiwurfausführung mit kabellosem EEG-Setup .....	97
Abbildung 24:	Positionen und Verwendung der Elektroden auf einer ActiCAP-Haube nach 10-20-System (Klem et al., 1999) in Studie III.....	101
Abbildung 25:	Korbansicht von unten mit Darstellung der Abweichungsparameter beim Zeitpunkt des Ballaufpralles auf dem Ring (Studie III) .....	102
Abbildung 26:	Setup der Basketballstudie mit den drei Videokameras (Studie III) ...	102
Abbildung 27:	Untersuchungsteilnehmer der Studie III während des Einwerfens .....	103
Abbildung 28:	Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufes der Studie III mit Zeitangaben in Minuten .....	104
Abbildung 29:	Bestimmung der Abweichung (hier in Metern dargestellt) vom optimalen Treffermittelpunkt zum Zeitpunkt der Korbberührung in Studie III.....	105
Abbildung 30:	ERP für die Theta-Frequenz auf Fz in Studie III .....	109
Abbildung 31/32:	Aktivitätsverteilung während der Ruhebedingungen im unteren Alphaband (links: Augen geschlossen, rechts: Augen geöffnet).....	120
Abbildung 33:	Grafische Darstellung der Wechselwirkung zwischen den Variablen Studie und Elektrode für das Theta-Frequenzband im Studienvergleich .....	123
Abbildung 34:	Grafische Darstellung der Wechselwirkung zwischen den Variablen Studie und Elektrode für das Theta-Frequenzband im Studienvergleich .....	124

Abbildung 35:	Grafische Darstellung der Wechselwirkung zwischen den Variablen Studie und Elektrodenposition (Zentral, Temporal, Parietal) für das Alpha-Frequenzband unter Berücksichtigung der Ruhedaten im Studienvergleich .....	125
Abbildung 36:	Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Aufmerksamkeit und optimaler Leistung (nach Tang & Posner, 2009) .....	137
Abbildung 37:	Vorhandene Frequenzbänder bei gesunden Menschen und jenen mit Autismus (ASD).....	143

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über konditionelle und koordinative Fähigkeiten (nach Meinel & Schnabel, 2004) .....	5
Tabelle 2:	Psychologische Determinanten von Leistung im Basketball (nach Vogt & Vogt, 1999) .....	9
Tabelle 3:	Beispiele für KR und KP der beiden Sportarten Luftpistolenschießen und Basketball Freiwurf.....	17
Tabelle 4:	Übersicht der Ergebnisse aus den zitierten EEG-Studien im Sport.....	34
Tabelle 5:	Schussresultate der Studie I in sechs Serien zu je zehn Schüssen .....	54
Tabelle 6:	Korrelationsanalysen zwischen den leistungsbezogenen Parametern in Studie I.....	55
Tabelle 7:	Individueller Alpha-Peak der Studienteilnehmer/innen aus Studie I mit $M = 9.89$ und $SD = 0.57$ .....	56
Tabelle 8:	Korrelationstabelle zwischen der Theta-Aktivierung auf Fz und den behavioralen Daten in Studie I.....	61
Tabelle 9:	Korrelationstabelle zwischen der gemittelten frontalen Theta- Aktivierung und den behavioralen Daten in Studie I .....	62
Tabelle 10:	Korrelationstabelle zwischen der unteren Alpha-Power in den vier Regionen mit den behavioralen Daten in Studie I .....	64
Tabelle 11:	Korrelationstabelle zwischen der oberen Alpha-Power in den vier Regionen mit den behavioralen Daten in Studie I .....	65
Tabelle 12:	Koeffizienten der Regressionsanalyse für die Power im frontalen Theta in Studie I.....	66
Tabelle 13:	Koeffizienten der Regressionsanalyse für die untere Alpha-Power im temporalen Bereich in Studie I .....	67
Tabelle 14:	Koeffizienten der Regressionsanalyse für die untere Alpha-Power im parietalen Bereich in Studie I.....	68
Tabelle 15:	Überblick über die einzelnen Hypothesen und die Fragestellung der Studie I.....	69
Tabelle 16:	Gegenüberstellung der Stichproben aus den beiden Schützenstudien mit Mittelwerten und Standardabweichungen .....	79
Tabelle 17:	Schussresultate der Studie II in acht Serien zu je zehn Schüssen .....	83

Tabelle 18:	Ergebnisse der t-Tests samt Mittelwerten und Standardabweichungen der SCATT-Parameter je Studie (I und II) .....	84
Tabelle 19:	Korrelationsanalysen zwischen den leistungsbezogenen Parametern in Studie II.....	85
Tabelle 20:	Korrelationstabelle zwischen der veränderten Theta-Power mit den behavioralen Daten in Studie II .....	86
Tabelle 21:	Korrelationstabelle zwischen der unteren Alpha-Power und den behavioralen Daten in Studie II .....	87
Tabelle 22:	Korrelationstabelle zwischen der oberen Alpha-Power und den behavioralen Daten in Studie II .....	88
Tabelle 23:	Überblick über die Überprüfung der einzelnen Hypothesen und der Fragestellungen der Studie II.....	88
Tabelle 24:	Wurfresultate der Studie III in sechs Serien zu je zehn Würfeln.....	106
Tabelle 25:	Korrelationsanalysen zwischen den wurfbezogenen Parametern in Studie III .....	107
Tabelle 26:	Korrelationstabelle zwischen der Theta-Aktivierung auf Fz und den leistungsbezogenen Parametern in Studie III.....	110
Tabelle 27:	Korrelationstabelle zwischen der unteren Alpha-Aktivierung und den leistungsbezogenen Parametern in Studie III.....	110
Tabelle 28:	Korrelationstabelle zwischen der oberen Alpha-Aktivierung und den leistungsbezogenen Parametern in Studie III.....	111
Tabelle 29:	Überblick über die Überprüfung der einzelnen Hypothesen der Studie III .....	112
Tabelle 30:	Gegenüberstellung der Stichproben aus den drei Studien mit Mittelwerten und Standardabweichungen .....	118
Tabelle 31:	Ergebnisse der Varianzanalysen im Rahmen der Post-Hoc-Analysen für jede Elektrode mit Mittelwerten und Standardabweichungen im Studienvergleich .....	122
Tabelle 32:	Funktionen der Aufmerksamkeit samt neuroanatomischer Struktur und neurologische Störungsbilder (Posner & Rothbart, 2007; Rothbart & Posner, 2006) .....	136

## **1 Einleitung**

Die immer höheren Anforderungen und eine zunehmende Leistungsdichte im Sport erfordern neben dem Training der physiologischen Fähigkeiten auch das Trainieren kognitiver Prozessabläufe, wie etwa beim mentalen Training (Beckmann & Elbe, 2011; Eberspächer, 2012). Um herausragende Leistungen im Sport zu erbringen, müssen spezifische Areale im Gehirn aktiviert und untereinander vernetzt werden. Hill und Schneider (2006) beschreiben den Zusammenhang zwischen neurophysiologischen Befunden und körperlicher Aktivität, insbesondere, wie sich motorische Areale im Verlauf vom Novizen zum Experten entwickeln. In einem anschaulichen Beispiel konnten die Autoren demonstrieren, dass sich Veränderungen im Cortex bereits durch eine Stunde Training zeigen. Das Training von Prozessen im Gehirn hat laut den Autoren Analogien zum physischen Training und ist durch die Plastizität des menschlichen Gehirns gegeben. Neurophysiologisch wird in diesem Fall vor allem dem Frontalhirn große Bedeutung zugeschrieben. Dieses ist zuständig für die Planung von Handlungen, das Steuern und Hemmen von Prozessen, den Umgang mit und Einsatz von Gefühlen und Emotionen, die Lenkung der Aufmerksamkeitsintensität und das Herausfiltern von Wichtigem aus Unwichtigem sowie die dazugehörigen Entscheidungsprozesse; allesamt Prozesse, die man in vielen Situationen im sportlichen Kontext wiederfindet, wie etwa bei der gesonderten Betrachtung des Freiwurfes im Basketball. Einen Freiwurf bekommt die Spielerin/der Spieler, wenn sie/er am Weg zum Korb bei der Wurfausführung irregulär behindert wird. In kürzester Zeit muss diese/r dann die Ausführung des Freiwurfes planen und zeitgleich mit der Ausführung einen Abgleich der körperlichen Prozesse durchführen. Zusätzlich ist es wichtig, die Emotionen über das vorangegangene Foul außer Acht zu lassen und auch mit den jubelnden Zuseherinnen und Zusehern im Sichtfeld umzugehen. Essentiell für eine erfolgreiche Ausführung ist somit, die Aufmerksamkeit auf den Ring zu fokussieren, alle irrelevanten Reize außer Acht zu lassen und unter Betrachtung der genannten Punkte den optimalen Abwurfzeitpunkt zu finden. Das gewählte Beispiel demonstriert anschaulich, dass man für sportliche Höchstleistung im höchsten Maße fokussiert sein und die Aufmerksamkeit auf die zu bearbeitende Aufgabe lenken muss. Leistungssportler/innen weisen dahingehend sehr gute Fähigkeiten auf und zeigen spezifische Aktivitätsmuster im Cortex (vgl. Hatfield, Haufler, Hung & Spalding, 2004).

Im Gegensatz zu erfahrenen Sportlerinnen und Sportlern, bei denen eine Aufmerksamkeitsregulation gut ausgeprägt ist (Nideffer & Sagal, 2006), gibt es Personengruppen, die mit der Aufrechterhaltung einer fokussierten Aufmerksamkeit erhebliche Schwierigkeiten haben – wie jene mit einem Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätssyndrom (ADHS, laut ICD-10 zur Gruppe der hyperkinetischen Störungen gehörend). Neurophysiologische Studien zeigen, dass dies vielfach mit einer Beeinträchtigung der neurophysiologischen Aktivität einhergeht (Casey & Dursten, 2006; Koehler et al., 2009). Mit ADHS wird eine psychische Erkrankung bezeichnet, die bereits in der Kindheit beginnt und neben Impulsivität und körperlicher Unruhe vor allem Beeinträchtigungen in den Bereichen Aufmerksamkeit und Konzentration mit sich bringt. Mit der hohen Prävalenzrate von sechs bis sieben Prozent ist sie die häufigste psychische Störung im Kindes- und Jugendalter (Willcutt, 2012). Dies unterstreicht die Relevanz, sich auch im wissenschaftlichen Kontext mit der Ätiologie, präventiven Maßnahmen und Behandlungsmöglichkeiten abseits der medikamentösen Therapie zu beschäftigen. Daher sollen die Erkenntnisse von den Experten aus dem Leistungssport messbar gemacht werden, um davon zu lernen und einen Transfer auf andere Bereiche, wie etwa ADHS, oder auch andere neurodegenerative Beeinträchtigungen, wie etwa Alzheimer, zu übertragen.

Ziel dieser Arbeit ist es, neurophysiologische Prozesse während sportlicher Aktivität zu betrachten. Ausgehend von neuronalen Korrelaten fokussierter Aufmerksamkeit wird ein Bezug zu leistungsbezogenen Parametern hergestellt. Dazu wurden zwei EEG-Studien beim Sportschießen Pistole und eine EEG-Studie beim Basketball-Freiwurf durchgeführt. Beim Sportschießen wurde mit mehrmaligen internationalen und nationalen Medaillengewinnerinnen und -gewinnern in zwei unterschiedlichen Settings gearbeitet. Zusätzlich zum eigentlichen Resultat (Ringzahl im Sportschießen und Trefferquote im Basketball) wurden Konzepte der Operationalisierung der Leistung durch eine Erweiterung anderer Genauigkeitsmaße (z. B. Zielgenauigkeitsparameter) hinzugefügt. Bei der Betrachtung der beiden Konstrukte Konzentration und Aufmerksamkeit ist es von großer Bedeutung, deren Relevanz beim Prozess zum Erreichen eines finalen Resultates näher zu untersuchen. Wie es zu einem Ergebnis kommt und welche weiteren Möglichkeiten der Operationalisierung von Höchstleistungen gefunden werden können, ist besonders für den Nachwuchsbereich relevant und für Leistungssteigerungen im späteren Karriereverlauf mitentscheidend. Dahingehende Studien in Verbindung mit modernen neurophysiologischen Methoden sind bislang nicht bekannt und daher Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit.

Die in dieser Arbeit vorgenommene Verknüpfung von Sport, Psychologie und Neurowissenschaften bietet zahlreiche methodische Möglichkeiten. Neben konventionellen Methoden, wie psychologischen Fragebögen oder Konzentrationstests, bieten bildgebende Verfahren, wie die Elektroenzephalographie (EEG) oder die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRI), in den letzten Jahrzehnten einen Einblick in die vorliegenden neurophysiologischen Prozesse bei leistungsspezifischen Parametern sowie Konzentration und Aufmerksamkeit. Der Einsatz dieser Methoden während körperlicher Aktivität kann neue Erkenntnisse in Hinblick auf Lern- und Aufmerksamkeitsprozesse bringen. Ziel ist es, die Ergebnisse nicht nur im sportlichen Kontext anzuwenden, sondern einen Transfer vom Sport auf andere Bereiche (wie etwa das schulische oder klinische Umfeld) zu schaffen. Wie Experten<sup>1</sup> zu lernen, sich spezifische Fähigkeiten anzueignen und sich zu konzentrieren, wird in jeglichen Alltagssituationen benötigt und daher auch auf Basis der Ergebnisse diskutiert.

---

<sup>1</sup> Auf eine geschlechtergerechte Sprache wird bestmöglich geachtet. Die Begriffe Experte und Novize und diesbezügliche Abwandlungen werden jedoch aufgrund einfacherer Lesbarkeit in ihrer ursprünglichen Form belassen.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Leistungsbezogene physische Parameter im Sport

Bevor auf das psychologische Anforderungsprofil speziell für die beiden Sportarten Basketball und Sportschießen eingegangen wird, werden die physischen Voraussetzungen für das Erreichen sportlicher Leistungen beschrieben. Eine Interaktion physischer, psychischer (siehe Kapitel 2.2) und auch sozialer Faktoren ist relevant, um Bestleistungen in einem sportlichen Wettkampf zu erbringen. Wenn man die Umgebungsbedingungen, wie etwa das Wetter, die Temperatur oder unterschiedliche Sportstätten und -geräte, außer Acht lässt, findet man hinsichtlich der physischen Grundlagen vor allem die Einteilung in *koordinative* und *konditionelle* Fähigkeiten (vgl. Roth & Willimczik, 1999). Die konditionellen Fähigkeiten werden nach Roth und Willimczik (1999, S. 242) als „... *individuelle Differenzen im Niveau der Systeme der Energiebereitstellung und Energieübertragung*“ definiert. Die mit Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit und Beweglichkeit als motorische Grundeigenschaften bezeichneten Parameter stehen in wechselseitiger Beziehung zueinander und treten als sportspezifische Anforderung oft in Kombination auf (z. B. Schnellkraft oder Schnelligkeitsausdauer). Diese sind nicht unabhängig zu betrachten, sondern hängen sehr stark mit den koordinativen Fähigkeiten zusammen. Darunter versteht man nach Roth und Willimczik (1999, S. 243) „... *individuelle Differenzen im Niveau der Bewegungssteuerung und -regelung*“. Mit Koordination wird das harmonische Zusammenwirken von Sinnesorganen, Zentralnervensystem sowie Skelettmuskulatur und Gelenken bezeichnet. Koordinative Fähigkeiten bewirken, dass die Impulse innerhalb eines Bewegungsablaufs zeitlich, stärke- und umfangmäßig aufeinander abgestimmt werden. Sie befähigen dazu, motorische Aktionen in vorhersehbaren und unvorhersehbaren Situationen sicher und ökonomisch zu bewältigen (Weineck, 2004). Ein Überblick über die konditionellen und koordinativen Fähigkeiten ist in Tabelle 1 dargestellt.



Tabelle 1

Übersicht über konditionelle und koordinative Fähigkeiten (nach Meinel & Schnabel, 2004)

<b>Konditionelle Fähigkeiten</b> <i>primär energetische Prozesse</i>	<b>Koordinative Fähigkeiten</b> <i>primär steuernde Prozesse</i>
Ausdauer	Kinästhetische Differenzierungsfähigkeit
	Koppelungsfähigkeit
Kraft	Reaktionsfähigkeit
	Orientierungsfähigkeit
Schnelligkeit	Gleichgewichtsfähigkeit
	Umstellungsfähigkeit
Beweglichkeit	Rhythmisierungsfähigkeit

Die sieben koordinativen Fähigkeiten mit jeweils einem sportspezifischen Beispiel nach Meinel und Schnabel (2004) sehen wie folgt aus:

- **Kinästhetische Differenzierungsfähigkeit**  
Erreichen einer hohen Feinabstimmung einzelner Bewegungsphasen und Teilkörperbewegungen, die in großer Bewegungsgenauigkeit und Bewegungsökonomie zum Ausdruck kommen (z. B. Ball hochhalten im Fußball).
- **Koppelungsfähigkeit**  
Die Fähigkeit, Teilkörperbewegungen untereinander und in Beziehung zu der auf ein bestimmtes Handlungsziel gerichteten Gesamtkörperbewegung räumlich, zeitlich und dynamisch aufeinander abzustimmen (z. B. Integration der Teilbewegungen beim Tennisaufschlag).
- **Reaktionsfähigkeit**  
Schnelle Einleitung und Ausführung zweckmäßiger motorischer Aktionen auf Signale (z. B. Start beim 100-Meter-Lauf).
- **Orientierungsfähigkeit**  
Bestimmung und zielangepasste Veränderung der Lage und Bewegung des Körpers in Raum und Zeit, bezogen auf ein definiertes Aktionsfeld (Gerät, Spielfeld ...) und/oder ein sich bewegendes Objekt, wie etwa dem Ball oder der Partnerin/dem Partner (z. B. beim Wasserball).

- **Gleichgewichtsfähigkeit**  
Die Fähigkeit, den gesamten Körper im Gleichgewichtszustand zu halten oder während und nach umfangreichen Körperverschiebungen diesen Zustand beizubehalten oder wiederherzustellen (z. B. verschiedene Sprünge und Landungen beim Snowboard Halfpipe-Wettbewerb).
- **Umstellungsfähigkeit**  
Die Fähigkeit, während des Handlungsvollzugs das Handlungsprogramm veränderten Umgebungsbedingungen anzupassen oder eventuell ein völlig neues und adäquates Handlungsprogramm zu starten (z. B. Veränderung der Rasteneinstellung der Waffe beim Biathlon aufgrund sich ändernder Windbedingungen).
- **Rhythmisierungsfähigkeit**  
Die Fähigkeit, einen von außen vorgegebenen Rhythmus zu erfassen und motorisch zu reproduzieren sowie den verinnerlichten, in der eigenen Vorstellung existierenden Bewegungsablauf in der eigenen Bewegungstätigkeit zu realisieren (z. B. verschiedene Formen beim Eiskunstlauf).

Die nicht angeborenen koordinativen Fähigkeiten müssen im Rahmen von Trainingsprozessen erlernt, gefestigt und weiterentwickelt werden. Man geht davon aus, dass besonders zwischen dem siebenten Lebensjahr und dem Eintritt in die Pubertät eine hohe Lernfähigkeit hinsichtlich der koordinativen Fähigkeiten gegeben ist, da in diesem Altersbereich eine beschleunigte Ausreifung grundlegender Funktionen des Zentralnervensystems vollzogen wird. Diese stehen in Wechselwirkung mit biologischen Reifungsprozessen im Zusammenhang mit einem starken Bewegungsbedürfnis. Die Ausprägung der koordinativen Fähigkeiten nimmt jedoch im Laufe des Lebens wieder ab, was die Relevanz des Trainings dieser Fähigkeiten in jedem Altersbereich bedingt (Weineck, 2004). Wie in jeder anderen Sportart auch ist sowohl im Sportschießen als auch im Basketball ein Zusammenspiel koordinativer und konditioneller Fähigkeiten eine Grundlage für die Erbringung sportspezifischer Leistungen. Allein bei der Betrachtung des Basketball-Freiwurfs sind mit kinästhetischer Differenzierungs-, Koppelungs-, Orientierungs-, Gleichgewichts- und Rhythmisierungsfähigkeit zumindest fünf der sieben koordinativen Fähigkeiten maßgeblich an der Wurfausführung und dem daraus folgenden Resultat beteiligt.

Damit sich koordinative und konditionelle Fähigkeiten entwickeln und festigen können, braucht man jahrelanges Training. In der Literatur zur Expertiseforschung werden die beiden Begriffe *deliberate play* und *deliberate practice* beschrieben (Ericsson, 2003). Das Konstrukt des zielorientierten Trainings (*deliberate practice*) besagt, dass sowohl im sportlichen als auch im musischen Bereich ein immenses Trainingsausmaß nötig ist, um zu einem Experten in einer jeweiligen Disziplin zu werden (Williams, Ford, Eccles & Ward, 2011). Als Experte wird demnach eine Person beschrieben, „... die dauerhaft, also nicht zufällig und nicht nur ein einziges Mal, herausragende Leistungen bringt“ (Hagemann, Tietjens & Strauß, 2007, S. 9). Anhand der oben genannten Literatur erreicht man den Expertenstatus erst nach jahrelangem immensem Training, wobei in diesem Zusammenhang 10000 Stunden oder zehn Jahre genannt werden (Helsen, Starkes & Hodges, 1998). Was Sportler/innen aus physiologischer Sicht daher besser oder zu Experten macht, ist folglich jahrelanges sportartspezifisches Training. Nicht außer Acht lassen sollte man jedoch die Rolle von *deliberate play*, worunter man das vielseitige Üben (auch in anderen Sportarten) in Verbindung mit Spaß und Freude bezeichnet (Côté, Ericsson & Law, 2005).

## **2.2 Leistungsbezogene psychologische Parameter im Sport**

Im Folgenden werden leistungsbezogene psychologische Parameter im Sport beschrieben, wobei gruppenspezifische und soziale Aspekte, die gerade in Mannschaftssportarten eine wichtige Rolle spielen, unbeachtet bleiben, da in dieser Arbeit einzelne Athletinnen und Athleten in ihrer Tätigkeitsausführung betrachtet werden. Die psychologischen Charakteristika oder Anforderungen, um Experte in der jeweiligen Disziplin zu werden, sind je nach Sportart relativ unterschiedlich. Sehr oft werden die Persönlichkeit der Athletinnen und Athleten oder auch motivationale und volitionale Aspekte in diesem Zusammenhang diskutiert (Beckmann & Kellmann, 2004; Elbe, Wenhold & Müller, 2005; Weinberg & Gould, 2007). Unter volitionalen Strategien versteht man die Fähigkeit, Absichten durch zielgerichtetes und realitätsgerechtes Handeln zu verwirklichen. In diesem Zusammenhang ist es möglich, Sportler/innen in ihrer Tendenz zur Handlungs- und Lageorientierung einzuteilen (Beckmann & Wenhold, 2008). Einer Athletin/einem Athleten mit einer eher handlungsorientierten Ausprägung fällt es leichter, sich nach einem Misserfolg nicht in Gedanken zu verstricken, sondern weitere Handlungen zu initiieren. Eine Tendenz zur Lageorientierung bedeutet, sich beim Handlungsvollzug vermehrt Gedanken über zukünftige, gegenwärtige und vergangene Dinge zu machen (Kuhl, 1983).

Ein zentraler Punkt, der jedoch sportartübergreifend in (sport)psychologischen Lehrbüchern zu finden ist, wird mit dem Begriff der Wahrnehmung oder der sogenannten Kognitionen umschrieben (Alfermann & Stoll, 2012). Ein wesentlicher Teil davon sind Konzentration und Aufmerksamkeit, was als Selektivität der Wahrnehmung bezeichnet wird und essentiell für sportartspezifische Aufgaben ist. Es wird davon ausgegangen, dass erfahrene Athletinnen und Athleten gut darin sind, sich zu konzentrieren, wobei der Zusammenhang zwischen Konzentration und Leistung wissenschaftlich gesehen bislang wenig bis gar nicht betrachtet wurde. Ein in diesem Zusammenhang häufig vorkommendes Konstrukt ist jenes des Flow-Zustandes, was ein vollkommenes Aufgehen in der Aufgabe und somit eine maximale Fokussierung bedeutet (siehe Kapitel 2.4.3). In diesem Falle gelingt es besonders, Höchstleistungen zu erbringen (Harmison, 2011). Welche Anforderungscharakteristika für das Erreichen von herausragenden Leistungen in den Sportarten Schießen und Basketball relevant sind, wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

## **2.3 Psychologisches Anforderungsprofil im Sport**

### **2.3.1 Sportschießen**

Nach Tsorbatzoudis (1995) und Kratzer (1998) spielen neben Motivation, Selbstregulation, optischer Auffassungsgeschwindigkeit und sensomotorischer Koordinationsfähigkeit insbesondere die Konzentrationsfähigkeit und die Fähigkeit zur gezielten Aufmerksamkeitsfokussierung (bezogen auf die Daueraufmerksamkeit) eine bedeutsame Rolle im Sportschießen. Tsorbatzoudis (1995, S. 52) zeigte in seiner Studie, dass es beim Sportschießen für die Leistung entscheidend ist, „... die Aufmerksamkeit auf die Schießscheibe oder das Schussobjekt über eine bestimmte Zeit konzentrieren zu können.“

Auch nach Kratzer (1998) zählt die Konzentrationsfähigkeit im Sportschießen zu einer der leistungsbestimmenden Kompetenzen. Die Flexibilität, je nach Situation zwischen den unterschiedlichen Dimensionen umschalten zu können, wird von Nideffer (1993) als weiterer leistungsbestimmender Faktor bezeichnet. Die Sportschützinnen und Sportschützen sollten in der Lage sein, bei Wettkämpfen ihre Leistung ungestört abrufen zu können, indem sie sich weder von internen noch von externen Einflussgrößen ablenken lassen. Verliert die Sportlerin/der Sportler die uneingeschränkte Aufmerksamkeit für eine Beschäftigung (z. B. nach einem Fehlschuss oder einer anderen Ablenkung von außen), ist

es zur Erbringung guter Leistungen nötig, die Zone des optimalen Funktionierens (Hanin, 2000) wiederzufinden, um damit in die Zone des Flow-Erlebens zu kommen (Csikszentmihalyi & Jackson, 2000; siehe Kapitel 2.4.3). Dies ist vor allem bei geübten Sportlerinnen und Sportlern häufig Voraussetzung für das Abrufen der persönlichen Bestleistung (Beckmann & Elbe, 2011).

### 2.3.2 Basketball

Ähnlich wie im Sportschießen kann man die wesentlichen psychologischen Determinanten von Leistung im Basketball definieren. Vogt und Vogt (1999) teilen diese auf Basis einer Fragebogenstudie bei deutschen Bundesligatrainern und -spielern in individual- und sozialpsychologische Faktoren auf (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2

*Psychologische Determinanten von Leistung im Basketball (nach Vogt & Vogt, 1999)*

<b>Individualpsychologische Faktoren</b>	<b>Sozialpsychologische Faktoren</b>
Motivation	Allgemeine Gruppenprozesse
Emotionskontrolle	
Selbstvertrauen	Beziehungen zwischen Trainer/in und Spieler/in
<i>Aufmerksamkeit und Konzentration</i>	
Wahrnehmung	

Für die Beschreibung von psychologischen Anforderungen liefern Blümel, Braun, Brill und Kasch (2007) eine Aufstellung elf relevanter psychischer Fähigkeiten, über die Spitzenbasketballer/innen besonders ausgeprägt verfügen sollten: psychische Belastbarkeit, Konzentrationsfähigkeit, Selbstvertrauen, Beharrlichkeit, positive Einstellung, Lernfähigkeit, soziale Fähigkeiten, Motivation/Wille, Verantwortungsbewusstsein, Führungsfähigkeit und Stressresistenz. Neumann und Mellinghoff (2002) thematisieren in ihrem Trainingsprogramm für Basketballspieler/innen und -trainer/innen, dass neben physischen Anforderungen sogenannte „fundaMentale“ Faktoren eine leistungsbestimmende Bedeutung haben. Sie unterscheiden zwischen kognitiven Anforderungen (insbesondere Aufmerksamkeits- und Erkennniseigenschaften), psychoregulativen Steuerungseigenschaften zur emotionalen Kontrolle und der Antriebsregulation. Zu den kognitiven Anforderungen zählen laut Neumann und

Mellinghoff (2002, S. 4) die „bewusste Gedanken- und Aufmerksamkeitslenkung zur Steuerung von Erkenntnis-, Antizipations-, Aufmerksamkeits- und Selbstbeobachtungsprozessen“. Als für die Aufmerksamkeit essentielle Eigenschaften werden Konzentrations- und Umschaltfähigkeit, Beständigkeit über die gesamte Spielzeit und eine der Situation angepasste Sensibilisierung für die jeweils benötigte Aufmerksamkeitsausrichtung genannt (vgl. Arten der Aufmerksamkeitsausrichtung nach Nideffer, 1976 – in Kapitel 2.3.2).

Vergleicht man die Anforderungscharakteristika der beiden Sportarten, so zeigen sich vor allem Konzentration und Aufmerksamkeit als von allen Autorinnen und Autoren genannte und relevante psychologische Voraussetzungen für das Erreichen von Bestleistungen. Bei der Betrachtung der im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendeten Settings Luftpistolenschießen und Basketball-Freiwurf, die beide eine konzentrierte Vorbereitung und fokussierte Ausführung der Zielaufgabe benötigen, zeigen sich Konzentration und Aufmerksamkeit als die relevantesten psychologischen Faktoren. Daher werden diese beiden Konstrukte im folgenden Kapitel näher beschrieben.

## **2.4. Konzentration und Aufmerksamkeit**

### **2.4.1 Begriffsdefinitionen**

Konzentration und Aufmerksamkeit sind in der Alltagssprache sehr häufig verwendete Konstrukte, um den kognitiven Prozess der Zuwendung gegenüber einem bestimmten Gegenstand oder einer Person zu beschreiben. Die beiden Begriffe sind jedoch nicht immer trennscharf voneinander zu unterscheiden (Beckmann, Strang & Hahn, 1993; Kaminski, 1994). In der Psychologie und in der Sportwissenschaft ist es schwer, einheitliche Definitionen zu finden. Weiterhin stellt die Operationalisierung der beiden Konstrukte ein Problem dar. Dies führt sowohl in der Umgangssprache als auch in der wissenschaftlichen Terminologie zu einer oberflächlichen Anwendung (Immenroth, Eberspächer & Hermann, 2008). Im Gegensatz dazu wird im englischsprachigen Raum auf das Konstrukt Konzentration häufig ganz verzichtet und nur von *Attention* gesprochen. Bereits in einer der ersten Definitionen von *Attention* finden sich Anlehnungen und Formulierungen, wie man sie auch im allgemeinen Sprachgebrauch wiederfindet:

*“Everyone knows what attention is. It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration, of consciousness are of its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others, and is a condition which has a real opposite in the confused, dazed, scatterbrained state which in French is called distraction, and Zerstreutheit in German.”* (James, 1890, S. 416)

Im deutschen Sprachraum wird Konzentration oft als Überbegriff und Aufmerksamkeit als ein Teil davon bezeichnet, wie es zum Beispiel bei Dorsch (1998, S. 509) formuliert wird. Er definiert Konzentration als *„Sammlung, Ausrichten der Aufmerksamkeit auf eng umgrenzte Sachverhalte“*, wobei mit Aufmerksamkeit die *„bewusste, selektive Zuwendung einer Person zu einem bestimmten Reiz“* gemeint ist. Sehr ähnlich wird Aufmerksamkeit bei Anderson (2004, S. 519) beschrieben, der *Attention* jedoch noch um das Ausblenden nicht relevanter Informationen ergänzt: *„Attention is the cognitive process of selectively concentrating on one aspect of the environment while ignoring other things.“* Als *other things* Beschriebenes bezieht sich nicht nur auf die Anwesenheit von Personen oder störenden Gegenständen, sondern auch auf eigene irrelevante Gedanken.

Andere Autorinnen und Autoren wie Beckmann, Strang und Hahn (1993, S.12) heben die funktionelle Komponente von Konzentration hervor und definieren diese als das *„Ausrichten und Abstimmen psychischer Strukturen und Prozesse im Sinne der Initialisierung und Ausführungsoptimierung einer Interaktion“*.

Allen Definitionen gemein ist, dass eine Selektivität der Wahrnehmung stattfindet. Dies wird auch bei Neumann und Mellinghoff (2002) deutlich, die Aufmerksamkeit als Überbegriff für gerichtete und eingegrenzte Wahrnehmung ansehen und Konzentration als gesteigerte Intensitätsform der Aufmerksamkeit beschreiben. Der Fokus wird auf etwas Bestimmtes gerichtet, während man versucht, alles andere um sich herum auszublenden. Als Beispiel kann man sich den Fußballtorwart vorstellen, der seine Aufmerksamkeit bei einem Eckstoß auf den kommenden Ball fokussieren muss, während sie/er potentielle Distraktoren wie Bewegungen anderer Spieler/innen im Strafraum möglichst ignorieren sollte. Für die hier untersuchten Aufgaben im Pistolenschießen und Basketball-Freiwurf ist hauptsächlich diese Form der Aufmerksamkeit notwendig und entspricht dem Begriff der *„fokussierten Aufmerksamkeit“*. Darunter wird die Tatsache verstanden, dass Menschen Informationen gezielt auswählen, ihre geistige Anstrengung unter einer Zielsetzung

bündeln und nicht Dazugehöriges außer Acht lassen. Diese Form der Aufmerksamkeit bezeichnet die Fähigkeit, stetig und zielgerichtet einer Aufgabe nachzugehen und konkurrierende Handlungstendenzen zu unterlassen (vgl. Sohlberg und Mateer, 1987; Moran, 2004).

### 2.4.2 Konzentration und Aufmerksamkeit im Sport

Die Anforderungen bezüglich Konzentration und Aufmerksamkeit im Sport sind andere als jene in der Psychologie, da die körperliche Komponente zusätzlich eine Rolle spielt und aufmerksamkeitsbasierte Entscheidungen meist unter Zeitdruck getroffen werden müssen. Eine Möglichkeit, das Konstrukt in sportpsychologischer Hinsicht zu beschreiben, findet sich bei Nideffer (1976), der zwischen Weite und Richtung des Aufmerksamkeitsfokus unterscheidet. Auf Basis der vier unterschiedlichen Aufmerksamkeitsausrichtungen gibt es sportartspezifische Unterschiede für den optimalen Aufmerksamkeitsfokus. Die Unterteilung gliedert sich hierbei in weit-external, eng-external, weit-internal sowie eng-internal (siehe Abbildung 1).

		<b>e x t e r n a l</b>		
<b>w e i t</b>	<b>weit-external</b>	optimal, um komplexe Situationen zu "lesen", um Umfeldler einzuschätzen. Ermöglicht hohes Maß an Antizipation	<b>eng-external</b>	<b>e n g</b>
			erforderlich beim Reagieren auf eine situative Anforderung. Aufmerksamkeit eingengt, fokussiert	
	<b>weit-internal</b>	Analyse des Eigenzustandes, der Gesamtbefindlichkeit, z.B. vor Entscheidungen. Wichtig für schnelles Lernen	<b>eng-internal</b>	<b>n g</b>
			optimal um Sensibilität für psychische und somatische Prozesse zu erwerben („in sich hineinhören“). Erforderlich um sich zu „zentrieren“, sich zu regulieren und um mental zu trainieren.	
		<b>i n t e r n a l</b>		

Abbildung 1. Arten der Aufmerksamkeitsausrichtung nach Nideffer (1976)

Betrachtet man die Einteilung nach Nideffer (1976) im Hinblick auf die Richtung und Enge des Aufmerksamkeitsfokus, lässt sich erkennen, dass alle vier Arten der Aufmerksamkeitsausrichtung beim Sportschießen relevant sind. Ein Beispiel, wie diese Arten innerhalb eines Wettkampfes auftreten, soll dies verdeutlichen:



- Zu Beginn eines Wettkampfes ist es für die Sportlerin/den Sportler von Bedeutung, sich einen Überblick über die Sportstätte an sich und auch über den jeweiligen Schießstand, dem die Schützin/der Schütze zugeteilt wurde, zu verschaffen. Man würde hier von einem external-weiten Fokus sprechen, der auch in den Pausen (z. B. nach einer schlechten Serie) hilfreich sein kann.
- Kurz vor Beginn und auch während des Wettkampfes ist es für die Sportlerin/den Sportler wichtig, einen Körpercheck (Wie geht es mir? Wie fühle ich mich?) durchzuführen, wobei der Fokus in diesen Situationen internal-weit ist.
- Für die Schussabgabe am wichtigsten ist der *external-enge* Fokus, da es für einen erfolgreichen Treffer relevant ist, die Aufmerksamkeit auf die Scheibe oder besser gesagt die Übereinstimmung von Kimme und Korn zu richten.
- Der internal-enge Fokus liegt dann vor, wenn ein/e Sportler/in ihre/seine Aufmerksamkeit gezielt auf einen Körperteil richtet (z. B. den Druck des Fingers am Abzug, die Stärke der Muskelspannung im Schulterbereich ...).

Ähnlich übertragbar ist dies auch für den Basketballsport, wo die vier Aufmerksamkeitsarten in folgenden Situationen relevant sind (vgl. Neumann & Mellinghoff, 2002):

- Die Spielerin/der Spieler muss mehrere Informationen gleichzeitig aufnehmen, sich zum Beispiel eine Übersicht am Spielfeld verschaffen und Angriffsstrategie der Gegner/innen beobachten, was im Rahmen eines external-weiten Fokus geschieht.
- Wie auch schon bei den Schützen erwähnt, wird die Aufmerksamkeit beim internal-weiten Fokus auf die momentane Befindlichkeit gerichtet. Fühlt sich die/der Sportler/in fit, eher schlapp, müde etc.
- Beim *external-engen* Fokus werden bestimmte Sachverhalte genauer betrachtet und fokussiert, wie zum Beispiel der Ring bei der Ausführung eines Freiwurfes.
- Kommt es zu einer eingengten Aufmerksamkeitsausrichtung auf den eigenen Körper, z. B. Konzentration auf die Atmung, den Muskeltonus oder wie sich der Ball in den Händen anfühlt, spricht man von einer internal-engen Ausrichtung.

Wie man an den Beispielen erkennen kann, sind alle vier Aufmerksamkeitsformen in beiden Sportarten von Relevanz. Im Spielverlauf bzw. im Wettkampf mitentscheidend ist es, zwischen den vier Aufmerksamkeitsformen zu wechseln und diese sehr schnell den situativen Anforderungen anzupassen. Der bewusst gesteuerte Wechsel zwischen diesen Aufmerksamkeitsarten kann durch gezieltes sportpsychologisches Training geschult werden und ist die Basis für das Erreichen von Bestleistungen (Nideffer, 1976; Beckmann & Elbe, 2011). Der Fokus der Aufmerksamkeit für die in dieser Arbeit untersuchten Aufgaben wird ein *external-enger* sein. Sowohl beim Schießen als auch beim Basketball-Freiwurf muss zum – mehr oder weniger – selbst gewählten Zeitpunkt auf das Zielobjekt (Scheibe bzw. Ring) fokussiert werden, um so sein maximales Leistungsspektrum abrufen zu können. Das Ausblenden irrelevanter Sachverhalte und die Einengung der fokussierten Aufmerksamkeit ist somit eine Grundvoraussetzung zum Erreichen der gewünschten Leistung.

### **2.4.3 Flow-Zustand**

Ein weiterer Begriff, der im Zusammenhang mit fokussierter Aufmerksamkeit genannt wird, ist der so genannte Flow-Zustand (Csikszentmihalyi & Jackson, 2000; Harmison, 2011). Ein wesentlicher Faktor, um in einen solchen Zustand zu kommen, ist die automatisierte Handlungsausführung, zusammen mit der Fokussierung der Aufmerksamkeit auf das Ziel unter gleichzeitiger Ausblendung anderer irrelevanter Eindrücke.

Csikszentmihalyi und Jackson (2000) beschreiben diesen als „... Bewusstseinszustand, in dem man völlig in dem aufgeht, was man gerade tut, ohne irgendwelche anderen Gedanken oder Emotionen zu haben“. Es ist ein kognitiver Fokus, der in einem entspannten Zustand und mit Freude verbunden ist. Erfahrene Athletinnen und Athleten berichten über den Flow-Zustand in folgender Weise: “in sich versunken, absolutes Wohlbehagen, Fokus, entrückt, völlige Hingabe, gelassen, wie ferngesteuert, alles passt zusammen, aufgedreht, fit statt platt, Konzentration, leichtfüßig und locker, ideal, unschlagbar, alles klappt, alles andere ist egal, Schwerelosigkeit, in Spitzenform, optimales Tempo, fließend, optimale Einstellung, ohne Anstrengung, in Kontrolle, stark, Ruhe und Selbstvertrauen, schwebend, hellwach, völlige Konzentration”.

Csikszentmihalyi und Jackson (2000) gehen von neun sogenannten Flow-Komponenten aus, die den mentalen Zustand beim Flow-Zustand beschreiben:

- 1) Balance zwischen Herausforderung und Können
  - Dies gilt als Grundregel, um in einen Flow-Zustand zu kommen, wobei es nicht ausreicht, wenn die Herausforderungen den Fertigkeiten entsprechen. Die herausfordernden Situationen für die/den Sportler/in müssen sich, so wie auch ihre/seine physischen Fähigkeiten, ständig weiterentwickeln.
- 2) Verschmelzen von Körper und Geist
  - Dabei geht es um das „Einswerden“ mit den Bewegungen, die von den Sporttreibenden ausgeführt werden. Eine Verschmelzung ist nur dann möglich, wenn die/der Athlet/in vollkommen in dem versunken ist, was sie/er gerade tut. Die Aufmerksamkeit ist ausschließlich auf die zu bewältigende Aufgabe gerichtet.
- 3) Klare Zielsetzung
  - Zielsetzungen helfen der Athletin/dem Athleten, leichter in den Flow-Zustand zu kommen, besonders wenn diese bereits im Vorfeld klar formuliert wurden.
- 4) Eindeutiges Feedback
  - Hierbei wird zwischen der Rückmeldung des eigenen Körpers und der Rückmeldung durch die/den Trainer/in unterschieden. Beide Komponenten können wesentlich zu einem möglichen Flow-Zustand beitragen.
- 5) Konzentration auf die bevorstehende Aufgabe
  - Die Aufmerksamkeit soll nur auf das Bevorstehende gerichtet werden. Alles was davor passierte (z. B. ein schlechtes Resultat) oder noch passieren könnte (etwa die Siegerehrung), hindert die/den Sportler/in daran, in einen Zustand der optimalen Leistungserbringung zu kommen.
- 6) Kontrolle
  - Die/der Sportler/in hat die vollständige Kontrolle über die auszuführende Aufgabe, was vielmals auch als positives Denken oder Selbstvertrauen bezeichnet wird.

7) Befangenheit ablegen

- Das oben beschriebene Gefühl der Kontrolle soll der/dem Sportler/in helfen, ihre/seine Befangenheit abzulegen. Das Gefühl des Flow-Empfindens befreit den Menschen von Unsicherheit und Selbstzweifeln.

8) Subjektive Wahrnehmung der Zeit

- In einem Flow-Zustand hat man oft das Gefühl, dass die Zeit schneller vergeht. Es kann aber auch sein, dass man den Moment so auskostet, dass sich die Zeitspannen ausdehnen. Die subjektive Wahrnehmung der Zeit ist ein Nebenprodukt einer völligen konzentrativen Versenkung.

9) Autotelisches Erlebnis

- Damit wird eine Sache bezeichnet, die um ihrer selbst Willen getan wird und in sich selbst sehr befriedigend ist. Darunter versteht man Momente, in denen man sich uneingeschränkt einer bestimmten Tätigkeit zuwendet.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die/der Athlet/in in einem Flow-Zustand völlig in der Aufgabe aufgeht und wenig bis gar nicht auf das fokussiert, was neben ihr/ihm passiert.

#### **2.4.4 Exkurs: Verlauf- vs. ergebnisorientierte Rückmeldung**

Neben der im vorangegangenen Kapitel angesprochenen subjektiven Wahrnehmung der Zeit, beinhaltet eine konzentrativen Versenkung auch, sich vermehrt auf das eigene Gefühl und weniger auf das erreichte Resultat zu konzentrieren. Der ständige Ergebnisabgleich könnte kontraproduktiv zum vorherrschenden Zustand während eines Flows sein. Welche Möglichkeiten der Rückmeldungen des Ergebnisses oder der Leistung es gibt, soll im folgenden Exkurs betrachtet werden. Die Wegnahme der Ergebnisrückmeldung zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, in einen Flow-Zustand zu kommen, wird vor allem in Studie II relevant sein.

Feedback oder Rückmeldung sind nicht nur wichtige Elemente der Kommunikation, sondern auch bei der Ausführung und beim Erlernen einer jeden Sportart wesentlich. Bei der leistungsbezogenen Rückmeldung lassen sich zwei Arten unterscheiden: *knowledge of result (KR)* und *knowledge of performance (KP)*. Beim *knowledge of result* handelt es sich um eine ergebnisorientierte Rückmeldung über den Erfolg einer Handlung in Bezug auf das zu erreichende Ziel. Ein konkretes Beispiel könnte sein, wenn ein/e Dartspieler/in

sieht, dass der geworfene Pfeil genau in der Mitte der Scheibe landet. Eine verlaufsbezogene Rückmeldung liegt beim *knowledge of performance* vor und bezieht die Rückmeldung auf die Ausführung der Bewegung der Athletin/des Athleten. Dies ist zum Beispiel bei einer/einem Turmspringer/in dann der Fall, wenn die/der Trainer/in eine Rückmeldung über die Ausführung des eben dargebotenen Vorwärtssaltos gibt (vgl. Jennett, 2008). Beide Rückmeldungsarten sind im Sport beim Erlernen einer neuen Bewegung als auch bei der Verbesserung eines motorischen Ablaufes von Bedeutung und können bei einzelnen Bewegungsausführungen auch gemeinsam auftreten. Genaue und objektive Informationen helfen der Athletin/dem Athleten einzuschätzen, wie sich seine eben erbrachte Leistung im Vergleich zu einer früheren entwickelt hat (Davies, 1989). Für die in dieser Studie verwendeten Sportarten sind konkrete Beispiele von KR und KP in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3

*Beispiele für KR und KP der beiden Sportarten Luftpistolenschießen und Basketball Freiwurf*

	<b>Ergebnisorientierte Rückmeldung (KR)</b>	<b>Verlaufsorientierte Rückmeldung (KP)</b>
<b>Sportschießen Luftpistole</b>	Bekanntgabe der erreichten Ringzahl durch den neben der Schützin/dem Schützen positionierten Monitor (vgl. Studie II)	Die/der Trainer/in gibt der Schützin/dem Schützen Hinweise über ihre/seine Armhaltung und -bewegung während der Zielphase
<b>Basketball Freiwurf</b>	Direkte visuelle Rückmeldung, ob der geworfene Ball ein Treffer war (vgl. Studie III)	Der/dem Werfer/in wird die Position der Beinstellung während der Freiwurfausführung von der/dem Trainer/in rückgemeldet

In zahlreichen Studien wurden Effekte von beiden Rückmeldungsarten untersucht (u. a. Wulf & Shea, 2004). Dabei waren diese nicht immer konsistent. In einer Studie mit unerfahrenen Schützen fanden Viitasalo et al. (2001) heraus, dass eine Kombination von KR und KP (inklusive Videostudium) zu einer gleich hohen Verbesserung der Schussleistung führte wie die alleinige Rückmeldung von KR. In den Arbeiten von Magill (1994; Magill, Chamberlin & Hall, 1991) konnte gezeigt werden, dass Personen vom Feedback in gleicher Weise profitieren, wie sie dies beim Üben von Bewegungsausführungen tun. In einer Antizipationsaufgabe mussten die Probanden mit einer Art Stock auf eine Absperrung schlagen, wenn ein LED-Licht in unterschiedlichen Geschwindigkeiten darauf aufleuchtete. In den Ergebnissen konnten keine Unterschiede zwischen der Bedingung mit und jener ohne Feedback gefunden werden. Unabhängig von den genannten Studien wiesen Salmoni, Schmidt und Walter (1984) darauf hin, dass eine ergebnisorientierte Rückmeldung als Anregung verstanden werden sollte und zu einer Leistungssteigerung führen kann. Der Lernprozess kann jedoch gehemmt werden, wenn diese Rückmeldung zu oft vorgegeben wird. Interessant wird es dann, wenn Athletinnen und Athleten keine ihrer gewohnten Rückmeldungen, wie zum Beispiel Zeiten oder Resultate, bekommen und sie sich rein auf ihr Gefühl verlassen sollen. Ob dies die Sportler/innen aus dem eigenen Rhythmus bringt oder ihnen hilft, in einen Flow-Zustand zu kommen, ist wissenschaftlich bisher noch nicht betrachtet worden und soll daher einen Schwerpunkt der Studie II darstellen.

## **2.4.5 Operationalisierung von Konzentration und Aufmerksamkeit im Sport**

### *2.4.5.1 Generelle Methoden in der Psychologie*

Konzentration wird in der Psychologie als momentaner Zustand angesehen. Sie ist in weiterer Folge jedoch auch ein Persönlichkeitsmerkmal, dessen aktuelle Ausprägung und Messung von Bedingungen abhängen, die zum jeweiligen Zeitpunkt bei einem Individuum gegeben sind. Dies bedeutet, dass sich Menschen zum einen von Natur aus hinsichtlich der Ausprägung ihrer Konzentrationsfähigkeit unterscheiden und zum anderen die individuelle Konzentration Schwankungen durch bisher geleistete Arbeiten, Müdigkeit etc. unterliegt (Westhoff & Hagemester, 2004). Zur Erfassung der Konzentrationsfähigkeit werden testpsychologisch oftmals Durchstreichtests (z. B. Test d2 – Aufmerksamkeits-Belastungs-Test, Brickenkamp, 1962) eingesetzt, bei denen rasch und mit möglichst wenig Fehlern Distraktoren in einer Buchstabenfolge zu erkennen sind. Andere Methoden sind an das

Intelligenzkonstrukt angelehnte Konzentrationsleistungstests, wie zum Beispiel der KLT-R (Lukesch & Mayrhofer, 2001), oder neuere Verfahren im Rahmen einer computerunterstützten Testbatterie, wie etwa das Wiener Testsystem. Darüber hinaus besteht jedoch auch die Möglichkeit, die subjektive Einschätzung der Konzentration und Aufmerksamkeit mit selbst konstruierten Fragebögen zu erheben, wobei dies einerseits die üblichen Probleme eines Fragebogens als subjektives Verfahren und andererseits die kritische Betrachtung der psychologischen Gütekriterien (Objektivität, Validität, Reliabilität) mit sich bringt.

Mit Ausnahme der letztgenannten Möglichkeit sind die bereits genannten Erhebungsmethoden im Sport nicht zielführend, da im sportlichen Alltag häufig andere Komponenten von Konzentration und Aufmerksamkeit relevant sind, als dies in allgemeinen psychologischen Studien der Fall ist. Darüber hinaus unterscheiden sich die Anforderungscharakteristika in Hinblick auf Konzentration und Aufmerksamkeit zwischen den einzelnen Sportarten sehr stark. Letztendlich gibt es keine expliziten Kriterien, um die Aufmerksamkeit oder die Steigerung der Aufmerksamkeit durch (sport)psychologisches Training zu erheben (vgl. Moran, 2004). Praktische Sportpsychologinnen und Sportpsychologen arbeiten bereits mit dem Ziel, die Konzentration und Aufmerksamkeit zu erhöhen, um damit auch eine Steigerung der Wettkampfleistung zu erreichen. Etwaige Evaluationen oder gar die Operationalisierung von Konzentration und Aufmerksamkeit fehlen bislang noch, potentielle Möglichkeiten werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben und in den einzelnen Studien dieser Arbeit erprobt.

#### *2.4.5.2 Neurophysiologische Methoden*

Wie im vorangegangenen Kapitel bereits angedeutet, ist die Operationalisierung von Konzentration und Aufmerksamkeit nicht immer einfach möglich. Gerade im Sport ist es wenig zielführend, Papier-Bleistift-Tests oder Reaktions-Zeit-Experimente durchzuführen. Neben diesem behavioralen „Messen“ von Aufmerksamkeit, wird auch das neuronale Korrelat des Konstruktes Aufmerksamkeit betrachtet. Dahingehend wurde in den letzten vierzig Jahren versucht, das neuronale Korrelat von Aufmerksamkeit mit den gängigen neurophysiologischen Methoden (fMRI, PET, EEG) zu erforschen. Erste Experimente beschäftigten sich vor allem mit menschenähnlichen Primaten oder Personen, deren Gehirnnareale in Folge von Läsionen geschädigt waren. Posner und Petersen (1990) versuchten darauf aufbauend ein Aufmerksamkeitsnetzwerk im Gehirn zu bestimmen.

Dabei wird dem Parietal- oder auch Scheitellappen, der etwa zwanzig Prozent des menschlichen Cortex ausmacht, eine besondere Funktion für die Aufmerksamkeitsausrichtung und die Integration von räumlich-visuellen Reizen zugeschrieben (Behrmann, Geng & Shomstein, 2004). Bei der Aufmerksamkeitsausrichtung mit ihren unterschiedlichen Komponenten sind immer auch Basisleistungen des Gehirns, wie etwa die exekutiven Funktionen oder der Arbeitsspeicher, beteiligt (vgl. Knudsen, 2007; Baddely, 2003). Diese Konstrukte voneinander zu trennen, ist nicht immer einfach, denn der im menschlichen Gehirn limitierte Arbeitsspeicher ist auch an Prozessen der Aufmerksamkeit beteiligt, weil er für Denk-, Planungs- und Ausführungsprozesse zuständig ist. Er ist aufgeteilt in eine phonologische und eine visuell-räumliche Schleife. Während die phonologische Schleife mit verbalen Prozessen eher links tempoparietal angeordnet ist, geht die visuelle Schleife eher mit Aktivierungsmustern in der rechten Hemisphäre einher, was auch mit frühen Läsionsstudien übereinstimmt (Kandel, Schwartz, Jessell, Siegelbaum & Hudspeth, 2012).

Auch Hill und Schneider (2006) schreiben in ihrer Arbeit zur Expertiseforschung dem posterioren Parietalcortex eine entscheidende Rolle für Prozesse der Aufmerksamkeitskontrolle zu. Shomstein, Kravitz und Behrmann (2012) erweitern diese Annahmen und sprechen von einem fronto-parietalen Netzwerk der Aufmerksamkeit. Dabei sind vor allem der frontale Cortex, der posteriore Parietalcortex und visuell sensorische Regionen beteiligt. Corbetta und Shulman (2002) beschreiben ein ähnliches Netzwerk für stimulusbasierte und zielgerichtete Aufmerksamkeit. Die Rolle der posterioren Regionen wird auch von Bösel (2001) geteilt, der versucht hat, mittels elektroenzephalographischen Untersuchungen, den Aufmerksamkeitswechsel zu beschreiben. Zum besseren Verständnis findet sich eine Einteilung der verschiedenen Bereiche im menschlichen Cortex in Abbildung 2.



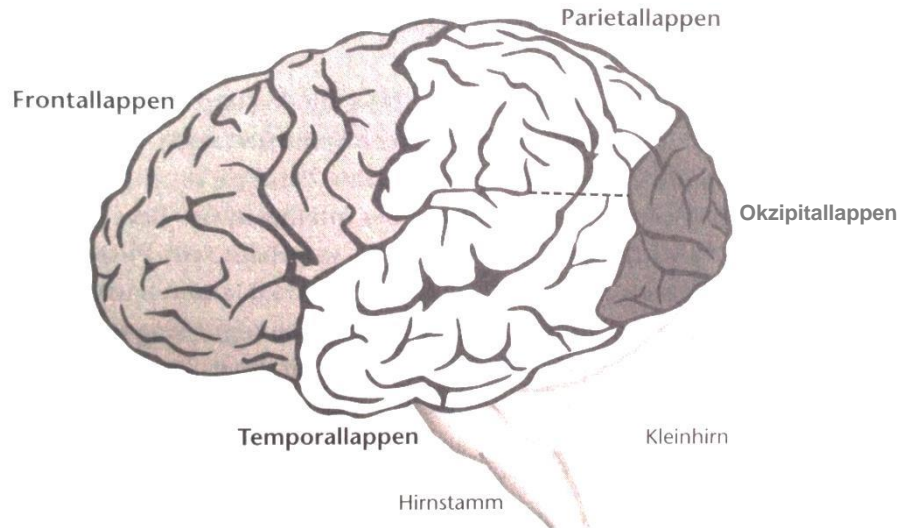


Abbildung 2. Schematische Darstellung des menschlichen Cortex mit Aufteilung in die unterschiedlichen Bereiche (Stern & Neubauer, 2013)

Da eine Messung mittels Elektroenzephalographie (EEG) in dieser Arbeit als Untersuchungsmethode eingesetzt wird, werden die Grundlagen dieser Methode und die Rolle der Frequenzbänder im Folgenden näher beschrieben.

#### 2.4.5.3 EEG-Messung und die Rolle der Frequenzbänder

Das EEG ist eine Methode zur Aufzeichnung sich verändernder Hirnstrommuster. Anfangs wurde die Methode vor allem zur Erkennung von Erkrankungen im Gehirn, etwa Epilepsie oder Tumoren, verwendet. Später wurde die Methode genutzt, um den Wachheitsgrad und die geistige Tätigkeit zu bestimmen, womit man einen Einblick in Aufmerksamkeits- und Lernprozesse bekommen kann. Bei der elektrischen Aktivität, die durch das EEG gemessen wird, handelt es sich primär um Oszillationen oder evozierte Potenziale. Um diese zu bestimmen, wird der Probandin/dem Probanden eine Haube aufgesetzt, auf der sich mehrere Elektroden befinden mit denen die Veränderungen gemessen werden können. Die Veränderungen dieser Muster werden durch die Aktivität der Nervenzelle der unter der Elektrode liegenden Bereiche verursacht. Das EEG zeichnet jedoch nicht die Aktivität einzelner Nervenzellen auf, sondern die Summe von mehreren hundert Neuronen, die gleichzeitig aktiv sein müssen, um ein Signal zu erzeugen. Um eine Veränderung festzustellen und etwaige Schlussfolgerungen zu treffen, bedarf es der Mittelung großer Datenmengen intra- und interpersonell. Das an der Kopfhautoberfläche abgegriffene Signal bzw. die Potentialveränderung wird mittels eines Verstärkers am Computer sichtbar gemacht (Ebner & Deuschl, 2006; Jackson & Bolger, 2014).

Eine schematische Abbildung eines EEG-Setups ist in Abbildung 3 ersichtlich.

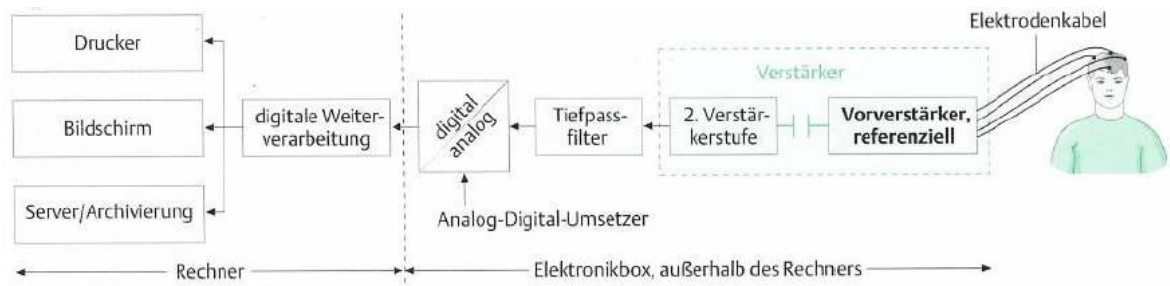


Abbildung 3. EEG-Setup (Ebner & Deuschl, 2006)

Der Vorteil des EEGs ist seine hohe zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich. Es hat jedoch eine geringere räumliche Auflösung im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren, wie etwa dem fMRI. Nach erfolgreicher Aufzeichnung des EEG-Signals ist es möglich, sowohl die Amplitude (Ausprägung der Sinuswelle in Mikrovolt) als auch spezifische Frequenzbereiche (Schwingung des Signals in Hertz) zu betrachten. Im gesunden, erwachsenen Menschen werden vor allem die mittleren Frequenzen, zwischen 8 und 12 Hz sowie die schnellen Frequenzen zwischen 13 und 30 Hz registriert. Die wichtigsten fünf Frequenzbänder werden jeweils kurz mit einer Darstellung des Signales im Zeitraum einer Sekunde beschrieben (vgl. Schomer & Lopes da Silva, 2011) und sind schematisch in Abbildung 4 gegenübergestellt.

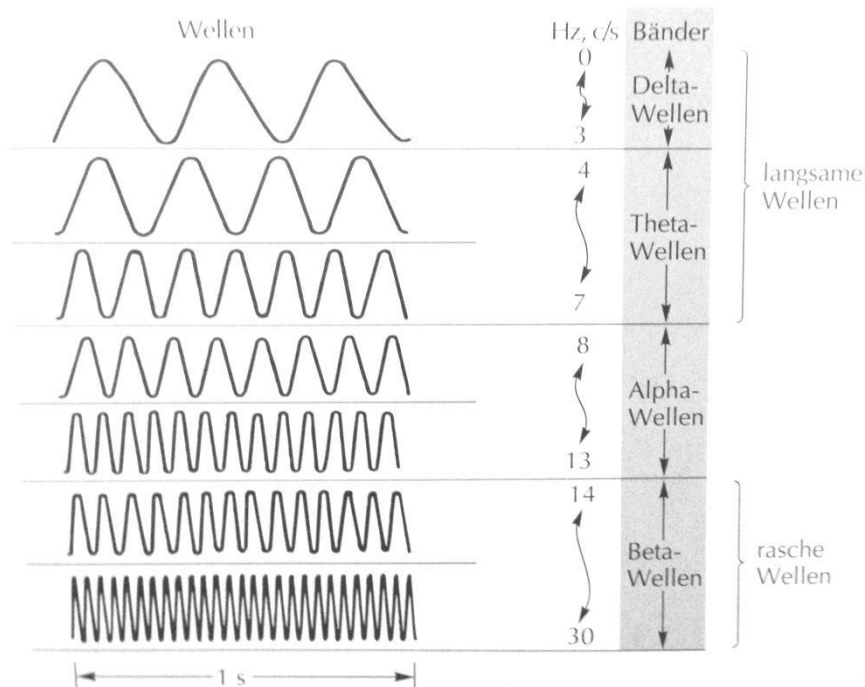


Abbildung 4. Übersicht der gängigen Frequenzbänder (Ebe & Homma, 2002)

*Delta < 4 Hz*

Das langsamste EEG-Frequenzband *Delta* wird bei gesunden Menschen üblicherweise mit Zuständen von Tiefschlaf und Trance assoziiert. Wenn diese Aktivität im Wach-EEG zu beobachten ist, so kann dies ein Hinweis auf eine möglicherweise vorliegende pathologische Störung, wie beispielsweise einen Gehirntumor, sein.

*Theta 4-7 Hz*

Die *Theta*-Aktivität ist in der Regel mit Zuständen der tiefen Entspannung, des Einschlafens, der Hypnose und des Wachträumens verbunden.

*Alpha 8-12 Hz*

Die dominierende Frequenz *Alpha* ist gekennzeichnet durch Zustände wacher Entspanntheit, vor allem bei geschlossenen Augen. Wenn die Augen geöffnet werden, kommt es zu einer Verminderung bei den Alpha-Amplituden. Den Alpha-Rhythmus kann man in ein unteres (8-10 Hz) und ein oberes (10-12 Hz) Alphaband einteilen, wobei diese Einteilung oftmals auch anhand des individuellen Alpha-Peaks erfolgt (vgl. Klimesch, 1999 und Studie I, Kapitel 4.4.2.1).

*Beta 13-30 Hz*

Zu den schnelleren EEG-Oszillationen zählt der *Beta*-Rhythmus. Dieser wird vor allem mit mentaler, aber auch mit körperlicher Aktivität assoziiert, was sowohl Zustände hellwacher Aufmerksamkeit und Konzentration als auch Hektik, Stress, Angst und Überaktivierung bedeuten kann.

*Gamma > 30 Hz*

Die schnellsten Oszillationen der klassischen Frequenzbänder zeigen sich im *Gamma*-Rhythmus. Dieser wird vor Allem mit höheren kognitiven Leistungen und mit anspruchsvollen Tätigkeiten unter hohem Informationsfluss in Verbindung gebracht.

Je nach Fragestellung gibt es verschiedene Auswertungsvarianten. Eine Form ist jene der Spektralanalyse, die das EEG-Signal in einem definierten Zeitabschnitt in seine zugrundeliegenden Frequenzkomponenten zerlegt. Die Ergebnisse der Spektralanalyse können grafisch als Powerwerte dargestellt werden und dienen als Grundlage für weiterführende Berechnungen. Die Spektralanalyse kann allerdings nur Frequenzanteile darstellen, Form und zeitliche Abfolge der EEG-Wellen bleiben unberücksichtigt. Kurzzeitige EEG-Veränderungen sind in einer fortlaufenden Spektralanalyse oft nur schwer zu erkennen. Besser eignet sich dafür die Methode der Bestimmung evozierter Potentiale (ERP). Hier wird ausgehend von einem internen oder externen Stimulus die signifikante Spannungsänderung gemessen. Die auf den Stimulus bezogene Potentialveränderung kann in verschiedene Komponenten, wie zum Beispiel die wissenschaftlich gut untersuchte P300 (positive Komponente 300 ms nach Reizdarbietung), die oft als Konzentrationsindikator beschrieben wird, eingeteilt werden (Luck, 2005). Eine weitere häufige Auswertungsmethode ist jene der *event-related desynchronisation* (ERD) oder *event-related synchronisation* (ERS). Bei einer solchen Berechnung wird die Potentialveränderung in Bezug zu einer Ruhebedingung oder Baseline gesetzt. Steigt das Potential im Vergleich zur Baseline an, spricht man von ERS, im gegenteiligen Fall von ERD (Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999). Obwohl die Power-Werte bei einer Desynchronisation abnehmen, spricht man im Alpha-Frequenzband bei einer Desynchronisation von einer Zunahme der kognitiven Aktivierung oder einer Alpha-Inhibition. Es gibt Zusammenhänge zwischen der Aufgabenschwierigkeit und der Höhe der ERD, wobei größere Abnahmen bei schwierigeren Aufgaben vorherrschend sind (Pfurtscheller, 2001).

## **2.5 Neuronale Korrelate von Konzentration und Aufmerksamkeit**

Neben Studien zur Intelligenz oder Entscheidungsfindung (Thatcher, North & Biver, 2005; Platt & Glimcher, 1999) gibt es EEG-Studien, die neuronale Korrelate von Konzentration und Aufmerksamkeit untersuchen. In diesem Kapitel werden Studien genannt, welche die fokussierte Aufmerksamkeit in Bezug zu Funktionen des Arbeitsgedächtnisses und den exekutiven Funktionen sowie zu Zuständen tiefer Entspannung setzen.

Wie in Kapitel 2.4.5.2 beschrieben, sind Aufmerksamkeitsprozesse Teilkomponenten exekutiver Funktionen. Sauseng, Klimesch, Schabus und Doppelmayr (2005a) führten eine EEG-Studie durch, um die Annahme des fronto-parietalen Aufmerksamkeitsnetzwerkes zu bestätigen. Den Probandinnen und Probanden wurden dafür zwei auditive Reize über Kopfhörer eingespielt, die sie dann miteinander vergleichen mussten. Mittels Kohärenzanalysen konnte ein Anstieg der frontalen Theta-Frequenz (3.9 – 6.8 Hz) bei gleichzeitiger Abnahme der oberen Alpha-Kohärenz (9.8 – 12.7 Hz) im anterioren Bereich bei schwierigen Aufgaben beobachtet werden. Zusammenhänge zwischen den Power-Werten und der Aufgabenschwierigkeit konnten aber in keinem der Frequenzbänder nachgewiesen werden. In einer weiteren Studie verwendeten Sauseng und Kollegen (2005b) ERP-Analysen, um Aufschluss über die Rolle des Alpha-Frequenzbandes bei Aufmerksamkeitsprozessen zu erhalten. Als Untersuchungsmethode wurde eine visuelle Aufmerksamkeitsaufgabe gewählt, in der nach einer Richtungsangabe durch einen Pfeil (links oder rechts) Blöcke dargeboten wurden und die Personen einschätzen mussten, ob der Block groß oder klein war. In drei Viertel der Fälle war die Richtungsangabe auch kongruent mit dem dargebotenen Block, nur in einem Viertel der Fälle war sie inkongruent (Pfeil zeigt nach links und Block erscheint rechts oder vice versa). In posterior-parietalen Regionen zeigten sich bei kongruent dargebotenen Stimuli höhere P1- und N1-Werte in beiden Alpha-Frequenzbändern (6.89-10.34 und 9.54-14.31 Hz) als bei inkongruent dargebotenen Stimuli. Zusätzlich wurden Kohärenzen zwischen den präfrontalen und posterioren Regionen gefunden, was laut den Autoren aber nicht klar von Wahrnehmungsprozessen abzugrenzen ist. Die Ergebnisse legen nahe, dass das Umschalten zwischen den Aufmerksamkeitsprozessen mit erhöhter Alpha-Aktivität einhergeht. Auch bei Klimesch (1999) zeigte sich eine erhöhte Alpha-Power vor der Stimulusdarbietung bei guter kognitiver Leistung. Auf Basis der Ergebnisse wird angenommen, dass der präfrontale Cortex überwachende Funktionen hinsichtlich der Aufmerksamkeitsregulierung wahrnimmt und eine Alpha-Oszillation im posterioren Bereich mit Verbindungen zu den frontalen Arealen operiert.

Eine erste Studie über den Zusammenhang zwischen dem frontalen mittleren Theta und fokussierter Aufmerksamkeit, wurde von Nakashima und Sato (1993) durchgeführt. In einem Reaktions-Zeit-Experiment mussten die sechs teilnehmenden Personen möglichst schnell auf einen auditiven Reiz reagieren. Zusätzlich zur Präsentation des Reizes wurde abwechselnd zwei, drei, vier oder fünf Sekunden davor ein Warnsignal dargeboten. Berechnet wurde die Häufigkeit des frontalen mittleren Thetas (6-7 Hz) bezogen auf die Zeit. Die Ergebnisse von ausgewählten Einzelfällen zeigen eine höhere frontale mittlere Theta-Aktivität bei schnellerer Reaktion. Das Ergebnis wird so interpretiert, dass erhöhte frontale Theta-Aktivität immer dann auftritt, wenn man fokussiert ist. Insgesamt zeigten sich aber keine durchgehend signifikanten Effekte und auch die Stichprobengröße ist mit sechs Personen sehr gering. In späteren Studien wurden durchaus konsistente Theta-Effekte gefunden, etwa bei Sauseng, Hoppe, Klimesch, Gerloff und Hummel (2007). Diese ließen zwölf Probandinnen und Probanden verschiedene Fingerbewegungen auf einer Tastatur erlernen, bis sie diese einwandfrei beherrschten. Am nächsten Tag wurden den Teilnehmerinnen und Teilnehmern vier Bedingungen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades dargeboten und sie wurden gebeten, die Fingersequenzen auszuführen. Nur in der schwierigsten Bedingung konnte ein Anstieg im frontal-mittleren Theta-Frequenzband (4-7 Hz) nachgewiesen werden. Der Anstieg wird mit einer Zunahme der Aufmerksamkeit erklärt, die benötigt wird, um eine solche Aufgabe zu lösen.

Ein Versuch, Prozesse des Arbeitsspeichers und jene der Aufmerksamkeit getrennt zu erheben, wurde von Missonnier et al. (2006) unternommen. Dabei wurden zwei Arbeitsgedächtnisaufgaben einem Aufmerksamkeitsstest und einer passiven Fixationsbedingung gegenübergestellt. Bei der Aufmerksamkeitsbedingung wurden Buchstaben präsentiert, auf die bei zweimaligem Auftreten möglichst schnell reagiert werden sollte. In der Kontrollbedingung mussten die Buchstaben nur betrachtet werden und bei den Arbeitsgedächtnisaufgaben mussten die Buchstaben jeweils mit dem letzten (1-back) bzw. vorletzten Buchstaben (2-back) verglichen werden. Es zeigte sich ein genereller Theta-Aktivitätsanstieg im Bereich von 4 bis 7.5 Hz, unabhängig von der Aufgabe. Hinsichtlich der Power-Werte ergaben sich keine Unterschiede. Bei der Analyse mittels ERS-Werten zeigte sich jedoch, dass alle drei aktiven Bedingungen höhere Synchronisationen im Theta-Band als in der Kontrollbedingung aufwiesen, wobei die höchsten Werte bei der Aufmerksamkeitsaufgabe berichtet wurden. Der Schluss liegt nahe,

dass eine frontale mittlere Theta-Aktivierung vordergründig für Aufmerksamkeitsprozesse zuständig ist und somit ein neuronales Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit ist.

Zusätzlich zu den gängigen Prozessen zur visuellen Aufmerksamkeit bzw. dem Versuch der Herauslösung aus den exekutiven Funktionen wurden vor allem Studien bei höchster konzentrativer Versenkung, wie etwa einer Meditation, durchgeführt. In einem Zustand tiefster Versenkung wird oftmals ein erhöhter Theta in den frontalen Bereichen gemessen. Aftanas und Golocheikine (2001) zeigten einen Zusammenhang zwischen konzentrativer Versenkung und dem Anstieg im frontalen mittleren Theta bei erfahrenen meditierenden Personen einer speziellen Yoga-Art. Die Theta-Aktivität wurde dabei in Beziehung zur selbst berichteten Glückseligkeit und dem Einfluss störender Gedanken während des Meditationsprozesses gesetzt. Eine erhöhte Theta-Power (4-6 Hz) geht einher mit einer höheren Glückseligkeit und weniger störenden Gedanken, was auch ein Indikator für einen stark fokussierten Zustand ist. Bei diesem geht man völlig in der Aufgabe auf und lässt alles andere außer Acht (siehe Definition von fokussierter Aufmerksamkeit in Kapitel 2.4.1). In diesem Zusammenhang wird von einem meditativen Zustand gesprochen, der eine starke fokussierte Aufmerksamkeit und automatisch ablaufende Prozesse mit sich bringt, was vergleichbar mit einem flowähnlichen Zustand ist. Kubota et al. (2001) betrachteten eine Form von Zen-Meditation und den Zusammenhang zwischen frontaler Theta-Aktivität und sympathischer und parasympathischer Aktivierung. Bei dieser Form der Zen-Meditation mussten teilnehmende Personen einen entspannten Zustand einnehmen und dabei jeden einzelnen Atemzug mitzählen, was zu einer Fokussierung in Sinne einer Daueraufmerksamkeit führen sollte. In zehn Durchgängen konnte bei der Hälfte der 25 ungeübten Teilnehmer/innen eine Aktivität im frontalen mittleren Theta (6-7 Hz) gezeigt werden. Bei diesen Personen war die Aktivität in der Meditation signifikant höher als in einer Ruhebedingung, in der normal geatmet werden sollte. Zusätzlich zeigte sich eine negative Korrelation zwischen der Theta-Power und der sympathischen Aktivierung, was auf einen Anstieg der Theta-Power und damit auf erhöhte Entspannung schließen lässt. Den Zusammenhang zwischen erhöhtem frontalen mittleren Theta und meditativen Zuständen konnten auch Baijal und Srinivasan (2010) nachweisen. Die dargestellten Ergebnisse legen nahe, dass es einen Zusammenhang zwischen der frontalen Theta-Aktivierung und fokussierter Aufmerksamkeit gibt.

## **2.6 Neuronale Korrelate von Konzentration, Aufmerksamkeit und Leistung im Sport**

Neben der Hauptanwendung im klinisch-psychologischen Bereich werden neurophysiologische Verfahren auch im Sport eingesetzt. Einen Überblick über die Charakteristika der Gehirnfunktionen bei Sportlern zeigen Nakata, Yoshie, Miura und Kudo (2010). In ihrer Studie konnten die Autoren demonstrieren, dass bewegungsrelevante Aufgaben in Zusammenhang mit höheren kognitiven Verarbeitungsprozessen sich über die Jahre entwickelt und dadurch zu einer Plastizität der neuronalen Aktivität geführt haben. In einer von Kim et al. (2008) durchgeführten Studie wurden erfahrene Bogensportler/innen in einer Simulation der Zielaufgabe mittels Magnetresonanztomographie untersucht. Die Athletinnen und Athleten hatten dabei die Aufgabe, mit der Maus einen virtuellen Schuss abzufeuern, wenn die Zielscheibe auf einem Bildschirm eingeblendet wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass unterschiedliche Gehirnareale bei Experten und Novizen in der simulierten Zielausführung aktiv waren. Konnte bei Novizen eher eine globale Aktivierung im frontalen Bereich beobachtet werden, waren bei den Experten spezifische Bereiche, wie der okzipitale und temporale Bereich, aktiviert. Das Paradigma des Experten-Novizen-Vergleichs wird auch größtenteils für die folgenden angeführten Studien verwendet.

Da die Untersuchungsmethode mittels fMRI im Sport nur bedingt anwendbar ist, hat die im vorangegangenen Kapitel beschriebene EEG-Messung in den letzten Jahren Anwendung im sportlichen Bereich gefunden und wurde sogar bei der direkten Aufgabenausführung als geeignete Methode beschrieben (Thompson, Steffert, Ros, Leach & Gruzelier, 2008; Doppelmayr & Amesberger, 2012). Aufgrund der Anfälligkeit des EEG-Signals gegenüber Bewegungsartefakten wurde es bislang größtenteils in „bewegungsarmen“ Sportarten wie Golf oder diversen Schießsportarten untersucht. Auf Basis der Beschreibung der Frequenzbänder in Kapitel 2.4.5.3 würde man vermuten, dass eine höhere Frequenz mit einer höheren Fokussiertheit der Athleten einhergeht, was jedoch bei Konzentration und Aufmerksamkeit im sportlichen Bereich nicht zutreffend ist. Dahingehende Unterschiede wurden vor allem in den beiden Frequenzbereichen Alpha und Theta gefunden und nachfolgend beschrieben.



Um die gefundenen Effekte besser einordnen zu können, wird eine Anordnung der Elektrodenpositionen in Abbildung 5 dargestellt. Die Zahlen sind von vorne (Nasion) bis hinten (Inion) nummeriert, wobei ungerade Zahlen für Positionen in der linken Hemisphäre und gerade für Positionen in der rechten Hemisphäre stehen. Ein Z am Ende bedeutet, dass die jeweilige Elektrode in der Mitte des Cortex liegt. Die restlichen Buchstabenabkürzungen bezeichnen die Lage der Region am Cortex:

- F ... Frontal
- C ... Zentral
- P ... Parietal
- T ... Temporal
- O ... Okzipital

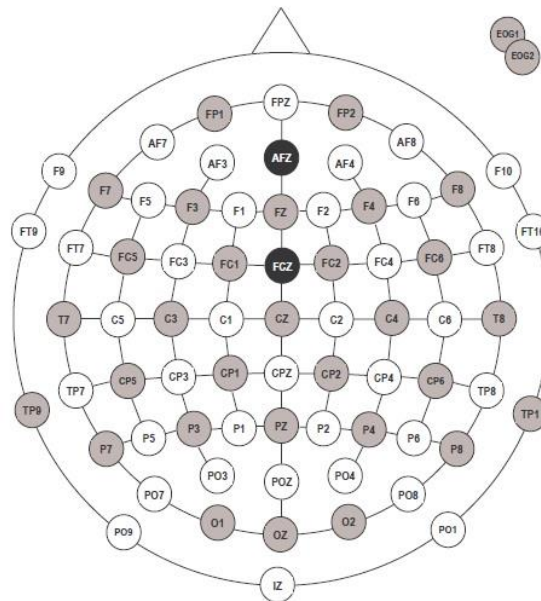


Abbildung 5. Elektrodenpositionen nach 10-20 System (Klem, Luders, Jasper & Elger, 1999)

## 2.6.1 Effekte im Alpha-Frequenzband

### Schießsport

Eine der ersten deutschsprachigen EEG-Studien im sportlichen Bereich wurde von Lösel und Funk (1995) durchgeführt, die EEG-Ableitungen bei einer Gewehrschützin und einem Pistolenschützen erhoben. Die Nachwuchssportlerin und der in internationalen Wettkämpfen teilnehmende Athlet wurden in einer Ruhebedingung sowie bei einem simulierten Zielvorgang mit einem 8-Kanal-EEG getestet. Während sich bei der Nachwuchsgewehrschützin keine Auffälligkeiten im Signal zeigten, wurde beim Pistolenschützen eine Alpha-Unterdrückung mit Zwischenrhythmen im Bereich von 5-6 Hz während des simulierten Zielvorganges berichtet. Diese und ähnliche Zustände werden mit einer Form der Bewusstseinsänderung in Verbindung gesetzt und sind häufig bei meditativer Versenkung dominant. Es scheint daher, dass sich ein erfahrener Sportschütze bereits in kurzer Zeit in eine Art meditativen Zustand bringen kann.

In einer größer angelegten Studie untersuchten Kontinen, Landers und Lyytinen (2000) den Zielvorgang bei Gewehrschützen und den Zusammenhang mit elektrokortikaler Aktivität. Sechs international aktive Athleten, darunter Olympiateilnehmer, wurden mit sechs national klassifizierten Sportlern verglichen. Nach fünf bis zehn Probeschüssen mussten die Teilnehmer 200 Schüsse in einer Wettkampfsimulation abgeben. Diese wurden dann auf Basis des Schussresultats zwar in drei Kategorien eingeteilt, später aber nicht mit der kortikalen Aktivität in Bezug gesetzt. Im EEG wurden im frontalen Bereich die Elektrode Fz, zentral C3 und C4, sowie im hinteren Bereich des Cortex die mittlere Okzipitalelektrode (Oz) für die Analyse herangezogen. Als Auswertungsmethode wählten die Autoren die Bestimmung der langsamen Potentialveränderungen *Slow Cortical Potentials* (SCPs) im Zeitraum von einer Sekunde vor Schussabgabe. Diese langsam veränderlichen Potentialschwankungen treten in der Größenordnung von 100 bis 200  $\mu\text{V}$  und einer zeitlichen Dauer von einer bis wenige Sekunden auf. Die in Abbildung 6 dargestellten Befunde zeigen, dass die Powerwerte bei erfahrenen Athleten erhöht waren und sich höhere Aktivitäten in den Elektroden Fz und Oz im Vergleich zu den weniger erfahrenen Athleten zeigen. Keine Potentialveränderungen konnten auf den beiden zentralen Elektroden C3 und C4 festgestellt werden.

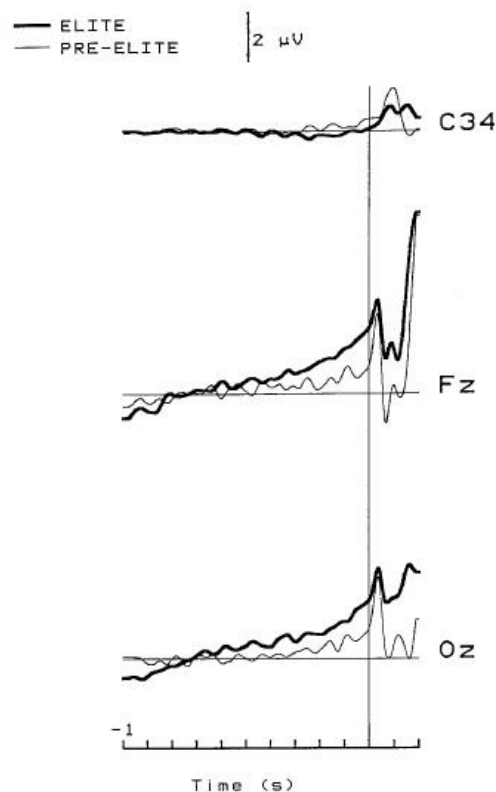


Abbildung 6. Langsame Potentialveränderungen eine Sekunde vor Schussabgabe auf C3/4, Fz und Oz in der Studie von Kontinen et al. (2000)

Auch Haufler, Spalding, Santa Maria und Hatfield (2000) führten eine Studie beim Gewehrschießen durch. In dieser wurden 15 Experten im Vergleich zu 21 Novizen bezüglich der Elektrodenpositionen F3, F4, C3, C4, T3, T4<sup>2</sup>, P3, P4, O1 und O2 betrachtet. Die Probandinnen und Probanden gaben 40 Schüsse ab, wobei für die Analyse in den Frequenzbändern von Theta bis Gamma (6-44 Hz) die letzten sechs Sekunden vor der Schussabgabe verwertet wurden. Neben der Schießaufgabe sollten mit einem verbalen und einem geometrischen Test zwei kognitive Aufgaben gelöst werden. Die Ergebnisse zeigen einen globalen Alpha-Poweranstieg im Bereich von 8-13 Hz in der Expertengruppe, nicht aber bei den Novizen. Zusätzlich waren die Power-Werte im Alphabereich bei den Experten während des Schießens auf T3 höher als auf T4. In der Ruhebedingung konnte nichts dergleichen beobachtet werden. Hinsichtlich der kognitiven Aufgaben zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

Ein Zusammenhang mit Leistungsparametern und neuronaler Aktivität bei Sportpistolenschützen wurde bei Loze, Collins und Holmes (2001) ebenfalls im okzipitalen Bereich nachgewiesen. Sie ließen sechs erfahrene Athleten 40 Schüsse abfeuern und teilten diese jeweils in die fünf besten und fünf schlechtesten ein. Als Zeitfenster für die Analyse wurden die letzten drei Sekunden vor Schussabgabe gewählt und das Alphanband betrachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Alpha-Power bei guten Schüssen auf Oz ansteigt und bei schlechten sinkt. Dies führt zu einem signifikanten Unterschied im letzten Intervall vor der Schussauslösung. Die Alpha-Power war, wie auch schon bei Haufler et al. (2000), im linken temporalen Bereich signifikant höher als im rechten Vergleichsbereich. Die Autoren erklären die Alpha-Veränderungen mit einer Unterdrückung von visueller Aufmerksamkeit in der letzten Sekunde des Zielvorganges, die eine notwendige Voraussetzung für die automatisierte Schussauslösung im Sinne eines intentionalen Prozesses ist.

Ähnliche Ergebnisse konnten Kerick, Douglas und Hatfield (2004) bei elf unerfahrenen Pistolenschützinnen und -schützen nachweisen, die sich einem 12- bis 14-wöchigen Trainingssetting unterzogen. Neben dem generellen Alpha-Poweranstieg war die durchschnittliche Alpha-Power während des Trainings auf T3 signifikant erhöht, wobei keine solchen Effekte auf T4 gezeigt werden konnten. Dieser Effekt war auch noch in einer nachfolgenden Trockenschussübung dominant, jedoch nicht in einer Ruhebedingung.

---

<sup>2</sup> In früheren Studien wurden die temporalen Elektroden T3 (links) und T4 (rechts) benannt, im EEG-Setup dieser Arbeit entsprechen diese den Elektrodenpositionen T7 (links) und T8 (rechts).

Del Percio et al. (2009) führten ebenfalls EEG-Messungen bei 18 erfahrenen Pistolenschützinnen und -schützen und zehn Novizen durch. Als Elektrodenpositionen wurden F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1 und O2 gewählt. Die Teilnehmer/innen mussten 120 Schüsse an einem gewöhnlichen 10-Meter Luftpistolenstand abgeben, die elektronisch mit einem Zielweganalyse-System (SCATT, siehe Kapitel 4.3.3) erfasst wurden. Als Analyse-Methoden wurde die Berechnung von ERD und ERS in drei einzelnen Sekundenzeitfenstern vor der Schussabgabe mit einem Baselineintervall zwischen 5 und 4 Sekunden vor dem Schuss gewählt. Es zeigten sich eine geringere ERD-Amplitude bei Experten im ganzen Verlauf sowie ein Anstieg der ERS bei besseren Schüssen im oberen Alpha-Frequenzband (10-12 Hz). Zusätzlich war bei guten Schüssen die Alpha-Amplitude auf den Elektroden C3 und P4 erhöht.

### Golf

Neben dem Schießsport wurden EEG-Ableitungen auch während Putting-Aufgaben im Golfsport untersucht. Crews und Landers (1993) ließen 34 erfahrene Golfer/innen 40 Putts im Labor ausführen und betrachteten die letzten drei Sekunden vor der Puttausführung. Betrachtet wurden SCPs, Veränderungen im 40-Hz-Bereich sowie die relative kortikale Aktivität im Sinne einer Spektralanalyse (Power-Werte). Als Elektroden wurden T3 und T4 als Repräsentationen für verbale und räumliche Orientierung sowie C3 und C4 für die motorischen Areale gewählt. Betrachtet man die Powerwerte, so zeigte sich ein Anstieg in der Power auf C3 sowie ein Sinken der Power auf T4, bezogen auf die Puttausführung. Bei Versuchen, mit denen die Athletinnen und Athleten nicht in das vorhergesehene Ziel trafen, ging eine Aktivierung in der rechten Gehirnhälfte mit der in Zentimetern gemessenen Abweichung vom Loch einher. Bei höherer Alpha-Power war die Abweichung zum Loch geringer. Der eben erwähnte Genauigkeitsparameter mit der Abweichung vom Ziel wurde auch in einer Studie von Babiloni et al. (2008) in Verbindung zur neuronalen Aktivität gesetzt. Zwölf erfahrene Golfer/innen hatten dabei hundert Putts auf einem Simulator auszuführen. Elektrodenableitungen waren für die frontalen Areale Fz, FCz sowie die zentralen C3, Cz und C4 vorgesehen. Als Auswertungsmethode wurde die Bestimmung von ERD und ERS gewählt. Bei den erfolgreichen Putt-Ausführungen zeigt sich auf Fz und Cz eine niedrigere Desynchronisation im hohen Alphaband im Vergleich zu einer nicht erfolgreichen Ausführung.

Die Ergebnisse werden im Rahmen der *neuronal-efficiency*-Hypothese aus der Intelligenzforschung diskutiert, bei welcher geringere Desynchronisationen mit höherer Intelligenz in Zusammenhang gebracht werden. Bei erhöhter Aufgabenschwierigkeit zeigt sich bei intelligenteren Personen eine geringere Desynchronisation im Vergleich zu weniger intelligenten Personen (vgl. Grabner, Neubauer & Stern, 2006). Bei gesonderter Betrachtung der nicht erfolgreichen Versuche ging jedoch eine höhere Reduktion der Alpha-Aktivität auf Fz, Cz und C4 mit einer geringeren Abweichung vom zu treffenden Loch einher.

Baumeister, Reinecke, Liesen und Weiss (2008) wählten ebenso eine simulierte Golf-Aufgabe als Untersuchungssetting und ließen dabei je neun Experten und Novizen Putts in fünf Blöcken zu vier Minuten absolvieren. Zwischen den Blöcken war eine standardisierte Ruhebedingung von zwei Minuten eingebaut. Zusätzlich zu den in den beiden vorigen Studien verwendeten Elektroden wurden noch jene um den Parietalcortex (P3, Pz und P4) in die Auswertung miteinbezogen. Eine erhöhte parietale Power (Pz) des oberen Alpha-Frequenzbandes zwischen Experten und Novizen konnte während des Zielvorganges in allen fünf Blöcken gezeigt werden (siehe Abbildung 7). In den Ruhebedingungen wurden keine Unterschiede zwischen den erfahrenen Golfern und den Novizen festgestellt.

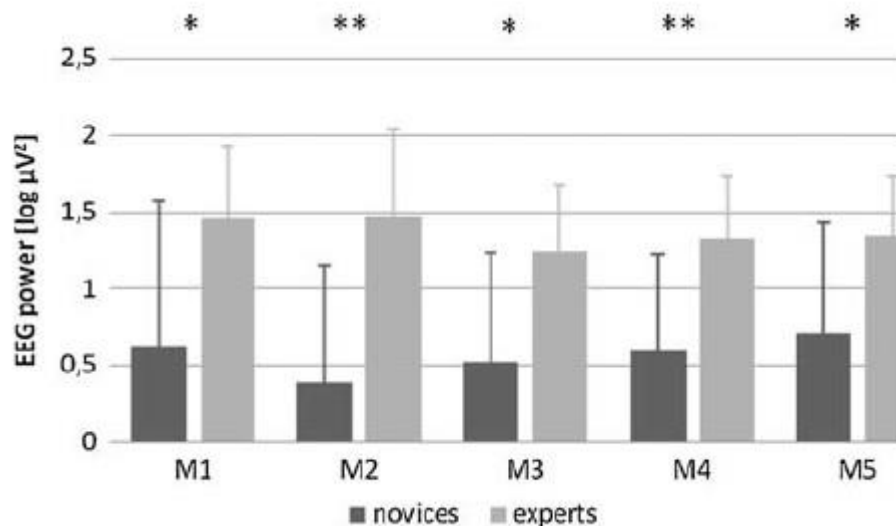


Abbildung 7. Unterschiede in der parietalen Alpha-Power zwischen Experten und Novizen in der Studie von Baumeister et al. (2008)

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die gefundenen Zusammenhänge zwischen der sportlichen Leistung und der neurophysiologischen Aktivität in den Sportarten Schießen und Golf im Alpha-Frequenzband.

Tabelle 4

*Übersicht der Ergebnisse aus den zitierten EEG-Studien im Sport*

---

<b>Artikel</b>	<b>Sportart &amp; Erfahrungsgrad</b>	<b>Effekte</b>
Kontinen et al. (2000)	6 erfahrene und 6 weniger erfahrene Gewehrschützen	Höhere SCP-Werte auf Fz und Oz bei Erfahrenen
Haufler et al. (2000)	15 Experten und 21 Novizen im Gewehrschießen	Globaler Poweranstieg nur bei Experten, Power auf T3 höher als auf T4
Loze et al. (2001)	6 erfahrene Luftpistolenschützen	Power auf Oz steigt bei guten Schüssen, Power auf T3 höher als auf T4
Kerick et al. (2004)	11 unerfahrene Luftpistolenschützinnen und -schützen nach Training	Globaler Poweranstieg, Power in T3 steigt bei Training, in T4 nicht
Del Percio et al. (2009)	18 erfahrene und 10 unerfahrene Luftpistolenschützinnen und -schützen	ERD/S-Veränderungen bei Experten, vor allem in C3 und P4
Crews & Landers (1993)	34 erfahrene Golfer/innen	Power auf C3 steigt und sinkt auf T4, bei erhöhter Power rechts geringere Abweichung vom zu treffenden Loch
Babiloni et al. (2008)	12 erfahrene Golfer/innen	Geringere ERD bei Treffern, mehr ERD Fz, Cz und C4 desto geringer der Fehler
Baumeister et al. (2008)	Je 9 erfahrene Golfer und Novizen	Power auf Pz höher bei Experten als Novizen

---

## 2.6.2 Effekte im Theta-Frequenzband

Effekte für das Theta-Frequenzband wurden im sportlichen Bereich erst später gefunden. In der bereits genannten Untersuchung von Baumeister et al. (2008) zeigte sich neben der parietalen Veränderung der Alpha-Power, dass die Theta-Power auf Fz bei Experten zumindest in drei von fünf Blöcken signifikant höher als bei Novizen war. Der Effekt der Erhöhung des frontalen mittleren Thetas konnte auch bei Doppelmayr, Finkenzeller und Sauseng (2008) nachgewiesen werden, die acht erfahrene mit zehn unerfahrenen Gewehrschützen verglichen. Vor und nach der Abgabe von 50-70 Schüssen war zusätzlich der Durchstreichtest d2 als ein Maß für die allgemeine Konzentrationsfähigkeit zu bearbeiten. In diesem konnte aber kein Unterschied gefunden werden, was dafür spricht, dass die allgemeine Konzentrationsleistung bei den erfahrenen und unerfahrenen Gewehrschützen in Hinblick auf die kortikale Aktivierung in gleichem Ausmaß vorhanden war. Um das neuronale Korrelat der sportartspezifischen Aufmerksamkeitsleistung zu bestimmen, wurden die letzten drei Sekunden vor der Schussabgabe in acht Zeitfenster zu jeweils 500 ms aufgeteilt. Aufgrund von Rückstößen im letzten Zeitfenster wurde dieses aus der Auswertung genommen. Die Ergebnisse der neuronalen Aktivierung bei der Schussaufgabe zeigen nur bei Experten einen Anstieg der frontalen Theta-Power, in den letzten drei Sekunden vor der Schussabgabe. Wie man in der unteren Grafik von Abbildung 8 erkennen kann, war vor allem das Zeitfenster 1000-500ms vor der Schussabgabe verantwortlich für die Theta-Unterschiede. Die Ergebnisse werden von den Autoren so interpretiert, dass erfahrene Schützen zum Zeitpunkt kurz vor der Schussabgabe am höchsten fokussiert sind, was für ein erfolgreiches Resultat unabdingbar ist.

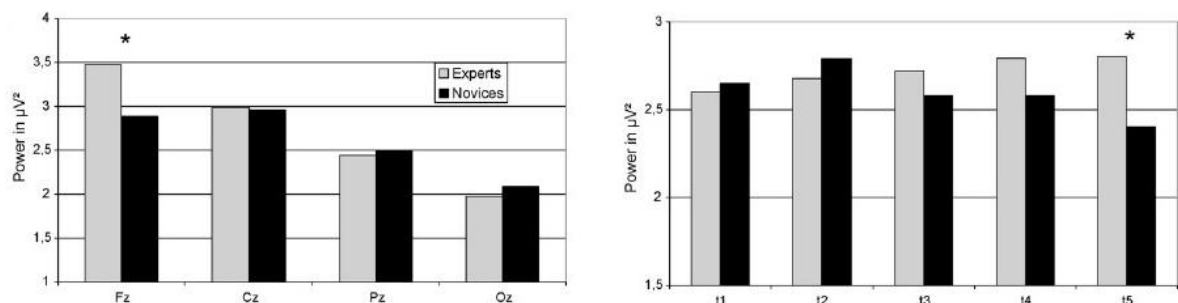


Abbildung 8. Power-Unterschiede zwischen Experten und Novizen in der Studie von Doppelmayr et al. (2008)

## **2.7. Integration der neurophysiologischen Befunde**

In den vorangegangenen Kapiteln wurde das neuronale Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit in allgemeinen und auch sportartspezifischen Studien betrachtet. Die neuronalen Korrelate aus den Sportstudien zusammen mit den generellen neurophysiologischen Befunden bestätigen größtenteils die Annahme eines fronto-parietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks. Die Relevanz des frontalen mittleren Theta-Frequenzbandes für die fokussierte Aufmerksamkeit konnte in drei unterschiedlichen Aufmerksamkeitsaufgaben nachgewiesen werden. Neben den allgemein psychologischen Befunden im Rahmen von Arbeitsgedächtnisaufgaben (Nakashima & Sato, 1993; Missionier et al., 2006; Sauseng et al., 2007) und den Meditationsstudien als höchste konzentrierte Versenkung – ähnlich einem Flow-Zustand (Aftanas & Golocheikine, 2001; Kubota et al., 2001; Bajjal & Srinivasan, 2010), wurde ein Zusammenhang der Zunahme des frontalen mittleren Thetas mit erhöhter fokussierter Aufmerksamkeit auch im Golf (Baumeister et al., 2008) und beim Sportschießen (Doppelmayr et al., 2008) gefunden. In den genannten Studien wurde deutlich herausgearbeitet, dass der frontale mittlere Theta ein neuronales Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit ist.

Aufmerksamkeitsbezogene Effekte hinsichtlich des Alpha-Frequenzbandes zeigen sich in neurophysiologischen Studien besonders im parietalen Bereich (Klimesch, 1999; Sauseng et al., 2005a; Sauseng et al., 2005b), was sich auch in früheren Befunden zur Bedeutung des Parietallappens bei aufmerksamkeitsbasierten Aufgaben zeigte (u. a. Posner & Petersen, 1990). Neben den parietalen Effekten im Alpha-Frequenzband konnten sportspezifische Studien auch die Rolle des temporalen Cortex in Experten-Novizen-Vergleichen herausarbeiten (Haufler et al., 2000; Kerick et al., 2004).



### **3 Fragestellung**

In den vorangegangenen Kapiteln wurden neuronale Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit allgemein und während sportlicher Leistung beschrieben. Wie Tabelle 4 über EEG-Studien im Sport und die Integration der neurophysiologischen Befunde in Kapitel 2.7 verdeutlichen, zeigt sich das neuronale Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit vor allem im frontalen Theta- und im temporal-parietalen Alpha-Band. Der frontale mittlere Theta und das temporal-parietale Alphaband dienen daher in dieser Arbeit als neuronales Maß der fokussierten Aufmerksamkeit. Die vorliegende Arbeit soll die Frage beantworten, wie diese neuronalen Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit mit Verhaltensmaßen in den unterschiedlichen Sportarten zusammenhängen.

Dies ist auch ein wesentlicher Unterschied zu den bislang durchgeführten EEG-Studien im sportlichen Kontext. Alle eingangs erwähnten Studien wählten ihre Operationalisierung über die erbrachte Leistung, sei es durch einen Vergleich zwischen Experten und Novizen oder durch eine Einteilung des Schussresultates in gute und schlechte Schussleistung bei einer Expertenstichprobe. Gefundene Ergebnisse in den zitierten Studien werden abschließend zwar in Bezug zum Konstrukt fokussierte Aufmerksamkeit gesetzt, eine von diesem Konstrukt ausgehende Herangehensweise wurde bislang nicht genutzt. Um zur bisherigen Studienlage etwas beitragen zu können und die Befunde sportbasierter EEG-Studien mit jenen aus dem vorwiegend neuropsychologischen Bereich (z. B. bei Zuständen tiefster Entspannung) zu kombinieren, wird im Rahmen dieser Arbeit vom neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit ausgegangen und dieses in Bezug zu anderen leistungsrelevanten Parametern gesetzt. Als Studienteilnehmer/innen werden ausschließlich Experten gewählt, weil anzunehmen ist, dass bei diesen während der Tätigkeitsausführung eine fokussierte Aufmerksamkeit besonders stark ausgeprägt ist und diese bei vollkommenem konzentrativem Aufgehen in der Aufgabe in einen entspannungsähnlichen Flow-Zustand kommen, welcher sich auch in den neuronalen Korrelaten widerspiegeln sollte.

Ein weiterer Kritikpunkt der vorliegenden Datenlage ist, dass zum Großteil nur das Schussresultat oder die Abweichung vom Treffer im Golf als Operationalisierung von Leistung gewählt wurden. Verhaltensmaße oder die Beobachtung, wie die erbrachte Leistung zustande kam, wurden ganz außer Acht gelassen. Es wird davon ausgegangen, dass die bislang gewählten Operationalisierungen nicht immer zielführend waren und dass eine Erweiterung der Leistungsparameter durch verschiedene Maße gewinnbringend sein kann. Im Sportschießen ist es zum Beispiel möglich, dass trotz schlechter Schussausführung und geringer fokussierter Aufmerksamkeit „zufällig“ ein gutes Resultat entsteht (z. B. indem man trotz schlechtem Zielvorgang in die Mitte der Scheibe „hineinrutscht“). Wie bereits in der Einleitung erwähnt, sollte insbesondere für Trainingszwecke nicht nur das Resultat als Kriterium herangezogen werden, sondern auch auf eine saubere Ausführung des Schusses oder Wurfes geachtet werden. Dies sollte in weiterer Folge auch zu besseren Leistungen führen. Die Relevanz der Trainingsoptimierung ergibt sich dadurch, nicht nur das Resultat zu beschreiben, sondern auch den Weg dorthin.

Zur Verknüpfung der leistungsbezogenen Maße mit dem neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit wird eine besondere Analyseverfahren gewählt, die sich von den bisherigen Methoden in den ausgewählten Studien unterscheidet. Statt der gängigen Mittelung aller Versuche eines Studienteilnehmers (z. B. Mittelung der neuronalen Aktivität von 60 Schüssen eines Experten vs. 60 eines Novizen) wurde im Zusammenhang mit fokussierter Aufmerksamkeit eine Einzelitemanalyse als Auswertungsstrategie gewählt. Mit einer Zentrierung aller neuronalen Aktivitätswerte wird jeder Schuss oder Wurf an sich einzeln hinsichtlich des neuronalen Korrelats fokussierter Aufmerksamkeit betrachtet und die spezifischen Aktivitätswerte für den frontalen Bereich (Theta) und temporal-parietalen Bereich (Alpha) werden ausgegeben. Davon ausgehend werden Zusammenhänge mit Verhaltensmaßen untersucht, was ein neuer Ansatz zur bisherigen Studienlage ist und durch die Vielzahl an Daten einen Aufschluss über Zusammenhänge der neuronalen und behavioralen Maße bringen kann.

Durch diese Analyseverfahren ist es auch möglich, sportartspezifische Unterschiede zu berechnen. In bisherigen EEG-Studien wurde jeweils eine Sportart für sich alleine betrachtet, keine Variationen in dieser durchgeführt und im Rahmen ihres experimentellen

Designs auch keine Vergleiche mit anderen Sportarten angestellt. Das gewählte Design erlaubt es, innerhalb einer bislang gut untersuchten Sportart wie dem Sportschießen zu variieren und die Daten in Relation zu einer weiteren Sportart zu stellen. Nachdem zum jetzigen Stand auch nur „bewegungsärmere“ Sportarten untersucht wurden, ist es ein weiteres Ziel und eine erkenntnisgewinnbringende Möglichkeit, eine Sportart mit größerer Bewegungsausführung zu verwenden.

Aufbauend auf den genannten Punkten wurde ausgehend vom neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit eine empirisch basierte Herangehensweise gewählt und in drei unterschiedlichen Studien überprüft. Neben den gängigen Leistungsparametern wie die Ringzahl im Schießen oder ein Treffer im Basketball werden diese durch weitere Determinanten der Leistung ergänzt. In den beiden Schützenstudien (Studien I und II) werden Genauigkeitsparameter eines Zielwegsystems (SCATT) wie etwa die Handruhe, die benötigte Zielzeit und der Prozentsatz, wie lange man im Mittelpunkt der Scheibe verharrt, herangezogen. Zusätzlich wird ein Rating über die Schussqualität durch den Trainer (Studie I und II) sowie den Athletinnen und Athleten (Studie II) erfasst. Studie II unterscheidet sich von Studie I dahingehend, dass keine Ergebnisrückmeldung (KR) erfolgt und es dadurch zu einer Zunahme der fokussierten Aufmerksamkeit im Rahmen eines flowähnlichen Zustandes kommen soll.

Beim Basketball-Freiwurf (Studie III) wird nicht nur zwischen Treffer und keinem Treffer unterschieden, sondern es wird ein Kategoriensystem nach Hardy und Parfitt (1991) angewandt. Zusätzlich wird mittels zweier hochauflösender Kameras die Abweichung vom optimalen Mittelpunkt bestimmt und als weiteres Genauigkeitsmaß herangezogen. Diese Parameter werden in Bezug zur neurophysiologischen Aktivität gesetzt. Abschließend folgt ein Vergleich der drei Studien hinsichtlich der neurophysiologischen Aktivierung in einer Ruhebedingung und während des Zielvorganges. Auf die unterschiedlichen Stichproben, Aufgaben, Hypothesen und Analysen wird in weiterer Folge bei den einzelnen Studienbeschreibungen genauer eingegangen.

## 4 Studie I – Sportschießen Pistole

### 4.1 Einleitung

Eine erste Studie soll Aufschluss über den Zusammenhang zwischen neurophysiologischen Prozessen mit unterschiedlichen Leistungsparametern während des Sportschießens Pistole geben. Diese Sportart wurde als Untersuchungssetting gewählt, weil es durch die einzelne Bewegung des Armes zur Schussauslösung im Vergleich zu anderen Sportarten einigermaßen praktikabel ist, eine EEG-Datenerhebung durchzuführen und sich dies auch schon in bisherigen Studien bewährt hat (Loze et al., 2001; Kerick et al., 2004; Del Percio et al., 2009). Durch frühere und laufende Forschungsprojekte mit dem Bayerischen Schützenbund bestand bereits ein Kontakt zu diesem und somit ein Anknüpfungspunkt zur Sportart.

Beim Sportschießen Pistole gibt es folgende Disziplinen: Luftpistole, Kleinkaliber-Sportpistole, Freie Pistole und Olympische Schnellfeuerpistole. Für diese Studie wurde die Disziplin Luftpistole gewählt, bei der auf eine Zielscheibe in zehn Metern Entfernung geschossen wird, deren Mitte (= Höchstzahl von zehn Ringen) einen Durchmesser von 11.5 mm hat. Die Scheibe wird gleichmäßig in mehrere Ringe mit einem Durchmesser von je 8 mm von 0-10 unterteilt (siehe Abbildung 9). In einem regulären Wettkampf müssen männliche erwachsene Sportler 60 Schüsse in einem Zeitrahmen von 105 Minuten abfeuern, weibliche Sportschützen und Nachwuchsathletinnen und -athleten 40 Schüsse in 75 Minuten. Der Zeitpunkt der Schussabgabe ist dabei frei wählbar und die/der Athlet/in hat die Möglichkeit so viele Probeschüsse, wie sie/er möchte, abzugeben (Deutscher Schützenbund, 2015). Den Zeitpunkt des eigentlichen Wettkampfstarts bestimmt die/der Athlet/in durch Drücken einer dafür vorgesehenen Taste selbst. Bei Ringzahlen von 0-10 (mit 10 als höchstem Wert) ist ein maximal erreichbarer Wert von 600 bei den Herren bzw. 400 bei den Damen und im Nachwuchs möglich. Die Wichtigkeit, genau in die Mitte (10) zu treffen, wird klar, wenn man die Weltrekorde von 594 bei den Herren bzw. 393 bei den Damen betrachtet (International Shooting Sport Federation, 2015) und erkennt, dass nur in wenigen Ausnahmen nicht die Höchstzahl von 10 Ringen erreicht wurde. Wie schon in der allgemeinen Einleitung beschrieben, gilt es daher, über den gesamten Wettkampf konzentriert zu bleiben und seine Aufmerksamkeit für jeden einzelnen Schuss immer wieder aufzubauen, was eine besonders hohe Anforderung an die fokussierte Aufmerksamkeit der Sportschützinnen und -schützen stellt.

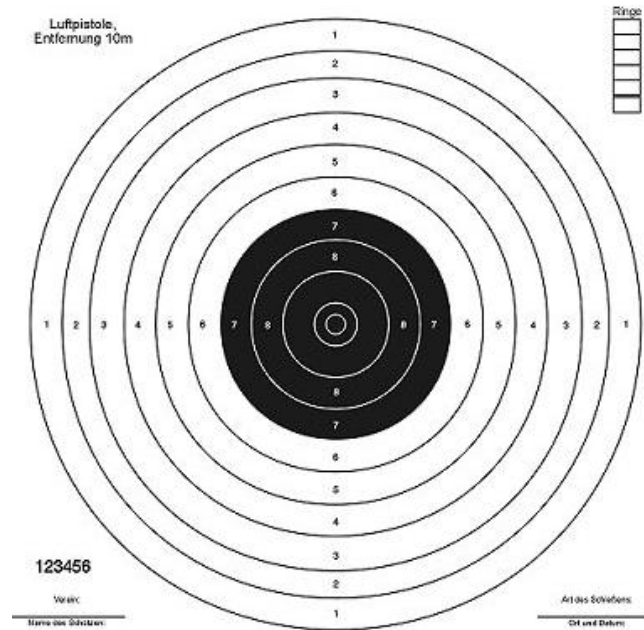


Abbildung 9. Luftpistolenscheibe für die Entfernung von 10 Metern mit Ringen von 1-10

## 4.2 Hypothesen

Auf Basis bestehender Literatur und EEG-Studien im Sport, die einen Zusammenhang zwischen Leistung und neuronaler Aktivität zeigen konnten (*Sportpistole*: Loze et al., 2001; Kerick et al., 2004; Del Percio et al., 2009; *Sportgewehr*: Kontinen et al., 2000; Doppelmayr et al., 2008; *Golf*: Babiloni et al., 2008; Baumeister et al., 2008) werden in weiterer Folge mehrere Hypothesen formuliert.

### Hypothese 1: Allgemeiner Poweranstieg

Ein konstanter Befund über die einzelnen Studien und Sportarten hinweg besagt eine neurophysiologische Powerzunahme in der Vorbereitungsphase zur Schussabgabe. Daher ergibt sich folgende erste Hypothese:

**H1:** In den letzten Sekunden vor der Schussabgabe steigt die Power sowohl im Theta- als auch im Alpha-Frequenzband.

### Hypothese 2: Zusammenhang zwischen Theta und den leistungsbezogenen Parametern

In zwei unterschiedlichen Sportarten konnte ein Zusammenhang zwischen der Leistung und einer erhöhten Theta-Frequenz im frontalen Cortex (Frontaler Midline-Theta auf der Elektrode Fz) gezeigt werden. Sowohl erfahrene Golfer (Baumeister et al., 2008) als auch

Gewehrschützen (Doppelmayr et al., 2008) zeigten eine erhöhte Theta-Power im Vergleich zur Novizenstichprobe. Eine erhöhte Aktivierung im frontalen Midline-Theta geht mit einer erhöhten fokussierten Aufmerksamkeit einher (Aftanas & Golocheikine, 2001) und sollte daher wiederum zu einer besseren Leistung und in weiterer Folge auch zu höheren Werten in den leistungsbezogenen Parametern führen. Auf Basis dieser Befunde wird folgender Zusammenhang auch für Luftpistolenschützinnen und -schützen angenommen:

**H2:** Eine höhere Power im frontalen mittleren Theta Bereich geht mit einer höheren Ausprägung in den leistungsbezogenen Parametern einher.

### **Hypothese 3: Zusammenhang zwischen Alpha-Band und den leistungsbezogenen Parametern**

Auch im Alpha-Frequenzband wurden Zusammenhänge zwischen der sportlichen Leistung und einer Aktivierungsveränderung gefunden. In den Luftpistolen-Studien von Loze et al. (2001) und Kerick et al. (2004) sowie Del Percio et al. (2008) werden bei guter Leistung höhere Power-Werte vor allem in den Elektroden T7 und C3 sowie niedrigere in P4 berichtet. Dies wird auch für diese Studie angenommen und daher als dritte Hypothese formuliert:

**H3:** Eine höhere Ausprägung in den leistungsbezogenen Parametern geht mit einer höheren Alpha-Power im temporalen und einer niedrigeren Alpha-Power im parietalen Bereich einher.

### **Fragestellung zur Rolle leistungsbezogener Parameter und dem Schussresultat**

Ein Kritikpunkt in den vorliegenden Studien ist, dass als Operationalisierungsmaß bislang nur die Schuss- oder Wurffleistung herangezogen wurde. Die (Schuss-)Leistung ist jedoch nur das Resultat einer mehr oder weniger erfolgreichen Ausführung, der dazu hinführende Prozess wird meist außer Acht gelassen. Leistungsrelevante Maße in der Schussausführung könnten sich daher besser eignen, um die neuronale Aktivierung in den einzelnen Arealen hervorzusagen, was gerade im Hinblick auf das Konstrukt fokussierte Aufmerksamkeit eine bedeutende Rolle spielen sollte. Daher soll überprüft werden, ob sich leistungsbezogene Parameter besser als das reine Schussresultat dazu eignen, die neuronalen Korrelate von fokussierter Aufmerksamkeit sowohl im Alpha- als auch im Theta-Frequenzband vorherzusagen.

## 4.3 Methode

### 4.3.1 Untersuchungsteilnehmer/innen

Um die oben genannten Hypothesen zu überprüfen, wurde eine Studie mit insgesamt 20 Nachwuchssportlerinnen und -sportlern (13 männliche und sieben weibliche Kaderschützen) aus zwei unterschiedlichen Trainingsgruppen (Bayern und Thüringen) durchgeführt. Der Altersbereich lag zwischen 13 und 25 ( $M = 16.89$ ,  $SD = 2.64$ ), im Mittel waren die Teilnehmer/innen seit knapp fünf Jahren als Schützin und Schütze tätig ( $M = 4.67$ ,  $SD = 1.83$ ) und seit zweieinhalb Jahren einem Kader zugehörig ( $M = 2.61$ ,  $SD = 1.24$ ).

Um einen Einfluss der Händigkeit auf die kortikale Aktivität auszuschließen, wurden nur rechtshändige Athletinnen und Athleten für die Teilnahme an der Studie ausgewählt. Die Auswahl der teilnehmenden Sportler/innen sowie die Terminabsprache erfolgten durch die jeweiligen Landestrainer/innen. Man kann daher nicht von einer zufällig gezogenen Stichprobe, sondern von einer Stichprobe nach Verfügbarkeit ausgehen. Die Teilnehmer/innen erhielten keine finanzielle Zuwendung, jedoch eine Rückmeldung über ihr Schussresultat und schussrelevante Kriterien, die mit dem erhobenen Zielweganalyse-System (SCATT) erfasst wurden.

### 4.3.2 Untersuchungsvariablen

Zur Beantwortung der Fragestellungen und Überprüfung der Hypothesen wurden folgende Variablen eingesetzt:

- Relative Neurophysiologische Aktivität
  - Diese wurde in Mikrovolt ( $\mu\text{V}$ ) in ausgewählten Elektroden ausgegeben und ist bezogen auf den Mittelwert der Aktivitätswerte aller ausgewählten Elektroden innerhalb einer Person. Auf Basis der verwendeten Elektroden wurden Regionen (Regions of Interest – *ROI*) gebildet und in Klammer angeführt.  
Theta: Elektroden AF3, F1, FC1, Fz, AF4, F2, FC2 (frontal)  
Unteres und oberes Alphanband: Elektroden T7, T8 (temporal); C3, Cz, C4, (zentral); P3, Pz, P4 (parietal); O1, Oz, O2 (okzipital)

- Schussresultat
  - Für jeden Schuss wurde die jeweilige Ringzahl (1-10 mit einer Kommastelle) erhoben.
- Leistungsbezogene Parameter
  - Neben dem Schussresultat wurden folgende weitere Maße als Marker für die Leistung herangezogen:
    - Gesamte Zielzeit in Sekunden (beginnend beim Eintauchen in den Bereich der Zielscheibe; keine Aussage möglich, ob länger oder kürzer leistungsdienlicher ist)
    - Zielgenauigkeits- und Stabilitätsparameter in Prozent (je höher desto besser)
      - Prozent des Zielvorganges in 10.0 oder höher
      - Prozent des Zielvorganges in 10.5 oder höher
      - Prozent des Zielvorganges in 10.0 oder höher wenn der abgegebene Schuss in den Scheibenmittelpunkt gelegt wird
    - Handruhe in Millimetern: erkennbar im Parameter Zielweglänge (je niedriger desto besser)
    - Abstand zwischen durchschnittlichem Haltepunkt und Schuss in Millimetern (je niedriger desto besser)
  - Auf Basis dieser Werte wurde zusätzlich eine dreistufige kategoriale Einschätzung jedes Schusses (1 ... guter, 2 ... mittlerer, 3 ... schlechter Schuss) durch den Bundestrainer durchgeführt (vgl. Kapitel 4.3.3). Anders als bei den übrigen angegebenen Variablen mit metrischem Skalenniveau handelt es sich hierbei um Ordinalskalenniveau.
- Zeit
  - Um die Veränderung der Aktivität über die Zeit zu erkennen, wurden vier Sekunden vor der Schussabgabe als Zeitfenster definiert (gemittelte Zieldauer aus den Studien von Haufler et al., 2000; Loze et al., 2001; Del Percio et al., 2009; Crews & Landers, 1993; Doppelmayr et al., 2008) und dieses in vier Intervalle zu jeweils einer Sekunde eingeteilt. Eine Sekunde als Intervallgröße wurde gewählt, weil dies eine übliche Einheit ist, um eine gute Datenqualität zu erhalten.



### 4.3.3 Untersuchungsmaterialien

Zur Bestimmung der neurophysiologischen Aktivität und der leistungsrelevanten Maße wurden folgende Materialien verwendet:

#### *EEG-Setup*

Um die Gehirnaktivität der Athletinnen und Athleten zu erheben, wurde ein 64-Kanal-EEG der Firma Brain Products mit aktiven Elektroden eingesetzt. Von den 64 vorhandenen Elektroden wurden sechs als Referenz- bzw. Kontrollelektroden verwendet, womit im Endeffekt 58 Elektroden zur Messung zur Verfügung standen. Wie aber bereits oben beschrieben wurden für die Berechnungen nur ausgewählte Elektroden, bei denen Effekte in Studien nachgewiesen wurden, verwendet (vgl. Missionier, 2006). Dennoch wurde ein Setup mit 64 Kanälen gewählt, um bei Ausfall einer Elektrode die Aktivität in dieser anhand der Potentialveränderungen der umliegenden Elektroden rechnerisch zu bestimmen. Als Referenzierung wurde eine Elektrode am Nasenknochen gewählt, weil es sich dabei um einen neutralen Punkt mit wenig Potential handelt. Um Blickbewegungen der Probandin/des Probanden zu erkennen, wurden drei Elektroden um die Augen platziert. Zusätzlich wurden zwei Elektroden als Rereferenzierung über beide Ohrläppchen gewählt. Dies wurde zur Absicherung verwendet, um Pulswellen im Signal korrigieren zu können, sollten solche gefunden werden. Als Abtastrate (= sampling rate) wurden 250 Hz und als maximale Impedanzgrenze  $5k\Omega$  gewählt. In Abbildung 10 ist eine Darstellung der Elektrodenhaube ActiCAP mit den verwendeten Elektroden und deren Position (nach üblichem 10-20 System) ersichtlich.

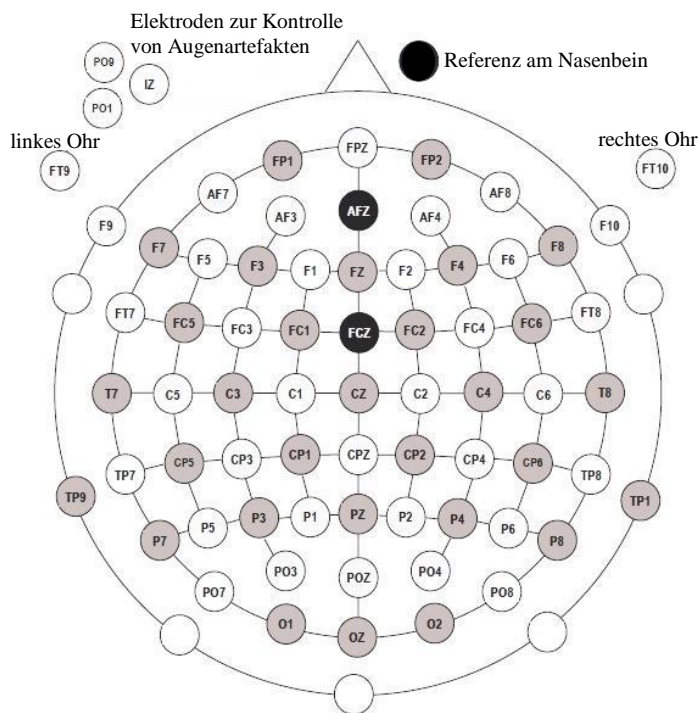


Abbildung 10. Positionen und Verwendung der Elektroden auf einer ActiCAP-Haube nach 10-20 System (Klem et al., 1999) in Studie I

#### Professionelles Zielweganalyzesystem (SCATT)

Das im deutschen Schützenbund zu Trainingszwecken verwendete Zielweganalyzesystem SCATT wurde zur Bestimmung der leistungsrelevanten Maße verwendet. Mit Hilfe dieses Systems ist es möglich, die Bewegung der Waffe auf der Scheibe direkt am Computer sichtbar zu machen und verschiedene leistungsbezogene Kriterien des Zielvorganges eines Schusses zu bestimmen. Es handelt sich um ein wichtiges Trainingshilfsmittel und wird im Schießsport häufig eingesetzt, weil es Schützinnen und Schützen sowie Trainerinnen und Trainern vollkommen objektiv und unmittelbar eine Rückmeldung über relevante Daten zum aktuellen Schuss gibt. Das Messsystem besteht aus einem Senderahmen und einem Sensor, der direkt unter der Waffe angebracht wird (siehe Abbildung 11). Als Sender werden Leuchtdioden verwendet, die Infrarotlicht aussenden. Die Genauigkeit, mit welcher der Zielpunkt bestimmt werden kann, liegt bei unter 0.01 mm. Der Sensor nimmt den Schusszeitpunkt durch das Auslösen des Abzugssystems akustisch wahr (Sauer-Wolf, 2010). Die leistungsrelevanten Maße, die mit Hilfe von SCATT aufgezeichnet werden, wurden bereits in Abschnitt 4.3.2 beschrieben. Im Allgemeinen handelt es sich dabei um Zielgenauigkeitsparameter, die unterschiedliche koordinative Fähigkeiten wie die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit, die Reaktionsfähigkeit, die Orientierungsfähigkeit und die Gleichgewichtsfähigkeit abbilden (siehe Kapitel 2.1).



Abbildung 11. Benötigte Materialien für die Zielweganalyse mittels SCATT

Die dreistufige kategoriale Einschätzung des Bundestrainers wurde aufgrund der Beurteilungskriterien der folgenden SCATT-Werte durchgeführt, wobei 1 die höchste und 5 die niedrigste Priorität hat (siehe Abbildung 12 für besseres Verständnis):

1. Zielweg (grüne Linie): von oben über die Mitte der Scheibe in den Halteraum
2. Kontrollzeit (1 sec, gelbe Linie): klein im Halteraum (Mitte der Scheibe)
3. Werte Zielweglänge: unter Gesamtdurchschnitt
4. Wert Stabilität in 10 (10a0): über Gesamtdurchschnitt
5. Wert Abstand (Abweichung Schussmittelpunkt vom Zentrum der Kontrollzeit, kleines Kreuz): unter Gesamtdurchschnitt

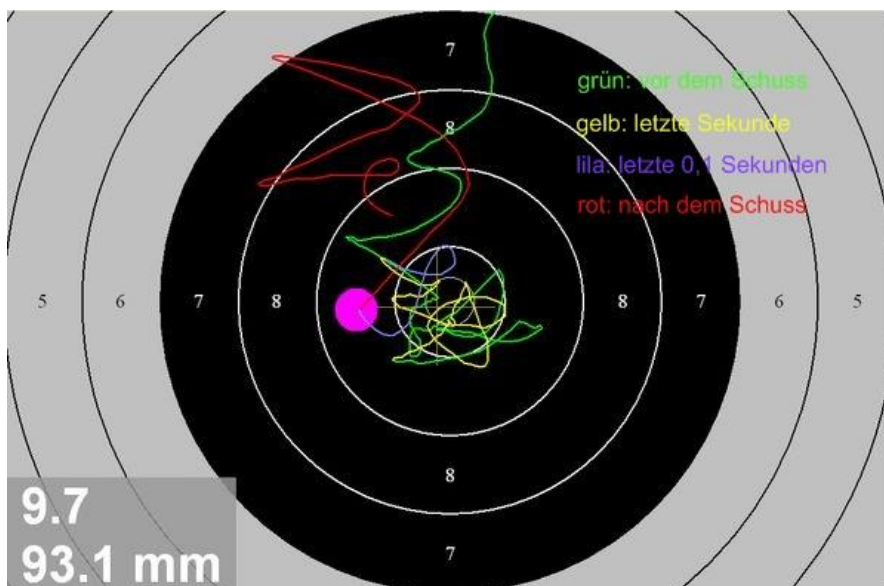


Abbildung 12. SCATT Zielscheibe mit Angabe der erreichten Ringzahl (9.7) und Zielweglänge L (93.1 mm) sowie die jeweiligen Kontrolllinien

Zusätzlich zu den technischen Messinstrumenten wurden zu Beginn und am Ende der Studie noch folgende Fragebögen verwendet:

*Fragebogen zur Erfassung der Ausgangslage (FAL)*

Dieser Fragebogen wurde eingesetzt, um Aufschlüsse über den generellen Zustand der Untersuchungsteilnehmerin/des Untersuchungsteilnehmers zu erhalten und mögliche auftretende Anomalitäten im EEG-Signal zu erklären bzw. Kontraindikationen für eine EEG-Messung herauszufinden. Der an den Fragebogen von Janke und Hüppe (1995) angelehnte Fragebogen gliedert sich in vier Items und gibt Auskunft über die derzeitige Verfassung des Probanden. Die Fragen richten sich an die Schlafdauer und -qualität, mögliches vorherrschendes generelles Unwohlsein sowie den Zigaretten- und Alkoholkonsum in den letzten Stunden (siehe Anhang A). Aufgrund der vertraulichen Behandlung der Daten in beiden Trainingsgruppen ist zu erwarten, dass die Athletinnen und Athleten dahingehend auch ehrliche Antworten geben.

*Soziodemographische Angaben und Erfahrung mit der Sportart*

Zur Stichprobenbeschreibung wurde ein selbstkonstruierter Fragebogen eingesetzt, um soziodemographische Daten wie Alter, Geschlecht, Bildungsgrad etc. zu erheben. Dieser beinhaltete auch Fragen über die Erfahrung mit dem Schießsport (Disziplin, Erfahrung, Kaderzugehörigkeit etc.; siehe Anhang B).

*Fragebogen über die subjektive Einschätzung der Aufmerksamkeit*

Um Aufschluss über den generellen konzentrativen Zustand der Athletinnen und Athleten zu erhalten, wurden drei Fragen über die subjektive Einschätzung der Aufmerksamkeit vorgegeben:

- Wie konzentriert warst du bei der Schießaufgabe bei der Sache?
- Wie oft hast du an Dinge gedacht, die mit dem Schießen nichts zu tun haben?
- Wie sehr hat dich das EEG abgelenkt?

Die Einschätzung erfolgte auf einer 15 Zentimeter langen Geraden, wobei nur die beiden Endpunkte (0 und 100 %) markiert waren und die Teilnehmer/innen dort einen Strich machen mussten, welches Ausmaß am besten für sie zutraf.

#### 4.3.4 Untersuchungsdurchführung

Die Datenerhebung der Studie I wurde im Rahmen des vom BISp geförderten Forschungsprojektes „Konzentrationsstraining für das Sportschießen Pistole“ durchgeführt, wobei die Datenaufzeichnung für die Trainingsgruppe aus Bayern in München und für die Trainingsgruppe aus Thüringen in Suhl an unterschiedlichen Terminen im Mai 2011 stattfand. Die teilnehmenden Personen wurden ohne andere störende Einflüsse einzeln an einem 10-Meter-Luftpistolenschießstand getestet. Da die allermeisten Schützinnen und Schützen ein Tragen von Gehörschutz während des Wettkampfes bevorzugen, war dies für jede/n Teilnehmer/in während der ganzen Schießaufgabe obligatorisch und diente auch in Hinblick auf die EEG-Messung dem Konstanthalten der Untersuchungsbedingungen.

Nach einer Begrüßung der Teilnehmerin/des Teilnehmers wurde diese/r über den Versuchsablauf und über den Ablauf einer EEG-Erhebung und dazugehörige Informationen mittels eines „Informed Consent“ (Einverständniserklärung, siehe Anhang C) aufgeklärt. Während der Vorbereitung für die eigentliche Datenerhebung (Elektrodenhaube am Kopf der Athletin/des Athleten anlegen und Position kontrollieren, Gel in die Elektroden einfüllen, Verkabelung mit Verstärker) wurden der Fragebogen zur Ausgangslage (FAL) und der soziodemographische Fragebogen ausgefüllt. Bevor die Teilnehmer/innen mit dem Schießen begannen, wurde eine EEG-Ruheaufzeichnung zur Überprüfung der Signalqualität und zur nachträglichen Bestimmung der individuellen Alpha-Frequenz durchgeführt. Diese bestand für jede/n Teilnehmer/in aus folgendem Prozedere:

- zwei Minuten sitzend mit geschlossenen Augen,
- zwei Minuten sitzend mit offenen Augen und
- eine Minute im Stehen mit offenen Augen.

Die Instruktion dabei war, möglichst ruhig und ‚gedankenfrei‘ zu bleiben und bei offenen Augen einen fiktiven Punkt für die angegebene Zeit zu fixieren. Die eigentliche Untersuchung begann mit maximal zehn Probeschüssen, wobei ein früheres Starten des eigentlichen Wettkampfes jederzeit möglich war, wie dies ein/e Sportler/in auch in einem Wettkampf selbst entscheiden kann. Wie in einem Wettkampf hatten die Athletinnen und Athleten dann 90 Minuten Zeit, um 60 Schüsse abzugeben (für die Probeschüsse wurden ungefähr 15 Minuten eingeplant). Der Zeitpunkt jedes Schusses konnte dabei selbst

gewählt werden, um die Teilnehmer/innen nicht aus der gewohnten Wettkampfroutine zu bringen. Nach Abschluss der 60 Schüsse wurden die Teilnehmer/innen wieder ‚entkabelt‘ und gebeten, noch die drei Fragen zur subjektiven Einschätzung der Konzentrationsfähigkeit auszufüllen. Als Dank für die Teilnahme wurden Süßigkeiten und kleine Erfrischungen angeboten. Der gesamte zeitliche Rahmen variierte aufgrund von Vorbereitung und individueller Geschwindigkeit bei der Durchführung und betrug pro Person ungefähr zweieinhalb Stunden. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 13 zu erkennen.

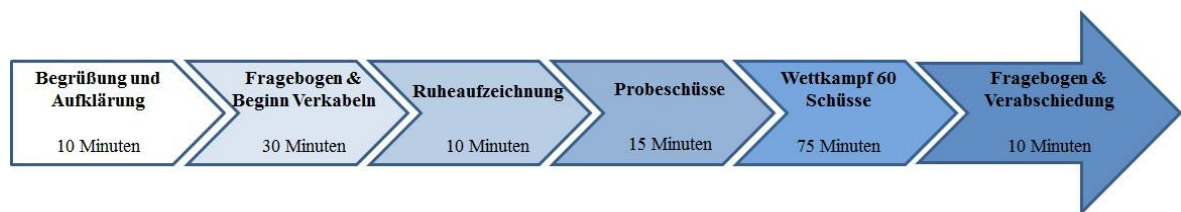


Abbildung 13. Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufes der Studie I mit Zeitangaben in Minuten

#### 4.3.5 Datenanalyse

Die Aufzeichnung der kortikalen Aktivität erfolgte mit einer vom Händler erstellten Software (Brain Vision Recorder). Mit Hilfe einer kleinen, selbst gestalteten Anwendung mit der frei verfügbaren Programmiersoftware Python, war es möglich, den Zeitpunkt der Schussabgabe aus dem Zielweganalyzesystem SCATT direkt als Marker in die EEG-Aufzeichnungssoftware zu schreiben. Somit war der Zeitpunkt des Schusses bekannt und konnte für die weitere Datenverarbeitung verwendet werden.

Das Aufbereiten der Daten erfolgte mit der Software Brain Vision Analyzer und teilte sich in folgende Schritte:

- Datenfilterung
  - Herausfiltern der relevanten Frequenzbänder von 1-45 Hz.
- Rohdateninspektion
  - Kontrolle nach visuell deutlich sichtbaren Artefakten (eine Person musste aufgrund zu schlechter Qualität der Daten ausgeschlossen werden).
- Artefaktkontrolle
  - Mittels semiautomatischer Hauptkomponentenanalyse wurden Augenbewegungen erkannt und das EEG-Signal diesbezüglich geglättet.

- Entfernung einzelner Elektroden
  - Die für weitere Analyseschritte nicht mehr benötigten Elektroden (Kontrolle der Augenbewegungen, Pulswellen am Ohr) wurden entfernt, damit diese nicht in die Gesamtanalyse miteingehen und somit eine bessere Signalqualität gewährleistet ist.
- Bestimmung der einzelnen Schüsse
  - Die einzelnen Schussmarker, die als Schusswert via Python bereits im Analyseprogramm vorhanden waren, wurden von 1-60 nummeriert.
- Datensegmentierung
  - Das Zeitintervall wurde mit 4 Sekunden vor dem Schuss festgelegt und für jeden Schuss angewandt.
- Frequenzbänder filtern
  - Die drei Frequenzbänder Theta (4-7 Hz), unteres (8-10 Hz) und oberes Alpha (10-12 Hz) wurden getrennt betrachtet.
- Bildung der Absolutwerte
  - Mittels der Funktion *Rectify* wurden nur positive Aktivitätswerte für die weitere Datenaufbereitung zugelassen.
- Aktivitäten für die jeweiligen Frequenzbänder exportieren
  - Für jedes einzelne Frequenzband wurden vier Intervalle zu je einer Sekunde als .txt-Datei exportiert.

Zusätzlich zur Hauptanalyse wurden zwei weitere separate Analysen durchgeführt:

- Bestimmung der individuellen Alpha-Frequenz
  - Auf Basis der zweiminütigen Ruheaufzeichnung im Sitzen mit geschlossenen Augen wurde der Höchstwert der individuellen Alpha-Frequenz bestimmt.
- ERP-Berechnungen
  - Festlegung des Intervalls von einer Sekunde vor und nach dem Schuss
  - Filtern nach der jeweiligen Frequenz (Theta, unteres und oberes Alpha)
  - Baseline-Korrektur in den ersten 200ms, um das Signal auf einen konstanten Punkt zu bringen
  - Automatische Datenbereinigung (zulässiger Bereich von  $-60$  bis  $+60 \mu\text{V}$ )
  - Zusammenfassung aller übriggebliebenen Schüsse und Berechnung des Mittelwertes

Nach dem Exportieren der Daten aus dem Brain Vision Analyzer wurden diese mit Excel weiterverarbeitet und sortiert, bevor sie mit Hilfe der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 21 ausgewertet wurden.

Mit Excel wurden folgende Analyseschritte durchgeführt:

- Import der Aktivitätswerte
- Sortierung nach Untersuchungsteilnehmer/in und Schussnummer
- Zentrierung der Aktivität über den jeweiligen Personenmittelwert (innerhalb einer Person über alle Schüsse eines Frequenzbandes), um die relative neurophysiologische Aktivität zu erhalten
- Bestimmung von Ausreißerwerten, die mehr als drei Standardabweichungen über oder unter dem Mittelwert lagen und deren Entfernung
- Import der übriggebliebenen Schüsse in das Statistikprogramm SPSS

In SPSS wurden die angegebenen Testverfahren berechnet, auf deren Ergebnisse im folgenden Kapitel näher eingegangen wird. Zu Beginn wurden deskriptive Mittelwerte sowie Standardabweichungen (bzw. Standardfehler) berechnet und einander gegenübergestellt. Für die Mittelwertvergleiche kamen t-Tests für unabhängige Stichproben zum Einsatz. Dabei wurde als Maß für die Effektstärke Cohen's  $d$ <sup>3</sup> angegeben. Zur eigentlichen Prüfung der Hypothesen wurden abhängig von der zu beantwortenden Fragestellung univariate Varianzanalysen mit und ohne Messwiederholung berechnet. Dort wurde als Maß für die Effektstärke das partielle Eta-Quadrat<sup>4</sup> angegeben. Korrelationen wurden mit dem Korrelationskoeffizient nach Pearson und Spearman-Rho ermittelt. Bei den Regressionsanalysen wurde das schrittweise Verfahren angewandt. Wenn nicht anders berichtet, können die Voraussetzungen als gegeben betrachtet werden.

---

<sup>3</sup> Nach Cohen (1988) zeigt  $d = .20$  einen kleinen,  $d = .50$  einen mittleren und  $d = .80$  einen starken Effekt an.

<sup>4</sup> Multipliziert mit dem Faktor 100 gibt dieses Maß den prozentualen Anteil der durch die unabhängige Variable aufgeklärten Varianz an.



## 4.4 Ergebnisse

### 4.4.1 Behaviorale Daten

#### 4.4.1.1 Physische Voraussetzungen der Teilnehmer/innen

Wie die Athletinnen und Athleten vor Beginn der Untersuchungsdurchführung angaben, haben diese in der vorangegangenen Nacht im Schnitt sieben Stunden geschlafen ( $M = 7:09$ ,  $SD = 1:28$  h), was auch ungefähr dem von den Personen angegebenen gewöhnlichem Ausmaß an Schlaf entspricht ( $M = 7:38$ ,  $SD = 0.56$  h). In weiterer Folge hat keiner der Teilnehmer/innen in den letzten acht Stunden alkoholische Getränke zu sich genommen noch geraucht.

#### 4.4.1.2 Subjektive Einschätzung der Aufmerksamkeit

Bei der auf einer Skala von 0-100 % anzukreuzenden Frage, wie sehr die Personen konzentriert waren, wurde ein Mittelwert von 73.56 % ( $SD = 23.78$ ) erreicht. Hinsichtlich der aufkommenden Gedanken, die mit dem Schießen nichts zu tun haben, wurde ein Mittelwert von 28.11 % ( $SD = 26.32$ ) angegeben. Auch die Ablenkung durch die Messung mit EEG wurde im Mittel geringer als 50 % bewertet ( $M = 39.56$ ,  $SD = 26.33$  %).

Die Ergebnisse in 4.4.1.1 und 4.4.1.2 legen nahe, dass es sich um brauchbare personenspezifische Voraussetzungen für eine EEG-Studie handelt und auch die Athletinnen und Athleten bei der Absolvierung der Schießaufgabe laut Selbsteinschätzung in normalem Maße konzentriert und nicht durch andere Gedanken abgelenkt waren. Dass das EEG-System mit Haube am Kopf sowie die Verkabelung und Einschränkung der Bewegungsfreiheit nur in geringem Maß als störend empfunden wurden, ist ein weiteres Indiz für die Verwendbarkeit der Daten.

#### 4.4.1.3 Schussresultat

Bei 60 vorgegebenen Schüssen wurde im Mittel eine Gesamttringzahl von 536.10 ( $SD = 27.83$ ) erreicht. Die Schusswerte der weiblichen unterscheiden sich dabei nicht von jenen der männlichen Athleten ( $t_{18} = 0.05$ ,  $p = .96$ ).

Wie auch in einem Wettkampf üblich, wurden die 60 Schüssen in sechs Serien zu jeweils 10 Schüsse betrachtet (siehe Tabelle 5), um Aufschlüsse bezüglich Formschwankungen, Müdigkeit etc. zu erhalten. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass sich die sechs Serien nicht voneinander unterscheiden ( $F_{5,95} = 0.16$ ,  $p = .98$ ,  $\eta_p^2 = .01$ ). Über alle Serien hinweg wurde durchschnittlich eine Ringzahl von 8.9 erreicht.

Tabelle 5

*Schussresultate der Studie I in sechs Serien zu je zehn Schüssen*

<b>Serie</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>SD</b>
1	89.00	7.12
2	89.05	4.06
3	89.65	5.07
4	88.95	6.70
5	89.30	5.71
6	89.70	5.67

#### **4.4.1.4 Zusammenhänge der leistungsbezogenen Parameter**

Mittels Pearson- und Spearman-Rho-Korrelationsanalysen wurden Zusammenhänge zwischen den einzelnen leistungsbezogenen Parametern überprüft. Es sind dies folgende:

- Schussnummer (1-60)
- Schussresultat (Ringzahl von 0-10)
- Einschätzung des Trainers (gut, mittel, schlecht)
- SCATT-Daten
  - Zielzeit
  - Prozentualer Anteil der Zielzeit in 10.0 und besser
  - Prozentualer Anteil der Zielzeit in 10.5 und besser
  - Prozentualer Anteil der Zielzeit in 10.0 und besser, wenn Schuss in Mitte der Scheibe verschoben
  - Länge des Zielweges
  - Abstand zwischen mittlerem Zeitpunkt und tatsächlichem Schuss

Aufgrund der 28 Korrelationsvergleiche wurde eine Alpha-Fehler-Kummulierung nach Bonferonni (vgl. Abdi, 2007) durchgeführt, was ein korrigiertes Signifikanzniveau von  $p = .002$  ergibt ( $.05/28 = .002$ ).

Tabelle 6

Korrelationsanalysen zwischen den leistungsbezogenen Parametern in Studie I

	Schusswert	Trainerurteil	SCATT-Parameter				
			Zielzeit	10.0	10.5	10a0	Länge
Trainerurteil	-.274						
Zielzeit		.122					
10.0	.306	-.434					
10.5	.239	-.378	.850				
10a0	.306	-.189	.505	.407			
Länge	-.345		-.402	-.315	-.691		
Abstand	-.522	.237	-.318	-.251	-.491	.489	

Alle berichteten Korrelationen  $< p = .002$  (Alpha-Fehlerkorrektur bei 28 Tests). Spearman-Rho-Korrelationen für alle Zusammenhangsüberprüfungen mit dem Trainerurteil, sonst Pearson-Korrelationen. Zusammenhänge unter  $r/\rho = .100$  sowie  $p$  und  $df$  sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht angeführt.

Wie man in Tabelle 6 erkennen kann, hängt die Zielzeit, von einer geringen Verbindung mit dem Trainerurteil abgesehen, mit keinem anderen Parameter zusammen. Man kann daher davon ausgehen, dass die für das Zielen benötigte Zeit keinen Einfluss auf das Schussresultat hat. Ähnlich wie beim Ringzahlenverlauf ist dies ein weiteres Indiz dafür, dass die Leistung über den gesamten Zeitraum relativ konstant gehalten wurde. Der Schusswert hängt moderat negativ mit dem Trainerurteil zusammen. Das bedeutet: Umso besser der tatsächliche Schusswert war, desto besser wurde dieser Schuss auch vom Trainer eingeschätzt, auch wenn diese Einschätzung auf Basis der SCATT-Parameter durchgeführt wurde. Zwischen dem Trainerurteil und den SCATT-Parametern gibt es überall Zusammenhänge, die SCATT-Parameter hängen auch in hohem Maße untereinander zusammen. Diese korrelieren in weiterer Folge (bis auf die für das Zielen benötigte Zeit) moderat mit dem Schusswert.

## 4.4.2 Neurophysiologische Daten

### 4.4.2.1 Individuelle Alpha-Frequenz

Die Bestimmung der individuellen Alpha-Frequenz wurde gewählt, weil es sogar innerhalb einer homogenen Stichprobe bezüglich Alter und Erfahrung möglich ist, dass die Verteilung des Alpha-Peaks sehr unterschiedlich sein kann und es sich dabei um eine validere Methode zur Einteilung des unteren und oberen Alpha-Bereiches handelt, als einen Peak von 10 Hz anzunehmen (vgl. Klimesch, 1999). Der jeweilige Höchstwert in der Alpha-Frequenz (individueller Alpha-Peak) ist in Tabelle 7 ersichtlich. Da dieser in den meisten Fällen aber bei der gängigen Zahl von 10 Hz liegt bzw. nur sehr gering davon abweicht, wird für die folgenden Berechnungen ein Alpha-Bereich von 8-12 Hz mit einem unteren Alphaband von 8-10 und einem oberen Alphaband von 10-12 herangezogen.

Tabelle 7

*Individueller Alpha-Peak der Studienteilnehmer/innen aus Studie I mit  $M = 9.89$  und  $SD = 0.57$*

<b>Studienteilnehmer/in</b>	<b>Individueller Alpha Peak in Hz</b>
01	10
02	10
03	10
04	11
05	10
06	10
07	9
08	10
09	10
10	10
11	10
12	9
13	10
14	10
17	10
18	11
19	9
20	9

#### 4.4.2.2 Ergebnisse der ERP-Analysen

Mittels ERP-Analysen wurde versucht herauszufinden, ob bei der Schussabgabe auch eine neurophysiologische Reaktion (entspricht einer Potentialveränderung) stattgefunden hat. Wie man den folgenden Abbildungen (exemplarisch für Theta auf Fz und unteres Alphanand auf Pz) entnehmen kann, war dies größtenteils zum Zeitpunkt 0 (= Schussabgabe) der Fall. Die Potentialanstiege kurz nach dem Nullpunkt in den Abbildungen 14 und 15 zeigen auch, dass der Trigger mit dem Zeitpunkt der Schussabgabe gut gesetzt wurde, weil es dort zu einer größeren Potentialveränderung kommt. Die erste negative Potentialveränderung nach dem Stimulus wird in der Literatur als N100 bezeichnet. Coles und Rugg (1995) beschreiben diese als Reaktion im Rahmen auditorischer Aufmerksamkeit. Dies stimmt auch mit den Kurvenverläufen in den folgenden Abbildungen überein.

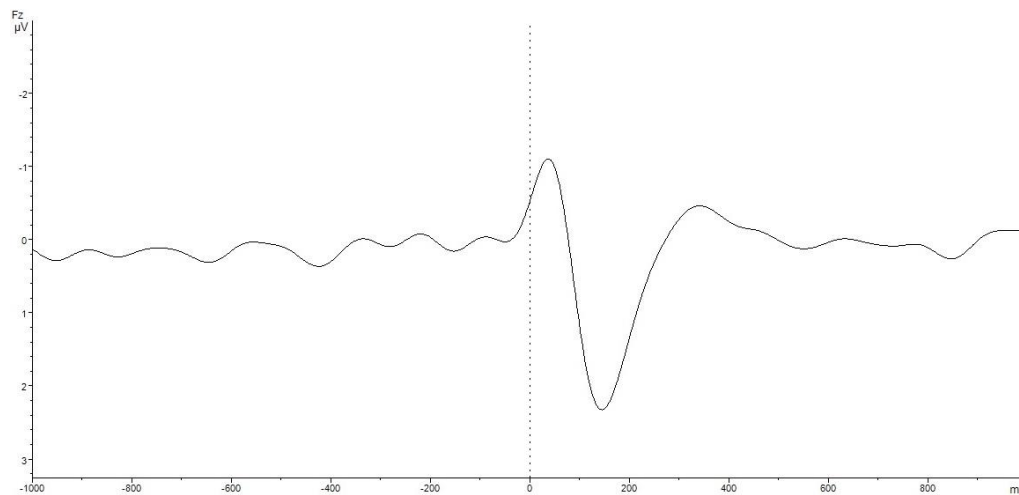


Abbildung 14. ERP für die Theta-Frequenz auf Fz in Studie I

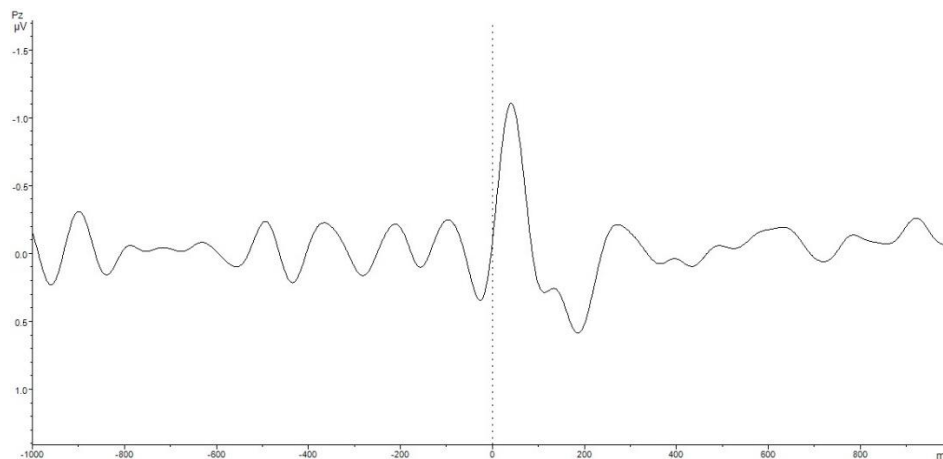


Abbildung 15. ERP für die untere Alpha-Frequenz auf Pz in Studie I

#### 4.4.2.3 Aktivitätsveränderungen in den einzelnen Frequenzbändern

##### **HYPOTHESE 1:**

Zur Überprüfung der ersten Hypothese, die eine Powerzunahme in den jeweiligen Frequenzbändern während des Zielvorganges postuliert, wurden die letzten vier Sekunden vor der Schussabgabe in vier Intervalle zu jeweils einer Sekunde eingeteilt. Für jede Person wurde dabei ein relativer Gesamtwert der neurophysiologischen Aktivität hinsichtlich der jeweiligen Frequenz berechnet, was als abhängige Variable verwendet wurde. Der relative Wert der neurophysiologischen Aktivität ergibt sich durch die Zentrierung der Aktivitätswerte auf den personenbezogenen Mittelwert.

##### Theta (Fz)

Mittels einfaktorieller Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor Zeit (vier Intervalle zu je einer Sekunde) wurden Veränderungen zwischen den Intervallen berechnet. Im Theta-Frequenzband zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für Zeit ( $F_{3,54} = 38.00$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .69$ ). Post-hoc-Analysen ergeben signifikante Unterschiede zwischen den Zeitpunkten t1 und t3 ( $p = .033$ ) sowie zwischen dem Zeitpunkt t4 und den anderen drei Zeitpunkten ( $p < .001$ ).

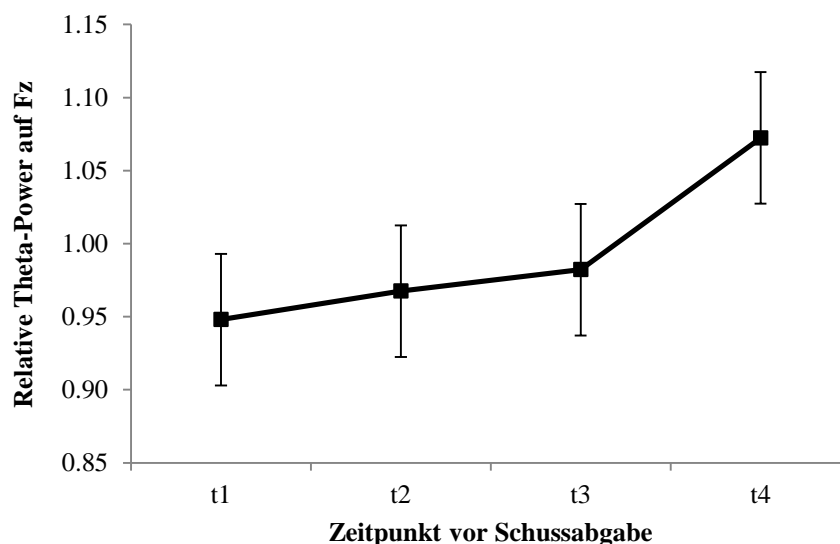


Abbildung 16. Verlauf der Theta-Frequenz auf Fz in den vier Zeitpunkten vor Schussabgabe in Studie I

### Unteres Alphaband (8-10 Hz)

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf den beiden Faktoren Zeit (t1-t4) und ROI (Temporal, Zentral, Parietal, Okzipital) wurde berechnet, um Aktivitätsveränderungen im unteren Alpha-Frequenzband festzustellen. Die Homogenitätsvoraussetzung der Varianzanalyse ist verletzt, weshalb eine Korrektur mittels Greenhouse Geißer durchgeführt wurde. Es zeigen sich signifikante Powerzunahmen in den letzten vier Sekunden vor der Schussabgabe (HE Zeit:  $F_{2.56, 2227.24} = 631.04$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .42$ ). Post-hoc-Analysen zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Zeitpunkten t2 und t3 ( $p < .001$ ) und zwischen den Zeitpunkten t4 und t3, t2 sowie t1 ( $p < .001$ ). Zwischen den ersten beiden Zeitpunkten gibt es keine signifikanten Unterschiede ( $p = .46$ ). Hinsichtlich der Regionen gibt es signifikante Unterschiede (HE ROI:  $F_{2.81, 2444.88} = 73.74$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .08$ ). Post-hoc-Analysen ergeben höchste Power-Werte in den okzipitalen, gefolgt von den parietalen und zentral-temporalen Bereichen (jeweils  $p < .001$ ), wobei zwischen den letzten beiden keine Unterschiede festgestellt werden konnten ( $p = 1.00$ ). Die Wechselwirkungen der beiden Faktoren Zeit und ROI liefern ein signifikantes Ergebnis (HE WW:  $F_{7.42, 6452.34} = 11.61$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .01$ ) und sind in Abbildung 17 dargestellt. Es sei angemerkt, dass die Effektstärken für den Haupteffekt Region und die Wechselwirkung mit kleiner als .10 sehr gering ausfallen (vgl. Cohen, 1988).

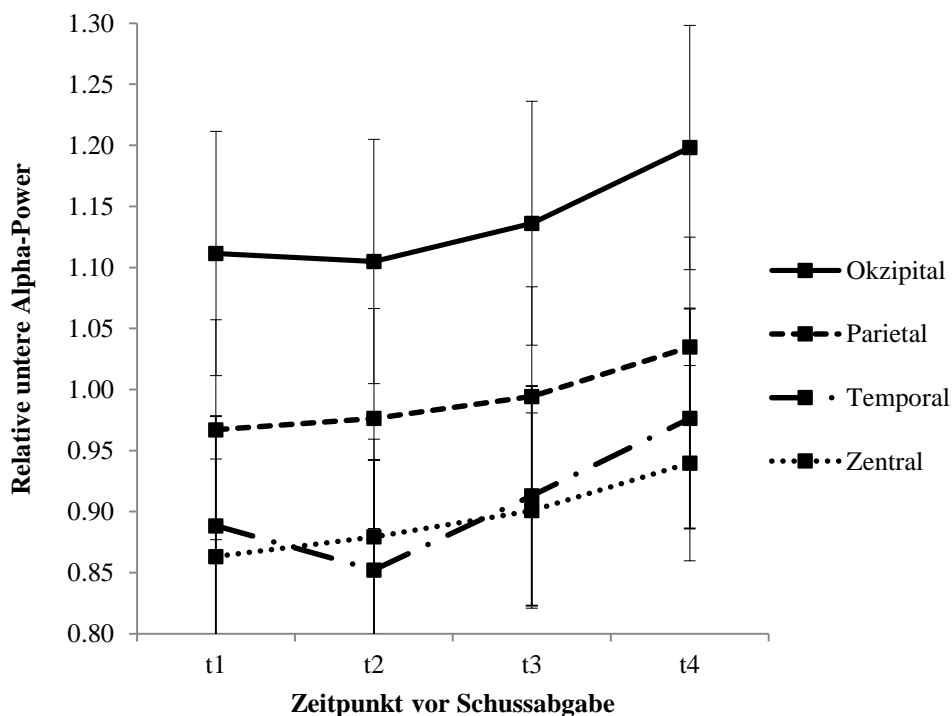


Abbildung 17. Verlauf der unteren Alpha-Frequenz für die vier Regionen (Okzipital, Parietal, Temporal, Zentral) in den vier Zeitpunkten vor Schussabgabe in Studie I

Oberes Alphaband (10-12 Hz)

Wie im unteren Alpha-Bereich wurde auch für den oberen Alpha-Bereich eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf den beiden Faktoren Zeit (t1-t4) und ROI (Temporal, Zentral, Parietal, Okzipital) berechnet, um Aktivitätsveränderungen im Zielprozess festzustellen. Aufgrund der Sphärizitätsverletzung erfolgt auch hier eine Anpassung mittels Greenhouse-Geißer-Korrektur. Die Ergebnisse sind nahezu ident mit jenen im unteren Alpha-Bereich und zeigen signifikante Haupteffekte für Zeit (HE Zeit:  $F_{2.47, 2294.32} = 796.30$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .46$ ) und ROI (HE ROI:  $F_{2.82, 2616.08} = 71.25$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .07$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung (HE WW:  $F_{6.07, 5634.44} = 11.14$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .01$ ). In Abbildung 18 sind die Ergebnisse der Varianzanalyse grafisch dargestellt. Post-hoc-Analysen für den Faktor Zeit zeigen erhöhte Werte in der letzten Sekunde vor Schussabgabe im Vergleich zu allen anderen Zeitfenstern ( $p < .001$ ) sowie zwischen t3 und t1 mit t2 ( $p < .001$ ). Die beiden Zeitfenster t1 und t3 unterscheiden sich nicht voneinander ( $p = .088$ ). Hinsichtlich der Regionen ergeben Post-hoc-Vergleiche die höchsten Power-Werte im okzipitalen Bereich im Vergleich zu den anderen drei Regionen ( $p < .001$ ) sowie einen signifikanten Unterschied zwischen der Power in den parietalen und zentralen Regionen ( $p = .015$ ), aber nicht von parietalen zu den temporalen Regionen ( $p = 1.00$ ). Die temporalen und zentralen Regionen sind hinsichtlich der Höhe ihrer Power wiederum nicht voneinander zu unterscheiden ( $p = .105$ ).

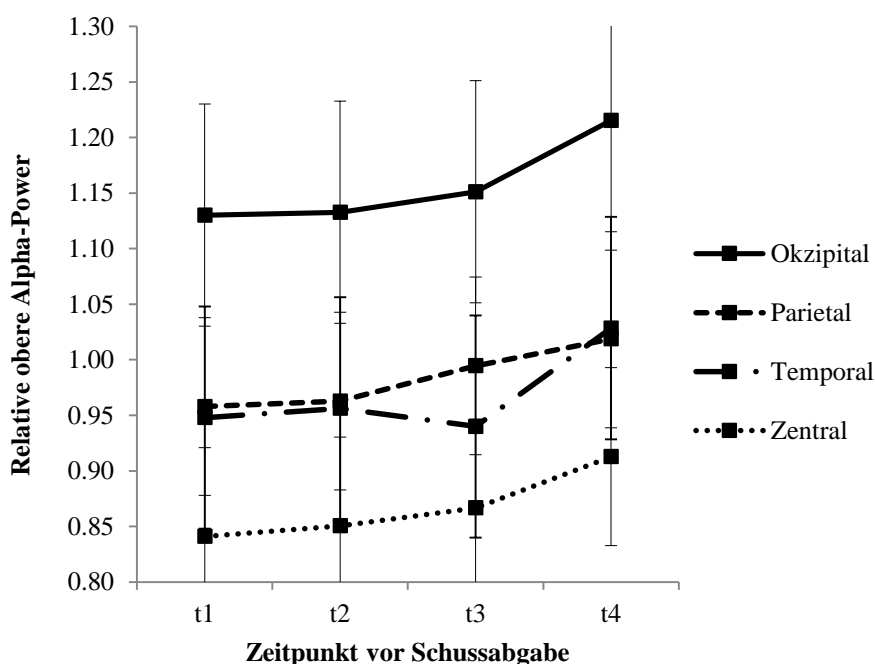


Abbildung 18. Verlauf der oberen Alpha-Frequenz für die vier Regionen (Okzipital, Parietal, Temporal, Zentral) in den vier Zeitpunkten vor Schussabgabe in Studie I



Die Daten zeigen sowohl für das Theta- als auch die beiden Alpha-Frequenzbänder, dass die Power in den letzten Sekunden der Schussabgabe zunimmt, wobei ein drastischer Anstieg im letzten Zeitfenster (eine Sekunde vor Schussabgabe) zu betrachten ist. Auf Basis der Ergebnisse der Aktivitätsanstiege in allen drei Frequenzbändern kann die erste Hypothese somit bestätigt werden.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird in weiterer Folge der Zeitpunkt t4, also die letzte Sekunde vor der Schussabgabe, für die Berechnung der Zusammenhänge zwischen behavioralen und neurophysiologischen Daten verwendet.

#### 4.4.3 Behaviorale Daten in Kombination mit neurophysiologischen Daten

##### **HYPOTHESE 2:**

Die zweite Hypothese besagt, dass höhere leistungsbezogene Parameter mit einer erhöhten Power im frontalen mittleren Theta einhergehen. Dazu wurde zum einen die Power auf Fz gebildet und es wurden mit Ausnahme des ordinal skalierten dreistufigen Trainerurteiles Pearson-Korrelationsanalysen zwischen den behavioralen und den neurophysiologischen Daten berechnet. Aufgrund der Korrelation mit sieben Parametern wurde wiederum eine Alpha-Fehlerkorrektur nach Bonferroni (vgl. Abdi, 2007) durchgeführt und das Signifikanzniveau durch 7 geteilt, was einen kritischen  $p$ -Wert von .007 ergibt. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalysen. Ein positiver Zusammenhang besteht zwischen dem Parameter 10a0 und der Power in der Elektrode Fz ( $r_{1095} = .107, p < .001$ ), was bedeutet, dass ein längerer prozentueller Anteil des Verweilens im Scheibenmittelpunkt mit einer höheren Power kurz vor der Schussauslösung einhergeht. Zusammenhänge zwischen der Power im Theta-Frequenzband und dem Trainerurteil wurden mittels Spearman-Rho überprüft, ergeben jedoch keine signifikante Korrelationen (Trainerurteil x Fz:  $p = .25$ ).

Tabelle 8

*Korrelationstabelle zwischen der Theta-Aktivierung auf Fz und den behavioralen Daten in Studie I*

	Schusswert	Zielzeit	10.0	10.5	10a0	Länge	Abstand
<i>r</i>	.043	-.049	.039	.071*	.107**	-.069*	-.050
Fz <i>p</i>	.178	.102	.193	.018	.000	.022	.100
<i>df</i>	983	1097	1097	1097	1095	1096	1097

\*\*  $p < .007$  (Alpha-Fehler Korrektur bei 7 Tests). \*  $p < .05$ .

Da sich Effekte nicht immer eindeutig replizieren lassen und der jeweiligen Elektrode zuordenbar sind, wurde zusätzlich der Mittelwert der Powerwerte aus den frontalen Elektroden (Fz, FC1, FC2, AF3, AF4, F1, F2) gebildet. Dieser Mittelwert wurde korrelationsanalytisch ebenfalls mit den behavioralen Daten in Beziehung gesetzt. Interessanterweise gehen die Zusammenhänge zwischen der mittleren frontalen Theta-Power und den leistungsbezogenen Parametern im Vergleich zur Elektrode Fz genau in die entgegengesetzte Richtung. Wie man in Tabelle 9 erkennen kann, gehen höhere Powerwerte mit einer niedrigeren Schussleistung ( $r_{982} = -.168$ ,  $p < .001$ ), kürzerem Verweilen im Scheibenmittelpunkt ( $r_{1094} = -.103$ ,  $p = .001$ ) sowie schlechteren Werten in der Länge ( $r_{1095} = .160$ ,  $p < .001$ ) und im Abstand ( $r_{1096} = .118$ ,  $p < .001$ ) einher. Zusammenhänge zwischen der Power im gemittelten frontalen Theta-Frequenzband und dem Trainerurteil (Spearman-Rho) ergeben wiederum keine signifikanten Korrelationen (Trainerurteil x F\_mittel:  $p = .32$ ).

Tabelle 9

*Korrelationstabelle zwischen der gemittelten frontalen Theta-Aktivierung und den behavioralen Daten in Studie I*

	Schusswert	Zielzeit	10.0	10.5	10a0	Länge	Abstand
<i>r</i>	-.168**	-.040	-.098**	-.067*	-.103**	.160**	.118**
F_mittel <i>p</i>	.000	.189	.001	.026	.001	.000	.000
<i>df</i>	982	1096	1096	1096	1094	1095	1096

\*\*  $p < .007$  (Alpha-Fehler Korrektur bei 7 Tests). \*  $p < .05$ .

Es sei jedoch hinzugefügt, dass die Daten von 19 Athletinnen und Athleten mit über tausend Schüssen in die Analysen eingehen und daher die Zusammenhänge recht gering bzw. uneindeutig ausfallen können. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse, die einen geringen, teilweise sogar in die andere Richtung gerichteten Zusammenhang zwischen Theta und den leistungsrelevanten Parametern postulieren, kann Hypothese 2 nicht bestätigt werden.

### **HYPOTHESE 3:**

Ähnlich wie bei Hypothese 2 besagt auch Hypothese 3, dass eine unterschiedliche Power im Alpha-Frequenzband mit höheren leistungsrelevanten Parametern in spezifischen Regionen einhergeht. Daher wurden sowohl für das untere als auch das obere Alpha-Frequenzband zum Zeitpunkt t4 Pearson- und Spearman-Rho-Korrelationsanalysen mit den leistungsbezogenen Maßen berechnet. Aufgrund der Korrelationsanalysen mit sieben leistungsbezogenen Parametern und vier verschiedenen Regionen wird eine Alpha-Fehlerkorrektur durchgeführt und das Signifikanzniveau  $p$  auf .002 herabgesetzt (7 Parameter x 4 Regionen = 28;  $.05/28 = .002$ ). Wegen der Ordinalskalierung der Variable Trainerurteil wurde die Korrelationsanalyse zwischen dieser und der neuronalen Aktivierung wiederum mittels Spearman-Rho überprüft.

#### Unteres Alphaband

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen für das untere Alpha-Frequenzband aufgelistet. Die in Tabelle 10 dargestellten Ergebnisse zeigen in allen vier Regionen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Schussresultat und der relativen neuronalen Aktivität im unteren Alphaband. Im temporalen Bereich gibt es Zusammenhänge zwischen der Alpha-Power und dem prozentualen Verweilen im Scheibenmittelpunkt und den beiden Parametern Länge und Abstand. Je höher die Alpha-Power im temporalen Bereich ist, desto besser sind auch die Werte in den leistungsbezogenen Parametern. Ein umgekehrtes Bild zeigt sich für den parietalen Bereich, wo eine Powerzunahme mit schlechteren Werten in den leistungsbezogenen Parametern einhergeht. Zentral und Okzipital zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge, auch nicht zwischen dem Trainerurteil und der unteren Alpha-Power (Temporal:  $p = .922$ , Zentral:  $p = .423$ , Parietal:  $p = .053$ , Okzipital:  $p = .101$ ).

Tabelle 10

Korrelationstabelle zwischen der unteren Alpha-Power in den vier Regionen mit den behavioralen Daten in Studie I

		Schusswert	Zielzeit	10.0	10.5	10a0	Länge	Abstand
<b>TE</b>	<i>R</i>	.079*	.082*	.167**	.133**	.184**	-.190**	-.173**
	<i>P</i>	.020	.016	.000	.000	.000	.000	.000
	<i>df</i>	865	870	870	870	870	870	870
<b>ZE</b>	<i>r</i>	.014	.006	.013	-.017	.029	.013	.002
	<i>p</i>	.678	.855	.699	.612	.397	.701	.960
	<i>df</i>	867	870	870	870	870	870	870
<b>PA</b>	<i>r</i>	-.067*	.059	-.104**	-.113**	-.140**	.108**	.077*
	<i>p</i>	.049	.083	.002	.001	.000	.001	.024
	<i>df</i>	867	870	870	870	870	870	870
<b>OK</b>	<i>r</i>	.004	-.092*	.013	-.017	.020	-.034	-.031
	<i>p</i>	.909	.006	.691	.612	.549	.322	.363
	<i>df</i>	867	870	870	870	870	870	870

\*\*  $p < .002$  (Alpha-Fehler Korrektur bei 28 Tests). \*  $p < .05$ .  
TE = temporal, ZE = zentral, PA = parietal, OK = okzipital.

### Oberes Alphaband

Hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen den leistungsbezogenen Parametern und der oberen Alpha-Power im temporalen Bereich zeigen sich im Vergleich zur unteren nahezu idente Ergebnisse. Eine Zunahme der oberen Alpha-Power geht mit besseren Werten in den leistungsbezogenen Parametern einher (siehe Tabelle 11, Zeile 1). Bei den parietalen Regionen zeigt sich nur mehr eine Signifikanz zwischen der oberen Alpha-Power und dem prozentualen Anteil im Scheibenmittelpunkt, nicht mehr für die beiden Parameter Länge und Abstand, wobei die Länge mit einem  $p$  von .003 knapp das durch die Alpha-Fehler-Kumulierung korrigierte Signifikanzniveau von .002 überschreitet. Zusätzlich zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Länge und der oberen Alpha-Power im okzipitalen Bereich, was bedeutet, dass bei Power-Zunahme bessere Werte beim Parameter Länge gegeben sind. Wie auch in Tabelle 10 ersichtlich, zeigen sich hinsichtlich des Schusswerts mit allen Regionen keine Zusammenhänge. Auch die Spearman-Rho-Analysen zwischen dem Trainerurteil und der oberen Alpha-Power sind nicht signifikant (Temporal:  $p = .978$ , Zentral:  $p = .235$ , Parietal:  $p = .178$ , Okzipital:  $p = .310$ ).

Tabelle 11

Korrelationstabelle zwischen der oberen Alpha-Power in den vier Regionen mit den behavioralen Daten in Studie I

	Schusswert	Zielzeit	10.0	10.5	10a0	Länge	Abstand	
<b>TE</b>	<i>r</i>	.098*	.065*	.145**	.112**	.176**	-.190**	-.171**
	<i>p</i>	.003	.049	.000	.001	.000	.000	.000
	<i>df</i>	926	928	928	928	928	928	928
<b>ZE</b>	<i>r</i>	.005	-.016	.000	-.019	.024	.039	.007
	<i>p</i>	.889	.629	.995	.570	.463	.235	.832
	<i>df</i>	926	928	928	928	928	928	928
<b>PA</b>	<i>r</i>	-.051	.098*	-.085*	-.088*	-.120**	.096*	.064
	<i>p</i>	.122	.003	.010	.007	.000	.003	.051
	<i>df</i>	926	928	928	928	928	928	928
<b>OK</b>	<i>r</i>	.043	-.040	.055	.022	.061	-.105**	-.082*
	<i>p</i>	.189	.225	.096	.507	.063	.001	.012
	<i>df</i>	926	928	928	928	928	928	928

\*\*  $p < .002$  (Alpha-Fehler Korrektur bei 28 Tests). \*  $p < .05$ .  
TE = temporal, ZE = zentral, PA = parietal, OK = okzipital.

Die Ergebnisse des oberen Alpha-Bereiches sind in selber Richtung wie die des unteren Bereiches, jedoch für die parietalen Regionen nicht immer gleich stark ausgeprägt. Wenn man sich die beiden Bänder getrennt in Bezug auf Hypothese 3, die eine höhere Power besonders bei den temporalen und eine niedrigere bei den parietalen Elektroden bei höheren leistungsbezogenen Parametern postuliert, ansieht, so lässt sich Hypothese 3 bestätigen. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen deuten an, dass leistungsbezogene Parameter größeren Einfluss auf Aktivität in den jeweiligen Arealen und Frequenzbändern als das reine Schussresultat haben. Dies soll in folgendem Kapitel überprüft werden.

#### 4.4.4 Regressionsanalysen

##### Fragestellung zur Rolle leistungsbezogener Parameter und dem Schussresultat

Schrittweise Regressionsanalysen werden verwendet, um zu überprüfen, ob das neuronale Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit besser mittels leistungsbezogener Parameter, wie etwa Zielgenauigkeit, vorhergesagt werden kann, als dies bei einer ausschließlichen Betrachtung der Schussleistung der Fall wäre. Daher werden Regressionsanalysen zum Zeitpunkt t4 wiederum jeweils getrennt für Theta, unteres und oberes Alpha berechnet.

Als Prädiktoren werden das Schussresultat (erster Schritt), die Beurteilung des Trainers (zweiter Schritt) und die leistungsbezogenen Parameter (dritter Schritt) verwendet. Das Kriterium ist die frequenzspezifische relative Power im frontalen Bereich in der letzten Sekunde vor Schussauslösung für Theta sowie im temporalen und parietalen Bereich für die beiden Alpha-Bänder.

### Theta

Die Regressionsanalyse für die gemittelte frontale Theta-Power zeigt für alle drei Schritte ein signifikantes Ergebnis. In den ersten beiden Schritten mit dem Schussresultat ( $F_{1, 1006} = 25.89, p < .001, r^2 = .025$ ) und dem Trainerurteil ( $F_{2, 1006} = 12.98, p < .001, r^2 = .25$ ) werden jedoch nur knapp drei Prozent der Varianz aufgeklärt. Nimmt man die leistungsbezogenen Parameter hinzu, zeigt sich eine Varianzaufklärung von zehn Prozent ( $F_{8, 1006} = 13.47, p < .001, r^2 = .097$ ). Die in Tabelle 12 dargestellten Koeffizienten der Regressionsanalyse zeigen, dass nur der leistungsbezogene Parameter Länge einen signifikanten Einfluss auf das Gesamtmodell hat. Zusätzlich zeigen sich tendenzielle Einflüsse des Trainerurteils und des Abstandes (jeweils  $p = .08$ ) auf die relative neuronale Aktivität von fokussierter Aufmerksamkeit. Das schlussendliche Schussresultat zeigt alleine bzw. in Kombination mit dem Trainerurteil zwar einen signifikanten Effekt, bei Hinzunahme der anderen leistungsbezogenen Parameter verschwindet dieser jedoch. Auch die Zunahme der aufgeklärten Varianz ist ein Indikator für eine bessere Vorhersage der neuronalen Aktivität durch die leistungsbezogenen Parameter.

Tabelle 12

*Koeffizienten der Regressionsanalyse für die Power im frontalen Theta in Studie I*

Schritt	Prädiktor	R	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	β	t	p
1	Schusswert	.16	.03	.03	-.16	-5.09	.000
2	Schusswert	.16	.03	.00	-.16	-4.97	.000
	Trainerurteil				-.01	-0.29	.770
3	Schusswert	.31	.10	.07	-.04	-1.00	.320
	Trainerurteil				-.06	-1.76	.080
	Zielzeit				.02	0.64	.530
	10.0				.10	-1.63	.100
	10a0				.00	0.06	.950
	10.5				-.04	-0.93	.350
	Länge				.17	3.88	.000
Abstand				.07	1.77	.080	

AV: Relative neurophysiologische Aktivierung im frontalen Theta-Bereich

### Unteres Alphaband

Für die untere Alpha-Frequenz wurden je eine schrittweise Regressionsanalyse für den temporalen und der parietalen Bereich durchgeführt, wie bereits im Theta-Frequenzband wiederum in drei Schritten berechnet. Im temporalen Bereich zeigen sich das Modell mit der Schussleistung ( $F_{1, 867} = 5.40, p = .02, r^2 = .006$ ) und das Gesamtmodell signifikant ( $F_{8, 867} = 7.39, p < .001, r^2 = .064$ ). Die Vorhersage durch die Schussleistung und das Trainerurteil sind jedoch nicht signifikant ( $F_{2, 867} = 2.87, p = .057, r^2 = .007$ ). Die Varianzaufklärung erreicht bei den ersten beiden Schritten weniger als ein Prozent und liegt beim Gesamtmodell bei sechs Prozent. Einen signifikanten Einfluss auf das Gesamtmodell haben wiederum nur die leistungsbezogenen Parameter, wie das Trainerurteil, die Zielzeit, der Prozentsatz des Verweilens in der Mitte der Scheibe und der Abstand. Das Schussresultat ist im Gesamtmodell kein signifikanter Prädiktor für das neuronale Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit ( $p = .347$ ). Die Koeffizienten sind jeweils in der Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13

*Koeffizienten der Regressionsanalyse für die untere Alpha-Power im temporalen Bereich in Studie I*

Schritt	Prädiktor	R	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	β	t	p
1	Schusswert	.08	.01	.01	.08	2.32	.020
2	Schusswert	.08	.01	.00	.09	2.39	.017
	Trainerurteil				.02	0.57	.564
3	Schusswert	.25	.06	.06	-.04	-0.94	.347
	Trainerurteil				.08	1.97	.049
	Zielzeit				.07	2.15	.032
	10.0				.14	2.04	.042
	10a0				-.01	-0.12	.902
	10.5				.04	0.70	.483
	Länge				-.08	-1.61	.108
Abstand				-.11	-2.40	.016	

AV: Relative neurophysiologische Aktivierung für das untere Alpha im temporalen Bereich

Im parietalen Bereich zeigen sich wiederum das Modell mit der Schussleistung ( $F_{1, 867} = 3.90, p = .049, r^2 = .004$ ) und das Gesamtmodell signifikant ( $F_{8, 867} = 3.15, p < .01, r^2 = .029$ ). Die Vorhersage durch die Schussleistung und das Trainerurteil sind jedoch nicht signifikant ( $F_{2, 867} = 2.73, p = .066, r^2 = .006$ ). Die Varianzaufklärung erreicht bei den

ersten beiden Schritten weniger als ein Prozent und liegt beim Gesamtmodell bei knapp drei Prozent. Einen signifikanten Einfluss auf das Gesamtmodell hat im parietalen Bereich nur der Prozentsatz des Verweilens in der Mitte der Scheibe. Das Schussresultat ist im Gesamtmodell kein signifikanter Prädiktor für das neuronale Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit ( $p = .63$ ). Die Koeffizienten sind jeweils in der Tabellen 14 dargestellt.

Tabelle 14

*Koeffizienten der Regressionsanalyse für die untere Alpha-Power im parietalen Bereich in Studie I*

Schritt	Prädiktor	R	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	β	t	p
1	Schussresultat	.07	.00	.00	-.67	-1.97	.048
2	Schussresultat	.08	.01	.00	-.05	-1.50	.131
	Trainerurteil	.17	.03	.02	.04	1.24	.212
3	Schussresultat				-.02	-0.48	.630
	Trainerurteil				.01	0.32	.748
	Zielzeit				.06	1.71	.086
	Scatt_10.0				.06	0.81	.412
	Scatt_10a0				-.10	-1.60	.108
	Scatt_10.5				-.12	-2.35	.018
	Länge				.01	0.28	.772
Abstand				-.01	-0.19	.889	

AV: Relative neurophysiologische Aktivierung für das untere Alphaband im parietalen Bereich

Da die Ergebnisse für den oberen Alpha-Bereich nahezu ident zum unteren Alpha-Bereich ausfallen, werden diese hier nicht berichtet, jedoch im Anhang D aufgelistet.

Unabhängig vom Frequenzband, zeigen sich signifikante Ergebnisse der Regressionsanalysen. Die Betrachtung der unterschiedlichen Koeffizienten der Regressionsgleichungen zeigt für alle Frequenzbänder, dass das Schussresultat im Gesamtmodell keinen signifikanten Einfluss auf die Regressionsgleichung aufweist, einzelne leistungsbezogenen Parameter aber einen deutlichen Einfluss haben. Daher kann die Fragestellung, die einen größeren Einfluss der leistungsbezogenen Parameter auf das neuronale Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit im Vergleich zum reinen Schussresultat nahe legt, positiv beantwortet werden.



#### 4.4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der ersten Studie auf Basis der aufgestellten Hypothesen und der Fragestellung wird in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15

*Überblick über die einzelnen Hypothesen und die Fragestellung der Studie I*

Hypothese	Aussage	Bestätigt $\checkmark$ oder X
H1	Allgemeiner Aktivitätsanstieg in Theta- und Alpha-Power	$\checkmark$
H2	Bessere leistungsbezogene Parameter = höhere Theta-Power	X
H3	Bessere leistungsbezogene Parameter = höhere Alpha-Power temporal und niedrigere Alpha-Power parietal	$\checkmark$
Fragestellung	Leistungsbezogene Parameter mit höherer Vorhersagekraft als reine Schussleistung	$\checkmark$

#### 4.5 Diskussion

Ziel der ersten Studie war es, Zusammenhänge zwischen dem neuronalen Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit und leistungsbezogenen Parametern im Sportschießen herauszuarbeiten. Als Untersuchungssetting wurde Sportschießen Pistole gewählt, da es in dieser Sportart aufgrund der ruhigen Position der Schützin/des Schützen relativ einfach ist, eine EEG-Studie durchzuführen und sich dies schon in früheren Studien bewährt hat (Loze et al., 2001; Kerick et al., 2004; Del Percio et al., 2009). Der Unterschied zu den bisherigen Studien liegt darin, dass diese nur den Zusammenhang zwischen Schussresultat und neurophysiologischer Aktivität betrachteten, nicht aber andere Möglichkeiten der Operationalisierung der Leistung herangezogen haben. Vielmehr wurde im Rahmen dieser ersten Studie das neuronale Korrelat der fokussierten Aufmerksamkeit in Bezug zu den erweiterten Leistungsparametern gesetzt.

#### 4.5.1 Beurteilung der Studienvoraussetzungen

Die mit dem Zielweganalyse-System SCATT erhobenen leistungsbezogenen Parameter, wie Zielgenauigkeit, -zeit oder Handruhe, sind aufgrund ihres metrischen Skalenniveaus gut verwertbare Daten, die den nötigen Prozess, um zu einem gelungenen Schussresultat zu kommen, beschreiben. Man kann davon ausgehen, dass diese Maße valide sind, weil mit Ausnahme der Zielzeit alle Parameter moderat mit dem schlussendlichen Schussresultat zusammenhängen. Auch von guten Reliabilitätswerten kann ausgegangen werden, da die leistungsbezogenen Parameter untereinander moderat bis hoch korrelieren. Nur die Zielzeit hängt nicht mit den anderen Zielgenauigkeitsparametern zusammen. Sie ist ferner der einzige Parameter, bei dem nicht deutlich gesagt werden kann, ob hohe oder niedrige Werte leistungsförderlich oder -hemmend sind. Erfahrene Trainer/innen geben an, dass es prinzipiell von Vorteil sei, nicht zu lange mit der Schussauslösung zu warten, weil die Wahrscheinlichkeit, ein gutes Resultat zu erzielen, mit länger andauerndem Zielvorgang eher abnimmt. Es sei nicht so einfach möglich, die Zielposition für einen längeren Zeitraum sauber zu halten, was den Zielprozess bei länger andauerndem Zielen erschwert. Ein diesbezüglich durchgeführter t-Test, bei dem die vorliegende Stichprobe anhand des Medians des Schusswertes von 9.6 geteilt wurde, liefert kein signifikantes Ergebnis ( $t_{950,13} = .089$ ,  $p = .93$ ). Die Daten dieser Studie zeigen, dass sowohl bei besseren als auch bei schlechteren Resultaten mit ungefähr sechs Sekunden gleich lange gezielt wird. Die Erfahrung der Trainer/innen konnte mit den vorliegenden Ergebnissen somit nicht bestätigt werden.

Wie bereits einleitend erwähnt, ist eine Besonderheit dieser Arbeit, dass die fokussierte Aufmerksamkeit zusätzlich zur Leistung in den Mittelpunkt gestellt wurde. Die Daten der subjektiven Einschätzung zu Konzentration und Aufmerksamkeit legen nahe, dass es den teilnehmenden Sportlerinnen und Sportlern auch trotz der Verkabelung und des ungewohnten Settings sehr gut gelungen ist, sich zu konzentrieren. Auf zwei Selbsteinschätzungsskalen von 0 bis 100 Prozent lagen die allgemeinen Konzentrationswerte bei einem Niveau von knapp 75 und das Aufkommen störender Gedanken bei ungefähr 25 Prozent. Auch die Ablenkung durch das EEG-Setup wurde als moderat erachtet. Die Daten deuten sehr gute personenspezifische Voraussetzungen an. Natürlich soll an dieser Stelle auch bedacht werden, dass es sich bei den erhobenen Daten um subjektive Einschätzungen handelt. Für weitere Studien wäre es wünschenswert, neben dem neuronalen Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit weitere objektive

Operationalisierungen von Konzentration und Aufmerksamkeit durchzuführen. Wenn man den Abschirmungsaspekt, der in einem Konzentrationsparadigma von Wegner (1992) beschrieben wird, betrachtet, wäre es möglich, die Anfälligkeit gegenüber verdeckten Reizen zu erheben. In einer Wettkampfsimulation könnten in unregelmäßigen Abständen gewisse Reize wie etwa Handyklingeln, Blitzlicht einer Kamera oder Ähnliches dargeboten werden. Die Reaktion der Athletinnen und Athleten auf diesen Reiz könnte ein weiterer Marker für einen fokussierten Zustand sein.

Neben den gut gewählten leistungsbezogenen Parametern und den personenbezogenen Voraussetzungen wurde überprüft, ob die Schussabgabe ein brauchbarer Marker hinsichtlich der neurophysiologischen Aktivität ist. Diesbezüglich wurden ERP-Analysen als Voraussetzungsprüfung, ob der Schussauslösezeitpunkt gut gewählt wurde, durchgeführt. Sowohl die Analysen für das Theta- als auch die beiden Alpha-Frequenzbänder ergeben größere Potentialveränderungen zum Zeitpunkt der Schussauslösung, die auf eine neurophysiologische Reaktion auf das Ereignis hindeuten. Es wird daher angenommen, dass der Trigger mit der Schussauslösung gut gewählt wurde und somit für die weiteren Analysen verwendet werden kann. Die Schussabgabe als Trigger zu verwenden, wurde zwar schon in fast allen früheren Studien, wie etwa bei Loze et al. (2001) oder Doppelmayr et al. (2008), eingesetzt; eine Überprüfung der Eignung dieser Vorgehensweise fand aber, soweit berichtet, nicht statt. Die einzig vergleichbare Analyse wurde mit Betrachtung der langsamen Potentialschwankungen bei Kontinen et al. (2000) durchgeführt. Dort wurde, genau wie in dieser Arbeit, der Bereich eine Sekunde vor Schussabgabe, jedoch nur bis 200 ms danach, betrachtet. Eine Studie im sportlichen Bereich, die sich explizit mit einer ERP-Analyse beschäftigt, ist jene von Frömer, Hafner und Sommer (2012). Als Studiensetting wurde eine virtuelle Dartsimulation verwendet. Unterschiede zwischen einer Zielaufgabe und einer Vergleichsaufgabe zeigten sich in der „contingent negative variation“ (CNV). Als CNV wird eine langsame Potentialschwankung bezeichnet, die aus den beiden Komponenten Orientierung und Vorbereitung der motorischen Ausführung besteht. Ein Vergleich der Daten mit jenen aus der Schützenstudie ist nicht möglich, da andere Auswertestrategien angewendet wurden. Dennoch ist die in dieser Arbeit durchgeführte ERP-Analyse als Voraussetzungsprüfung neben der unterschiedlichen Operationalisierung, bezogen auf bestehende EEG-Studien im Sport, ein weiterer positiv hervorzuhebender Faktor für die Stärke dieser Arbeit.

#### **4.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse**

Im Rahmen dieser ersten Studie wurden drei Hypothesen sowie eine Fragestellung zum Zusammenhang des neuronalen Korrelats von fokussierter Aufmerksamkeit mit den leistungsbezogenen Parametern aufgestellt. Die erste Hypothese postuliert eine allgemeine Powerzunahme vor der Schussauslösung in den Frequenzbändern Alpha und Theta. Um dies zu überprüfen, wurden die letzten vier Sekunden des Zielvorganges herangezogen und in Sekundenintervalle eingeteilt. Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Anstieg der Powerwerte sowohl im Alpha- als auch im Theta-Frequenzband mit den höchsten Werten zum Zeitpunkt t<sub>4</sub>, der letzten Sekunde vor Schussauslösung. Daher kann die erste Hypothese bestätigt werden. Dieses Ergebnis geht einher mit früheren EEG-Studien, wie etwa im Gewehrschießen bei Haufner et al. (2000), wo eine Powerzunahme im Alpha-Frequenzbereich bei Experten beobachtet wurde. Kerick et al. (2004) berichten in ihrer Trainingsstudie mit unerfahrenen Sportpistolenschützinnen und -schützen, dass diese nach einem mehrwöchigen Training auch eine generelle Alpha-Powerzunahme zeigen. Bezüglich des Poweranstieges im Theta sind die Daten vergleichbar mit der Gewehrschützenstudie von Doppelmayr et al. (2008). Diese fanden einen Anstieg im frontalen Theta nur bei Experten, nicht jedoch bei Novizen. Im letzten Zeitpunkt vor der Schussabgabe unterschied sich dort die Power im frontalen Midline-Theta auch signifikant zwischen der Experten- und der Novizengruppe. Da Theta den dominierenden Rhythmus des Hippocampus darstellt, wird er auch mit effizienter kognitiver Verarbeitung und dem Gedächtnis assoziiert. Wie schon von Bösel (2001) berichtet, konnte Theta in verschiedenen Experimenten in Bezug zum Lernfortschritt gesetzt werden (Lang, Lang, Diekmann & Kornhuber, 1987; Anokhin, Lutzenberger & Birbaumer, 1999). Eine Powerzunahme im Alpha-Band geht mit der Unterdrückung verbal-analytischer Prozesse einher (Klimesch, 1999). Im Schießsport spiegelt der Poweranstieg die fokussierte Vorbereitung auf den Schuss wider, wobei die letzte Sekunde vor Schussauslösung ein sehr wichtiger Zeitpunkt zu sein scheint, in dem sich die höchsten Powerwerte zeigen. Die Ergebnisse mit dem drastischen Anstieg zum Zeitpunkt t<sub>4</sub> legen nahe, den Zielvorgang aufzuteilen bzw. diesen Zeitraum für weitere Analysen zu verwenden. Daher wurde für spätere Analysen nur mehr mit dem Zeitpunkt t<sub>4</sub> (letzte Sekunde vor der Schussabgabe) weitergearbeitet. Auch in folgenden Studien wäre eine solche Diskrimination wünschenswert. In einer Studie von Kim et al. (2008) wurde der Zielvorgang beim Bogenschießen untersucht. Dort wurden zwar Unterschiede in der kortikalen Aktivierung

zwischen Experten und Novizen in einer Bogenschieß-Zielsimulation gefunden, jedoch wurde nur der gesamte Zielzeitverlauf (drei oder sechs Sekunden) betrachtet und diesbezüglich keine Unterteilung durchgeführt.

Ob es zwischen dem neuronalen Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit und den leistungsbezogenen Parametern Zusammenhänge gibt, wurde in den Hypothesen 2 (für das frontale Theta) und 3 (für die beiden Alpha-Frequenzbänder im temporalen und parietalen Bereich) überprüft. Es wurde angenommen, dass eine erhöhte Power im frontalen Theta-Frequenzband auch mit besseren Werten in den leistungsbezogenen Parametern einhergeht. Dies konnte jedoch weder für die Elektrode Fz noch für die anderen umliegenden Elektroden bzw. deren Mittelung gezeigt werden. Es gibt zwar vereinzelte Zusammenhänge, diese sind jedoch sehr schwach oder gar in die entgegengesetzte Richtung ausgeprägt, weshalb Hypothese 2 verworfen werden muss. Im Gegensatz dazu zeigen sowohl neurophysiologische (Aftanas & Golocheikine, 2001), als auch sportspezifische Studien (Baumeister et al., 2008; Doppelmayr et al., 2008), einen Zusammenhang zwischen erhöhtem frontalen Theta und einer besseren Leistung und erklären dies im Rahmen der fokussierten Aufmerksamkeit. Zu beachten ist jedoch, dass bisherige Studien zumeist einen Experten-Novizen-Vergleich angestellt haben und sich Theta-Veränderungen zwischen den beiden Personengruppen zeigten. Wie Zusammenhänge zwischen der Aktivierung im Theta-Frequenzband und der Leistung nur bei Experten aussehen, wurde bislang nicht betrachtet. Andere Studien, wie etwa jene von Missonnier et al. (2006), konnten bei der Vorgabe von Aufmerksamkeitsaufgaben zwar eine generelle Powerzunahme feststellen. Zwischen den einzelnen leistungsbezogenen Bedingungen gab es jedoch auch keine Unterschiede im Theta-Frequenzband. Die Ergebnisse der Studie sind am ehesten mit der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Teilstudie zu vergleichen, wo zwar eine Zunahme in der Theta-Power vorhanden ist, diese jedoch nicht mit den leistungsbezogenen Parametern interagiert.

Effekte, die im Theta-Frequenzband ausgeblieben sind, zeigten sich jedoch im Alpha-Frequenzbereich. Dort geht eine höhere Ausprägung in den leistungsbezogenen Parametern mit höheren Powerwerten in temporalen und niedrigen in parietalen Bereichen einher. Hypothese 3 wird somit bestätigt. Dieses Ergebnis ist zum größten Teil im Einklang mit bisherigen Befunden aus dem Sportpistolenschießen (Loze et al., 2001; Kerick et al., 2004;

Del Percio et al., 2008). Gerade geringere parietale Alpha-Werte bei besserer Leistung zeigen sich in Studien abseits der Sportwelt. Gundel und Wilson (1992) führten diesbezüglich EEG-Ableitungen während dreier verschieden schwieriger Gedächtnisaufgaben im Rahmen des Sternberg-Paradigmas durch. Die Ergebnisse zeigen, dass es bei erhöhter Aufgabenschwierigkeit zu einer Reduktion in der parietalen und okzipitalen Alpha-Power kommt. Es liegt daher nahe, dass eine Reduktion im parieto-okzipitalen Alphaband mit dem nötigen Zustand für eine kognitive Prozessverarbeitung einhergeht. Bösel (2001) meint in diesem Zusammenhang, dass sich eine Mobilisierung von Gedächtnisressourcen in einer Einengung der neuronalen Aktivität, besonders im langsamen Alpha-Band, widerspiegelt. Auch Klimesch, Sauseng und Hanslmayer (2007) beschreiben inhibitorische Prozesse, die sie im Zusammenhang mit Alpha berichten.

Abschließend wurde der Frage nachgegangen, ob sich die Erweiterung der leistungsbezogenen Parameter förderlich auf die Beschreibung des neuronalen Korrelates fokussierter Aufmerksamkeit auswirkt. Entgegen der bis dahin gewählten Operationalisierung rein über die Schussleistung wurde diese um die Zielgenauigkeitsparameter des Zielweganalysestern SCATT in der vorliegenden Arbeit erweitert. Dieses System wurde bereits in Studien (u.a. bei Del Percio et al., 2008) verwendet, die Parameter wurden jedoch weder in Bezug zur neuronalen Aktivität noch zum reinen Schussresultat gesetzt. Genau hier setzt die vorliegende Arbeit an und sieht sich als eine Erweiterung der bestehenden Studienlage. Die Hinzunahme der leistungsbezogenen Parameter zeigt eine höhere Varianzaufklärung des neuronalen Korrelats fokussierter Aufmerksamkeit sowohl im Theta- als auch im Alpha-Frequenzband. Die Varianzaufklärungen sind zwar sehr gering, dennoch sind in jedem Regressionsmodell nur die leistungsbezogenen Parameter signifikante Prädiktoren. Im Gesamtmodell zeigt die Schussleistung keinen signifikanten Einfluss auf das neuronale Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit, sehr wohl aber die Zielgenauigkeitsparameter. Interessanterweise hat auch das dreistufige Trainerurteil einen Einfluss auf das Regressionsmodell, auch wenn es in den Korrelationsanalysen keine Zusammenhänge mit diesem gibt. Dies zeigt die Notwendigkeit der Aufnahme anderer leistungsrelevanter Maße in folgenden Studien zu dieser Thematik.

### **4.5.3 Fazit und Ausblick**

Die Erweiterung um leistungsbezogene Parameter scheint nach der Betrachtung der Ergebnisse ein wichtiger Schritt zu sein, um näheren Aufschluss über den neurophysiologischen Prozess beim Zielvorgang im Sportschießen in Hinblick auf das Konstrukt der fokussierten Aufmerksamkeit zu bekommen. Zusammenhänge zwischen den leistungsbezogenen Parametern und den neuronalen Korrelaten von fokussierter Aufmerksamkeit zeigen sich im Alpha-, nicht jedoch im Theta-Frequenzband. Neben den schon angesprochenen Unterschieden im Design – statt Experten-Novizen-Vergleichen wurde nur Experten gewählt –, können ausbleibende Effekte im Theta-Frequenzband auf Folgendes zurückzuführen sein: Mit einem Altersdurchschnitt von knapp 17 Jahren und fünf Jahren Erfahrung im Schießsport waren die teilnehmenden Personen noch relativ jung bzw. noch nicht lange genug im Schießsport tätig, um ihnen Expertenstatus zu attestieren (Ericsson, 2003; Helsen et al., 1998). Es ist daher möglich, dass gewisse neuronale Aktivitätsmuster noch zu wenig entwickelt waren. Ebe und Homma (2002) beschreiben, dass im Alter von 15 bis 20 Jahren die EEG-Tätigkeit in das typische Erwachsenen-EEG übergeht. Obwohl mit durchschnittlich neun Ringen pro Schuss für diesen Altersbereich auf Resultatebene schon sehr gute Ergebnisse erzielt wurden, kann es dennoch sein, dass die neurophysiologischen Prozesse in Hinblick auf fokussierte Aufmerksamkeit bei dieser Altersgruppe noch nicht ganz ausgebildet sind.

Neben dem ungewohnten Untersuchungssetting mit EEG-Haube und Verkabelung könnte die vorgegebene Zahl von 60 Schüssen statt der in einem Nachwuchswettkampf üblichen 40 ebenfalls eine Rolle spielen. Vergleiche zwischen den sechs Serien, die keine resultatsbezogenen Unterschiede zeigen, lassen diesen Schluss jedoch nicht zu. Es wäre zwar möglich, dass die jungen Athletinnen und Athleten ihre Müdigkeit bzw. einen Einbruch der Aufmerksamkeit über die erlernte Technik kompensieren. Um dies zu erkennen, sollte sich eine Veränderung im Theta- oder Alpha-Frequenzband mit der Anzahl der abgegebenen Schüssen zeigen. Diesbezügliche Korrelationsanalysen liefern jedoch keine signifikanten Ergebnisse.

Somit bleibt der geringe Erfahrungsgrad als potentielle Erklärung für die ausgebliebenen Zusammenhänge zwischen dem neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit im Theta und den leistungsbezogenen Parametern. Den erfahreneren Sportlerinnen und Sportlern fällt es möglicherweise leichter, sich in einen konzentrierten Zustand zu begeben und sich weniger von störenden Einflüssen ablenken zu lassen. Neben der Präsenz des Trainers dürfte die Anwesenheit von zumindest zwei unbekanntem Personen als Untersuchungsleiter sowie die Verkabelung eine außergewöhnliche Situation für die Nachwuchssportler/innen bewirkt haben. Auch der stetige Abgleich der Leistung mit dem am Monitor gezeigten Resultat, dürfte die Voraussetzungen, in einen Flow-Zustand zu kommen, deutlich geschmälert haben. Diesbezüglich werden in einer Folgestudie erfahrenere Athletinnen und Athleten im Rahmen einer besonderen Bedingung, die es ihnen eher erlauben sollte, in einen Flow oder flowähnlichen Zustand zu kommen, betrachtet.



## 5 Studie II – Sportschießen Pistole ohne Ergebnisrückmeldung

### 5.1 Einleitung

Nachdem in einer ersten Studie im Sportpistolenschießen bereits einige Indizien über den Zusammenhang leistungsbezogener Parameter mit dem neuronalen Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit erfasst wurden, sollte eine zweite Studie nähere Details über die Rolle von ausbleibendem Feedback bringen. Besonders an der zweiten Erhebung war, dass diese ohne Ergebnisrückmeldung durchgeführt wurde. Für gewöhnlich ist es den Sportschützinnen und -schützen erlaubt, nach jedem Schuss sofort auf einen links oder rechts neben ihnen angebrachten Monitor zu sehen, um ihr Schussresultat abzulesen (siehe Abbildung 19). In der vorliegenden Studie II wird überprüft, wie sich die komplette Wegnahme des ergebnisorientierten Feedbacks (KR) und nur eine geringe Rückmeldung über den Verlauf (KP) auf die neuronalen Korrelate von fokussierter Aufmerksamkeit auswirken. Es wird angenommen, dass erfahrene Sportler/innen durch die Wegnahme der Ergebnisrückmeldung leichter in einen flowähnlichen Zustand kommen, als dies beim ständigen Abgleich mit dem Schussresultat der Fall wäre.



Abbildung 19. Typischer 10-Meter Luftpistolensstand mit Rückmeldemonitor (links vom Schützen)

## 5.2 Hypothesen

### **Hypothesen 1 und 2: Frontale Midline-Theta-Effekte**

Wie bereits beschrieben, wird davon ausgegangen, dass eine längere Erfahrung im Schießsport und die besondere Bedingung ohne Ergebnisrückmeldung („Knowledge of Result“) es den Sportlerinnen und Sportlern erleichtern sollte, in einen Flow-Zustand zu kommen (vgl. Csikszentmihalyi & Jackson, 2000). Die Schützin/der Schütze sollte daher ihre/seine Aufmerksamkeit vermehrt auf die Schussausführung richten und sich leichter in einen höchst konzentrativen Zustand begeben, als das der Fall wäre, bekäme sie/er nach jedem Schuss sofort das Ergebnis rückgemeldet. Da sich die Schützin/der Schütze somit auch mehr auf ihr/sein Gefühl verlassen kann, wird angenommen, dass ein Zustand fokussierter Aufmerksamkeit leichter erreicht werden kann. Dies sollte sich in einer erhöhten frontalen Midline-Theta-Power widerspiegeln (Baumeister et al., 2008; Doppelmayr et al., 2008). Darauf aufbauend wird folgende Hypothese formuliert:

**H1:** Eine höhere Power im frontalen mittleren Theta-Bereich geht mit einer höheren Ausprägung in den leistungsbezogenen Parametern einher.

### **Hypothese 2: Selbsteinschätzung und Zusammenhang mit neurophysiologischer Aktivität**

Um Aufschluss über die Selbsteinschätzung der Leistung der Schützin/des Schützen zu bekommen, wurden die Athletinnen und Athleten – analog zu der Trainerbeurteilung in Studie I – nach jedem Schuss gebeten, eine verbale Beurteilung von 1 (guter Schuss), 2 (mittlerer) oder 3 (schlechter) abzugeben. Es wird davon ausgegangen, dass eine erfahrene Schützin/ein erfahrener Schütze in der Lage ist, zu beurteilen, wie konzentriert sie/er war und ob dies zu einer erfolgreichen Schussausführung geführt hat. Daher wird angenommen, dass die Selbsteinschätzung mit der neurophysiologischen Aktivität zusammenhängt und diesbezüglich folgende Hypothese formuliert:

**H2:** Je höher die Selbstbeurteilung der Leistung, desto höher ist die Power im frontalen mittleren Theta.

## Fragestellungen zur Alpha-Frequenz

Zusätzlich zur Theta-Frequenz sollten auch für die beiden Alpha-Frequenzbänder Zusammenhänge zwischen der Alpha-Aktivierungsveränderung und den leistungsbezogenen Parametern betrachtet und überprüft werden. Dabei soll auch die Frage beantwortet werden, wie Selbst- und Fremdeinschätzungen der Leistung mit den Aktivitätsmustern in der Alpha-Frequenz in den unterschiedlichen Arealen zusammenhängen.

## 5.3 Methode

### 5.3.1 Untersuchungsteilnehmer/innen

Insgesamt nahmen 17 Kaderathletinnen und -athleten aus der Trainingsgruppe Bayern an der Datenerhebung teil (11 männliche und sechs weibliche Schützen). Kein/e Schützin/Schütze aus der Studie I war Teilnehmer/in der zweiten Studie. Der Altersbereich lag zwischen 15 und 43 ( $M = 22.88$ ,  $SD = 8.36$ ), im Mittel waren die Teilnehmer/innen seit gut zehn Jahren als Schützin oder Schütze tätig ( $M = 10.67$ ,  $SD = 8.35$ ) und seit knapp sieben Jahren einem Kader zugehörig ( $M = 6.87$ ,  $SD = 7.25$ ). In allen drei Bereichen weisen die Teilnehmer/innen der zweiten Studie – auch nach Korrektur aufgrund einer Voraussetzungsverletzung – signifikant höhere Werte auf als jene der ersten Studie (Alter:  $t_{18.86} = -2.83$ ,  $p < .05$ ,  $d = .27$ ; Erfahrung im Schießsport:  $t_{15.06} = -2.74$ ,  $p < .05$ ,  $d = 1.18$ ; Erfahrung im Kader:  $t_{14.88} = -2.24$ ,  $p < .05$ ,  $d = .25$ ), was in Tabelle 16 ersichtlich ist.

Tabelle 16

*Gegenüberstellung der Stichproben aus den beiden Schützenstudien mit Mittelwerten und Standardabweichungen*

	<b>Teilnehmer/in*</b>	<b>Alter</b>	<b>Erfahrung Schießsport</b>	<b>Erfahrung Kader</b>
Studie I	20 (13 ♂ / 7 ♀)	16.89 (2.64)	4.67 (1.83)	2.61 (1.24)
Studie II	17 (11 ♂ / 6 ♀)	22.88 (8.11)	10.67 (8.08)	6.87 (7.00)

\*Die Anzahl ergibt sich aus den Gesamtteilnehmerinnen und -teilnehmern zu Studienbeginn, später wurden in Studie I eine Person und in Studie II drei Personen ausgeschlossen.

Abgesehen von zwei Teilnehmern, die nicht für die weiteren Datenanalysen berücksichtigt wurden, benutzten die restlichen Sportler/innen die rechte Hand als Schusshand. Die Auswahl der teilnehmenden Sportler/innen sowie die Terminabsprache erfolgten durch den Landestrainer. Wie in Studie I kann man daher nicht von einer zufällig gezogenen Stichprobe sprechen, sondern es handelt sich um eine Stichprobe nach Verfügbarkeit. Die Teilnehmer/innen erhielten wiederum keine finanzielle Belohnung, aber dieselbe Rückmeldung über die Zielgenauigkeit wie in Studie I.

### **5.3.2 Untersuchungsvariablen**

Es wurden überwiegend dieselben Untersuchungsvariablen wie in Studie I verwendet (vgl. 4.3.2). Diese sind wie folgt:

- Relative neurophysiologische Aktivität (siehe Kapitel 4.3.5 auf S. 52)
- Schussresultat (1-10)
- Leistungsbezogene Parameter (SCATT)
  - Zielzeit
  - Prozent der Zielzeit in 10.0 und besser
  - Prozent der Zielzeit in 10.5 und besser
  - Länge des Zielweges
  - Abstand zwischen mittlerem Zeitpunkt und tatsächlichem Schuss
- Dreistufige Fremdeinschätzung durch den Bundestrainer (1 ... gut, 2 ... mittel, 3 ... schlecht)
- Dreistufige Selbsteinschätzung (Ordinalskalenniveau)
  - Zusätzlich wurde analog zur dreistufigen Trainereinschätzung eine dreistufige subjektive Einschätzung der Athletin/des Athleten (1 ... guter, 2 ... mittlerer und 3 ... schlechter Schuss) direkt nach jedem Schuss erhoben.

### **5.3.3 Untersuchungsmaterial**

Die Datenerhebung wurde in ähnlicher Weise wie in Studie I durchgeführt. Folgende technischen Hilfsmittel und Fragebögen, die bereits in Kapitel 4.3.3 beschrieben wurden, wurden dabei verwendet:

*Professionelles Zielweganalysestystem (SCATT)*

*EEG-Setup*

*Fragebogen zur Erfassung der Ausgangslage (FAL)*

*Soziodemographische Angaben und Erfahrung mit der Sportart*

Auf die Fragen der subjektiven Einschätzung der Aufmerksamkeit wurde verzichtet, da es sich um dasselbe Setting wie in Studie I handelte und diese dort auch nicht für die weitere Datenauswertung verwendet wurden.

### 5.3.4 Untersuchungsdurchführung

Die Datenerhebung fand an unterschiedlichen individuellen Terminen im Schießsportzentrum Garching Hochbrück im November 2011 statt. Die teilnehmenden Personen wurden ohne andere störende Einflüsse einzeln an einem 10-Meter-Luftpistolenschießstand getestet. Der Ablauf unterschied sich von der Studie I nur insofern, dass die Athletinnen und Athleten 80 Schüsse in 120 Minuten abgeben mussten, während es 60 Schüsse in 90 Minuten in Studie I waren. Die Erweiterung der Schussanzahl wurde aufgrund einer Anpassung an die erfahrenere Stichprobe im Sinne einer Vergleichbarkeit zur Studie I gewählt. Die Nachwuchsathletinnen und -athleten aus Studie I waren es gewohnt, in einem Wettkampf 40 Schüsse abzugeben, mussten in der Simulation jedoch 60 Schüsse abfeuern. Daher wurde die Anzahl für Studie II analog zur Studie I von den 60 üblichen auf 80 Schüsse erhöht. Die Besonderheit der zweiten Studie war, dass keine Rückmeldung des Ergebnisses erfolgte. Ungewöhnliche Streuungen im Trefferbild, die durch ein mechanisches Problem mit der Luftpistole resultierten, wurden vom anwesenden Trainer in den Pausen zwischen den 10er-Serien rückgemeldet. Insgesamt ergab sich eine mittlere Gesamtdauer der Studie von drei Stunden. Zur Übersichtlichkeit über den Ablauf finden sich die einzelnen Punkte in Abbildung 20.



Abbildung 20. Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufes der Studie II mit Zeitangaben in Minuten

### **5.3.5 Datenanalyse**

Auch an der Datenanalyse und -aufbereitung gibt es keine Veränderungen zu Studie I (vgl. Abschnitt 4.3.5), außer dass auf die Berechnungen der individuellen Alpha-Frequenz verzichtet wurde und von selbigem Range für das untere (8-10) und obere Alphaband (10-12 Hz) wie in Studie I ausgegangen wird. Da es sich auf Basis der Ergebnisse aus Studie I bewährt hat, mit dem Zeitfenster eine Sekunde vor Schussauslösung zu arbeiten, wird dieses auch für die folgende Ergebnisdarstellung verwendet.

## **5.4 Ergebnisse**

### **5.4.1 Behaviorale Daten**

#### **5.4.1.1 Physische Voraussetzungen der Teilnehmer**

Wie die Athletinnen und Athleten vor Beginn der Untersuchungsdurchführung angaben, haben diese in der vorangegangenen Nacht im Schnitt sieben Stunden ( $M = 7:14$ ,  $SD = 1:05$  h) geschlafen, was auch ungefähr deren normal angegebenem Ausmaß an Schlaf entspricht ( $M = 7:31$ ,  $SD = 1:05$  h). In weiterer Folge hat keiner der Teilnehmer/innen in den letzten acht Stunden alkoholische Getränke zu sich genommen und auch nicht geraucht. Nahezu idente Voraussetzungen zeigten sich in Studie I, weshalb man auch hier davon ausgehen kann, dass gute Bedingungen für die Durchführbarkeit einer EEG-Studie in Hinblick auf die individuellen physischen Voraussetzungen gegeben sind.

#### **5.4.1.2 Schussresultat**

Bei 80 vorgegebenen Schüssen wurde im Mittel eine Gesamtringzahl von 740.40 ( $SD = 33.42$ ) erreicht. Die Schusswerte für männliche Athleten ( $M = 754.67$ ,  $SD = 17.94$ ) sind dabei signifikant höher als jene bei weiblichen Athleten ( $M = 719.00$ ,  $SD = 41.18$ ,  $t_{13} = 2.32$ ,  $p < .05$ ,  $d = .30$ ). Dies ergibt sich durch die niedrigen Schusswerte einer Athletin, die im Schnitt pro Serie zehn Ringe weniger als die restliche Stichprobe erzielte. Ohne diese Sportlerin zeigt sich nur noch eine tendenzielle Signifikanz von  $p = .084$ . Eine genauere Betrachtung der Daten zeigt, dass die Werte dieser Athletin drastisch von der restlichen Stichprobe abweichen. Daher werden ihre Daten für weitere Analysen nicht mehr berücksichtigt. Somit beträgt die Anzahl der teilnehmenden Personen für die folgende Datenanalyse und -auswertung 14.

Wie auch in einem Wettkampf üblich, wurden die 80 Schüsse in acht Serien zu jeweils zehn Schüsse betrachtet (siehe Tabelle 17), um Aufschlüsse bezüglich Formschwankungen, Müdigkeit etc. zu erhalten. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass sich die acht Serien diesbezüglich nicht voneinander unterscheiden ( $F_{7,91} = 1.21$ ,  $p = .304$ ,  $\eta_p^2 = .09$ ). Über alle Serien hinweg wurde durchschnittlich eine Ringzahl von 93 erreicht, was vier Ringe pro Serie mehr als in Studie I bedeutet.

Tabelle 17

*Schussresultate der Studie II in acht Serien zu je zehn Schüssen*

<b>Serie</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>SD</b>
1	92.64	3.34
2	93.64	2.62
3	93.71	2.95
4	93.36	3.03
5	92.86	4.24
6	92.64	4.48
7	94.00	3.26
8	94.14	2.60

Von den insgesamt 936 in Studie II abgegebenen Schüssen erreichten 437 den Höchstwert von 10 Ringen, was einem Prozentsatz von 46.7 ergibt. Im Vergleich lag der prozentuale Anteil an Schüssen in den Scheibenmittelpunkt in Studie I bei 31.4 Prozent (317 aus 1011 Schüssen). Zusammengefasst kann gesagt werden, dass in Studie II fast die Hälfte aller Schüsse genau im Scheibenmittelpunkt landen, hingegen in Studie I nur jeder dritte Schuss. Darüber hinaus unterscheiden sich die mit dem Zielweganalyssystem SCATT erhobenen leistungsbezogenen Parameter in den beiden Studien signifikant voneinander. Wie man in Tabelle 18 erkennen kann, erreichten die erfahreneren Teilnehmer/innen aus Studie II bessere Werte in den Zielgenauigkeitsparametern als jene aus Studie I. Neben dem höheren Durchschnittswert des Schussresultats zeigen sich höhere Werte in den Prozentsätzen des Verweilens in der Mitte der Scheibe (10.0 und 10.5) sowie niedrigere Werte in Länge und Abstand, was mit einer besseren Leistung einhergeht. Auch für das Zielen haben die erfahreneren Sportler/innen länger benötigt als die Nachwuchsathletinnen und -athleten.

Tabelle 18

*Ergebnisse der t-Tests samt Mittelwerten und Standardabweichungen der SCATT-Parameter je Studie (I und II)*

<b>SCATT-Parameter</b>	<b>Studie I</b>	<b>Studie II</b>	<b>t</b>	<b>df</b>	<b>p</b>
Schusswert	9.34 (1.10)	9.78 (0.70)	-11.08	1688.64*	.000
Zielzeit	6.39 (3.04)	7.31 (3.09)	-7.09	2235	.000
10.0	26.47 (21.24)	38.45 (23.70)	-12.57	2188.63*	.000
10.5	7.32 (8.80)	11.21 (10.93)	-9.24	2105.11*	.000
Länge	157.49 (57.70)	136.06 (44.73)	9.83	2135.35*	.000
Abstand	11.98 (8.44)	9.01 (5.30)	10.02	1925.61*	.000

\* Varianzhomogenität nicht gegeben

#### **5.4.1.3 Zusammenhänge der leistungsbezogenen Parameter**

Wie in Studie I wurden auch in Studie II die leistungsbezogenen Parameter miteinander korreliert. Zur Berechnung wurden Pearson- und Spearman-Rho-Korrelationsanalysen verwendet. Tabelle 19 zeigt einen gering negativen Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung und des Schusswertes. Dies bedeutet, dass ein höherer Schusswert auch besser von den Schützinnen und Schützen eingeschätzt wurde, ohne dass diese diesen mitgeteilt bekamen. Wenn man sich den Wert von  $\rho(1119) = -.219$  ansieht, dann liegt es nahe, dass die Einschätzung ohne Ergebnisrückmeldung nicht so einfach möglich ist. Die Vergleiche mit den leistungsbezogenen Parametern liefern auch keine höheren Zusammenhänge.



Tabelle 19

Korrelationsanalysen zwischen den leistungsbezogenen Parametern in Studie II

	Schusswert	Selbsteinschätzung	Trainerurteil	SCATT-Parameter			
				Zielzeit	10.0	10.5	Länge
Selbsteinschätzung	-.219						
Trainerurteil	-.538	.514					
Zielzeit		-.139					
10.0	.361	-.108	-.337				
10.5	.280		-.292		.841		
Länge	-.316		.189	.196	-.335	-.268	
Abstand	-.483	.176	.307		-.305	-.236	.311

Alle berichteten Korrelationen  $< p = .002$  (Alpha-Fehlerkorrektur bei 28 Tests). Spearman-Rho-Korrelationen für alle Zusammenhangsüberprüfungen mit dem Schützen- und Trainerurteil, sonst Pearson-Korrelationen. Zusammenhänge unter  $r/\rho$  von .100 sowie  $p$ - und  $df$ -Werte sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht angeführt.

Die Beurteilung des Trainers korreliert um einiges höher mit dem Schusswert und dieser hängt bis auf die Zielzeit mit allen leistungsbezogenen Parametern zusammen, wobei alle Werte geringer als der Zusammenhang mit dem Trainerurteil von  $\rho(1119) = -.538$  ausfallen. Die beiden Beurteilungen des Trainers und der Schützinnen und Schützen hängen auch moderat positiv zusammen, was bedeutet, dass Schüsse, die vom Trainer als gut oder schlecht eingeschätzt wurden, auch von den Athletinnen und Athleten ähnlich bewertet wurden. Die Zusammenhänge zwischen den leistungsbezogenen Parametern, die via SCATT erhoben wurden, sind ähnlich jenen in Studie I.

#### 5.4.2 Behaviorale Daten in Kombination mit neurophysiologischen Daten

##### HYPOTHESEN 1 und 2:

Um zu überprüfen, ob eine höhere frontale Theta-Power auch mit höheren Werten in den leistungsbezogenen Parametern einhergeht, wurden Pearson-Korrelationsanalysen für die letzte Sekunde vor der Schussabgabe berechnet. Sowohl für die Theta-Power auf Fz als auch für die gemittelte frontale Theta-Power zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge mit dem Schusswert und den leistungsbezogenen Parametern.

Einzelne signifikante Zusammenhänge gibt es jedoch auf der Elektrodenposition FC1 zu berichten. Die Power im Theta-Frequenzband korreliert dort positiv mit der benötigten Zielzeit ( $r_{1045} = .206, p < .001$ ) und der Länge ( $r_{1045} = .154, p < .001$ ). Dies bedeutet, dass ein Anstieg im frontalen mittleren Theta mit einem längeren Zielen und einer geringeren Zielweggenauigkeit einhergeht.

In dieselbe Richtung gehende Effekte zeigen sich, wenn man die Powerveränderung, ähnlich der Berechnung von ERD/S, in den letzten vier Sekunden vor Schussabgabe betrachtet (Power in t4 – Power in t1) und diese mit den leistungsbezogenen Parametern korreliert. Wie man in Tabelle 20 erkennen kann, zeigen sich wiederum ein positiver Zusammenhang mit der Zielzeit und Tendenzen eines Zusammenhangs mit den Zielgenauigkeitsparametern.

Tabelle 20

*Korrelationstabelle zwischen der veränderten Theta-Power mit den behavioralen Daten in Studie II*

F <sub>t4-t1</sub>	Schusswert	Zielzeit	10.0	10.5	Länge	Abstand
<i>r</i>	-.010	.123**	.074*	.060	.064	.062
<i>p</i>	.756	.000	.023	.066	.052	.058
<i>df</i>	935	935	935	935	935	935

\*\*  $p < .008$  (Alpha-Fehlerkorrektur bei 6 Tests) \*  $p < .05$ .

Auf Basis dieser Ergebnisse kann Hypothese 1, die einen Zusammenhang zwischen der Power im Theta-Frequenzband und den leistungsbezogenen Parametern postuliert, nicht bestätigt werden.

Hinsichtlich Hypothese 2 wurden Spearman-Rho-Korrelationsanalysen zwischen der frontalen mittleren Theta-Power mit der Fremdeinschätzung des Trainers und der Selbsteinschätzung berechnet. Weder bei der Betrachtung des Zeitraumes t4 eine Sekunde vor Schussabgabe (Theta X Trainer:  $\rho_{935} = -.020, p = .550$ ; Theta X Selbst:  $\rho_{935} = -.022, p = .498$ ) noch hinsichtlich der Power-Differenz zwischen t4 und t1 (Theta X Trainer:  $\rho_{935} = -.015, p = .655$ ; Theta X Selbst:  $\rho_{935} = -.027, p = .411$ ) zeigen sich signifikante Zusammenhänge. Zwischen den Einschätzungen und der frontalen mittleren Theta-Power gibt es somit keinen Zusammenhang, weshalb Hypothese 2 nicht bestätigt werden kann.

### Veränderungen in den Alpha-Frequenzbändern

Analog zur Theta-Power soll auch für die Alpha-Power ein Zusammenhang zwischen dieser und der Selbsteinschätzung betrachtet werden. Dazu wurden Spearman-Rho-Korrelationsanalysen für die vier Regionen für beide Alpha-Bereiche gerechnet. Signifikante Zusammenhänge zeigen sich nur im unteren Alpha-Band für die Selbsteinschätzung und der Power im temporalen Bereich ( $\rho_{832} = .096$ ,  $p = .006$ ). Im oberen Alpha-Powerbereich ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge mit den Selbst- und Fremdeinschätzungswerten. Zusätzlich wurden auch noch die Zusammenhänge zwischen der Alpha-Power und den anderen leistungsbezogenen Parametern betrachtet und in den Tabellen 21 und 22 dargestellt. Durchgehend konsistente Zusammenhänge zeigen sich vor allem im temporalen Bereich, wo ein höherer Power-Wert mit besseren leistungsbezogenen Parametern zusammenhängt. Umgekehrt verhält es sich für einzelne Zusammenhänge im zentralen und parietalen Bereich, wo eine höhere Power mit schlechteren leistungsbezogenen Daten einhergeht. Okzipital zeigen sich nur im unteren Alphaband signifikante Zusammenhänge, die zwar geringer ausfallen, aber in selbe Richtung gehen wie jene im temporalen Bereich.

Tabelle 21

*Korrelationstabelle zwischen der unteren Alpha-Power und den behavioralen Daten in Studie II*

		Schusswert	Zielzeit	10.0	10.5	Länge	Abstand
<b>TE</b>	<i>r</i>	.002	.238**	.175**	.162**	-.230**	-.113**
	<i>p</i>	.944	.000	.000	.000	.000	.001
	<i>df</i>	832	832	832	832	832	832
<b>CE</b>	<i>r</i>	-.107*	.153**	-.009	.007	.175**	.061
	<i>p</i>	.002	.000	.788	.845	.000	.077
	<i>df</i>	832	832	832	832	832	832
<b>PA</b>	<i>r</i>	-.060	.113**	.029	.056	.072*	.019
	<i>p</i>	.083	.001	.411	.107	.038	.593
	<i>df</i>	832	832	832	832	832	832
<b>OK</b>	<i>r</i>	.098*	.019	.132**	.086*	-.140**	-.058
	<i>p</i>	.005	.589	.000	.013	.000	.096
	<i>df</i>	832	832	832	832	832	832

\*\*  $p < .002$  (Alpha-Fehler Korrektur bei 28 Tests). \*  $p < .05$ .  
TE: temporal, CE: zentral, PA: parietal, OK: okzipital.

Tabelle 22

Korrelationstabelle zwischen der oberen Alpha-Power und den behavioralen Daten in Studie II

		Schusswert	Zielzeit	10.0	10.5	Länge	Abstand
<b>TE</b>	<i>r</i>	.042	.220**	.158**	.132**	-.267**	-.096*
	<i>p</i>	.223	.000	.000	.000	.000	.005
	<i>df</i>	845	844	844	844	844	844
<b>CE</b>	<i>r</i>	-.102*	.144**	-.042	-.011	.233**	.077*
	<i>p</i>	.003	.000	.222	.757	.000	.025
	<i>df</i>	845	844	844	844	844	844
<b>PA</b>	<i>r</i>	-.052	.110**	-.048	-.011	.134**	.062
	<i>p</i>	.131	.001	.161	.743	.000	.074
	<i>df</i>	845	844	844	844	844	844
<b>OK</b>	<i>r</i>	.086*	.042	.062	.026	-.098*	.009
	<i>p</i>	.012	.223	.071	.458	.005	.793
	<i>df</i>	845	844	844	844	844	844

\*\*  $p < .002$  (Alpha-Fehler Korrektur bei 28 Tests). \*  $p < .05$ .  
TE: temporal, CE: zentral, PA: parietal, OK: okzipital.

### 5.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der zweiten Studie auf Basis der aufgestellten Hypothesen und der Fragestellung wird in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23

Überblick über die Überprüfung der einzelnen Hypothesen und der Fragestellungen der Studie II

Hypothese	Aussage	Bestätigt ✓ oder X
H1	Bessere leistungsbezogene meter = höhere Theta-Power	X
H2	Höhere Theta-Power bei besser eingeschätzten Schüssen	X
Fragestellung	Zusammenhänge zwischen dem Alphaband und leistungsbezogenen Parametern	Höchste Zusammenhänge in der (unteren) temporalen Alpha-Power, dort auch mit Selbsteinschätzung, sonst ident zu Studie I

## **5.5 Diskussion**

Studie II wurde aufbauend auf den ausbleibenden Zusammenhang zwischen dem frontalen Theta als neuronales Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit und den leistungsbezogenen Parametern durchgeführt. Diesbezüglich wurden wiederum EEG-Ableitungen im Luftpistolenschießen durchgeführt, die jedoch verglichen mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern in Studie I älter und erfahrener waren. Zusätzlich kam hinzu, dass die erfahrenen Athletinnen und Athleten keine direkte Rückmeldung ihres Ergebnisses bekamen. Dies sollte die Wahrscheinlichkeit erhöhen, einen Zustand höchster konzentrativer Versenkung zu erreichen, welcher für den Flow-Zustand unabdingbar ist (vgl. Csikszentmihalyi & Jackson, 2000; Harmison, 2011). Darüber hinaus war es Aufgabe der Studienteilnehmer/innen, nach jedem Schuss eine dreistufige verbale Einschätzung über die Schussqualität, ident zu jener Einschätzung des Bundestrainers in Studie I, zu geben.

### **5.5.1 Beurteilung der Studienvoraussetzungen**

Die Teilnehmer/innen der zweiten Studie sind im Schnitt sechs Jahre älter und weisen sechs Jahre mehr Erfahrung mit der Sportart auf als die Teilnehmer/innen der Studie I. Auch die Zugehörigkeit zum Kader ist um vier Jahre länger, als dies bei den Athletinnen und Athleten in Studie I gegeben war. Neben den Unterschieden in den demographischen Daten erzielten die erfahreneren Sportler/innen auch höhere Leistungen hinsichtlich der Zielgenauigkeitsparameter und des Schussresultates. Verglichen mit den Nachwuchssportlerinnen und -sportlern aus Studie I waren die Werte pro Serie von zehn Schüssen durchschnittlich um vier Ringe erhöht. Die Tatsache, dass bei den erfahreneren Schützinnen und Schützen aus Studie II fast die Hälfte aller Schüsse im Scheibenmittelpunkt landete und bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus Studie I nur jeder dritte Schuss, ist ein Indikator, dass die Stichprobe hinsichtlich des Erfahrungsgrades gut gewählt wurde. Bei mehr als zehn Jahren Erfahrung im Schießsport lässt sich von einer sportartspezifischen Expertise sprechen (Ericsson, 2003; Helsen et al., 1998).

### 5.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Nachdem sich in Studie I schon erwartete Powerzunahmen im Zielvorgang gezeigt haben, wurden in Studie II die neuronale Aktivität in der letzten Sekunde vor Schussabgabe analysiert und die Zusammenhänge für diesen Bereich berichtet.

Die im Rahmen der ersten Hypothese erwarteten Zusammenhänge zwischen höheren leistungsbezogenen Parametern und einer höheren frontalen Theta-Power konnten nicht bestätigt werden. Der einzig konstante Zusammenhang ergab sich zwischen der Theta-Power und der Zielzeit. Eine Powerzunahme im frontalen Theta geht somit mit einer länger benötigten Zeit fürs Zielen einher. Bereits in der Diskussion der Studie I wurde die Rolle der Zielzeit als Leistungsindikator besprochen. Aussagen, ob eine längere oder kürzere Zeit leistungsdienlicher ist, können mit den vorliegenden Ergebnissen nicht getroffen werden. Eine analoge Teilung des Schussresultates am Median von 9.9 wie in Studie I ergab wiederum keine Unterschiede zwischen den besseren ( $M = 7.07$ ,  $SD = 2.86$ ) und den schlechteren ( $M = 7.41$ ,  $SD = 3.30$ ) Schüssen ( $t_{848.15} = -1.65$ ,  $p = .10$ ,  $d = .11$ ). Auffällig ist jedoch, dass die erfahreneren Teilnehmer/innen der Studie II durchschnittlich eine Sekunde länger für den Zielprozess benötigten als jene in Studie I. Ein Vergleich zu den bisherigen EEG-Studien hinsichtlich der Einordnung des Parameters Zielzeit ist nicht möglich, da für diese immer nur ausgehend vom abgegebenen Schuss rückgerechnet und keine Vergleiche angestellt wurden. Weder zwischen Experten und Novizen (Doppelmayr et al., 2008; Del Percio et al., 2009) noch zwischen guten und schlechten Schüssen (Loze et al., 2001) wurden Unterschiede in der benötigten Zielzeit berichtet. Die Rolle der Zielzeit als Leistungsindikator wurde erstmals in der vorliegenden Studie verwendet. Da die Befundlage diesbezüglich unklar ist, sollte die benötigte Zeit fürs Zielen daher in Folgestudien stärker im Fokus stehen.

In Hypothese 2 wurde von einem Zusammenhang der Selbst- und Fremdbeurteilung mit einem erhöhten frontalen Theta ausgegangen. Es wurde erwartet, dass die Schützin/der Schütze selbst einschätzen kann, wann ihr/ihm ein Schuss besonders gut gelungen ist und somit ihre/seine fokussierte Aufmerksamkeit erhöht ist, was sich in der Powerzunahme im Theta-Frequenzband zeigen sollte. Die durchgeführten Korrelationsanalysen brachten jedoch keine signifikanten Ergebnisse. Weder die Einschätzung der Athletin/des Athleten selbst noch die Fremdeinschätzung der Schussqualität durch den Bundestrainer hängen mit der neuronalen Aktivität im frontalen Theta als Indikator für fokussierte Aufmerksamkeit

zusammen. Ein möglicher Grund für ausbleibende Effekte könnte die Tatsache sein, dass Athletinnen und Athleten in der Selbsteinschätzung ihrer Leistung deutliche Defizite aufweisen. Neben den äußerst geringen Zusammenhängen zwischen Selbsteinschätzung und tatsächlichem Schussresultat wird dies auch durch die Rückmeldungen der Probandinnen und Probanden nach der Schussaufgabe bestätigt. Von manchen Athletinnen und Athleten wurde geschildert, dass die fehlende Rückmeldung Unsicherheit erzeuge und es ungewohnt sei, die Ergebnisse nicht auf dem Bildschirm rückgemeldet zu bekommen. Es wurde auch berichtet, dass das unmittelbare Feedback wichtig sei, um den folgenden Schuss besser abstimmen zu können. Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass Zusammenhänge zwischen Selbst-/Fremdeinschätzung und dem neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit im Rahmen einer sportartspezifischen Studie das erste Mal überprüft wurden und signifikante Effekte dazu noch ausbleiben, sehr wohl aber wichtige Indizien für den Trainingsprozess vorliegen.

Neben den ausbleibenden Zusammenhängen zwischen der Selbst- und Fremdeinschätzung im Theta-Frequenzband konnte im unteren Alpha-Frequenzband nur im temporalen Bereich ein signifikanter Zusammenhang berichtet werden. Eine bessere Einschätzung der Schussqualität durch die Athletin/den Athleten geht mit einer geringeren Power im temporalen Bereich einher. Aus den Ergebnissen aus früheren Studien (Haufler et al., 2000; Loze et al., 2001) und der Studie I dieser Arbeit würde man jedoch einen anders gerichteten Zusammenhang vermuten, da höhere Powerwerte im temporalen Bereich mit einer besseren Leistung einhergehen. Dies wird auch durch die Zusammenhänge zwischen der neuronalen Aktivität im Alpha-Frequenzband und den leistungsbezogenen Parametern untermauert. Es zeigen sich in selbige Richtung gehende Zusammenhänge wie in Studie I, die teilweise von der Höhe der Zusammenhänge sogar deutlicher ausfallen. Hinsichtlich der Power im Alpha-Frequenzband kann von durchwegs konstanten Effekten gesprochen werden, die sich bereits in früheren Luftpistolen-Studien ergeben haben (Loze et al., 2001; Kerick et al., 2004; Del Percio et al., 2009).

Weder die Einschätzung des Trainers (Studien I und II) noch jene der Athletinnen und Athleten (Studie II) liefern gewinnbringende Aufschlüsse in Hinblick auf das neuronale Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit. Die berichteten Ergebnisse deuten an, dass es auch erfahrenen Athletinnen und Athleten nicht gut gelingt, ihre Leistung einzuschätzen.

Ein besser eingeschätzter Schuss geht zwar mit einem höheren Schussresultat einher. Anzumerken ist hier allerdings der geringe Zusammenhang ( $r = -.20$ ). Zusammenhänge mit den leistungsbezogenen Parametern sind ebenfalls recht gering oder liefern kein signifikantes Ergebnis. Das Trainerurteil auf Basis der leistungsbezogenen Parameter hängt moderat mit diesen, höher mit der Schussleistung und mit  $r = .51$  relativ hoch mit der Einschätzung der Schützinnen und Schützen zusammen. Trotz dieser teilweise vorhandenen Zusammenhänge wäre es für die Hauptfragestellung besser gewesen, zumindest die Selbsteinschätzung durch die Athletin/den Athleten wegzulassen. Die Wahrscheinlichkeit, in einen flowähnlichen Zustand zu kommen wurde zwar durch die Wegnahme der Ergebnisrückmeldung erhöht, es kann jedoch sein, dass die Forderung einer verbalen Beurteilung nach jedem einzelnen Schuss die Sportlerinnen und Sportler gehemmt hat, in einen solchen Zustand zu kommen. Leider wurde von Seiten des Bundestrainers gewünscht, eine solche verbale Einschätzung nach jedem Schuss abzugeben. Dieser war sehr interessiert daran, herauszufinden, wie die Selbsteinschätzung mit dem eigentlichen Resultat, welches nicht direkt dargeboten wurde, zusammenhängt. Obwohl sich dadurch möglicherweise keine Zusammenhänge im Theta-Frequenzband und den leistungsbezogenen Parametern gezeigt haben, legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass sich langjährig erfahrene Schützinnen und Schützen schwer tun, ihr Resultat selbst einzuschätzen.

Die Wegnahme des ergebnisorientierten Feedbacks (KR) im Zusammenhang mit der Thematik der fokussierten Aufmerksamkeit ist mit Sicherheit eine interessante Idee und in dieser Weise einzigartig. Sie dürfte jedoch in dem gewählten Setting mit der verbalen Einschätzung konfundiert sein. Aus experimentalpsychologischer Hinsicht sollten in zukünftigen Studien die Rückmeldungsart (mit KR vs. ohne) sowie die verbale Beurteilung durch die Athletin/den Athleten (eine Rückmeldung vs. keine) inter- oder intrapersonell variieren. Rückblickend betrachtet dürfte die vorgenommene Erweiterung des Untersuchungssettings im Rahmen derselben Sportart zu groß gewesen sein, da sich insgesamt drei Variablen verändert haben. Neben den soeben angesprochenen Variablen, wie der Ergebniswegnahme und der verbalen Einschätzung, war auch noch der Erfahrungsgrad erhöht. Eine diesbezügliche Veränderung sollte in einem sorgfältigen experimentellen Design überprüft werden, um die Effekte eindeutig zuordnen zu können.



### **5.5.3 Fazit und Ausblick**

Trotz Abänderung des experimentellen Settings mit einer älteren und erfahreneren Stichprobe sowie Wegnahme der Ergebnisrückmeldung, können keine signifikanten Zusammenhänge der leistungsbezogenen Parameter und der frontalen Midline-Theta-Power berichtet werden. Es wurde erwartet, dass die Wegnahme des Feedbacks es den Athletinnen und Athleten erleichtert, in einen Flow-Zustand zu kommen. Wahrscheinlich ist das Konstrukt dieses Zustands jedoch viel komplexer zu betrachten als angenommen. Wie man der Auflistung der begünstigenden Faktoren für den Flow-Zustand in Kapitel 2.4.3 entnehmen kann, spielen sehr viele Einflussgrößen eine Rolle. Diese dürften sich auch individuell stark voneinander unterscheiden. Das Auftreten mancher dieser flowförderlichen Komponenten wurde durch das vorherrschende Setting wohl erschwert. Gerade das Aktivierungsniveau dürfte ein entscheidender Faktor sein, um in einen Flow-Zustand zu kommen (Csikszentmihalyi & Jackson, 2000). In der simulierten Wettkampfaufgabe dürfte die körperliche Erregung und Anspannung eine ganz andere als in einem richtigen Wettkampf sein. Die zusätzliche Hinzunahme von sterilen medizinischen Geräten wie dem EEG und die Abänderung der für den Athleten gewohnten Bedingungen stellen keine fördernden Voraussetzungen dar, um ganz in der Aufgabe aufzugehen. Als Überprüfung der körperlichen Aktivierung der Sportler/innen könnten Herzfrequenzmessungen Aufschluss geben. In frühen Arbeiten von Lacey (1967) konnte in Reaktions-Zeit-Experimenten gezeigt werden, dass die Herzfrequenzveränderung ein direkter Indikator von Aufmerksamkeit ist. Studien diesbezüglich wurden auch im Schießsport durchgeführt, wie etwa von Hatfield, Landers und Ray (1987). Die Autoren fanden bei erfahrenen Gewehrschützen einen Anstieg der Herzfrequenz im Zeitraum von 5 bis 2.5 Sekunden vor dem Schuss und eine Abnahme in den letzten zweieinhalb Sekunden des Zielprozesses. Ein ähnliches Phänomen konnten Salzar und Kollegen (1990) im Bogenschießsport erkennen. Interessanterweise war die Herzfrequenz in dieser Studie bei der Zielaufgabe niedriger als in einer Ruhebedingung. Tremayne und Barry (2001) fanden, dass die Herzfrequenz bei Pistolensportschützen bereits zehn Sekunden vor der Schussabgabe abnimmt und die niedrigsten Werte direkt bei dieser erreicht werden. Experten weisen nochmals niedrigere Werte als Novizen auf, wo die Abnahme der Herzfrequenz im Vergleich zusätzlich auch relativ spät erfolgt. In weiterer Folge zeigen sich die geringsten Herzfrequenzwerte bei den Schüssen, die direkt in der Mitte der Scheibe gelandet sind. Die Herzfrequenz scheint also ein weiterer guter leistungsbezogener

Marker zu sein, den man in zukünftigen Studien mit EEG-Aufzeichnungen kombinieren sollte.

Trotz der ausbleibenden Zusammenhänge im frontalen Theta wurden konsistente Effekte des neuronalen Korrelats fokussierter Aufmerksamkeit in anderen Sportarten, wie etwa Sportschießen Gewehr (Doppelmayr et al., 2008) oder Golf (Baumeister et al., 2008) gefunden. Anscheinend können unterschiedliche Bedingungen oder Voraussetzungen zwischen dem Schießsport bei Gewehr und Pistole vorherrschen, auch wenn diese bezogen auf die Bewegungsausführung und -aufgabe nahezu identisch sind. Sportartspezifische Vergleiche hinsichtlich der frontalen neuronalen Aktivierung, vor allem in Anbetracht einer fokussierten Aufmerksamkeit, sind daher sehr zu begrüßen. Dies wird auch Gegenstand der folgenden beiden Kapitel sein, in denen EEG-Ableitungen in einer dynamischeren Sportart berichtet (Kapitel 6) und diese Ergebnisse danach mit den beiden Schützenstudien verglichen werden (Kapitel 7).

## **6 Studie III – Basketball-Freiwurf**

### **6.1 Einleitung**

Trotz der unterschiedlichen Settings und der Teilnahme von erfahrenen Athletinnen und Athleten in den beiden Schützenstudien konnten keine durchgehenden konsistenten Effekte in den neuronalen Korrelaten von fokussierter Aufmerksamkeit, insbesondere im frontalen mittleren Theta, gefunden werden. Das Ziel dieser dritten Studie war daher, die dynamische Komponente des Sports mehr in den Vordergrund zu bringen. Durch die bekannten und auch in der Einleitung beschriebenen Limitationen hinsichtlich Einsatzmöglichkeiten einer EEG-Messung (Doppelmayr & Amesberger, 2012) wurde nach einer weiteren Sportart gesucht, bei der eine EEG-Abnahme möglich ist. Eine erste Annäherung an die Untersuchung der dynamischen Komponente im Sport war es daher, den Basketball-Freiwurf als Untersuchungssetting zu wählen, weil dieser durch die Zielaufgabe am ehesten mit den beiden Schützenstudien zu vergleichen ist.

Ein Freiwurf ist die Möglichkeit für eine/n Spieler/in, von einer Position hinter der Freiwurflinie (4.225 Meter vom Korbmittelpunkt entfernt) und innerhalb des vorgegebenen Halbkreises einen Punkt durch einen ungehinderten Wurf auf den Korb (Ringdurchmesser von 45.7 cm) zu erzielen. Eine Freiwurfsituation entsteht, wenn ein/e Spieler/in zum Korb zieht und beim Wurfversuch von Gegenspieler/innen mit irregulären Mittel daran gehindert wird. In der Regel bekommt die/der Spieler/in zwei Freiwürfe zugesprochen, sollte der Ball beim Wurfversuch jedoch im Korb landen, zählt der Versuch und es resultiert daraus nur ein Freiwurf (vgl. FIBA Central Board, 2014). Eine schematische Darstellung der Maße des Korbes und umgrenzenden Flächen sowie dem Basketball befindet sich in Abbildung 21.

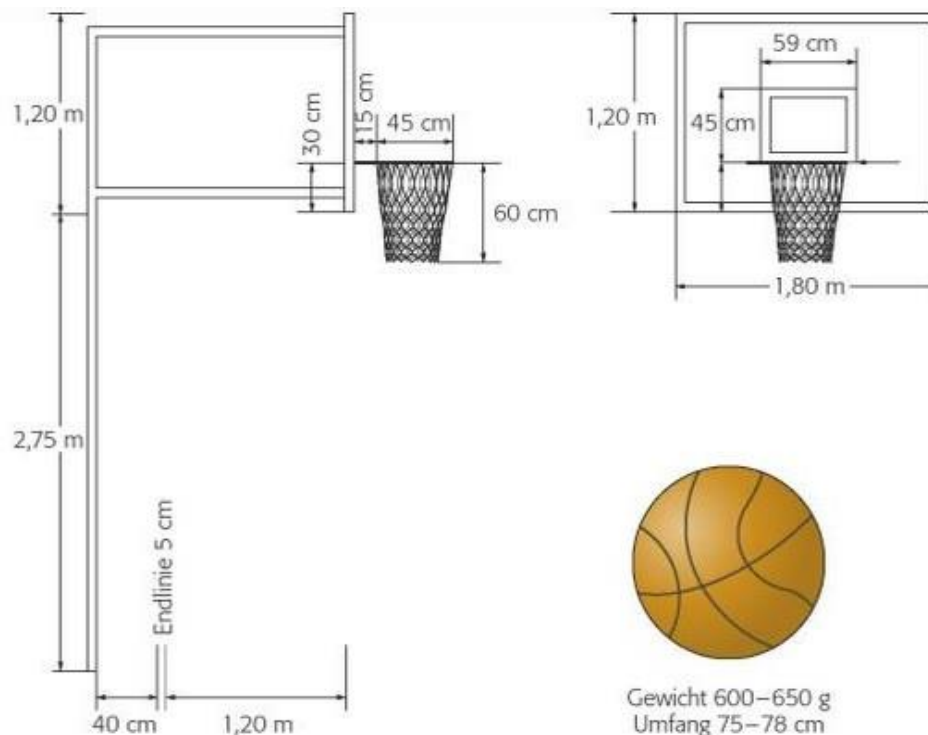


Abbildung 21. Schematische Darstellung des Basketballkorbes mit Ring und Brett inklusive Maßangaben in Metern (Neumann, 2012)

### 6.1.1 Pilotstudie

Um die Machbarkeit einer EEG-Erhebung beim Basketball zu überprüfen, wurde eine Pilotstudie mit zwei erfahrenen Basketballspielern, die nicht Teilnehmer der Hauptstudie waren, Ende Mai 2012 in der Leichtathletikhalle des ZHS München durchgeführt. Das Untersuchungssetting bestand aus zwei Mal zehn Würfeln und einer fünfminütigen Radfahrgometer-Aufgabe. Für diese Pilotstudie wurde von der Firma Brain Products deren Wireless-EEG zur Verfügung gestellt, weshalb dieses und das gängige System getestet wurden und jeder Teilnehmer zwei Mal den gesamten Ablauf absolvierte (schematischer Ablauf für den ersten Teilnehmer siehe Abbildung 22). Der zweite Teilnehmer begann mit dem kabellosen EEG-System und wechselte dann auf das auch in den Studien I und II eingesetzte Standard-EEG. Samt Begrüßung, Aufklärung und Verkabelung dauerte die Datenerhebung der Pilotstudie pro Person ungefähr 70 Minuten.

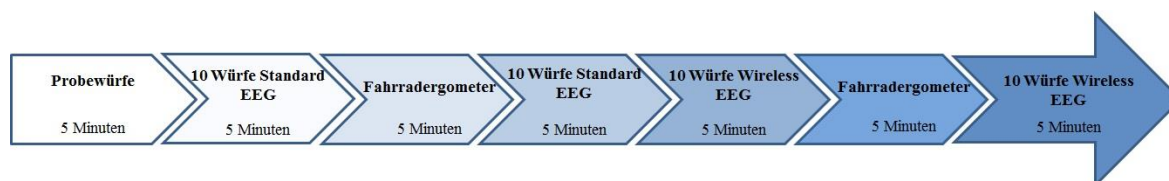


Abbildung 22. Schematischer Ablauf der Pilotstudie zu Studie III



Abbildung 23. Beispielbilder der Pilotstudie: Athlet 1 am Fahrradergometer mit Standard-EEG-System links und Athlet 2 bei der Freiwurfausführung mit kabellosem EEG-Setup

Nach Absolvierung der Untersuchungsaufgabe wurden die beiden Teilnehmer hinsichtlich ihrer Einschätzung über die Durchführbarkeit einer EEG-Studie beim Basketball befragt. Dahingehend wurden deutliche Vorteile für das kabellose System aufgrund einer größeren Bewegungsfreiheit genannt. Auch mögliche Zugartefakte, die bei dem gewohnten System durch Kopfbewegungen auftreten können, fallen bei dem kabellosen System zum größten Teil weg. Ein Blick auf die EEG-Daten hinsichtlich der Brauchbarkeit des Signals zeigte jedoch, dass beide Systeme anfällig gegenüber dem in der Freiwurfroutine gängigen Ballprellen und vor allem in Hinblick auf Schwitzartefakte sind. Die Daten nach der körperlichen Betätigung auf dem Fahrradergometer zeigten eine deutliche Beeinträchtigung durch Schwitzartefakte.

### 6.1.2 Diskussion und Einordnung der Erfahrung aus der Pilotstudie

Daher wurde beschlossen, den Freiwurf isoliert und in einer Ruhebedingung zu erfassen, was auch eher eine Vergleichbarkeit mit den Daten aus den ersten beiden Studien erlaubt. Würde man körperliche Aktivität in das Untersuchungssetting aufnehmen und mögliche Unterschiede im Vergleich zu den Schützinnen und Schützen finden, ist nicht klar, worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind (andere Art der Zielaufgabe oder körperliche Betätigung). Ein erster Schritt ist es daher, zu zeigen, welche Frequenzbänder in welchen Arealen bei der Basketballfreiwurf-Aufgabe relevant sind.

## 6.2 Hypothesen

### **Hypothese 1: Zusammenhang zwischen Theta und Wurfparametern**

In den beiden Sportarten Golf (Baumeister et al., 2008) und Sportgewehrschießen (Doppelmayer et al., 2008) konnte ein Zusammenhang zwischen der Leistung und einer erhöhten Theta-Frequenz im frontalen Cortex (Frontaler Midline-Theta auf der Elektrode Fz) gezeigt werden. Erfahrenere Athletinnen und Athleten zeigten eine erhöhte Theta-Power im Vergleich zur Novizenstichprobe. Eine erhöhte Aktivierung im frontalen Midline-Theta geht mit einer erhöhten fokussierten Aufmerksamkeit einher (Aftanas & Golocheikine, 2001) und sollte daher wiederum zu einer besseren Leistung führen. Auf Basis dieser Befunde wird folgender Zusammenhang, der sich beim Sportschießen Pistole jedoch nicht gezeigt hat, auch für den Freiwurf im Basketball angenommen:

**H1:** Je besser die Wurfparameter, desto höher ist die Power im frontalen Midline-Theta.

### **Hypothese 2: Zusammenhang zwischen Alfaband und Wurfparametern**

Auch im Alpha-Frequenzband wurden Zusammenhänge zwischen der sportlichen Leistung und einer Zu- bzw. Abnahme gefunden. Da diesbezüglich aber noch keine Effekte im Basketballsport gefunden wurden, wird der Zusammenhang analog zu jenem in der Schützenstudie angenommen.

**H2:** Eine höhere Ausprägung in den leistungsbezogenen Parametern geht mit einer höheren Alpha-Power im temporalen und einer niedrigeren Alpha-Power im parietalen Bereich einher.

## 6.3 Methode

### **6.3.1 Untersuchungsteilnehmer**

An der Basketball-Freiwurfstudie haben insgesamt zwölf erfahrene Basketballspieler männlichen Geschlechts teilgenommen, wobei einige von ihnen bereits ihre aktive Karriere beendet haben, dem Sport jedoch als Trainer oder in ähnlicher Funktion erhalten blieben. Der Altersbereich bewegte sich zwischen 19 und 48 Jahren ( $M = 30.33$ ,  $SD = 9.7$ ) und im Schnitt hatten die Personen mehr als 12 Jahre Erfahrung im Basketball als Wettkampfsport ( $M = 12.42$ ,  $SD = 8.22$ ). Alle teilnehmenden Personen waren rechtswertend.

Die Stichprobe wurde nach Verfügbarkeit ausgewählt, wobei Kontakte durch einen Nachwuchstrainer von FC Bayern München Basketball hergestellt wurden. Die potentiellen Teilnehmer wurden telefonisch bzw. per E-Mail gebeten, an der Studie teilzunehmen (siehe Ausschreibung im Anhang E). Wie in den ersten beiden Studien wurde den Teilnehmern keine finanzielle Belohnung geboten, jedoch erhielten die Teilnehmer eine exakte Rückmeldung ihrer Trefferquote mittels Videoanalyse und Berichte über die vorliegenden Ergebnisse und Schlussfolgerungen.

### **6.3.2 Untersuchungsvariablen**

Ähnlich wie bei den Schützendaten wurde neben dem reinen Wurfresultat eine weitere Operationalisierung der Wurfparameter gewählt. Eine Einteilung basierend auf einem erfolgreichen Treffer oder Wurf alleine erschien nicht zielführend, weil erwartet wurde, dass die Basketballspieler mehr als 30 aus 60 Würfeln treffen würden. Daher wurde die Abweichung vom optimalen Treffermittelpunkt mit zwei Videokameras (siehe 6.3.3) erhoben. Auf Basis der Videoanalyse ergaben sich zusätzliche Parameter für die Wurfleistung, welche nachstehend angeführt werden:

- Relative neurophysiologische Aktivität
  - Diese wurde in Mikrovolt ( $\mu\text{V}$ ) in der Elektrode Fz für die Theta-Frequenz und in den Elektroden T7, C3, Cz, C4, T8, P3, Pz, P4 für die untere und obere Alpha-Frequenz ausgegeben. Wie auch in den ersten beiden Studien, wurde die neurophysiologische Aktivität auf den individuellen Mittelwert einer Person getrennt für Theta und die beiden Alpha-Bänder relativiert (siehe Kapitel 4.3.5 auf S. 52).
- Wurfparameter
  - Wurfresultat  
Jeder Wurf wurde in eine der beiden Kategorien Treffer oder kein Treffer eingeteilt.

Neben dem Wurfresultat wurden folgende weiteren Maße als Marker für die Leistung herangezogen:

- Abweichung vom optimalen Treffermittelpunkt
  - Abweichung in X in cm (Ballmittelpunkt zu weit links oder rechts)
  - Abweichung in Y in cm (Ballmittelpunkt zu weit vorne oder hinten)
  - Summer aus den Abweichungen in X und Y

- Kategoriensystem der Trefferart nach Hardy und Parfitt (1991)
  - 0 ... kein Treffer, keine Berührung von Ring oder Brett (= Airball)
  - 1 ... kein Treffer, aber Berührung des Brettes
  - 2 ... kein Treffer, aber Berührung des Ringes
  - 3 ... Treffer mit Brettberührung
  - 4 ... Treffer mit Ringberührung
  - 5 ... reiner Treffer (= Swish)

### 6.3.3 Untersuchungsmaterialien

#### *EEG-Setup*

Nach der abgeschlossenen Pilotstudie und der Analyse der Daten wurde entschieden, das selbe Elektrodensystem zu verwenden, das in den ersten beiden Studien mit selbigen Spezifikationen zum Einsatz kam (64-Kanal-EEG von Brain Products samt zweimetrigem Kabel). Auf die Leihgabe des kabellosen EEG-Systems wurde verzichtet, da dieses genau gleich anfällig gegenüber Schwitzartefakten ist und die Basketball-Freiwurfaufgabe durchaus mit dem bereits verwendeten Setup durchführbar ist. Hinsichtlich Verwendung der Elektroden unterschied es sich jedoch teilweise von den ersten beiden Studien. Die Referenzelektrode wurde statt auf der Nase direkt auf FCz positioniert und zur Erkennung von Augenartefakten wurde neben FP1 nur eine weitere Elektrode verwendet, die direkt unter dem linken Auge positioniert wurde. Dies erschien in der Pilotstudie als ausreichend, weshalb in diesem Fall darauf verzichtet wurde, dem teilnehmenden Athleten unnötigerweise Elektroden im Gesicht anzubringen. Auch auf die Rereferenzierung mit Elektroden an den Ohren wurde bei dieser Studie verzichtet, da sich die Notwendigkeit nach der Erfahrung bei den Sportschützen und der Pilotstudie nicht mehr ergab. In allen Fällen konnten keine Auffälligkeiten durch Pulswellen betrachtet werden. Die verwendeten Elektroden sind samt ihren Positionen in Abbildung 24 dargestellt.



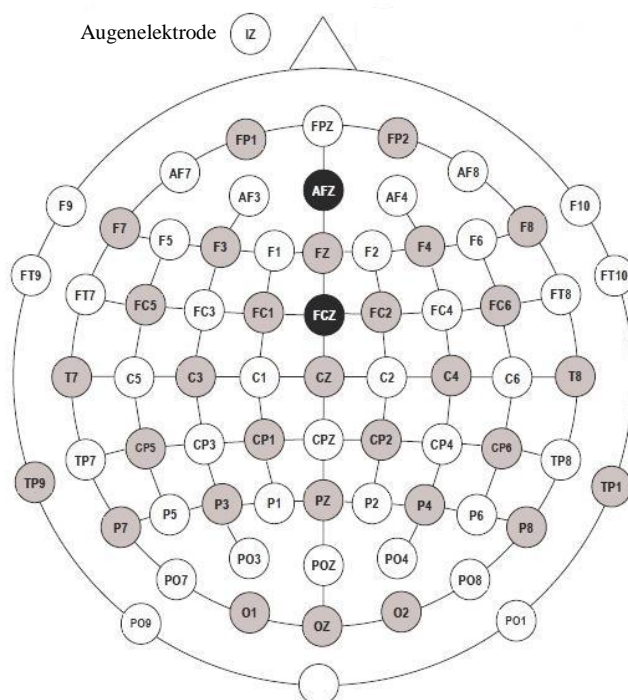


Abbildung 24. Positionen und Verwendung der Elektroden auf einer ActiCAP-Haube nach 10-20-System (Klem et al., 1999) in Studie III

### Videokameras

Drei Videokameras wurden bei der Aufzeichnung der Daten verwendet, wobei eine zur Bestimmung des Abwurfzeitpunktes und zwei weitere für die Ermittlung der Treffergenauigkeit eingesetzt wurden. Die Kamera, die für den Abwurfzeitpunkt verwendet wurde, war eine Sony Handycam DCR-SX 50 (9 MB/s, 640 x 480 Pixel, 25 Hz) und wurde direkt neben der Freiwurflinie positioniert, um den oberen Körperbereich des Spielers und seine Wurfhand abzubilden, damit eine exakte Bestimmung des Zeitpunktes der Wurfabgabe möglich ist. Dieses Signal wurde mittels eines Firewirekabels direkt in die EEG-Aufzeichnung integriert, was eine simultane Betrachtung des Videoclips und der EEG-Daten erlaubt. Um die Abweichung vom optimalen Treffpunkt zu erheben, wurden die beiden Kameras der Marke Sony 305 HD (24 MB/s, 1920 x 1080 Pixel, 25 Hz) verwendet. Zur Bestimmung der Abweichung nach links oder rechts (x-Achse) wurde eine der beiden Kameras direkt unter dem Ring positioniert. Um zu erheben ob ein Ball zu kurz oder zu weit geworfen wurde (Abweichung auf der y-Achse), wurde die zweite Kamera auf einem Podest neben dem Korb auf Korbhöhe positioniert und mittels Fluchtlinie ausgerichtet. Abbildungen 25 und 26 verdeutlichen den Einsatz der Kameras und die Bestimmung der Abweichung vom optimalen Treffermittelpunkt.



Abbildung 25. Korbansicht von unten mit Darstellung der Abweichungsparameter beim Zeitpunkt des Ballaufpralles auf dem Ring (Studie III)



Abbildung 26. Setup der Basketballstudie mit den drei Videokameras (Studie III)

### *Fragebögen*

Da sich der Einsatz der Fragebögen in den ersten beiden Studien bewährt hat, wurden bis auf die beiden Fragen zur subjektiven Einschätzung der Aufmerksamkeit wiederum dieselben Instrumente eingesetzt:

- Fragebogen zur Erfassung der Ausgangslage (FAL)
- Soziodemographische Angaben und Erfahrung mit der Sportart
- Frage, wie störend das EEG empfunden wurde

Die beiden letzten Punkte wurden in einem Fragebogen untergebracht, der vollständig im Anhang F abgebildet ist.

### **6.3.4 Untersuchungsdurchführung**

Die gesamte Studie wurde im Zeitraum vom 13. bis 18. September 2012 in der Dreifachhalle an den Sportstätten des Zentralen Hochschulsportes (ZHS) in München durchgeführt. Die Halle stand an diesen Tagen nur der Untersuchung zur Verfügung, pro teilnehmender Person wurde ein Zeitraum von mindestens eineinhalb Stunden gewählt. Nach einer Begrüßung des Teilnehmers wurde dieser wie üblich über den Versuchsablauf und durch einen Informed Consent (identisch mit jenem der ersten beiden Studien, siehe Anhang A) über die Besonderheiten von EEG-Studien aufgeklärt. Die Vorbereitung für die EEG-Abnahme wurde wiederum genutzt, um den Fragebogen zur Ausgangslage (FAL) und den soziodemographischen Fragebogen auszufüllen. Nach erfolgreicher Vorbereitung hatte der Teilnehmer maximal zehn Minuten Zeit, um sich mit der Elektrodenhaube am Kopf (noch ohne Verkabelung) frei zu bewegen und ein individuelles Einwerfen vorzunehmen, was in Abbildung 27 als Beispielbild für einen Athleten erkennbar ist.



Abbildung 27. Untersuchungsteilnehmer der Studie III während des Einwerfens

Im Anschluss wurde der Teilnehmer mittels eines zwei Meter langen Kabels an die Verstärker des EEG-Systems angeschlossen. Bevor mit dem eigentlichen Versuch begonnen wurde, wurden Ruheaufzeichnungen in ähnlicher Weise wie bei den Sportschützinnen und -schützen durchgeführt. Bei den Ruheaufzeichnungen standen die Teilnehmer mit dem Basketball in der Hand aufrecht an der Freiwurflinie, eine Minute mit offenen Augen auf einen Punkt fixiert und eine Minute mit geschlossenen Augen. Im Anschluss wurden dem verkabelten Athlet maximal zehn Probewürfe gewährt und er wurde gebeten, Bescheid zu geben falls er mit weniger Würfeln auskommen würde.

Nach den Probewürfen, die von fast allen Athleten auch zur Gänze genutzt wurden, wurde mit dem eigentlichen Versuch begonnen. Dieser bestand aus sechs Serien zu jeweils zehn Würfeln, wobei die Teilnehmer den Wurfzeitpunkt innerhalb der Serien selbst wählen durften. Dazu wurden ihnen von einem Assistenten die Bälle zugeworfen, der auch dafür zuständig war, die Kamera unter dem Korb vor möglichen herabfallenden Bällen zu schützen. Nach jedem zehnten Wurf wurde eine Ruheaufzeichnung von 30 Sekunden mit offenen Augen durchgeführt. Dies diente einerseits der Standardisierung der Untersuchungsbedingungen und andererseits der Stabilisierung des EEG-Signals, da sich mit der Zeit durch die im Vergleich zu den Sportschützinnen und -schützen etwas aktivere Bewegungsausführung in der Signalqualität ergeben können. Nach Ablauf der 30 Sekunden wurde wieder im Tempo des Sportlers mit dem nächsten Durchgang fortgefahren. Am Ende wurde der Teilnehmer wieder ‚entkabelt‘ und gebeten, die Frage hinsichtlich des Ausmaßes der Störung des EEG-Systems zu beantworten. Für die Teilnahme wurde er mit Süßigkeiten oder kleinen Erfrischungen belohnt. Der gesamte zeitliche Rahmen variierte aufgrund von Vorbereitung und individueller Geschwindigkeit bei der Durchführung und betrug pro Person im Schnitt ein dreiviertel Stunden. Der Ablauf ist mit ungefähren Minutenangaben in Abbildung 28 schematisch dargestellt.



Abbildung 28. Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufes der Studie III mit Zeitangaben in Minuten

### 6.3.5 Datenanalyse

Zur Bestimmung der Abweichung vom optimalen Treffer (Korbmittelpunkt) wurde das 2D/3D-Bewegungsanalyseprogramm Simi Motion gewählt. Dabei wurden die Koordinaten für den Basketballkorb und dessen Mittelpunkt festgelegt und der Ballmittelpunkt zum Zeitpunkt der Ringberührung oder während dieser auf Höhe des Ringes war bestimmt. Nach einer ersten Sichtung der Daten erschien es als ausreichend, nur die Videos der unter dem Korb positionierten Kamera zu verwenden, da diese eine Bestimmung der Abweichung sowohl auf der x- als auch der y-Achse erlaubt. Abbildung 29 zeigt Beispieldaten direkt aus dem Programm SIMI-Motion während der Bestimmungen der Abweichungen auf der x- und y-Achse.

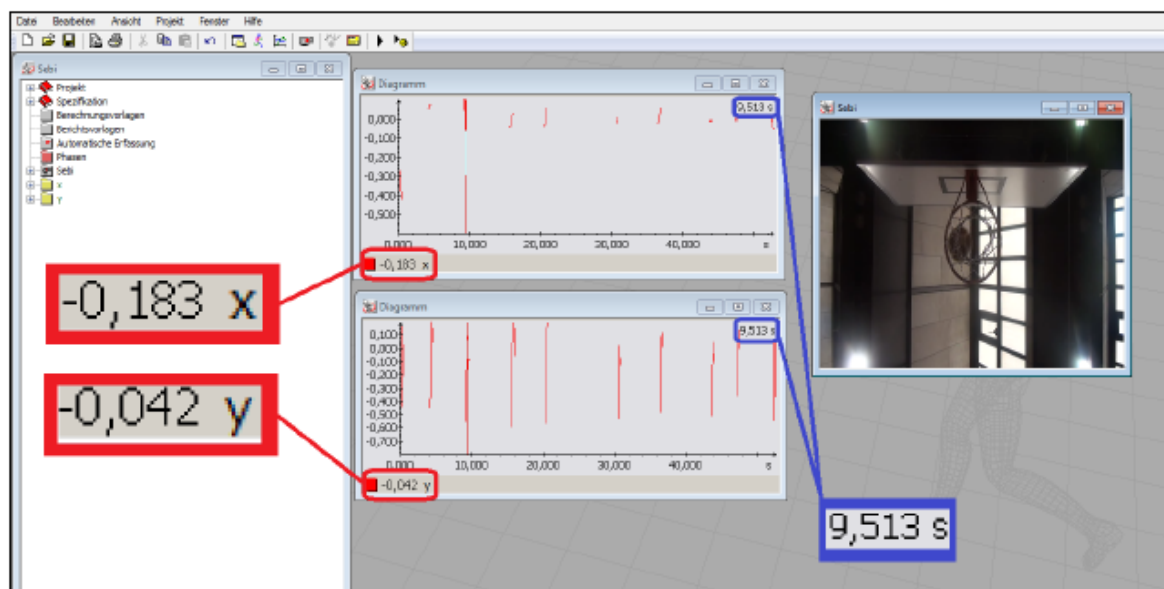


Abbildung 29. Bestimmung der Abweichung (hier in Metern dargestellt) vom optimalen Treffermittelpunkt zum Zeitpunkt der Korbberührung in Studie III

Die Aufbereitung und Auswertung der EEG-Daten unterschied sich nicht von jener in den Studien I und II, außer dass zu Beginn die Marker für den Wurfzeitpunkt manuell eingegeben werden mussten. Als Zeitpunkt dafür wurde der erste Frame gewählt, bei dem der Ball die Hand des Athleten verlassen hat.

## 6.4 Ergebnisse

### 6.4.1 Behaviorale Daten

#### 6.4.1.1 Physische Voraussetzungen der Teilnehmer

Wie die Athleten vor Beginn der Untersuchungsdurchführung angaben, haben diese in der vorangegangenen Nacht im Schnitt sieben Stunden ( $M = 7:12$ ,  $SD = 1:19$  h) geschlafen, was auch ungefähr deren normal angegebenen Ausmaß an Schlaf entspricht ( $M = 7:42$ ,  $SD = 0.23$  h). So wie auch in den ersten beiden Studien hat keiner der Teilnehmer in den letzten acht Stunden alkoholische Getränke zu sich genommen und auch nicht geraucht. Trotz größerer Bewegungsausführung und damit verbunden möglichen Einschränkungen durch die Verkabelung wurde die Ablenkung durch die Messung mit dem EEG geringer als bei der ersten Schützenstudie bewertet und liegt bei einem Viertel ( $M = 25.17$ ,  $SD = 19.58$  %).

#### 6.4.1.2 Wurfresultat

Hinsichtlich der Wurfresultate ist zu sagen, dass im Durchschnitt 46 von 60 Würfeln getroffen wurden ( $M = 45.58$ ,  $SD = 6.24$ ), was eine Trefferquote von mehr als 75 % ergibt. Der Range lag dabei zwischen 35 und 55 erfolgreich getroffenen Würfeln, wobei alle Personen mehr als die Hälfte getroffen haben.

Aufgrund der Untersuchungsvorgabe mit den sechs Serien wurden wiederum die einzelnen Serien hinsichtlich der Trefferleistung betrachtet. Wie in Tabelle 24 erkennbar, wurden im Schnitt zwischen sieben und acht von zehn Würfeln getroffen. Dahingehend zeigten sich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Serien ( $F_{5,66} = 1.13$ ,  $p = .35$ ,  $\eta_p^2 = .08$ ).

Tabelle 24

*Wurfresultate der Studie III in sechs Serien zu je zehn Würfeln*

Serie	Mittelwert	SD
1	7.00	2.52
2	7.00	1.91
3	7.75	1.55
4	8.17	1.19
5	8.08	1.17
6	7.58	1.17

Auf Basis der Ergebnisse in 6.4.1.1 und 6.4.1.2 lässt sich schließen, dass es sich um gute personenspezifische Voraussetzungen für eine EEG-Studie handelt. Dies lässt sich auch an der hohen Trefferquote von 75 % erkennen. Dass das EEG-System mit Haube am Kopf sowie Verkabelung und Einschränkung der Bewegungsfreiheit nur in sehr geringem Ausmaß als störend empfunden wurde, ist ein weiteres Indiz für die Möglichkeit der Durchführung einer EEG-Studie in diesem Setting.

### 6.4.1.3 Zusammenhänge der Wurfparameter

Mittels Korrelationsanalysen (Pearson und Spearman-Rho) wurden Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wurfparametern überprüft. Es sind dies folgende:

- Wurfresultat (Anzahl an Treffern aus 60 Versuchen)
- Kategoriensystem nach Hardy und Parfitt (1991) von 0-5
- Absolute Abweichungen in cm auf der x- und y-Achse sowie deren Summenwert

Tabelle 25

*Korrelationsanalysen zwischen den wurfbezogenen Parametern in Studie III*

		Wert laut Hardy & Parfitt	Absolute Abweichung in X	Absolute Abweichung in Y	Absolute Abweichung in X und Y
Treffer oder keiner	$\rho$	.791**	-.343**	-.523**	-.608**
	$p$	.000	.000	.000	.000
	$df$	719	719	719	719
Wert laut Hardy & Parfitt	$\rho$		-.406**	-.729**	-.819**
	$p$		.000	.000	.000
	$df$		719	719	719
Absolute Abweichung in X	$r$			.180**	.585**
	$p$			.000	.000
	$df$			719	719
Absolute Abweichung in Y	$r$				.903**
	$p$				.000
	$df$				719

\*\*  $p < .005$  (Alpha-Fehlerkorrektur bei 10 Tests).

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen in Tabelle 25 zeigen, dass alle wurfbezogenen Daten auch nach Alpha-Fehlerkorrektur signifikant zusammenhängen. Die Einteilung in Treffer oder kein Treffer und das Kategoriensystem sind mit  $\rho(719) = .791$  sehr hoch, was bedeutet, dass sie ähnliche Maße abbilden. Auch die absoluten Abweichungen in X und Y korrelieren stark negativ mit den beiden Trefferskalen. Dies bedeutet, dass ein (besser kategorisierter) Treffer mit einer geringen Abweichung vom optimalen Treffermittelpunkt einhergeht. Die beiden Abweichungen X und Y hängen in geringem Ausmaß miteinander zusammen und die Summe der beiden dürfte größtenteils durch die Abweichung in Y festgelegt sein, weil die Korrelation der beiden  $r(719) = .903$  ist.

#### **6.4.2 Neurophysiologische Daten**

Die Daten wurden ähnlich den Schützendaten in Zeitreihen analysiert. Bei der Datenaufbereitung wurden jedoch sehr große Bewegungsartefakte vor dem Wurf festgestellt, die sich besonders im Rahmen von Muskelartefakten im Beta-Frequenzband zeigen. Da für diese Studie aber nur die beiden Frequenzbänder Alpha und Theta relevant sind, wurde nochmals überprüft, ob nicht zumindest eine Sekunde vor dem Wurf eine brauchbare Datenqualität besteht. Dahingehend wurde der Bereich von -1500 bis -500 ms vor dem Wurf gewählt und die neurophysiologische Aktivierung in diesem Zeitfenster mit den Wurfparametern korreliert.

##### **6.4.2.1 Ergebnisse der ERP-Analysen**

Da es sich um eine andere Sportart handelt, wird auch hier nochmals ERP-Analysen als Voraussetzung überprüft. Wiederum zeigte sich, dass der gewählte Wurfzeitpunkt als guter Trigger für die Analysen gewählt wurde, leichte Potentialveränderungen sich aber bereits vor dem Abwurf zeigen. Eine exemplarische Darstellung des ERPs für Theta auf Fz mit einem Aktivitätsanstieg um den Abwurfzeitpunkt (0 auf der horizontalen Achse) ist in Abbildung 30 ersichtlich.



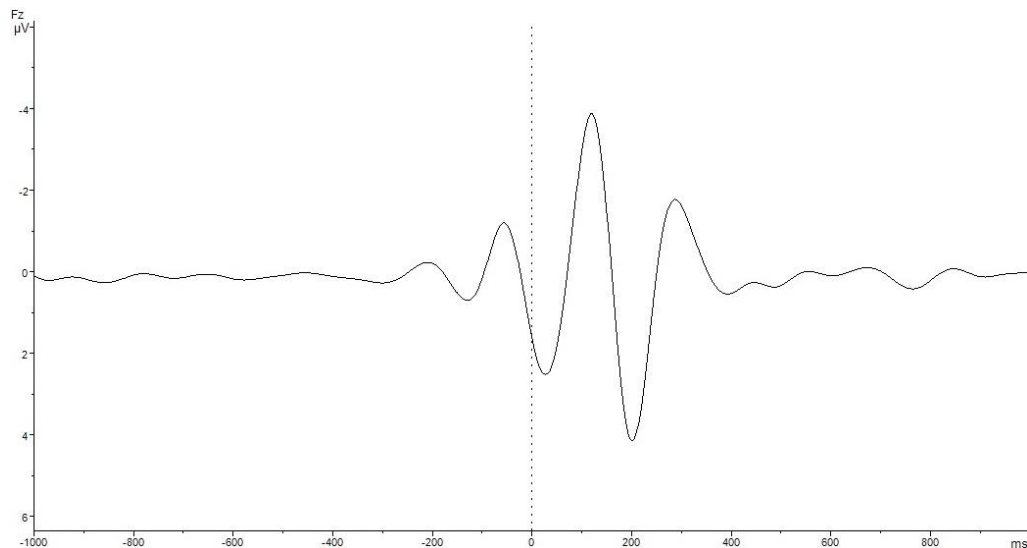


Abbildung 30. ERP für die Theta-Frequenz auf Fz in Studie III

### 6.4.3 Behaviorale Daten in Kombination mit neurophysiologischen Daten

#### **HYPOTHESE 1:**

Hypothese 1 besagt, dass eine höhere Aktivität in Theta mit besseren Wurfparametern einhergeht. Um dies zu überprüfen, wurden Korrelationsanalysen zwischen der Theta-Aktivierung auf Fz und den wurfrelevanten Werten berechnet. Wie man in Tabelle 26 erkennen kann, zeigen sich dabei signifikante Zusammenhänge auch nach Alpha-Fehlerkorrektur (.05/5 wegen fünf Tests ergibt  $p = .01$ ). Die Theta-Aktivierung korreliert positiv mit dem Trefferwert (Spearman-Rho) und negativ mit den beiden Abweichungen in Y und der gesamten Abweichung. Dies bedeutet, dass ein Anstieg im frontalen Theta mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für einen Treffer und einer geringeren Abweichung vom optimalen Treffermittelwert einhergeht. Für den Wert nach Hardy und Parfitt (1991) und die absolute Abweichung in X gibt es keine signifikanten Zusammenhänge auf Basis des korrigierten Signifikanzniveaus. Dennoch gibt es tendenzielle Effekte und auf Basis der drei signifikanten Zusammenhänge zwischen den Wurfparametern und der Aktivität im frontalen Theta-Band kann Hypothese 1 bestätigt werden.

Tabelle 26

Korrelationstabelle zwischen der Theta-Aktivierung auf Fz und den leistungsbezogenen Parametern in Studie III

		Treffer oder keiner	Wert laut Hardy & Parfitt	Absolute Abweichung in X	Absolute Abweichung in Y	Absolute Abweichung in X und Y
	$r / \rho$	.114**	.078*	-.088*	-.102**	-.122**
Fz_Theta	$p$	.004	.046	.024	.009	.002
	$df$	654	654	654	654	654

\*\*  $p < .01$  (Alpha-Fehlerkorrektur bei 5 Tests). \*  $p < .05$ .

### HYPOTHESE 2:

Die zweite Hypothese postuliert einen Zusammenhang zwischen der Aktivität im Alpha-Frequenzband und den Werten der Wurfleistung. Getrennt für beide Alphaband-Bereiche wurden Korrelationsanalysen berechnet und die Werte in den Tabellen 27 und 28 dargestellt.

Tabelle 27

Korrelationstabelle zwischen der unteren Alpha-Aktivierung und den leistungsbezogenen Parametern in Studie III

		Treffer oder keiner	Wert laut Hardy & Parfitt	Absolute Abweichung in X	Absolute Abweichung in Y	Absolute Abweichung in X und Y
<b>TE</b>	$r / \rho$	.074	.049	-.078	-.022	-.052
	$p$	.088	.259	.073	.623	.235
	$df$	525	525	525	525	525
<b>ZE</b>	$r / \rho$	.088*	.032	-.033	-.079	-.080
	$p$	.043	.467	.456	.071	.068
	$df$	525	525	525	525	525
<b>PA</b>	$r / \rho$	.087*	.061	.060	-.084	-.044
	$p$	.046	.163	.168	.054	.312
	$df$	525	525	525	525	525

\*\*  $p < .003$  (Alpha-Fehlerkorrektur bei 15 Tests). \*  $p < .05$ . TE = temporal, ZE = zentral, PA = parietal.

Die Korrelationsanalysen zeigen keine signifikanten Zusammenhänge am korrigierten Signifikanzniveau von .003. Würde man das generelle Signifikanzniveau von .05 annehmen, dann würde die neuronale Aktivität in zentralen und parietalen Bereichen positiv mit der Trefferleistung korrelieren.

Tabelle 28

Korrelationstabelle zwischen der oberen Alpha-Aktivierung und den leistungsbezogenen Parametern in Studie III

		Treffer oder keiner	Wert laut Hardy & Parfitt	Absolute Abweichung in X	Absolute Abweichung in Y	Absolute Abweichung in X und Y
<b>TE</b>	$r/\rho$	.075	.051	-.063	.004	-.024
	$p$	.099	.260	.165	.938	.592
	$df$	485	486	486	486	486
<b>ZE</b>	$r/\rho$	.095*	.037	-.038	-.072	-.076
	$p$	.036	.414	.408	.114	.096
	$df$	485	485	485	485	485
<b>PA</b>	$r/\rho$	.084	.061	.057	-.095*	-.054
	$p$	.064	.177	.208	.035	.233
	$df$	485	485	485	485	485

\*\*  $p < .003$  (Alpha-Fehlerkorrektur bei 15 Tests). \*  $p < .05$ . TE = temporal, ZE = zentral, PA = parietal.

Auch im oberen Alpha-Frequenzbereich zeigen sich wiederum nur tendenziell signifikante Zusammenhänge. Die Trefferleistung hängt tendenziell positiv mit der zentralen Aktivität zusammen, was eine höhere zentrale Alpha-Power bei besserer Leistung bedeutet. Die parietale Aktivität hängt tendenziell negativ mit der absoluten Abweichung in Y zusammen, was eine höhere Alpha-Power bei geringerer Abweichung vom optimalen Trefferpunkt bedeutet.

Bei der Überprüfung von Hypothese 2 zeigen sich sowohl im unteren als auch im oberen Alpha-Frequenzband keine signifikanten Zusammenhänge am korrigierten Signifikanzniveau von .003. Es zeigen sich zwar tendenzielle Zusammenhänge mit der Trefferleistung, jedoch nur einmal mit der Abweichung vom optimalen Treffermittelpunkt. Somit muss die Hypothese 2 verworfen werden.

#### 6.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Basketball-Studie auf Basis der aufgestellten Hypothesen wird in Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 29

Überblick über die Überprüfung der einzelnen Hypothesen der Studie III

Hypothese	Aussage	Bestätigt $\checkmark$ oder X
H1	Bessere Wurfparameter = Höhere frontale Theta- Power	$\checkmark$
H2	Bessere Wurfparameter = Höhere Alpha-Power temporal, niedrigere Alpha-Power parietal	X

## 6.5 Diskussion

Nach zwei Erhebungen im eher statischen Schießsport wurde mit der Verwendung des Basketball-Freiwurfes eine Annäherung an eine dynamischere Sportart im Rahmen einer EEG-Studie erreicht. Ähnlich wie bei den Schützenstudien durften die Basketballspieler mehrere Würfe auf das für sie relevante Ziel in ihrem eigenen Rhythmus abgeben. Es wurde erwartet, dass sich neuronale Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit besonders im frontalen Theta im Freiwurfsetting zeigen. Doppelmayr und Mitarbeiter (2008) konnten dies bereits für die Sportart Gewehrschießen zeigen, Baumeister et al. (2008) für die Sportart Golf.

### 6.5.1 Beurteilung der Studienvoraussetzungen

Nach Überprüfung der generellen Durchführbarkeit einer EEG-Studie im Basketball im Rahmen einer Pilotstudie wurde eine Freiwurfstudie mit zwölf erfahrenen Basketballspielern durchgeführt. Die Teilnehmer waren um zwei Jahre erfahrener als die Athleten der zweiten Schützenstudie und auch etwas älter. Die Verkabelung mittels EEG-Komponenten dürfte die Teilnehmer deutlich weniger gestört haben als jene der Schützenstudien. Die angegebene Ablenkung durch das EEG-System wurde nur mit 25 Prozent angegeben und ist niedriger als bei den Pistolenschützinnen und -schützen, obwohl ein größerer Bewegungsfreiraum beim Basketball im Vergleich zum Schießen notwendig ist. Die Freiwurfquote von 75 Prozent getroffenen Würfes ist ein beachtliches Ergebnis und sogar höher als die durchschnittliche Freiwurfquote der Deutschen Basketball Bundesliga ( $M = 71.28$ ,  $SD = 16.17$ ) aus der Saison 2013/14 (Basketball Bundesliga,

2014). Es sei hinzugefügt, dass im Wettkampf erschwerte Bedingungen im Vergleich zur Trainingssimulation vorherrschen und dadurch niedrigere Werte zu erwarten sind. Das ungewohnte Setting samt angebrachtem EEG-Equipment und Anwesenheit der Untersuchungsleiter gleicht dies jedoch aus, weshalb die Werte durchwegs verglichen werden können. Somit bestätigen die Ergebnisse neben den mehr als zehn Jahren Erfahrung in der Sportart einen Expertenstatus (Ericsson, 2003; Helsen et al., 1998).

Neben den personenbezogenen können auch die technischen Voraussetzungen positiv hervorgehoben werden. Die Erfassung der Abweichung vom optimalen Wurfmittelpunkt mittels Videokameras und die Ausarbeitung via SIMI Motion stellt eine gute Möglichkeit dar, die Wurfleistung um spezifische Parameter zu erweitern. Korrelationsanalysen zeigen, dass die Genauigkeitsmaße nicht nur sehr hoch untereinander zusammenhängen, sondern auch mit dem Trefferwert und dem Kategoriensystem nach Hardy und Parfitt (1991). Somit kann man von zufriedenstellenden psychologischen Gütekriterien ausgehen, was für einen Einsatz der erweiterten leistungsbezogenen Parameter spricht.

Analog zu den Schützenstudien musste ein Endzeitpunkt des Zielvorganges bestimmt werden. Dahingehend wurde der Zeitpunkt des Verlassens des Balles aus der Hand des Freiwurfers gewählt, da angenommen wurde, dass damit der Zielvorgang beendet ist. Mittels hochauflösender Kamera (25 Frames pro Sekunde) wurde für jeden Wurf der erste Frame bestimmt, bei dem der geworfene Ball die Hand des Wurfers verlassen hatte. Dieser gewählte Zeitpunkt wurde auch anhand von ERP-Analysen als guter Trigger für die weiteren Analysen bestätigt. Einzig die artefaktbehafteten letzten 500 ms vor der Wurfabgabe konnten nicht bereinigt werden, weshalb der Zeitraum 1500 bis 500 ms vor dem Wurf für die durchgeführten Berechnungen herangezogen wurde.

### **6.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse**

Im Rahmen einer ersten Hypothese wurden Zusammenhänge zwischen der Theta-Power als neuronales Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit und den leistungsbezogenen Parametern betrachtet. Korrelationsanalysen ergaben hypothesenkonforme Ergebnisse, da die Theta-Power auf der Elektrode Fz sowohl mit der Variable Treffer/kein Treffer als auch mit den Wurfgenauigkeitsparameter signifikant zusammenhängt. Eine höhere Theta-Power als Zeichen für einen fokussierten Aufmerksamkeitszustand geht daher mit besseren

Wurfparametern einher. Hypothese 1 wird somit bestätigt. Diese Effekte haben sich beim Sportschießen Pistole (Studien I und II) zwar nicht gezeigt, untermauern jedoch die Befunde der Basketball EEG-Studie von Chuang, Huang und Hung (2013) sowie die Ergebnisse der bereits erwähnten Sportarten Golf (Baumeister et al., 2008) und Sportschießen Gewehr (Doppelmayr et al., 2008). In der EEG-basierten Studie von Chuang und Mitarbeitern (2013) nahmen College-Spieler mit knapp sieben Jahren Basketballerfahrung an einer Freiwurfstudie teil, bei der sie so lange werfen mussten, bis sie 50 erfolgreiche Treffer erzielten. Während der Wurfausführung wurden EEG-Ableitungen durchgeführt und für den Zielvorgang die letzten beiden Sekunden in vier 500ms-Intervallen betrachtet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Theta-Power bei erfolgreichen Würfen durchwegs stabil war, jedoch bei erfolglosen Würfen in den letzten zwei Sekunden der Wurfausführung sehr stark fluktuierte. Ähnliche Effekte zeigten sich auch schon bei Bird (1987), wo ein instabiles EEG-Signal mit einer schlechteren Leistung im Schießen einherging. Unterschiede im Theta-Band konnten für den Zeitraum 2000-1500 ms vor dem Wurf gezeigt werden. Dort waren die Powerwerte von erfolgreichen Würfen signifikant höher als die Werte von nicht erfolgreichen Würfen. Einen Zusammenhang zwischen der frontalen Theta-Power und der Freiwurfquote konnten die Autoren jedoch nicht berichten. Auch wenn die in der Studie von Chuang und Mitarbeitern (2013) beobachteten Effekte der vorliegenden Arbeit ähneln, ist deren verwendetes Design kritisch zu betrachten. Durch die Vorgabe, 50 Treffer zu erzielen, ergibt sich bezogen auf die Variable Treffer oder kein Treffer eine sehr schiefe Verteilung. Die Autoren berichten, dass die Sportler maximal 65 Versuche benötigten, um die vorgegebene Aufgabe zu erfüllen, was im besten Fall eine Verteilung von 50 Treffern zu 15 Fehlversuchen ergibt. Eine Erweiterung um das Kategoriensystem von Hardy und Parfitt (1991) würde sich anbieten, auch wenn die Experten zumeist in den oberen beiden Kategorien (lupenreiner Treffer und Treffer mit Ringberührung) scoren. Dahingehend bleibt neben der klassischen Einteilung in Treffer und Fehlversuch die in dieser Arbeit durchgeführte Genauigkeitseinteilung mit der Abweichung vom optimalen Treffpunkt als die am besten geeignete Möglichkeit der Operationalisierung eines zusätzlichen Leistungsparameters bestehen. Dies ist eine Besonderheit und Stärke der vorliegenden Arbeit.

Nachdem sich stabile Effekte im Theta-Frequenzband zeigten, wurden die beiden Alpha-Frequenzbänder in ähnlicher Weise betrachtet. Diesbezüglich konnten jedoch nur tendenzielle Effekte gezeigt werden, was eine durchgehende Interpretation der Daten nicht zulässt. Möglicherweise ist die Erhöhung der körperlichen Anforderung im Rahmen einer größeren Bewegungsausführung ein Aspekt, weshalb sich im Gegensatz zu den Schützenstudien im Basketball keine durchgehend konsistenten Effekte im Alpha-Frequenzband zeigten. Ein Vergleich der Teilstudien auch in Hinblick auf die Verteilung der neurophysiologischen Aktivität wird im folgenden Kapitel durchgeführt und soll weiteren Aufschluss über die Unterschiede zwischen den beiden Sportarten liefern.

Eine Erweiterung der leistungsbezogenen Parameter würde sich in weiteren Studien anbieten. Es gibt Studien (Shepherd, Findlay & Hockey, 1986; Corbetta et al., 1998), die auf einen Zusammenhang zwischen Blickbewegung und Aufmerksamkeit hinweisen. Es wird angenommen, dass die Blickbewegungen ausnahmslos durch einen Wechsel der Aufmerksamkeit gesteuert werden. Ein in diesem Kontext auch im Schießsport sehr gut untersuchtes Phänomen ist jenes der „Quiet Eyes“ (vgl. Causer et al., 2010). Dazu gehört es, die Blickbewegungen konstant zu halten und das für die Zielausführung Wesentliche zu fokussieren, was beim Freiwurf laut Angaben der Expertenstichprobe den hinteren Teil des Ringes bedeutet. Den Studienergebnissen von Vickers (2007; 2009) zufolge ist diese Komponente, die durchaus als Teil der fokussierten Aufmerksamkeit beschrieben werden kann, mitentscheidend für das Erbringen von Höchstleistungen. Harle und Vickers (2001) konnten, verglichen mit zwei Kontrollteams, einen signifikanten Anstieg der Freiwurfquote von 22 Prozent im Jahr nach einem Quiet-Eye Training berichten. In ähnlicher Hinsicht veränderten Oudejans, Koedijker, Bleijendaal und Bakker (2005) die Blickbewegung bei Basketballwerfern experimentell mit einer Okklusionsbrille. Die an einem acht wöchigen Training teilnehmenden Basketballspieler mussten sich in der kurzen Zeit (vor der Okklusion) stärker auf den Ring fokussieren, was ihnen eine Steigerung der Trefferquote um 15 Prozent einbrachte. Bei einer Kontrollgruppe blieb die Höhe der Trefferquote gleich. Auf Basis der genannten Studien wäre es möglich, dass sich Zusammenhänge zwischen der Blickbewegung bzw. dem Konstanthalten des Blickes und der Treffergenauigkeit auch in der neuronalen Aktivität im Gehirn widerspiegeln. Kombinierte Studien aus EEG-Messungen mit Blickbewegungskameras wären daher sehr empfehlenswert.

### **6.5.3 Fazit und Ausblick**

Anders als in den beiden Schützenstudien zeigte sich beim Basketball-Freiwurf ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit im frontalen Theta-Band und den leistungsbezogenen Parametern. Auch bei Betrachtung des Basketball-Freiwurfes gibt es noch Optimierungsbedarf hinsichtlich des experimentellen Settings. Ein bereits bei den Sportschützerinnen und -schützen angesprochener Punkt ist jener der Aktivierung des zentralen Nervensystems, auch als Arousal bezeichnet. Kubota et al. (2001) beschreiben in einer Studie, dass im Rahmen von Zen-Meditation die frontale Theta-Power im Zusammenhang mit der Herz-Raten-Variabilität steht. Ein erhöhtes Theta im Rahmen eines fokussierten Zustandes geht einher mit einer geringeren sympathischen Aktivierung. Um dies auch im Sport zu überprüfen, müssten ähnliche Bedingungen wie in einem Wettkampf hergestellt werden, um sich wettkampfähnlichen Zuständen anzunähern. Möglichkeiten würden sich durch die Anwesenheit anderer Spieler/innen, eine/m als Schiedsrichter/in gekleideten Untersuchungsleiter/in oder beispielsweise Zuseher/innen hinter dem Korb ergeben.

Zusammenfassend kann dennoch gesagt werden, dass mit den durchgeführten EEG-Ableitungen im Rahmen einer Basketball-Freiwurfstudie eine erste Annäherung an eine dynamische Komponente im Sport gelungen ist. Darauf aufbauende Studien sollten versuchen, den Aspekt der dynamischen Komponente zu erweitern, wie es in dieser Arbeit bereits in der Pilotstudie versucht wurde. Es wäre wünschenswert, typische basketballspezifische Bewegungen moderat durchzuführen und jeweils danach ein bis zwei Freiwürfe auszuführen, wie es auch in einem gewöhnlichen Basketball-Spiel der Fall ist. Die sechs Serien zu je zehn Würfen wurden in diesem Setting im Rahmen der Studie III gewählt, um die Daten mit den Schützenstudien vergleichbar zu machen. Diese sportartspezifischen Vergleiche hinsichtlich des neuronalen Korrelats fokussierter Aufmerksamkeit werden im folgenden Kapitel behandelt.



## **7 Sportartspezifische Vergleiche**

### **7.1 Einleitung**

Nachdem in drei Einzelstudien neuronale Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit in der jeweiligen Sportart betrachtet wurden, werden die drei Studien mit ihren unterschiedlichen Settings in diesem Kapitel miteinander verglichen. Diese Herangehensweise wurde mit Ausnahme von wenigen Überblicksartikeln (u.a. Hatfield et al., 2004) bislang noch in keiner wissenschaftlichen Publikation direkt geprüft. Es gibt zwar unterschiedliche EEG-Studien in den Sportarten Golf (Crews & Landers, 1993; Babiloni et al., 2008; Baumeister et al., 2008), Sportschießen (Loze et al., 2001; Kerick et al., 2004; Doppelmayr et al., 2008; Del Percio et al., 2009) und mittlerweile auch im Basketball (Chuang et al., 2013). Die Sportarten wurden dabei jedoch jeweils isoliert behandelt. Wie sich die neuronale Aktivität durch die anderen Anforderungen in derselben oder gar anderen Sportart verändert, kann nur durch einen direkten Vergleich überprüft werden. Das Ziel dieses Studienvergleichs ist es daher, sportartspezifische Unterschiede hinsichtlich des neuronalen Korrelats fokussierter Aufmerksamkeit herauszuarbeiten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei EEG-Studien durchgeführt. In Studie I nahmen Luftpistolenschützinnen und -schützen an einer für sie gewohnten Wettkampfsimulation teil. Studie II unterschied sich von Studie I nur darin, dass den Sportschützinnen und -schützen keine direkte Rückmeldung ihres Ergebnisses dargeboten wurde. Somit wurden die Sportart und die Aufgabe gleich belassen, die Rahmenbedingung mittels Wegnahme des Feedbacks (Knowledge of Result) jedoch experimentell verändert. Eine andere Sportart wurde in Studie III gewählt, in der EEG-Ableitungen während der Basketball-Freiwurfaufgabe durchgeführt wurden.

Sowohl beim Sportschießen als auch im Basketball ist eine Zielaufgabe erforderlich, nur dass beim Basketball-Freiwurf eine weitere räumliche Komponente hinzukommt. Handelt es sich beim Sportschießen und dem Abgleichen von Kimme und Korn um eine Zielaufgabe auf zwei Achsen (x und y), spielt beim Basketballwurf auch das Abschätzen der Entfernung eine Rolle (Erweiterung um z-Achse = Tiefenkomponente). Auch der motorische Ablauf ist beim Basketball-Freiwurf etwas anders als jener beim

Sportschießen, weil eine Integration mehrerer motorischer Teilbewegungen für die Aufgabenausführung relevant ist. Es ist daher anzunehmen, dass neuronale Korrelate der Tätigkeitsausführung unterschiedlich ausgeprägt sind. Ein Vergleich zwischen den beiden Sportarten soll daher nähere Aufschlüsse diesbezüglich bringen.

## 7.2 Fragestellung

Obwohl es sich bei beiden gewählten Sportarten um Zielaufgaben handelt, sind doch andere Anforderungen an die/den Sportler/in gegeben. Dahingehend werden frontale, zentrale, parietale und temporale Elektroden miteinander verglichen, um herauszufinden, wie sich das Aktivitätsmuster je nach Sportart verändert. Es stellt sich daher die Frage, wie die neurophysiologische Aktivierung beim Basketball-Freiwurf im Vergleich zu den Schützenden aussieht.

## 7.3 Methode

Da es sich um eine Zusammenführung der Daten aus den ersten drei Studien handelt, wird in diesem Zusammenhang auf die einzelnen methodischen Beschreibungen in den Teilstudien verwiesen. Es wird nur eine Zusammenfassung über die jeweils verwendeten Stichproben aufgelistet und zusätzlich durchgeführte Analysen werden beschrieben.

### 7.3.1 Untersuchungsteilnehmer/innen

Die in Tabelle 30 angeführten Stichproben aus den drei Studien gehen in die folgenden Analysen ein.

Tabelle 30

*Gegenüberstellung der Stichproben aus den drei Studien mit Mittelwerten und Standardabweichungen*

---

	<b>Teilnehmer/in</b>	<b>Alter</b>	<b>Erfahrung</b>
Studie I	18 (12 ♂ / 6 ♀)	16.94 (2.63)	4.69 (1.82)
Studie II	14 (9 ♂ / 5 ♀)	23.05 (8.79)	11.08 (8.88)
Studie III	12 (12 ♂ / 0 ♀)	30.33 (9.70)	12.42 (8.22)

---

### **7.3.2 Datenanalyse**

Die in der vorliegenden Arbeit verwendete Auswertungsmethode mit der Zentrierung der neuronalen Aktivität auf den personenbezogenen Mittelwert lässt einen Vergleich der drei Einzelstudien zu. Zusätzlich zu den bislang durchgeführten Analysen werden für die Vergleichsberechnungen zwischen den Studien auch die zu Beginn jeder Studie aufgezeichneten Ruhewerte herangezogen, weil Unterschiede in der neuronalen Aktivierung während der körperlichen Aufgabe auf bereits bestehende Unterschiede in der Ruhephase zurückzuführen sind. In einer Studie von Babiloni et al. (2010) konnte gezeigt werden, dass es bereits in der Ruheaufzeichnung Unterschiede in der kortikalen Aktivität zwischen Experten und Novizen aus dem Karatesport gibt. Es wird daher angenommen, dass sich auch Experten in ihrer jeweiligen Sportart unterscheiden können. Die Analyse der einminütigen stehenden Ruheaufzeichnungen mit Hilfe von Brain Vision Analyzer sah wie folgt aus:

- Aufteilung der Daten in Sekunden-Segmente
- Ausschluss artefaktbehafteter Segmente
- Aufteilung in die Frequenzbänder Theta, unteres und oberes Alpha
- Berechnung der Absolutwerte
- Mittelung der Segmente pro Person und Schuss bzw. Wurf
- Generelle Mittelung über alle Personen und Schüsse bzw. Würfe

## **7.4 Ergebnisse**

### **7.4.1 Ruhewerte allgemein**

Zu Beginn der Ergebnisse wird ein Überblick über die neuronale Aktivität in der Ruhebedingung gegeben, da dies in den Einzelstudien bislang noch nicht dargestellt wurde. Die Abbildungen 31 und 32 zeigen die Aktivitätsverteilung im unteren Alpha-Frequenzband bei einer einminütigen Ruhebedingung mit geschlossenen und offenen Augen aus Studie I. Wie man in diesen erkennen kann, zeigen sich erhöhte Aktivitäten (ersichtlich durch die Farbe rot) bei der Aufgabe mit geschlossenen Augen vor allem im Parietalcortex. Bei der Ruhebedingung mit offenen Augen zeigen sich auch in temporalen und ausgewählten frontalen Regionen, wie etwa den frontalen Augenfeldern, Aktivitätsanstiege.

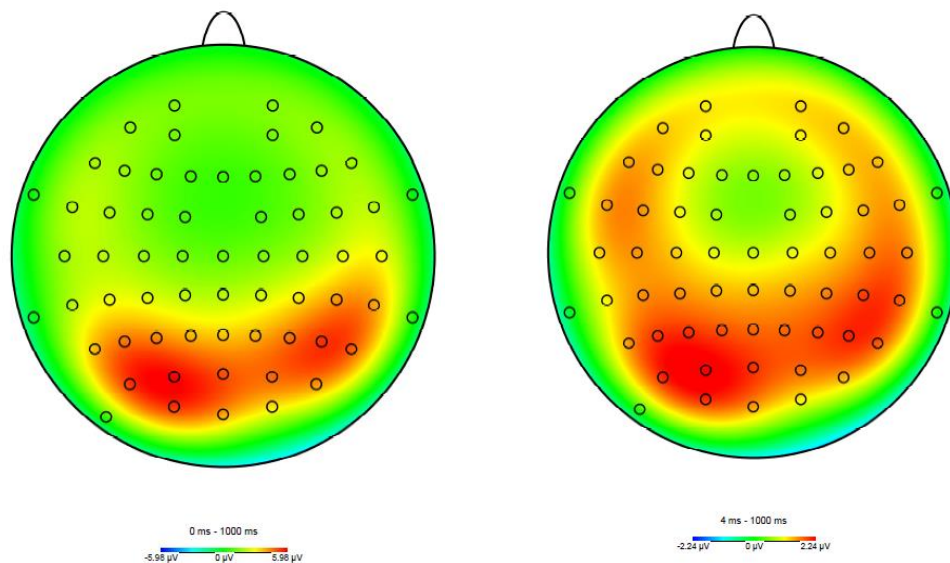


Abbildung 31 und 32. Aktivitätsverteilung während der Ruhebedingungen im unteren Alphaband (links: Augen geschlossen, rechts: Augen geöffnet).

#### 7.4.2 Vergleich der Ruhewerte aus den Studien I und III

Die Ruhedatenvergleiche für die Bedingung mit offenen Augen werden zwischen Studie I im Schießen und Studie III im Basketball getrennt für die auch schon zuvor verwendeten Frequenzbänder berechnet. Die Ruhedaten aus Studie II können leider nicht verwendet werden, da diese unvollständig sind und teilweise in minderer Qualität vorliegen.

##### Theta

Hinsichtlich der Unterschiede im Theta-Frequenzband wurde ein t-Test für unabhängige Messungen berechnet. Dieser ergibt einen signifikanten Unterschied ( $t_{28} = 9.67, p < .001, d = 4.00$ ). Die Schützinnen und Schützen aus Studie I ( $M = 1.07, SD = 0.14$ ) weisen in der Ruhebedingung eine höhere Aktivität im Theta-Frequenzband auf als die Stichprobe der Basketballspieler ( $M = 0.57, SD = 0.11$ ).

##### Unteres Alphaband

Da bei den Vergleichen bezüglich Alpha-Frequenzband wie auch schon bei den Einzelstudien mehrere Regionen betrachtet werden, wurde hier eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (vier Elektrodenpositionen zentral, temporal, parietal, okzipital) berechnet und eine Greenhouse-Geißer-Korrektur durchgeführt.

Hierbei gibt es keine Unterschiede in der neuronalen Aktivität zwischen den beiden Studien, was man im Haupteffekt Studie erkennen kann ( $F_{1,26} = 1.17, p = .288, \eta_p^2 = .04$ ). Das einzige signifikante Ergebnis liefert der Haupteffekt Elektrode ( $F_{1,46,37.94} = 9.27, p = .002, \eta_p^2 = .26$ ). Post-hoc-Analysen ergeben ( $p < .001$ ), dass sich die geringsten Aktivitäten in zentralen ( $M = 0.94, SD = 0.18$ ) Bereichen zeigen (temporal:  $M = 1.37, SD = 0.71$ ; parietal:  $M = 1.29, SD = 0.31$ ; okzipital:  $M = 1.27; SD = 0.34$ ). Die geringeren Werte in zentralen Bereichen stimmen überein mit der schematischen Darstellung der Ruhebedingungen in den Abbildungen 31 und 32. Die Wechselwirkung der beiden Variablen Studie und Elektrodenposition zeigt keinen signifikanten Effekt ( $F_{1,46,37.94} = 1.28, p = .281, \eta_p^2 = .05$ ).

#### Oberes Alphaband

Selbige zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (vier Elektrodenpositionen zentral, temporal, parietal, okzipital) samt Korrektur wurde auch für den oberen Alpha-Bereich berechnet. Wiederum zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Studien in der Verteilung der oberen Alpha-Aktivität in den einzelnen Regionen (HE Studie:  $F_{1,26} = 0, p = .985, \eta_p^2 = .0$ ). Der Haupteffekt für Elektrodenposition liefert jedoch ein signifikantes Ergebnis ( $F_{1,55,40.20} = 10.25, p = .001, \eta_p^2 = .28$ ). Post-hoc-Analysen ergeben ( $p < .001$ ), dass sich während der Ruhebedingung die geringsten Aktivitäten wiederum in zentralen ( $M = 0.82, SD = 0.12$ ) Bereichen zeigen (temporal:  $M = 1.27, SD = 0.57$ ; parietal:  $M = 1.12, SD = 0.24$ ; okzipital:  $M = 1.15, SD = 0.31$ ). Die Wechselwirkung der beiden Variablen Studie und Elektrodenposition zeigt wiederum keinen signifikanten Effekt ( $F_{1,55,40.20} = 1.14, p = .317, \eta_p^2 = .04$ ).

#### **7.4.3 Vergleich der neuronalen Korrelate während körperlicher Aktivität**

Im Folgenden werden die neuronalen Aktivitäten während der körperlichen Aktivität (Schießen und Werfen) miteinander verglichen. Für den Alpha-Frequenzbereich wurde nur mehr das untere Alphaband herangezogen, weil die bisherigen Analysen der beiden Alpha-Bereiche nahezu idente Ergebnisse lieferten und sich dies bei der Ruheaufzeichnung auch bestätigt hat. Der okzipitale Bereich wurde in diesen Analysen außer Acht gelassen, da dieser bei den Basketballdaten sehr artefaktbehaftet war und auch dort nicht in die Analysen eingegangen ist.

### Theta

Um die drei Studien miteinander zu vergleichen, wurde für die neuronale Aktivität der Schützenstudien die letzte Sekunde vor Schussauslösung mit der einen brauchbaren Sekunde aus der Basketballstudie verglichen. Für den Vergleich wurden sieben frontale Elektroden (Fz, FC1, FC2, AF3, AF4, F1, F2) herangezogen und auf den jeweiligen individuellen Mittelwert jeder teilnehmenden Person relativiert. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Variable Studie (I, II und III) und dem Messwiederholungsfaktor Elektrode wurde berechnet und durch Greenhouse-Geißer korrigiert. Sowohl der Haupteffekt für Studie ( $F_{2, 42} = 5.30, p < .01, \eta_p^2 = .20$ ) als auch für Elektrode ( $F_{4, 168.38} = 4.16, p < .01, \eta_p^2 = .09$ ) zeigen Signifikanz. Für die Interpretation der Daten von größerer Relevanz ist aber die Wechselwirkung der beiden Faktoren. Auch diese liefert ein signifikantes Ergebnis ( $F_{8.02, 168.38} = 37.95, p < .001, \eta_p^2 = .64$ ) und ist graphisch in Abbildung 33 dargestellt. Wie man dieser entnehmen kann, sind die Aktivitätsverteilungen zwischen den beiden Schützenstudien nahezu ident. Die Aktivitätsverteilungen im frontalen Bereich im Basketball weichen aber von der gefundenen Verteilung der Sportschützen erheblich ab. Um Unterschiede diesbezüglich zu bestimmen, wurden sieben Varianzanalysen im Rahmen von Post-Tests berechnet und das Signifikanzniveau wegen der Alpha-Fehler-Kumulierung auf  $p = .007$  korrigiert. Nur bei der neurophysiologischen Aktivität in F1 zeigen sich keine Unterschiede ( $F_{2, 42} = 1.05, p = .358, \eta_p^2 = .05$ ), alle anderen Elektroden unterscheiden sich zwischen den Schützen- und Basketballdaten voneinander wie folgt signifikant:

Tabelle 31

*Ergebnisse der Varianzanalysen im Rahmen der Post-Hoc-Analysen für jede Elektrode mit Mittelwerten und Standardabweichungen im Studienvergleich*

<b>Elektrode</b>	<b>Studie I</b>	<b>Studie II</b>	<b>Studie III</b>	<b>Statistische Kennwerte</b>
Fz	1.03 (0.10)	1.01 (0.03)	0.87 (0.14)	$F(2, 42) = 11.38, p < .001, \eta_p^2 = .35$
FC1	1.02 (0.15)	1.05 (0.08)	0.73 (0.16)	$F(2, 42) = 23.16, p < .001, \eta_p^2 = .52$
FC2	1.00 (0.11)	1.03 (0.08)	0.68 (0.10)	$F(2, 42) = 48.42, p < .001, \eta_p^2 = .70$
AF3	0.83 (0.09)	0.87 (0.06)	1.26 (0.12)	$F(2, 42) = 88.24, p < .001, \eta_p^2 = .81$
AF4	0.84 (0.10)	0.87 (0.07)	1.26 (0.11)	$F(2, 42) = 80.71, p < .001, \eta_p^2 = .80$
F2	0.99 (0.08)	0.98 (0.04)	0.85 (0.12)	$F(2, 42) = 10.78, p < .001, \eta_p^2 = .34$

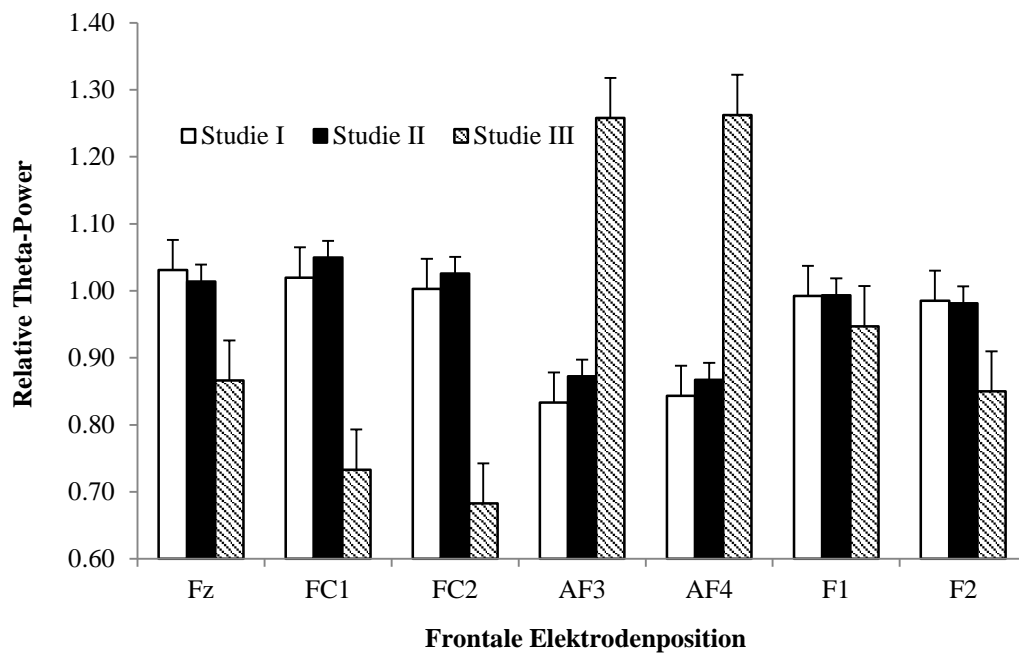


Abbildung 33. Grafische Darstellung der Wechselwirkung zwischen den Variablen Studie und Elektrode für das Theta-Frequenzband im Studienvergleich

Wie man Tabelle 31 und Abbildung 33 entnehmen kann, ergeben sich beim Basketball-Freiwurf im Vergleich zu den beiden Schützenstudien höhere Werte in den beiden frontalen Augenfeld-Elektroden. Diese Erhöhung geht mit niedrigeren Werten in den restlichen frontalen Elektroden einher.

### Alphaband

Den Vergleichen im Theta-Band folgend wurde auch im unteren Alpha Frequenzband eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (drei Elektrodenpositionen zentral, temporal, parietal) über die drei Studien durchgeführt. Die Effekte im oberen Alpha-Frequenzband sind nahezu ident, weshalb diese hier nicht mehr berichtet werden. Der Haupteffekt für Studien liefert kein signifikantes Ergebnis, was auf nicht vorhandene Unterschiede zwischen den Studien im Allgemeinen hindeutet ( $F_{2,42} = 1.30, p = .283, \eta_p^2 = .06$ ). Der korrigierte Haupteffekt Elektrode ist signifikant ( $F_{1,37,57.56} = 36.55, p < .001, \eta_p^2 = .47$ ) und zeigt wiederum niedrigste Werte in zentralen Regionen. Zusätzlich dazu ergibt sich auch nach Korrektur eine signifikante Wechselwirkung ( $F_{2,74,57.56} = 37.52, p < .001, \eta_p^2 = .60$ ).

Wie man in Abbildung 34 erkennen kann, zeigt diese erhöhte Werte im temporalen Bereich bei der Basketball-Stichprobe, die mit niedrigeren Werten im zentralen Bereich einhergehen. Dies bestätigt eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung nur für die Basketball-Stichprobe ( $F_{1,23, 13,57} = 13,44, p < .001, \eta_p^2 = .95$ ). Post-Tests mit jeweils einem  $p$  unter .001 ergeben, dass signifikante Unterschiede zwischen den drei Regionen vorliegen.

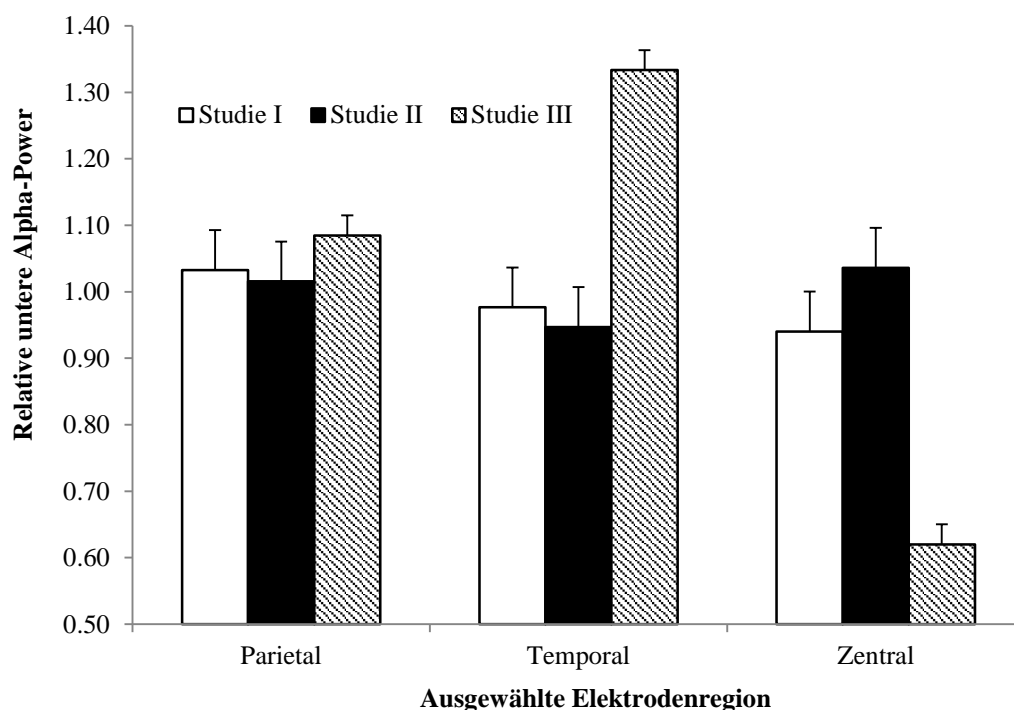


Abbildung 34. Grafische Darstellung der Wechselwirkung zwischen den Variablen Studie und Elektrodenposition für das Alpha-Frequenzband im Studienvergleich

#### 7.4.4 Vergleich der neuronalen Korrelate körperlicher Aktivität in Bezug zur Ruhe

In einer abschließenden Analyse wurden ähnlich einer ERD/S-Berechnung die Aktivitätswerte der Ruhebedingung von der körperlichen Aktivitätsbedingung im Alpha-Frequenzband subtrahiert. Vergleiche im Theta-Frequenzband konnten nicht durchgeführt werden, weil die Ruhewerte aus den beiden Studien zu unterschiedlich waren (siehe auch Kapitel 7.5.2). Positive Werte bedeuten höhere Werte in der sportlichen Aktivitätsbedingung, während negative Werte für höhere Aktivierungen während der Ruhephase stehen. Wiederum wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (drei Elektrodenpositionen zentral, temporal, parietal) über zwei Studien (Studie I und Studie III, weil die Ruhedaten aus Studie II fehlen) berechnet.



Der Haupteffekt für Studie ist nicht signifikant ( $F_{1,26} = 1.28, p = .268, \eta_p^2 = .05$ ), jedoch jener für Elektrode ( $F_{1,08,27.98} = 13.44, p = .001, \eta_p^2 = .34$ ). Die Aktivitätswerte an parietalen Elektroden ( $M = -.505, SD = .25$ ) sind tendenziell kleiner ( $p = .095$ ) als in temporalen Bereichen ( $M = -.231, SD = .57$ ) und signifikant niedriger ( $p < .001$ ) als im zentralen Bereich ( $M = .061, SD = .21$ ). Wenn man die Aktivitätswerte und deren Vorzeichen betrachtet, sind diese im parietalen Bereich daher viel kleiner als in der Ruhebedingung, im temporalen Bereich etwas und im zentralen Bereich zeigen sich beim Schießen und Werfen knapp höhere Werte als in der Ruhebedingung. Die Wechselwirkung ist wiederum signifikant und in Abbildung 35 dargestellt ( $F_{1,08,27.98} = 10.28, p = .003, \eta_p^2 = .28$ ). Während es in zentralen und temporalen Elektroden keine Unterschiede zwischen den Sportarten gibt, zeigen sich parietal niedrigere Werte beim Basketball ( $M = -0.87, SD = 0.22$ ) im Vergleich zum Schießen ( $M = -0.14, SD = 0.28$ ; Posttest: ( $t(28) = 7.05, p < .001, d = 2.98$ ). Dies bedeutet dass die Alpha-Werte beim Basketball von der Ruhe- zur Wurfbedingung stark abnehmen, was bei den Schützen nur in geringem Maß der Fall ist.

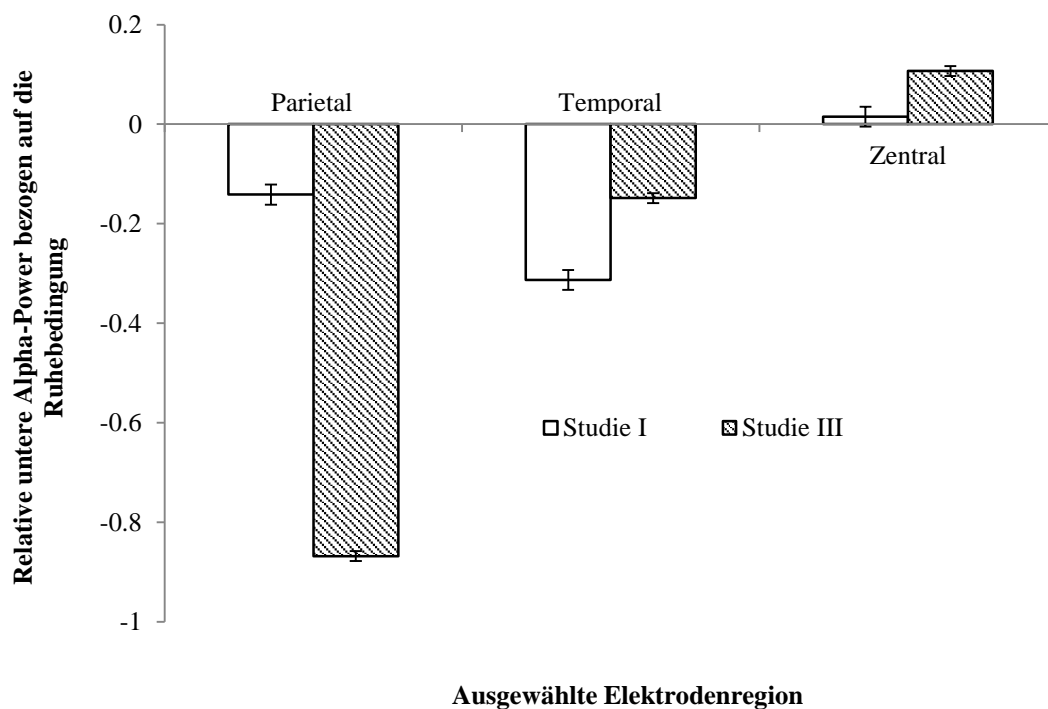


Abbildung 35. Grafische Darstellung der Wechselwirkung zwischen den Variablen Studie und Elektrodenposition (Parietal, Temporal, Zentral) für das Alpha-Frequenzband unter Berücksichtigung der Ruhedaten im Studienvergleich

### **7.4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Aufgelistet findet man eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Vergleichsstudie auf Basis der aufgestellten Fragestellung:

- Bereits in der Ruhebedingung unterscheiden sich die Studienteilnehmer/innen aus den unterschiedlichen Sportarten hinsichtlich der frontalen Theta-Power.
- Die Verteilung der neuronalen Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit ist bei den Schützinnen und Schützen während der Tätigkeitsausführung konstant, im Basketball frontal deutlich anders ausgeprägt, zudem in zentralen Arealen erhöht, dafür in parietalen Regionen niedriger.
- Der Vergleich zwischen sportartbezogener Aufgabe und Ruhebedingung zeigt eine höhere Desynchronisation im parietalen Alpha-Band bei Basketball-Freiwurfern im Vergleich zu den Sportschützinnen und -schützen.

## **7.5 Diskussion**

Im Rahmen dieses Kapitels wurden sportartspezifische Vergleiche hinsichtlich der neuronalen Aktivitätswerte durchgeführt. Dabei wurden die Daten aus den beiden Schützenstudien (Studien I und II) sowie die Basketballdaten (Studie III) herangezogen. Ein solcher Vergleich ist erstmals in dieser Art und Weise durchgeführt worden und zeigt eine neurophysiologische Aktivitätsverschiebung, möglicherweise durch Zunahme der körperlichen Bewegung beim Basketball-Freiwurf im Vergleich zum Sportschießen Pistole.

### **7.5.1 Beurteilung der Studienvoraussetzungen**

Damit Unterschiede in der neuronalen Aktivität während der Tätigkeitsausführung auch auf diese zurückzuführen sind, wurden die Daten auf eine Ruhebedingung relativiert. Diese Ruhedatenaufzeichnung mit offenen und geschlossenen Augen wurde auch in anderen Studien (Babiloni et al., 2010) gewählt und hat sich bislang bewährt. Aufbauend auf den beiden Ruhebedingungen wäre eine Hinzunahme von weiteren Ruhevergleichen empfehlenswert. Für eine exakte Trennung der neuronalen Korrelate der motorischen Aufgabe und fokussierter Aufmerksamkeit würden Ruhebedingungen wie etwa Trockenschüsse, angedeutete Würfe oder Ähnliches von Vorteil sein. Die motorischen Abläufe dieser Ausführungen wären nahezu identisch mit der eigentlichen Handlung. Aktivitätsunterschiede sollten sich nur hinsichtlich der kognitiven Aktivierung und des Konstrukts der fokussierten Aufmerksamkeit ergeben.

### **7.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse**

Hinsichtlich der in dieser Studie verwendeten Ruhebedingung zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden sportartspezifischen Stichproben im Theta-Frequenzband. Ein möglicher konfundierender Faktor für diese Ergebnisse könnten die großen Altersunterschiede zwischen den Personen der Studien I und III sein. Während die Sportschützinnen und -schützen aus Studie I im Schnitt 17 Jahre alt waren, lag das Durchschnittsalter der Basketballspieler aus Studie III bei 30 Jahren. Studien wie jene von Matsuura et al. (1985) zeigen, dass gewisse Elemente des EEG-Signals erst mit dem Erwachsenenalter eine Stabilität erreichen. Sie untersuchten diesbezüglich mehr als 1400 gesunde Personen im Alter zwischen 6 und 39 Jahren. Die Ergebnisse zeigen eine erhöhte Theta-Power im Alter der Heranwachsenden, welche dann sinkt, mit ungefähr 18 Jahren den niedrigsten Wert erreicht und von dort an stabil bleibt. Auch im Alpha-Frequenzbereich gibt es gewisse kortikale Verschiebungen mit dem Alter, wobei sich Veränderungen meist ab 17 Jahren zeigen und das EEG-Signal danach relativ konstant bleibt. Die Ruhewerte bezogen auf die beiden Alpha-Frequenzbänder unterscheiden sich in dieser Arbeit jedoch nicht voneinander. Die Altersproblematik hinsichtlich des EEG-Signals sollte bei der Planung und Umsetzung von weiteren Studien mitbedacht werden.

Unabhängig von der Altersproblematik zeigen sich auch im sportlichen Kontext Unterschiede im Ruhe-EEG. Babiloni und Kollegen (2010) berichten eine erhöhte Alpha-Amplitude im parietalen und okzipitalen Bereich bei Karateexperten im Vergleich zu Novizen bereits in einer Ruhebedingung mit geschlossenen Augen. Die Ergebnisse wurden durch eine Kontrollgruppe aus Gymnastikathletinnen und -athleten untermauert. Mit dem Einfluss von sportlicher Aktivität auf das EEG-Ruhsignal haben sich Gutmann et al. (2015) beschäftigt. Sie nehmen an, dass akute körperliche Aktivität positive Effekte auf die Gehirnfunktionen hat und daher mit einer Verbesserung der kognitiven Leistung einhergeht (Hillmann, Erickson & Kramer, 2008). Wenn man diese Annahme weiterverfolgt, müssten sich Veränderungen auch im EEG-Signal zeigen. Der individuelle Alpha-Peak als Marker von individuellem Aktivierungsniveau und Aufmerksamkeit wurde zur Überprüfung dieser Annahme herangezogen. Im Rahmen eines vierwöchigen Trainings wurden eine anspruchsvolle und eine einfachere Aufgabe vorgegeben. Veränderungen im Ruhe-EEG zeigten sich nur nach dem exzessiven Training, und zwar in der Form, dass die intraindividuellen Alpha-Peak-Werte signifikant erhöht waren.

Neben Unterschieden in der Ruhebedingung zeigt sich in der hier durchgeführten Studie eine im Vergleich zum Sportschießen andere Verteilung der frontalen Aktivität im Theta-Frequenzband bei Basketballspielern. Die Aktivitäten in den frontalen Augenfeldelektroden sind während des Basketballfreiwurfes höher als während der Schießaufgabe. Diese Aktivitätsverschiebung in die vordersten frontalen Elektroden kann mit der Erweiterung der Tiefenkomponente beim Zielvorgang im Basketball im Vergleich zu den Schützen zusammenhängen. Daher ergeben sich niedrigere relative Werte in frontozentralen Regionen.

Nachdem die Aktivitäten im Theta-Frequenzband bei den Schützen in gleicher Höhe ausgeprägt waren, zeigte sich ein ähnliches Bild für den Alpha-Frequenzbereich. Studie I unterscheidet sich, bezogen auf die Alpha-Power, nicht von Studie II. Hingegen gibt es sehr wohl Unterschiede zwischen den beiden Schützendenaten und der Basketball-Freiwurfstudie. Verglichen mit den EEG-Ableitungen bei Pistolenschützen zeigen sich im Basketball höhere Powerwerte in zentralen und niedrigere Werte in parietalen Bereichen. Interessante Ergebnisse liefert auch der auf die Ruhedaten bezogene Vergleich. Dort zeigt sich bei den Freiwierfern eine hohe Alpha-Desynchronisation im parietalen Bereich. Bei Schützen sind die Aktivitätsniveaus zwischen Ruhe und Schussbedingung relativ konstant. Die Daten der Basketballer entsprechen anderen Befunden zur Alpha-Desynchronisation in hinteren Bereichen des Cortex (Babiloni et al., 2008; Del Percio et al., 2009). Wie schon bei der Veränderung im Theta-Frequenzband beobachtet, ist auch hier eine Verschiebung der neuronalen Aktivität in zentrale Bereiche vorherrschend. Einzig der temporale Bereich bleibt sportartunabhängig. Ob dies durch eine Erhöhung der motorischen Anforderungen oder andere Einflussgrößen bedingt ist, wurde bisher noch nicht untersucht und bedarf daher weiterer Studien.

### **7.5.3 Fazit und Ausblick**

Der Studienvergleich der drei unterschiedlichen Settings im Rahmen zweier verschiedener Sportarten bringt Ergebnisse, die andeuten, dass ein solcher Vergleich sehr sinnvoll und gewinnbringend ist. Für zukünftige Vergleiche ist zu beachten, dass, wie auch hier zu Beginn, Sportarten gewählt werden, deren Aufgaben hinsichtlich der Anforderungen einigermaßen vergleichbar sind. Darüber hinaus ist ein Konstanthalten von möglichst vielen Faktoren, wie Alter, Geschlecht, Erfahrungsgrad, Untersuchungssetting und -design wünschenswert, um Unterschiede eindeutig auf die reine Änderung der Sportart zurückführen zu können.

## **8 Abschlussdiskussion**

### **8.1 Zusammenfassung der Teilstudien**

Im Rahmen von drei EEG-Studien in unterschiedlichen Sportarten und Settings wurden Zusammenhänge zwischen dem neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit und leistungsbezogenen Parametern betrachtet. In Studie I wurden EEG-Ableitungen bei Nachwuchs-Sportpistolenschützinnen und -schützen im Rahmen einer gewohnten Wettkampfsimulation durchgeführt. Studie II unterschied sich von Studie I dahingehend, dass den erfahreneren Schützinnen und Schützen in Studie II keine direkte Rückmeldung des Schussresultates dargeboten wurde. Zusätzlich hatten sie die Aufgabe, nach jedem Schuss eine verbale Beurteilung der Qualität dieses Schusses abzugeben. Neben dieser Selbsteinschätzung in Studie II wurden in beiden Studien Fremdbeurteilungen durch den Trainer als weitere leistungsbezogene Parameter herangezogen. Zusätzlich wurden Zielgenauigkeitsparameter wie die Handruhe, die Zielzeit oder der Prozentsatz des Verweilens im Scheibenmittelpunkt als Leistungsindikatoren verwendet. Auch bei der Basketball-Freiwurf-Aufgabe in Studie III wurde das Setting um leistungsbezogene Parameter wie ein trefferbezogenes Kategoriensystem und die Abweichung vom optimalen Treffpunkt mittels Videoanalyse erweitert. In einem letzten Schritt wurden die drei Teilstudien zueinander in Bezug gesetzt. Dies war möglich, weil die neurophysiologischen Aktivitätswerte aus den einzelnen Studien jeweils auf den personenbezogenen Mittelwert relativiert wurden. Als neuronales Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit dienten die frontale Theta- sowie die parietale und temporale Alpha-Power.

Die drei durchgeführten Studien unterscheiden sich von bisherigen EEG-Erhebungen im Sport in folgenden Gesichtspunkten:

- Betrachtung im Rahmen des Konstrukts fokussierte Aufmerksamkeit
- Erweiterung der Leistungsparameter statt Verwendung des reinen Schussresultates
- Andere Möglichkeiten der Auswertung (Einzelitemanalyse, Relativierung auf den personenbezogenen Mittelwert, Regression etc.)
- Direkter Vergleich von EEG-Erhebungen in unterschiedlichen Sportarten und Settings

## **8.2 Einordnung der Ergebnisse in bestehende Literatur**

Die eben genannten Punkte streichen nochmals die Einzigartigkeit der hier durchgeführten Studie heraus. Trotz dieser Rahmenbedingungen zeigen sich keine durchgehend konstanten Effekte hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Theta-Power als neuronalem Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit und leistungsbezogenen Maßen. Ein für alle Studien gültiger Befund ist jedoch, dass eine Powerzunahme sowohl im Alpha- als auch im Theta-Frequenzband während des Zielvorganges zu beobachten ist. Diese Poweranstiege stimmen überein mit den Ergebnissen aus bestehenden EEG-Erhebungen im Sport (Haufler et al., 2000; Kerick et al., 2004; Doppelmayr et al., 2008). In den vorangegangenen Arbeiten wurden Power-Unterschiede zumeist zwischen Experten und Novizen berichtet. Es war daher naheliegend, dass sich gewisse Unterschiede auch dann zeigen, wenn man innerhalb der Expertengruppe ein breites Spektrum an leistungsspezifischen Faktoren erfasst und diese untereinander diskriminiert. Dies war zumindest für die Alpha-Power zutreffend, da sich wie angenommen, Zusammenhänge zwischen dieser und den leistungsbezogenen Parametern in temporalen und parietalen Regionen in allen drei Teilstudien gezeigt haben. Diese temporale und parietale Aktivierung konnte auch schon bei Crews und Landers (1993) oder Loze et al. (2001) gezeigt werden. Ähnlich zu der hier durchgeführten Studie versuchten Wolf et al. (2015) einen Zusammenhang zwischen der neurophysiologischen Aktivität und dem Flow-Erleben herzustellen. In ihrer Studie präsentierten sie erfahrenen Athleten und Novizen Tischtennisaufschläge per Video. Die Teilnehmer mussten sich vorstellen, diese zurückzuspielen. Neben EEG-Ableitungen wurde zur Erfassung des Flow-Erlebens der Fragebogen FKS (Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003; zehn Items auf einer sieben-stufigen Likert-Skala) eingesetzt. Die Ergebnisse zeigten links eine höhere temporale Aktivität als rechts. Neben der Alpha-Power wurde auch die Theta-Power im Rahmen von Kohärenzanalysen (wie stark hängen ausgewählte Elektroden untereinander zusammen) betrachtet. Es zeigen sich Kohärenzen zwischen frontalen und temporalen Elektroden, wobei geringere links-temporale Aktivierungen bei Experten mit mehr Flow assoziiert werden. Eine hohe Fokussiertheit als Schlüssel für ein Flow-Erleben geht laut Wolf und Kollegen (2015) einher mit einer niedrigeren linkshemisphärischen Alpha-Power, generiert von temporalen Elektroden. Die linkshemisphärische Aktiviertheit zeigte sich auch bei Landers und Mitarbeitern (1994), wo beim Erlernen von Bogenschützen-Aufgaben die Alpha-Power linkshemisphärisch steigt, rechts jedoch gleich bleibt. Ähnliche Ergebnisse konnten Hillmann, Apparies, Janelle und Hatfield (2000) berichten.

Sie unterschieden durchgeführte von abgebrochenen Schüssen in einer Schießsportaufgabe. Bei abgebrochenen Schüssen, also jenen, bei denen zwar gezielt, ein Schuss aber nicht abgegeben wurde, zeigte sich eine erhöhte Alpha-Power.

Wie auch bei Wolf et al. (2015) wurde in der hier durchgeführten Studie Flow als ein Zustand höchst konzentrativer Versenkung betrachtet und es wurden dahingehende Zusammenhänge zur neurophysiologischen Aktivität hergestellt. Durch die Veränderung des Settings mit der Ergebniswegnahme wurde erwartet, eher in einen flowähnlichen Zustand zu kommen und daher auch eine höhere Theta-Power in frontalen Elektroden zu erreichen. Diese Annahme konnte nicht bestätigt werden. Die einzigen signifikanten Effekte in der Theta-Power im Zusammenhang mit leistungsbezogenen Parametern konnten in der Basketballstudie beobachtet werden. Dort gehen höhere Werte in der frontalen Theta-Power mit besseren Wurfgenauigkeitsparametern einher. Der Expertengrad der Teilnehmer in ihrem gewohnten Setting ist eine gute Voraussetzung dafür, dass sich Zusammenhänge gezeigt haben.

Die bisherige Studienlage zum frontalen mittleren Theta zeigt Effekte in den Sportarten Golf (Baumeister et al., 2008) und Sportgewehrschießen (Doppelmayr et al., 2008). Auch in der vorliegenden Arbeit konnten, wie bei Chuang et al. (2013), Zusammenhänge von erhöhter Theta-Power mit einer höheren Zielgenauigkeit im Basketball, nicht jedoch im Sportschießen Pistole berichtet werden. Nachdem in den einzelnen Teildiskussionen bereits das Untersuchungssetting als mögliche Ursache für ausbleibende Effekte angeführt wurde, soll hier nochmals auf den Erfahrungsgrad und die kortikale Aktivität eingegangen werden. Eine interessante Studie diesbezüglich wurde von Brefczynski-Lewis, Lutz, Schaefer, Levinson und Davidson (2007) bei meditierenden Personen durchgeführt. Sie verglichen sehr erfahrene meditierende Personen mit mäßig erfahrenen und ganz unerfahrenen hinsichtlich ihrer Gehirnaktivität. Die teilnehmenden Buddhisten mussten ihre Aufmerksamkeitseinengung während fMRI-Messungen durchführen. Der beschriebene Zustand lässt sich sehr gut mit dem Konstrukt der fokussierten Aufmerksamkeit aus dieser Arbeit vergleichen (Anderson, 2004). Die gesamte Aufmerksamkeit wird dabei auf ein Objekt gerichtet, dort so lange wie nötig belassen und wieder zurückgebracht, wenn man kurz durch äußere Wahrnehmungen oder eigene Gedanken abgelenkt wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass mäßige Experten mit mehr als



19000 Stunden an Erfahrung höhere Aktivitäten als Novizen hatten, Experten mit mehr als 44000 Stunden Erfahrung jedoch eine geringere kortikale Aktivierung aufwiesen. Dieser U-förmige Zusammenhang könnte mit ein Faktor sein, warum sich beim Sportschießen keine Effekte im Theta gezeigt haben.

Gerade die Erkenntnisse aus dem Reich der Meditation können für die Sportwelt von Bedeutung sein. Neben den bereits in der theoretischen Herleitung erwähnten Meditationsstudien im Zusammenhang mit fokussierter Aufmerksamkeit (Aftanas & Golocheikine, 2001; Kubota et al., 2001; Baijal & Srinivasan, 2010) eignen sich die Erkenntnisse aus weiteren Studien sehr gut für Anwendungen in der Sportwelt. Lutz, Slagter, Dunne und Davidson (2008) beschreiben Meditation als komplexe, emotionale und aufmerksamkeitsbezogene Regulationsstrategie, bei der die Atmung einen entscheidenden Faktor spielt. Bei der fokussierten Aufmerksamkeits-Meditation gilt es, sich auf ein Objekt in ausgedehnter Weise zu konzentrieren. Diese Art zeigt sich auch dann, wenn man versucht, die Aufmerksamkeit aufrechtzuerhalten, dann einen Distraktor erkennt und es schafft, in kurzer Zeit wieder zurück zum eigentlichen Fokus zu kommen. Dies wäre mit speziellen Übungen auch im Sport zur Förderung der fokussierten Aufmerksamkeit durch gezieltes Entspannungstraining möglich. Dickenson, Berkman, Arch und Lieberman (2013) betrachten fokussierte Aufmerksamkeit als einen Beginn zum Eintauchen in einen meditativen Zustand. Sehr oft gelingt ein solcher Einstieg über gezieltes, fokussiertes Atmen. Dahingehend haben die Autoren auch eine fMRI-Studie mit unerfahrenen Meditierenden durchgeführt. Sie konnten schon nach kurzer Zeit zeigen, dass durch das fokussierte Atmen ein Aufmerksamkeitsnetzwerk mit parietalen und präfrontalen Strukturen aktiviert wird, wobei gerade der ACC (wie auch bei der Gewehrschützenstudie von Doppelmayr et al., 2008) eine besondere Rolle spielt.

Aktuelle Befunde mittels EEG im Sport bestätigen diese Annahme. In der oben erwähnten Studie von Wolf et al. (2014) wurden EEG-Erhebungen bei der Sportart Tischtennis mit Experten, Amateuren und Nachwuchsspielern durchgeführt. Die EEG-Messungen wurden nicht direkt während der Bewegungsausführung durchgeführt. Den Teilnehmern wurden vielmehr Videosequenzen dargeboten und sie mussten sich vorstellen, adäquat auf die zu sehenden Tischtennis-Angaben zu reagieren. Bei den Profispielern zeigten sich höhere Desynchronisationen im unteren Alpha-Frequenzband im Vergleich zu den Amateuren.

Ebenso hängt diese Aktivierung in fronto-parietalen Regionen mit der Weltranglistenposition zusammen. Die Autoren gehen davon aus, dass eine geringere Aktivierung im fronto-parietalen Aufmerksamkeitsnetzwerk notwendig ist, um ein Weltklasseathlet zu werden. Die Ergebnisse der einzelnen Teilstudien der vorliegenden Arbeit mit einer Abnahme der parietalen Alpha-Power bei höherer Leistung unterstützen diese Annahme. Kohärenzen im EEG-Signal wurden auch von Wu, Lo und Lin (2007) in fronto-parietale Regionen bei Basketballfreiwürfen gebildet. Die Höhe der Kohärenzen im unteren Alpha-Frequenzband war bei guter Leistung geringer als bei schlechter Leistung. Außerdem war sie bei erfolgreichen Würfen in der linken Hemisphäre geringer als in der rechten. Die Ergebnisse belegen erneut die Annahme linkshemisphärischer Prozesse, die im Zusammenhang mit verbalen Aufgaben stehen, die folglich unterdrückt werden müssen. Rechtshemisphärische Aktivität geht im Gegenzug einher mit räumlichen Aufgaben. Eine weitere EEG-Studie mit Profis wurde von Harung (2011) durchgeführt. Er untersuchte die psychischen und physischen Anforderungen bei 33 norwegischen Spitzen- (Olympia- und WM-Teilnahmen) sowie 33 Durchschnittssportlern. In Reaktions-Zeit-Aufgaben zeigten sich höhere Alpha-Power-Kohärenzen frontal bei den Top-Athleten im Vergleich zu den Amateuren. Den Profis gelingt es demnach ruhig, aber zur gleichen Zeit bereit zu sein, um auf Veränderungen in der Umwelt, wie zum Beispiel das Verhalten der Mitspieler/innen, sofort zu reagieren. Die höheren Kohärenzen in den frontalen Bereichen der exekutiven Funktionen deuten auf bessere Wahrnehmungs-, Planungs- und Handlungsprozesse hin. Die Daten während der Tests im Vergleich zu einer Ruhebedingung zeigen auch, dass Gehirnareale, die für die Aufgabenausführung nötig sind, nur dann aktiviert werden, wenn sie notwendig sind. Das Gehirn von Experten arbeitet daher sehr ökonomisch, was unabdingbar für das Erbringen von Topleistungen ist. Dies hängt auch mit der Plastizität des menschlichen Gehirns zusammen, die sich durch die Erfahrung entwickelt. Chang (2014) beschreibt diesbezüglich zwei Ebenen, wie sich der Cortex durch Sport und Musik verändern kann. Zur ersten Ebene zählt er strukturelle Veränderungen, wie etwa Volumens- und Größenveränderungen. Zum anderen hebt er die funktionale Plastizität, gekennzeichnet durch höhere Aktivität in EEG- und fMRI-Studien, hervor. Milton, Solodkin, Hluštik und Small (2007) konnten in einer Studie im Golf zeigen, dass die benötigten neuronalen Netzwerke bei Experten effizient organisiert sind, während es bei Novizen sehr diffus aussieht. Dies geht einher mit der Annahme der Ökonomie im Sinne einer *neural efficiency* (Grabner et al., 2006; Babiloni et al. 2010), vor allem bei jenen

Aufgaben, die Sportler jahrelang trainiert haben. Vergleichbare Effekte wurden auch bei Berufsmusikern gefunden (Lotze, Scheler, Tan, Braun & Birbaumer, 2003). Bei der Vorstellung von Geigenspielbewegungen zeigten sich bei ihnen sehr spezifische Aktivierungsmuster.

Zusammengefasst kann man festhalten, dass die Ergebnisse der hier durchgeführten Studie mit frontalen und parietalen Effekten den Schluss zulassen, von einem fronto-parietalen Aufmerksamkeitsnetzwerk auszugehen. Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum und Posner (2005) schreiben besonders dem ACC und dem präfrontalen Cortex eine bedeutende Rolle zu. Auch Caposto, Babiloni, Romani und Corbetta (2009) setzen eine erfolgreiche antizipatorische Aufmerksamkeit in visuell-räumlichen Aufgaben in Bezug zur Modulation des parietal-okzipitalen Alpha-Rhythmus vor der Stimulusabgabe. Neben den in der Einleitung zitierten Studien (Posner & Petersen, 1990; Corbetta & Shulman, 2002; Shomstein et al., 2012) weisen auch Yarrow, Braun und Krakauer (2009) darauf hin, dass für gewisse Teilbereiche der Aufmerksamkeit Aktivitäten im parietalen Cortex verantwortlich sind. Posner und Rothbart (2007) meinen dazu, dass Aufmerksamkeit durch die Verknüpfung mehrerer neuronaler Netzwerke charakterisiert wird. Sie unterscheiden dabei die drei Ebenen Orientierung, Aufmerksamkeit und exekutive Kontrolle und beschreiben, dass dafür spezifische Regionen im Gehirn verantwortlich sind. Wie man in Tabelle 32 erkennen kann, sind frontale und parietale Regionen in allen drei Ebenen beteiligt. Ferner erlaubt diese Dreiteilung auch eine Diskrimination bezüglich möglicher neurologischer Störungsbilder (Rothbart & Posner, 2006).

Tabelle 32

*Funktionen der Aufmerksamkeit samt neuroanatomischer Struktur und neurologische Störungsbilder (Posner & Rothbart, 2007; Rothbart & Posner, 2006)*

<b>Funktion</b>	<b>Strukturen</b>	<b>Störungsbilder</b>
<i>Orientierung</i>	Superior parietal	
	Temporal parietale Verbindung	Normales Altern
	Frontale Augenfelder	ADHS
<i>Aufmerksamkeit</i>	Superior colliculus	
	Locus coeruleus	
	Rechts frontaler Bereich	Autismus
<i>Exekutive Kontrolle</i>	Parietaler Cortex	
	ACC	Alzheimer
	Lateral ventral	Borderline
	Prefrontal	Schizophrenie
	Basalganglien	Mikrodeletionssyndrom

Vor allem die Aufmerksamkeit als Komponente von Posner's Einteilung von Aufmerksamkeit hängt eng mit dem gewissen Aktivierungszustand des Bereitseins, folglich *arousal* genannt, zusammen. Coull (1998) beschreibt, dass die beiden Konstrukte Aufmerksamkeit und Arousal als multidimensionale psychologische Prozesse eng miteinander interagieren. Diese Annahme wird auch von Mesulam (1981) und Posner und Peterson (1990) geteilt. Unter Arousal verstehen die Autoren einen Zustand physiologischer Reaktivität im Sinne eines Vorbereitet- und Wachsamseins gegenüber externen Stimuli. Wie die physiologische Vorbereitung mit der neuronalen Aktivierung zusammenhängt beschreiben Jann, Koenig, Dierks, Boesch und Federspiel (2010). Sie bezeichnen die Alpha-Frequenz als vermeintlichen Marker von Arousal und Aufmerksamkeit. Als neuronales Korrelat von fokussierter Aufmerksamkeit beschreiben sie Alpha-Veränderungen besonders in frontalen und parietalen Regionen. Diese hängen mit der Durchblutung zusammen, die mittels rCBF (regional cerebral blood flow) in einer fMRI-Messung bestimmt wurde. Es zeigten sich höhere Alpha-Powerwerte bei geringerer Durchblutung. Abschließend kann gesagt werden, dass das richtige physische Aktivitätsniveau sehr wichtig ist und auch einen möglichen Faktor darstellt, warum keine durchgehenden Effekte im Theta-Frequenzband in Bezug zu den Leistungsparametern aufgetreten sind.

### 8.3 Implikationen für die praktische Sportwelt

Neben der im vorangegangenen Kapitel angesprochenen Analogie zu Entspannungsverfahren zeigen sich noch andere Möglichkeiten, um Komponenten der Aufmerksamkeit zu trainieren. Tang und Posner (2009) unterscheiden diesbezüglich zwei Arten aufmerksamkeitsbasierten Trainings. Zum einen die in Europa und Nordamerika weit verbreiteten kognitiven Aufgaben am Computer, wo zumeist Trainings zum Arbeitsgedächtnis oder exekutive Funktionen dargeboten wurden. Klingberg und Kollegen (2005) konnten zeigen, dass bei Kindern neben Verbesserungen im Arbeitsgedächtnis und bei der Intelligenz auch Teilbereiche der Aufmerksamkeit, die durch Fremdbeurteilungen erhoben wurden, besser geworden sind. Neben kognitiven Trainings ist ein Training im Rahmen von Entspannungsverfahren als zweite Art ein ebenso wichtiger Faktor, der eher mit Traditionen aus dem asiatischen Raum, wie Meditationen, Naturverbundenheit und Körperwahrnehmung, verbunden ist. Die Suche nach der Balance und einer gewissen Entspannung während des Fokussiertseins ist besonders im Sport für das Erreichen von Höchstleistungen von großer Bedeutung. Wie diese Balance zwischen Fokussiertheit und optimaler Leistung aussehen kann, zeigt Abbildung 36.

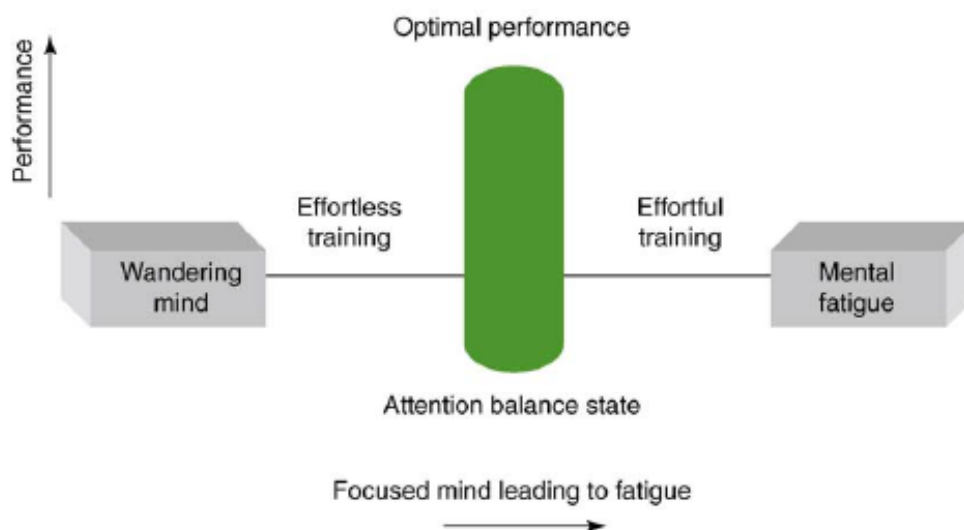


Abbildung 36. Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Aufmerksamkeit und optimaler Leistung (nach Tang & Posner, 2009)

Eine ähnliche Zweiteilung in Hinblick auf Aufmerksamkeitstrainings wählte Moran (2004) im sportlichen Kontext. Er unterscheidet zwischen aufmerksamkeitsbasierten Trainingsaufgaben und Techniken. Ersteres bezeichnet konkrete Aufgaben im

Trainingsprozess, wie zum Beispiel visuelle Such- oder Simulationsaufgaben. Letzteres ist auf die Anwendung in Wettkämpfen ausgelegt. Dazu gehören Zielsetzung, Pre-Performance-Routinen, Triggerwörter und mentales Training (siehe auch Eberspächer, 2012). Gerade Pre-Performance-Routinen sind ein wesentlicher Faktor in Hinblick auf eine fokussierte Aufmerksamkeit und folglich ein Erbringen von Höchstleistungen. Bei den hier verwendeten Aufgaben wie dem Basketball-Freiwurf oder dem Luftpistoleschießen bietet sich eine solche Routine besonders an, weil aus einem statischen Zustand ein fixes Ziel anvisiert werden muss. Eine Studie von Prebon und Docker (1992) belegt die Wirksamkeit solcher Pre-Shot-Routinen im Basketballsport. Sehr wichtig sind dabei eine Automatisierung der Prozesse und Abläufe und ein ständiges Wiederholen, damit sich die Routine auch verfestigt. Das automatisierte Schussverhalten im Rahmen einer Trainingsstudie wurde bei Kim, Shin und Choi (2009) untersucht. Es nahmen zwar nur vier Athleten an der Schützenstudie teil, dennoch konnten die Vorteile eines automatisierten Verhaltens berichtet werden. In ihrer Ausführung beschreiben die Autoren ähnliche Konstrukte, wie man sie auch bei den begünstigenden Faktoren für einen Flow-Zustand finden kann (siehe Kapitel 2.4.3). Dazu gehören eine gute und sichere Repräsentation des Schussverhaltens, das Bilden von vertrauensvollen Schlüsselreizen (wie zum Beispiel: „Fokus [auf das Ziel]“) und das Finden einer konsistenten Zielzeit für das Schießen. Die Zielzeit ist ein sehr guter Anknüpfungspunkt, da sich zwischen dieser und dem neuronalen Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit auch in den hier durchgeführten Teilstudien immer wieder Effekte gezeigt haben. Die eben skizzierten Abläufe erleichtern es den Athletinnen und Athleten, in einen Flow-Zustand zu kommen und dementsprechende Leistungen zu erbringen (Jackson, Kimiecik, Ford & Marsh, 1998; Csikszentmihalyi & Jackson, 2000). Harmison (2011) verwendet für diesen Zustand mehrere Begriffe, wie *peak performance*, *the zone*, *flow state* oder *ideal performance state*. Dieser Zustand ist für gewöhnlich assoziiert mit der besten Leistung einer Athletin/eines Athleten, die/der überdurchschnittliche Fähigkeiten in ihrem/seinem jeweiligen Bereich besitzt. Für Csikszentmihalyi und Jackson (2000) oder auch Jackson et al. (1998) ist der Erfahrungsgrad weniger relevant, auch unerfahrene Athletinnen und Athleten können einen solchen Zustand erreichen. Vielmehr ist die Freude am Tun, verbunden mit dem vollkommenen Aufgehen in der Sache, ein begünstigender Faktor.

Neben den konkreten Übungen zur Aufmerksamkeitsregulation, um in einen Zustand optimalen Funktionierens zu kommen, ist Aufmerksamkeit laut Wulf und Prinz (2001) der entscheidende Faktor für Bewegungslernen und Leistung. Um sich vom Beginner zum Experten zu entwickeln, gehört es dazu, dass Abläufe unbewusst durchgeführt werden (Singer, 2002). Milton et al. (2007) zeigen, dass Experten effizient sind, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren und andere Dinge außer Acht zu lassen – gerade, weil die Abläufe automatisiert sind und sie dafür fast keine Kapazitäten benötigen. Eine vollständige Zuwendung zur Aufgabe ist somit gegeben. Im Rahmen des vom BISp geförderten Forschungsprojektes „Konzentrationsstraining für Sportschießen Pistole“ an der TU München wurden spezielle Übungen in Hinblick auf die Aufmerksamkeitsregulation mit Nachwuchsathletinnen und –athleten durchgeführt (Beckmann-Waldenmayer, Kreinbacher & Beckmann, 2012). Diese waren angelehnt an bereits bestehende Konzentrationsstrainings aus den Sportarten Handball (Wegner, 1992) und Basketball (Neumann & Mellinghoff, 2002). Die Ergebnisse zeigen, dass sich neben Teilbereichen der Aufmerksamkeit auch überdurchschnittliche Leistungssteigerungen im Saisonverlauf gezeigt haben. Diese sprechen für einen engen Zusammenhang beider Konstrukte, der auch in der vorliegenden Arbeit angenommen wurde. Für die sportpsychologische Praxis wird es in Zukunft immer mehr von Bedeutung sein, mit Athletinnen und Athleten in diesem Bereich zu arbeiten und sie dahingehend zu trainieren. Die enorme Dichte an physisch ausgebildeten Fähigkeiten im Hochleistungsbereich macht ein Training psychischer Fähigkeiten unabdingbar. Wer neben dem körperlichen Training im mentalen Bereich arbeitet, im entscheidenden Moment alles andere ausblenden und seine Bestleistung abliefern kann, hat sehr gute Chancen, ganz vorne mit dabei zu sein.

Ein weiterer mitentscheidender Faktor in Hinblick auf die Entwicklung vom Anfänger zum Experten ist richtig eingesetztes Feedback. Wulf und Shea (2004) zeigen Effekte von den leistungsbezogenen Rückmeldungen durch *knowledge of performance* (KP) und *knowledge of result* (KR) auch im Zusammenhang mit dem Aufmerksamkeitsfokus (Wulf, Töllner & Shea, 2007). Beide Faktoren sind begünstigend, um einen Expertenstatus zu erlangen. In der hier durchgeführten Teilstudie II wurde versucht, den Athletinnen und Athleten die Rückmeldung des Ergebnisses zu enthalten, damit sie sich besser auf die wesentliche Aufgabe konzentrieren. Die Wegnahme der Ergebnisrückmeldung hat die Leistung nicht beeinträchtigt, die Athletinnen und Athleten gaben aber an, dass es ungewohnt für sie sei.

Daher ist zu überlegen, wie in weiterer Folge Rückmeldungen eingesetzt werden sollten. Anstelle einer vollständigen Enthaltung wäre es möglich, Feedback nicht nach jedem Schuss, sondern nur nach jedem zweiten oder dritten Schuss oder nach einer höheren Anzahl an Schüssen zu geben. Wenn eine Rückmeldung erst nach einer gewissen Anzahl von Bewegungsausführungen gegeben wird, bezeichnet man dies als *summary-KR* (Marshall & Daus, 2003). Die Spannbreite bzw. die Anzahl der jeweils aufsummierten Schüsse kann individuell gewählt werden. Letztlich wird auch hier tatsächlich zu jedem Ausführungsversuch Information bereitgestellt, die jedoch erst nach einer gewissen Anzahl an Schussversuchen sichtbar ist. Die Schützinnen und Schützen sind somit in den Versuchen ohne unmittelbare Rückmeldung auf ihr intrinsisches Feedback angewiesen, das dann mit dem aufsummierten Feedback verglichen werden kann. Eine andere Möglichkeit wäre jene, die Hänsel (2006) mit der *bandwidth-KR* Methode beschreibt. Hier wird der Schützin/dem Schützen nur dann Rückmeldung gegeben, wenn die Schussleistung außerhalb eines festgelegten Toleranzbereiches liegt. Folglich hängt die Häufigkeit des Feedbacks vom Ausmaß dieser Fehlertoleranz ab. Übertragen auf die Trainingspraxis könnte hier beispielsweise ein Toleranzbereich von 9.5 – 10.9 auf der Zielscheibe festgelegt werden, der auch, je nach Leistungsniveau der Schützin/des Schützen, individuell von der/dem Trainer/in abgeändert werden kann. Gemeinsam ist den genannten Varianten der Wechsel von Übungsabschnitten mit und ohne unmittelbar ergänzendem Feedback, was sich förderlich auf die Leistung auswirkt.

Zusätzlich zum Trainieren und Verbessern der physischen Fähigkeiten sollten analog zum Trainieren der Muskeln, auch Bereiche im Gehirn trainiert werden. Um eine neue Handlung zu bewältigen, brauchen wir zuerst viel kortikale Aktivität, wenn diese jedoch gelernt ist, brauchen wir viel weniger und können mehr für andere Dinge frei machen. Im erlernten Zustand ist mit weniger Ressourcen mehr möglich. So beschreibt auch Mulholland (1995) das durch das EEG dargebotene Signal als einen Marker von mentalen bzw. psychologischen Prozessen. Das EEG gibt nicht so viel Aufschluss über Gehirnfunktionen, wie wir gerne hätten, nur Indizien. Vielmehr ist die kortikale Aktivität ein Indikator des zugehörigen Verhaltens. Muskelbewegungen können analog zur Gehirnaktivität gesehen werden. So wird zum Beispiel eine Inhibition im Alphaband nicht immer mit höherer Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht, sondern ist nach Mulholland (1995) ein Indikator für die Demobilisierung kortikaler Prozesse.



Neben den Veränderungen in Bereichen der Alpha-Frequenz ist die erhöhte frontale Theta-Power ein neuronales Korrelat fokussierter Aufmerksamkeit, das sich zum Teil auch in dieser Arbeit gezeigt hat. Das Theta-Frequenzband spielt auch bei der Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung eine besondere Rolle, da Personen mit ADHS eine erhöhte Theta-Power in Ruhe in Bezug zu einer unauffälligen Vergleichsstichprobe aufweisen (Lubar, 1991). Ogrim, Kropotov und Hestad (2012) zeigen bei der Betrachtung von Theta auf zentralen Elektroden bei ADHS einen positiven Zusammenhang mit Unaufmerksamkeit und exekutiven Funktionen sowie einen negativen Zusammenhang mit Hyperaktivität und Impulsivität. Neben dem erhöhten Theta zeigt sich auch eine niedrigere Power im Beta-Frequenzband. Auf spezielle Studien und Behandlungsmöglichkeiten wird nach einer kurzen allgemeinen Beschreibung des Störungsbildes eingegangen.

#### **8.4 ADHS und andere aufmerksamkeitsbasierte Phänomene**

Bei ADHS sind Beeinträchtigungen neben Impulsivität und körperlicher Unruhe vor allem in den Bereichen Aufmerksamkeit und Konzentration vorherrschend. Sie ist die häufigste psychische Störung im Kindes- und Jugendalter, aber auch noch im Erwachsenenalter möglich (Willcutt, 2012). Laut ICD-10 zählt sie zu den hyperkinetischen Störungen (F90.-), die ein Teil der Verhaltens- und emotionale Störungen mit Beginn in der Kindheit und Jugend sind (World Health Organisation, 2013). Es gibt drei grundlegend unterschiedliche Symptomatiken, die die Ausprägung einer ADHS festlegen: vorwiegend hyperaktiv-impulsiv, vorwiegend unaufmerksam und ein kombinierter Typ mit allen drei Leitsymptomen.

Der Anstieg an ADHS-Diagnosen bei Kindern und Jugendlichen binnen fünf Jahren um 42 Prozent (Grobe, Bitzer & Schwartz, 2013) legt den Schluss nahe, dass eine Diagnose oft zu rasch gestellt wird und Medikamente vorschnell verschrieben werden. Für eine seriöse Diagnose sollten mehrere Ebenen berücksichtigt werden, was den Vorgang natürlich verkompliziert. Gängige Diagnosesysteme bauen auf drei Beurteilungsebenen auf: auf der klinischen Ebene mittels Diagnosechecklisten, auf der Ebene der Fremdbeurteilung durch Eltern, Lehrkräfte bzw. Kindergärtner/innen und auf der Ebene der Selbstbeurteilung des Kindes, allerdings für gewöhnlich erst ab elf Jahren. Wichtig ist, dass die als störend beobachteten Einzelsymptome nicht nur in einem für den Entwicklungsstand des Kindes ohnehin angemessenen Ausmaß vorhanden sind, sondern über dieses Maß hinausgehen (Neuhaus, 2012).

Bei einer ADHS-Diagnose werden häufig Medikamente wie Methylphenidate (z. B. Ritalin) verabreicht. Solche Medikamente sollten jedoch kontrolliert und mit großer Vorsicht verwendet werden, da sie Nebenwirkungen wie Schwindel, Nervosität, Schläfrigkeit, Förderung von Depressionen, erhöhten Blutdruck, Kopfschmerzen, Krämpfe und Muskelkrämpfe auslösen können (Barkley, McMurray, Edelbrock & Robbins, 1990).

Entgegen der eben erwähnten dreigliedrigen subjektiven Diagnostik von ADHS ist es in der wissenschaftlichen Praxis üblich geworden, das Verhältnis der beiden Frequenzbänder Theta und Beta als Marker bzw. objektives Maß für die Bestimmung des Vorhandenseins einer ADHS zu verwenden. Monastra (2005) beweist die wissenschaftliche Objektivierbarkeit im Rahmen einer Validitätsprüfung und zeigt, dass zwischen 86 und 98 Prozent der ADHS-Kinder auch mit diesem Theta-Beta-Verhältnis eingeteilt werden können. Dieser Marker gilt nicht nur für die Diagnose von ADHS, sondern auch für Aufmerksamkeitskontrolle und Stressresilienz. Putmann, Verkuil, Arias-Garcia, Pantazi und van Schie (2014) zeigte einen negativen Zusammenhang zwischen dem Theta-Beta-Verhältnis und der Aufmerksamkeitskontrolle. Diese wird beschrieben als Aufmerksamkeitsinhibition, Aufmerksamkeitswechsel und Kapazität, flexibel neue Gedanken zu generieren. Ähnlich zur hier durchgeführten Studie wurden Fragen nach dem konzentrativen Zustand („Wie konzentriert bist du?“, „Wie fokussiert warst du während der Aufgabe?“) gestellt. Diesbezüglich konnten jedoch keine Korrelationen mit der neurophysiologischen Aktivierung berichtet werden. Auch Arns, Conners und Kraemer (2013) beschreiben in einer Meta-Analyse, dass nur manche Studien eine Abnahme in der Beta-Power zeigen. Eine erhöhte absolute Theta-Power ist nach deren Analysen der konsistenteste Befund und auch für weitere diagnostische Tests zu verwenden. Nach den Angaben von Boutros, Fraenkel und Feingold (2005) soll die relative Theta-Power (bezogen auf das gesamte EEG-Signal) ein noch stärkerer Marker in der Betrachtung des Störungsbildes ADHS sein. Die Meta-Analyse von Barry, Clarke und Johnstone (2003) unterstreicht die Annahme, da eine erhöhte relative Theta-Power das in diesem Zusammenhang am häufigsten gefundene Phänomen ist. Auch wenn oftmals nur das Kindes- und Jugendalter betrachtet wird, ist bei mehr als der Hälfte der in der Kindheit Erkrankten auch im Erwachsenenalter noch mit Symptomen bzw. einer Manifestierung dieser zu rechnen (Wender, 2001). Clarke et al. (2008) führten eine Studie mit 20 Erwachsenen und einer Kontrollgruppe durch. In einer Ruhebedingung mit geschlossenen Augen zeigten Personen mit ADHS mehr relatives Theta und weniger absolutes Beta, was mit oben genannten Studien bei Kindern übereinstimmt.

Neben ADHS gibt es noch andere Störungsbilder, bei denen die neurophysiologische Aktivierung von der üblicherweise vorherrschenden abweicht. Bei Erkrankungen des autistischen Formenkreises sieht die Verteilung der Gehirnaktivität so aus, dass sowohl ein hohes Theta als auch ein hohes Beta vorliegen (Wang et al., 2013). Die in Abbildung 38 dargebotene U-Kurve zeigt exzessive Power in niedrigen und höher frequenten Bändern bei Menschen mit Autismus. Die dominante Frequenz bei gesunden Menschen ist hingegen Alpha.

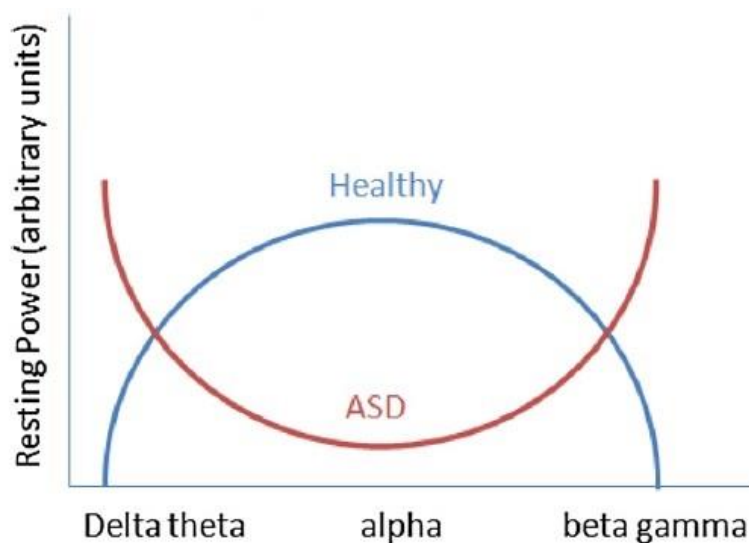


Abbildung 38. Vorhandene Frequenzbänder bei gesunden Menschen und jenen mit Autismus (ASD)

Die Besonderheit des Alpha-Frequenzbandes zeigt sich auch bei der Alzheimer-Erkrankung. Babiloni et al. (2015) berichten einen Zusammenhang zwischen dem Alpha-Rhythmus und fokussierter Aufmerksamkeit bei Personen mit Alzheimer und leichten kognitiven Beeinträchtigungen. Abweichungen im EEG-Signal zur Normalpopulation zeigen sich besonders in den tieferen Frequenzbändern unter 12 Hz in fronto-parietalen Regionen. Die berichteten Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass neben der gängigen Medikationstherapie auch andere Möglichkeiten gefunden werden sollten, durch die man dann versucht, die neurophysiologische Aktivierung in Richtung der gewünschten zu verschieben. Eine solche Möglichkeit, mit der die Gehirnaktivität selbst beeinflusst werden kann, ist Neurofeedback. Studien zeigen, dass Neurofeedback am häufigsten und auch erfolgreich bei ADHS eingesetzt wird (Monastra, 2005). Bevor diesbezügliche Studien erwähnt werden, wird im folgenden Kapitel zunächst das Neurofeedback und seine Wirkungsweise beschrieben.

## **8.5 Einsatzmöglichkeiten eines Neurofeedbacks**

Neurofeedback ist eine Form des Biofeedbacks, bei dem mittels EEG aufgezeichnete Signale rückgemeldet werden. Daher wurde es früher auch als EEG-Biofeedback bezeichnet. Unter Biofeedback versteht man die direkte Rückmeldung physiologischer Prozesse (wie zum Beispiel Muskelrate, Herz-Raten-Variabilität, Blutdruck, Körpertemperatur, Atemfunktion etc.) einer Person, die diese im Normalfall nicht – oder nur indirekt – wahrnehmen würde. Die Wirkungsweise beruht auf dem Prinzip des operanten Konditionierens. Ein Lernerfolg stellt sich dann ein, wenn auf eine Handlung ein befriedigender Zustand (Belohnung) folgt. Das erwünschte Verhalten wird somit positiv verstärkt. Durch die Rückmeldung auf Basis des EEG-Signals ist es somit möglich, die eigene Gehirnaktivität zu kontrollieren bzw. zu regulieren (Haus et al., 2013).

Beim Neurofeedback können im Wesentlichen drei Arten unterschieden werden, zunächst das Amplituden-Training, bei dem die Amplitude eines gewissen Frequenzbandes in die entsprechende Richtung verändert werden soll oder auch die Relation zweier Frequenzbänder zu regulieren ist (Heinrich, Gevensleben & Strehl, 2007). Beim Training von Kohärenzen als zweiter Art geht es um die Synchronisation der Aktivität zweier Bereiche im Gehirn, die für eine Tätigkeitsausführung relevant sind. Dabei ist es auch möglich, die Werte in Bezug zur Normalpopulation zu setzen, um eine klinische Auffälligkeit, wie etwa bei Autismus, einzuordnen (Coben, 2007). Schlussendlich gibt es noch das Training von langsam veränderlichen kortikalen Potentialen mit geringer Amplitude (SCP), die einige wenige Sekunden andauern können (Birbaumer, 1999).

Die Wirksamkeit und Einsatzmöglichkeiten von Neurofeedback wurden vor allem im klinischen Bereich sehr gut belegt (siehe Birbaumer, Murguialday, Weber & Montoya, 2009). Positive Effekte zeigen sich bei der Behandlung von Depressionen (Hammond, 2005), Angststörungen (Moore, 2000), Epilepsie (Sterman & Egner, 2006) oder sogar bei Tinnitus (Dohrmann, Weis, Schlee, Hartmann & Elbert, 2007). Durch Neurofeedback ergeben sich auch Verbesserungen in kognitiven Prozessen, wie etwa der mentalen Rotation (Hanslmayer, Sauseng, Doppelmayr, Schabus & Klimesch, 2005).

Eine ganz besondere Einsatzmöglichkeit von Neurofeedback bietet sich hinsichtlich des Konstruktes Aufmerksamkeit und Konzentration (Lubar, 1997). Logemann, Lansbergen, Van Os, Böcker und Kenemans (2010) belegen in einer der wenigen Doppelblind-Studien mit Placebo-Feedback die Wirksamkeit von Neurofeedback hinsichtlich Aufmerksamkeit. Nach einem 15-wöchigem Training mit insgesamt 30 Sitzungen zeigte sich eine Verbesserung von Aufmerksamkeitsparametern und eine Verringerung des impulsiven Verhaltens. Auch in der Arbeit von Lubar (1991), der bereits vor über zwanzig Jahren das Verhältnis von Theta-Beta als Maß zur Diskrimination zwischen ADHS-Kindern und normalen Gleichaltrigen vorschlägt, konnten Effekte von Neurofeedback gezeigt werden. Nach 35 Sitzungen mit Theta-Inhibition konnte die medikamentöse Therapie abgesetzt werden und die teilnehmenden Kinder zeigten sich stabil in ihren Symptomen. Eine Follow-up-Erhebung brachte zusätzlich die Information, dass die teilgenommenen Kinder auch Jahre später medikamentenfrei blieben und entsprechende Leistungen in der Schule brachten. Der Autor gibt jedoch an, dass eine langfristige und fundierte Behandlung mittels Neurofeedback mit 40 bis 80 Sitzungen empfehlenswert ist.

Neben den in Kapitel 8.4 bereits erwähnten Trainingsgestaltungen ist der Einsatz eines Neurofeedbacks eine weitere Möglichkeit, mit Athleten zur Verbesserung von Konzentration und Aufmerksamkeit und somit auch der Leistung zu arbeiten. Effekte im sportlichen Kontext können sich oftmals viel schneller einstellen, als dies im klinischen Umfeld der Fall ist. Bislang wurden auch schon einige Studien im sportlichen Bereich durchgeführt. Landers et al. (1994) haben ein Neurofeedback-Training bei Bogenschützen eingesetzt, wobei drei Gruppen unterschieden wurden. Einer Gruppe wurde richtiges Feedback gegeben, die Teilnehmer wurden auf eine erhöhte Negativierung im linken Cortex trainiert. Bei der anderen Gruppe wurde die Negativierung in der rechten Hemisphäre herangezogen. Bei der dritten Gruppe handelte es sich um eine Kontrollgruppe. Eine Verbesserung der Trefferleistung beim Bogenschießen zeigte sich nur in der richtigen Feedbackgruppe, wobei sich die Leistung in der falschen Feedbackgruppe sogar signifikant verschlechtert hat. In der Kontrollgruppe gab es keine Unterschiede. Es konnte jedoch keine Veränderung im EEG-Signal gezeigt werden.

In späteren Studien wurde gezielt mit einzelnen Frequenzbändern gearbeitet, anstatt die ganze Hemisphäre zu stimulieren. In diesem Zusammenhang führten Raymond, Sajid, Parkinson und Gruzelier (2005) eine Neurofeedbackstudie bei Tänzerinnen und Tänzern durch. Diese bekamen zwei Arten von Feedback: einerseits ein Alpha-Theta-Training und andererseits ein Feedback der Herz-Raten-Variabilität (HRV). Die Daten wurden mit einer Kontrollgruppe verglichen und es konnte gezeigt werden, dass sich die durch Jurorinnen und Juroren evaluierte Tanzleistung in beiden Feedbackgruppen signifikant verbesserte. Die Befunde sprechen daher nicht eindeutig für das Neurofeedback, da auch bei dem HRV-Feedback eine Verbesserung aufgetreten ist. Eine aktuellere Studie von Sherlin, Larson und Sherlin (2013) beschreibt Effekte des Neurofeedback-Trainings bei fünf Baseballspielern aus der höchsten amerikanischen Liga. Einen Monat lang wurden mindestens zwei bis drei Neurofeedback-Interventionen pro Woche abgehalten. Es zeigten sich Veränderungen in den Trainingsparametern, die durch ein individuell erstelltes Profil erfasst wurden. Ferner berichteten Spieler auch von der Anwendung des Erlernten im sportlichen Kontext. Die Athleten selbst sprachen von einer gesteigerten Aufmerksamkeit, davon, besser fokussieren zu können, und meinten, dass sie dies auch im Wettkampf brauchen könnten. Die Selbstberichte gleichen in ihren Formulierungen sehr jenen eines flowähnlichen Zustandes. Es scheint, dass es den Autorinnen und Autoren in ihrer Studie gelungen ist, die Athleten beim Erreichen von Höchstleistungen zu unterstützen. Auch Mulholland (1995) zeigte an einem praktischen Beispiel positive Effekte eines Alpha-Theta-Neurofeedbacks bei einem Tennisspieler in Hinblick auf Selbstregulationsprozesse. Bevor mit der Neurofeedback-Intervention begonnen wurde, wurde ein einfaches Biofeedback mit HRV und Atmung durchgeführt. Im Anschluss wurden die beiden Frequenzbänder Alpha und Theta als Parameter für das Neurofeedback herangezogen. Die durch Selbstauskunft erhobenen Ergebnisse deuten einen gelungenen Transfer und einer so ermöglichten Anwendung in der Matchsituation im Sinne einer höheren Fokussiertheit und einer besseren Matchkontrolle an.

Gerade die beiden Frequenzbänder Alpha und Theta wurden auch in der vorliegenden Arbeit betrachtet. Daher würde es sich in den beiden Sportarten Basketball und Sportpistoleschießen anbieten, im Rahmen einer Neurofeedback-Intervention damit zu arbeiten. Die bisherigen Studien betrachten das sportliche Training und das Üben mittels Neurofeedback getrennt voneinander. Wünschenswerter wäre dabei eine Koppelung der

beiden, um dann auch das Erlernete im Wettkampf abrufen zu können. Eine konkrete Neurofeedback-Intervention sollte daher am Ort der Sportartausübung und in gewohnter Wettkampfkleidung stattfinden, um größtmögliche Transfereffekte zu erreichen. Eine dahingehende vorbildliche Studie wurde von Arns, Kleinnijenhuis, Fallahpour und Breteler (2008) mit Golfspielern durchgeführt. Vor Beginn der eigentlichen Intervention wurde ein persönliches Profil erstellt, in dem auf frontalen Elektroden zwischen erfolgreichen und erfolglosen Putts diskriminiert wurde. Zwei unabhängige Rater hatten mit einer Genauigkeit von 91 Prozent die optimale Amplitude für jede Person individuell eingeteilt. In der anschließend durchgeführten Trainingsstudie mussten die Athleten vier Mal 80 Putts ausführen. In der ersten und dritten Serie erhielten sie keine Rückmeldung über ihre neurophysiologische Aktivität. Nur in der zweiten und vierten Serie wurde den Athleten ein Ton als Go-Signal genau dann vorgespielt, wenn diese das zuvor definierte Kriterium erreicht hatten. Somit sollten sie in diesen beiden Serien nur dann den Putt ausführen, wenn das Signal zu hören war. Die Ergebnisse zeigen nicht nur bessere Resultate in den Serien mit Feedback, es konnten sogar individuelle Leistungssteigerungen durch das Feedback berichtet werden. Da der optimale Zustand individuell sehr unterschiedlich ist, ist es eine tolle Möglichkeit, um auf die Bedürfnisse der Athleten einzugehen und sie in ihrer Sportumgebung zu unterstützen. Übertragen auf den Schießsport könnte dies Folgendes bedeuten: Die Schützin/der Schütze soll einen Schuss nur dann abfeuern, wenn die neurophysiologische Aktivität über einem zuvor festgelegten individuellen Level als Indikator für eine gute Leistung steht. Sollte dieser Fall nicht vorhanden sein, muss die Athletin/der Athlet wiederum absetzen und seinen Zielvorgang neu aufbauen. Analog ist dies für einen Wurf beim Basketball oder bei anderen Zielsportaufgaben in Ruhe möglich. Die direkte Arbeit mit Sporttreibenden in ihrem gewohnten Umfeld wäre daher eine wünschenswerte Erweiterung der sportpsychologischen Praxis.

Auch Hammond (2007) beschreibt Neurofeedback als eine gute Einsatzmöglichkeit im Sport, vor allem auch in der praktischen sportpsychologischen Arbeit. In seinen Studien setzte er Neurofeedback vor allem bei Personen mit Gleichgewichtsproblemen ein. Wegen seiner Vielfältigkeit bestehen auch Anwendungsmöglichkeiten, die über die Themen Aufmerksamkeit und Konzentration hinaus gehen, etwa im Umgang mit mentalen Phänomenen wie "choking under pressure" (Beckmann, Gröpel & Ehrlenspiel, 2013) oder im Rehabilitationsprozess nach Gehirnerschütterungen oder anderen Hirnverletzungen.

Nach Wilson und Peper (2011) soll man dabei aber beachten, dass mehrere Faktoren zum Gelingen einer Neurofeedback-Intervention mitspielen. Diese sind erhöhte Motivation, das Akzeptieren der Verantwortung für Veränderung, ein gewisses Maß an Herausforderung, eine hohe Erwartungshaltung und die Anfälligkeit gegenüber einem Flow-Zustand.

Zusammenfassend kann man sagen, dass es zwar Effekte durch Neurofeedback im Sport gibt, diese aber meist aufgrund von methodischen Mängeln oder nicht standardisierten Trainingshäufigkeiten unzulänglich sind. Langfristige Veränderungen in den EEG-Wellen konnten durch Neurofeedback-Interventionen bislang nicht berichtet werden. Vernon (2005) hat daher Empfehlungen für zukünftige Neurofeedbackforschungen gegeben. Dazu gehören EEG-Baselinemessungen vor und nach der Neurofeedback-Intervention, kontrollierte Kontrollgruppendesigns, die Erhebung behavioraler Daten vor und nach der Neurofeedback-Intervention und dahingehend Korrelation mit EEG-Veränderungen, eine sorgfältige Diagnostik und ausreichende Stichprobengröße sowie zuletzt möglichst einheitliche Trainingsprotokolle.

## **8.6 Fazit und Ausblick**

Im Rahmen dreier EEG-Studien in zwei unterschiedlichen Sportarten wurden neuronale Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit betrachtet und diese in Bezug zu leistungsbezogenen Parametern gesetzt. Neben den Zusammenhangsüberprüfungen im Rahmen der postulierten Fragestellungen und Hypothesen wurden in den einzelnen Teilstudien sehr viele Themenfelder behandelt. Dazu gehörten das Flow-Erleben, die Rolle von Feedback und Operationalisierungsmöglichkeiten von Leistung. Zum Schluss wurde die Arbeit mit Neurofeedback als sinnvolle Ergänzung zum sportlichen Training behandelt und ein diesbezüglicher Link zur ADHS-Thematik hergestellt. Ein nächstes Ziel wäre, die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit zu nutzen, die einzelnen Themenfeldern zu vertiefen und Trainingsstudien im Sport mit Neurofeedback zu konzipieren und zu evaluieren.

In folgenden Studien wäre es auch sehr sinnvoll, in einem experimentellen Setting nur eine Variable zu variieren. Somit wären die gefundenen oder ausbleibenden Effekte eindeutiger zuordenbar. Bei Betrachtung des Flow-Erlebens wäre eine andere Annäherung möglich, so wie diese zum Beispiel in der Studie von Wolf et al. (2015) mit der Vorgabe des Flow-Fragebogens durchgeführt wurde. Erfahrene Athletinnen und Athleten von einem solchen



Zustand berichten zu lassen, wie es von Csikszentmihalyi und Jackson (2000) in ihrer Abhandlung zum Flow gemacht wurde, würde sich ebenfalls anbieten. Eine gesonderte Rückmeldung jeder/jedes einzelnen Athletin/Athleten zu ihrer/seiner Leistung und zu Momenten, in denen sie/er sich besonders gut konzentrieren konnte, könnte weitere gewinnbringende Erkenntnisse zum Konstrukt der fokussierten Aufmerksamkeit liefern.

Wie schon in der Diskussion der Teilstudie III angedeutet, wäre eine Kombination aus EEG-Erhebungen und Blickbewegungsanalyse ein logischer nächster Schritt, um neurophysiologische Prozesse von Aufmerksamkeit und Leistung besser zu beschreiben. Janelle et al. (2000) hatten diesbezüglich eine Studie durchgeführt, bei der sie sowohl die neurophysiologische Aktivität als auch die Dauer des Verweilens der Blickbewegung auf die Scheibe erfassten. Zusätzlich zum Anstieg der linkshemisphärischen Alpha-Power wiesen erfahrene Schützen eine höhere Verweildauer der Blickbewegung auf als Novizen. Weitere Kombinationsstudien sind zum jetzigen Zeitpunkt leider nicht bekannt, wären jedoch sehr erwünscht. Eine zusätzliche Verbesserung des experimentellen Designs könnte sich auch durch die Betrachtung von Kohärenzen statt der alleinigen Betrachtung der Power in der jeweiligen Elektrode ergeben. Gerade zur Überprüfung der Annahme eines fronto-parietalen Netzwerkes wie in dieser Arbeit würde es sich anbieten. Kohärenzanalysen haben sich bereits in EEG-Studien zum Schießsport (Deeny, Hillman, Janelle & Hatfield, 2003), Golf (Babiloni et al., 2011) und Basketball (Wu, Lo, Lin, Shih & Hung, 2007) bewährt. Als letzte und essentielle Erweiterung von folgenden EEG-Studien im Sport wäre die Bewegungskomponente hinzuzunehmen. Der Zusammenhang zwischen neuronalen Korrelaten von Aufmerksamkeit, Leistung und Bewegung ist noch wenig erforscht, kann aber durch die Verbesserung der technologischen Möglichkeiten immer mehr ins Zentrum der Forschung rücken. Wie bereits in den Vorversuchen zu Teilstudie III begonnen, bieten sich so genannte Wireless-EEG-Systeme an, um auch während grobmotorischer Bewegung neurophysiologische Aktivitätswerte zu erheben. Mit zunehmenden Verbesserungen in der Signalaufzeichnung und Datenbereinigung bietet die EEG-Applikation breite Einsatzmöglichkeiten in nahezu jeder Sportart. Nicht nur im sportlichen Kontext könnte dies Anwendung finden. Seit Jahren ist der Einfluss von Bewegung auf das Erlernen neuer Fähigkeiten bekannt, sei es im schulischen oder außerschulischen Bereich (siehe auch Ritthaler, 2014). Die dahinterliegenden Prozesse sind aber noch nicht näher beleuchtet worden, was jedoch empfehlens- und wünschenswert wäre.

Neben der Erweiterung des experimentellen Settings sollten Zusammenhänge zwischen dem sportlichen und dem klinischen Bereich näher in den Fokus weiterführender Studien gelangen. Der Link zwischen Leistungssport und dem klinischen oder gesundheitlichen Bereich kann für beide Seiten gewinnbringend sein. Einerseits kann man von der Expertise aus dem anderen Bereich lernen und dies auf Themenbereiche übertragen, bei denen gewisse Fähigkeiten nicht so gut ausgeprägt sind. Andererseits kann man aus klinischen Studien bewährte Methoden, wie etwa das Neurofeedback, auch im Bereich des Sports sehr gut anwenden. Im klinischen Bereich geht man sogar so weit, nicht nur Symptome der Patientinnen und Patienten verbessern zu wollen; auch Operationstechniken können durch eine Neurofeedback-Intervention verbessert werden. Ros et al. (2009) verwendeten den sensomotorischen Rhythmus zwischen 12 und 15 Hz als Rückmeldesignal. Anschließend an das Training baten sie externe Experten um eine Einschätzung der Arbeitsweise. Neben geringeren Werten bei der Ängstlichkeit und einer schnelleren Arbeitszeit zeigte sich eine Verbesserung der Arbeitsweise bei den teilnehmenden Ärztinnen und Ärzten. Das während des Neurofeedbacks vorhandene Verhältnis zwischen dem Theta- und Alphanband korreliert positiv mit Verbesserungen in der eingeschätzten Gesamttechnik. Die beiden Frequenzbänder sind auch die in der vorliegenden Arbeit verwendeten und können, wie mehrfach belegt, mit geeigneten Interventionen in die gewünschte Richtung verändert werden. Das besondere an Neurofeedbackstudien ist, dass sie sowohl im klinischen als auch im sportlichen Bereich und sogar noch darüber hinaus mit dem Unterschied angewendet werden können, dass Sportler/innen ihre Leistung verbessern und Patientinnen und Patienten ihre Symptome verringern wollen. Wie Wilson und Peper (2011) beschreiben, gelten die gewinnbringenden Faktoren aus therapeutischen Settings auch für Sportler/innen und wirken sogar noch viel stärker. Sportler/innen lernen oft schneller als klinische Patientinnen und Patienten, weil sich Effekte aufgrund einer höheren Motivation schneller zeigen. Dies ist besonders dann der Fall, wenn die Sportler/innen es als bedeutend erkennen, Fähigkeiten auch in den Sportalltag zu transferieren und dadurch zu Hause weiterarbeiten. Egal, ob im sportlichen oder im klinischen Setting, wichtig ist, dass man das im Training Erreichte nicht nur dort anwendet, sondern auch im Wettkampf oder im realen Leben umsetzt.

## **9 Zusammenfassung**

Aufmerksamkeit und Konzentration sind sehr häufig verwendete Begriffe, um einen Zustand zu beschreiben, sich ungestört einer Aufgabe zuzuwenden. In der vorliegenden Arbeit wurden die neuronalen Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit in unterschiedlichen Zielsportarten und Settings im Rahmen von drei EEG-Studien betrachtet. In den ersten beiden Studien wurden Wettkampfsimulationen im Sportpistolenschießen durchgeführt. In Studie III wurde der Basketball-Freiwurf als Untersuchungssetting behandelt. In allen Studien wurden neuronale Korrelate fokussierter Aufmerksamkeit im Alpha- und Theta-Frequenzband in Bezug zu leistungsbezogenen Parametern gesetzt. Diesbezüglich wurde nicht nur das schlussendliche Resultat herangezogen, sondern darüber hinaus eine Erweiterung durch Zielgenauigkeitsmaße durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen einen generellen Poweranstieg in den beiden Frequenzbändern während des Zielvorganges und spezifische Zusammenhänge mit den leistungsbezogenen Parametern in frontalen, temporalen und parietalen Regionen. Diese dienen als Ausgangspunkt für die Gestaltung eines Neurofeedbacktrainings in der sportpsychologischen Praxis sowie im klinischen Kontext.

Schlüsselwörter: EEG, fokussierte Aufmerksamkeit, Leistung, Basketball, Sportschießen

### **Abstract**

Attention is a common term to describe a state, in which someone is focusing on a task. In this vein, neuronal correlates of focused attention were examined in different sports and settings in three EEG-studies. EEG-measurements were conducted in sport pistol shooting in the first two studies and basketball free-throw shooting in the third one. In all these studies neuronal correlates of focused attention in the alpha- and theta-frequency range were referenced to performance related criteria. Those criteria contained aiming accuracy parameters as an extension of the score itself. The results showed a power increase in both frequency ranges and specific correlations with performance related criteria in frontal, temporal and parietal regions. Those serve as an initial point for designing a neurofeedback intervention in the field of sport psychology and the clinical context.

Keywords: EEG, focused attention, performance, basketball, sport pistol shooting

## Literaturverzeichnis

- Abdi, H. (2007). The bonferonni and šidák corrections for multiple comparisons. In: N. Salkind (Hrsg.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand Oaks: Sage.
- Aftanas, L. I. & Golocheikine, S. A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letters*, 310, 57-60.
- Alfermann, D. & Stoll, O. (2012). *Sportpsychologie: Ein Lehrbuch in 12 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Anderson, J. R. (2004). *Cognitive psychology and its implications*. (6.Auflage). Hampshire: Palgrave Macmillan.
- Anokhin, A. P., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (1999). Spatiotemporal organization of brain dynamics and intelligence: an EEG study in adolescents. *International Journal of Psychophysiology*, 33, 259-273.
- Arns, M, Kleinnijenhuis, M, Fallahpour, K. & Breteler, R. (2008). Golf performance enhancement and real-life neurofeedback training using personalized event-locked EEG profiles. *Journal of Neurotherapy*, 11, 11-18.
- Arns, M., Conners, C. K. & Kraemer, H. C. (2013). A decade of EEG theta/beta ratio research in ADHD: A meta-analysis. *Journal of Attention Disorders*, 17, 374-383.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Iacobini, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N.,... Eusebi, F. (2008). Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *Journal of Psychophysiology*, 586, 131-139.
- Babiloni, C., Marzano, N., Infarinato, F., Iacobini, M., Rizza, G., Aschieri, P.,... Del Percio, C. (2010). "Neural efficiency" of experts' brain during judgment of action: A high-resolution EEG study in elite and amateur karate athletes. *Behavioural Brain Research*, 207, 466-475.
- Babiloni, C., Infarinato, F., Marzano, N., Iacobini, M., Dassù, F., Soricelli, A.,... Del Percio, C. (2011). Intra-hemispheric functional coupling of alpha rhythms is related to golfer's performance: a coherence EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 82, 260-268.

- Babiloni, C., Lizio, R., Marzano, N., Capotosto, P., Soricelli, A., Trigiani, A. I.,...  
Del Percio, C. (2015). Brain neural synchronization and functional coupling in Alzheimer's disease as revealed by resting state EEG rhythms. *International Journal of Psychophysiology*.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829-839.
- Bajjal, S. & Srinivasan, N. (2010). Theta activity and meditative states: spectral changes during concentrative meditation. *Cognitive Processing*, 11, 31-38.
- Barkley, R. A., McMurray, M. B., Edelbrock, C. S. & Robbins, K. (1990). Side effects of methylphenidate in children with attention deficit hyperactivity disorder: A systemic, placebo-controlled evaluation. *Pediatrics*, 86, 184-192.
- Barry, R. J., Clarke, A. R. & Johnstone, S. J. (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clinical Neurophysiology*, 114, 171-183.
- Basketball Bundesliga (2014). Spieler Statistiken Saison 2013/2014. Abgerufen am 15.12.2014, verfügbar unter <http://www.beko-bbl.de/de/statistiken/spieler/spieler-statistiken/>
- Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H. & Weiss, M. (2008). Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 625-631.
- Beckmann, J. & Kellmann, M. (2004). Self-regulation and recovery: Approaching an understanding of the process of recovery from stress. *Psychological Reports*, 95, 1135-1153.
- Beckmann, J. & Wenhold, F. (2008). *HOSP: Fragebogen zur Erfassung der Handlungsorientierung im Sport*. Abgerufen aus dem World Wide Web am 13.12.2013 unter [www.bisp.de](http://www.bisp.de).
- Beckmann, J. & Elbe, A. (2011). *Praxis der Sportpsychologie im Wettkampf- und Leistungssport*. (2. Auflage). Baldingen: Spitta.
- Beckmann, J., Strang, H. & Hahn, E. (1993). *Aufmerksamkeit und Energetisierung. Facetten von Konzentration und Leistung*. Göttingen: Hogrefe.
- Beckmann, J., Gröpel, P. & Ehrlenspiel, F. (2013). Preventing motor skill failure through hemisphere-specific priming: Cases from choking under pressure. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142, 679-691.

- Beckmann-Waldenmayer, D., Kreinbacher, C. & Beckmann, J. (2012). Implementierung und Evaluation eines sportartspezifischen Konzentrationstrainings bei Sportpistolenschützen. In M. Wegner, J.-P. Brückner & S. Kratzenstein (Hrsg.). *Sportpsychologische Kompetenz und Verantwortung* (S. 51). Hamburg: Feldhaus Czwalina.
- Behrmann, M., Geng, J. J. & Shomstein, S. (2004). Parietal cortex and attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 212-217.
- Birbaumer, N. (1999). Slow cortical potentials: Plasticity, operant control, and behavioral effects. *The Neuroscientist*, 5, 74-78.
- Birbaumer, N., Murguialday, A. R., Weber, C. & Montoya, P. (2009). Neurofeedback and brain-computer interface: Clinical applications. *International Review of Neurobiology*, 86, 107-117.
- Bird, E. I. (1987). Psychophysiological processes during rifle shooting. *International Journal of Sport Psychology*, 18, 9-18.
- Blümel, K., Braun, R., Brill, D. & Kasch, M. (2007): *Rahmentrainingskonzeption für Kinder und Jugendliche im Leistungssport*. Basketball, Bd. 9, Wiebelsheim: Limpert.
- Bösel, R. (2001). Aufmerksamkeitswechsel und Konzentration: Von den Funktionen zum Mechanismus. *Zeitschrift für Psychologie*, 209, 34-53.
- Boutros, N., Franekel, L. & Feingold, A. (2005). A four-step approach for developing diagnostic tests in psychiatry: EEG in ADHD as a test case. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 17, 455-464.
- Brefczynski-Lewis, J. A., Lutz, A., Schaefer, H. S., Levinson, D.B. & Davidson, R. J. (2007). Neural correlates of attentional expertise in long-term meditation practitioners. *PNAS*, 104, 11483-11488.
- Brickenkamp, R. (1962). *Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (Test d2)*. (1. Auflage). Göttingen: Hogrefe.
- Casey, B. J. & Dursten, S. (2006). From behavior to cognition to the brain and back: what have we learned from functional imaging studies of Attention Deficit Hyperactivity Disorder?. *American Journal of Psychiatry*, 163, 957-960.
- Causser, J., Bennett, S. J., Holmes, P. S., Janelle, C.M. & Williams, A. M. (2010). Quiet eye duration and gun motion in elite shotgun shooting. *Medical Science of Sport Exercise*, 42, 1599-1608.

- Caposto, P., Babiloni, C., Romani, G. L. & Corbetta, M. (2009). Frontoparietal cortex controls spatial attention through modulation of anticipatory alpha rhythms. *The Journal of Neuroscience*, 29, 5863-5872.
- Clarke, A. R., Barry, R. J., Heaven, P. C.L., McCarthy, R., Selikowitz, M. & Byrne, M. K. (2008). EEG in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *International Journal of Psychophysiology*, 70, 176-183.
- Chang, Y. (2014). Reorganization and plastic changes of the human brain associated with skill learning and expertise. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8: 35.
- Chuang, L.-Y., Huang, C.-J. & Hung, T.-M. (2013). The differences in frontal midline theta power in successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players. *International Journal of Psychophysiology*, 90, 321-328.
- Coben, R. (2007). Connectivity-guided neurofeedback for autistic spectrum disorder. *Biofeedback*, 35, 131-135.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Auflage). Hillsdale (NJ): L. Erlbaum Associates.
- Coles, M. G. H. & Rugg, M. D. (1995). Event-related brain potentials: an introduction. In M. D. Rugg & M. G. H. Coles, *Electrophysiology of Mind: Event-related brain potentials and cognition* (S. 1-26). Oxford: OUP.
- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A.,...Shulman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, 21, 761-773.
- Corbetta, M. & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201-215.
- Côté, J., Ericsson, K. A. & Law, M. P. (2005). Tracing the development of athletes using retrospective interview methods: A proposed interview and validation procedure for reported information. *Journal of Applied Sport Psychology*, 17, 1-19.
- Coul, J. T. (1998). Neural correlates of attention and arousal. *Progress in Neurobiology*, 55, 343-361.
- Crews, D. J. & Landers, D. M. (1993). Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 116-126.
- Csikszentmihalyi, M. & Jackson, S.A. (2000). *Flow im Sport. Der Schlüssel zur optimalen Erfahrung und Leistung*. München: blv Buchverlag.

- Davies, D. (1989). *Psychological factors in competitive sports*. London: Routledge.
- Deeny, S., Hillman, C.H., Janelle, C.M. & Hatfield, B.D. (2003). Cortico-cortical communication and superior performance in skilled marksman: An EEG coherence analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 25, 188-204.
- Del Percio, C., Babiloni, C., Bertollo, M, Marzano, N., Iacobini, M., Infarinato, F.,... Eusebi, F. (2009). Visuo-attentional and sensorimotor alpha rhythms are related to visuo-motor performance in athletes. *Human Brain Mapping*, 30, 3527-2540.
- Deutscher Schützenbund (2015). Luftpistole 10m. Abgerufen am 15.3.2013, verfügbar unter [http://www.dsb.de/sport/disziplinen/pistole/luftpistole\\_10m/](http://www.dsb.de/sport/disziplinen/pistole/luftpistole_10m/).
- Dickenson, J., Berkman, E. T., Arch, J. & Lieberman, M. D. (2013). Neural correlates of focused attention during a brief mindfulness induction. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8, 40-47.
- Dohrmann, K., Weisz, N., Schlee, W., Hartmann, T. & Elbert, T. (2007). Neurofeedback for treating tinnitus. *Progress in Brain Research*, 166, 473-485.
- 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, 1463-1467.
- Doppelmayr, M. & Amesberger, G. (2012). Zur Anwendung der Elektroenzephalographie in der Sportpsychologie: Ein Überblick. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 19, 70-79.
- Dorsch, F. (1998). *Psychologisches Wörterbuch*. Bern: Huber.
- Ebe, M. & Homma, I. (2002). *Leitfaden für die EEG-Praxis. Ein Bildkompendium*. (3.Auflage). München: Urban und Fischer.
- Eberspächer, H. (2012). *Mentales Training* (8.Auflage). München: Copress Sport.
- Ebner, A. & Deuschl, G. (2006). *EEG*. Stuttgart: Thieme.
- 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, 57-68.
- Ericsson, K. A. (2003). The development of elite performance and deliberate practice: An update from the perspective of the expert-performance approach. In J. Starkes and K. A. Ericsson (Hrsg.), *Expert performance in sport: Recent advances in research on sport expertise* (S. 49-81). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, 26, 471-479.



- FIBA Central Board (2014). Official basketball rules. Abgerufen am 15.12.2014, verfügbar unter <http://www.fiba.com/pages/eng/fc/FIBA/ruleRegu/p/openNodeIDs/897/selNodeID/897/baskOffiRule.html>
- Frömer, R., Hafner, V. & Sommer, W. (2012). Aiming for the bull's eye: Preparing for throwing investigated with event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 49, 334-344.
- Gundel, A. & Wilson, G.F. (1992). Topographical changes in the ongoing EEG related to the difficulty of mental tasks. *Brain Topography*, 5, 17-25.
- Grabner, R. H., Neubauer, A. C. & Stern, E. (2006). Superior performance and neural efficiency: The impact of intelligence and expertise. *Brain Research Bulletin*, 69, 422-439.
- Grobe, T. G., Bitzer, E. M. & Schwartz, F. W. (2013). Barmer GEK Arztreport 2013. *Schriftenreihe zur Gesundheitsanalyse*, 18.
- Gutmann, B., Mierau, A., Hülsdünker, T., Hildebrand, C., Przyklenk, A., Hollmann, W. & Strüder, H. K. (2015). Effects of physical exercise on individual resting state EEG alpha peak frequency. *Neural Plasticity*.
- Hagemann, N., Tietjens, M. & Strauß, B. (2007). *Psychologie der sportlichen Höchstleistung. Grundlagen und Anwendungen der Expertiseforschung im Sport*. Göttingen: Hogrefe.
- Hammond, D. C. (2005). Neurofeedback treatment of depression and anxiety. *Journal of Adult Development*, 12, 131-137.
- Hammond, D. C. (2007). Neurofeedback for the enhancement of athletic performance and physical balance. *The Journal of the American Board of Sport Psychology*, 1, 1-9.
- Hanin, Y. (2000). *Emotions in sport*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Hänsel, F. (2006). Feedback und Instruktion. In M. Tietjens (Hrsg.), *Handbuch Sportpsychologie. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport* (Band: 153) (S. 62-70). Schorndorf: Hofmann.
- Hanslmayr, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M. & Klimesch, W. (2005). Increasing individual upper alpha power by neurofeedback improves cognitive performance in human subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30, 1-10.
- Hardy, L. & Parfitt, G. (1991). A catastrophe model of anxiety and performance. *British Journal of Psychology*, 82, 163-178.

- Harle, S. K. & Vickers J. N. (2001). Training quiet eye improves accuracy in the basketball free throw. *The Sport Psychologist*, 15, 289-305.
- Harmison, R. J. (2011). Peak performance in sport: Identifying ideal performance states and developing athletes' psychological skills. *Sport, Exercise and Performance Psychology*, 1, 3-18.
- Harung, H.S., Travis, F., Pensgaard, A. M., Boes, R., Cook-Greuter, S. & Daley, K. (2011). Higher psycho-physiological refinement in world-class Norwegian athletes: brain measures of performance capacity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21, 32-41.
- Hatfield, B. D., Landers D. M. & Ray, W. J. (1987). Cardiovascular–CNS interactions during a self-paced, intentional attentive state: Elite marksmanship performance. *Psychophysiology*, 24, 542-549.
- Hatfield, B. D., Haufler, A. J., Hung, T.-M. & Spalding, T. W. (2004). Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 21, 144-156.
- Haus, K.-M., Held, C., Kowalski, A., Krombholz, A., Nowak, M., Schneider, E., ... Wiedemann, M. (2013). *Praxisbuch Biofeedback und Neurofeedback*. Berlin: Springer.
- Haufler, A. J., Spalding, T. W., Santa Maria, D. L. & Hatfield, B. D. (2000) Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological Psychology*, 53, 131-160.
- Heinrich, H., Gevensleben, H. & Strehl, U. (2007). Annotation: Neurofeedback–train your brain to train behaviour. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48, 3-16.
- Helsen, W. F., Starkes, J. L. & Hodges, N. J. (1998). Team sports and the theory of deliberate practice. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 20, 12-34.
- Hill, N. M. & Schneider, W. (2006). Brain changes in the development of expertise: Neuroanatomical and neurophysiological evidence about skill-based adaptations. In: K.A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (S. 655-684). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillmann, C. H., Erickson, K. I. & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 58-65.

- Hillman, C. H., Apparies, R. J., Janelle, C. M. & Hatfield, B. D. (2000) An electrocortical comparison of executed and rejected shots in skilled marksmen. *Biological Psychology*, 52, 71-83.
- International Shooting Sport Federation (2015). World records. Abgerufen am 3.2.2015, verfügbar unter [http://www.issf-sports.org/competitions/records/world\\_records.ashx](http://www.issf-sports.org/competitions/records/world_records.ashx)
- Immenroth, M., Eberspächer, H. & Hermann, H.-D. (2008). Training kognitiver Fertigkeiten. In J. Beckmann & M. Kellmann (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D: Sportpsychologie, Band 2: Anwendungsfelder der Sportpsychologie*. (S. 119-176). Göttingen: Hogrefe.
- Jackson, A. F. & Bolger, D. J. (2014). The neurophysiological base of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology*, 51, 1061-1071.
- Jackson, S. A., Kimiecik, J. C., Ford, S. K. & Marsh, H.W. (1998). Psychological correlates of flow in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 20, 358-378.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Henry Holt.
- Janke, W. & Hüppe, M. (1995). Die BSKE(EWL) nach Janke, Debus, Erdmann und Hüppe. Ein Kurzverfahren zur Erfassung des Befindens (Unveröffentlichter Institutsbericht). Würzburg: Lehrstuhl für Psychologie I.
- Janelle, C. M., Hillman, C. H., Apparies, R. J., Murray, N. P., Meili, L., Fallon, E. A. & Hatfield, B. D. (2000). Expertise differences in cortical activation and gaze behavior during rifle shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 22, 167-182.
- Jann, K., Koenig, T., Dierks, T., Boesch, C. & Federspiel, A. (2010). Association of individual resting state EEG alpha frequency and cerebral blood flow. *Neuroimage*, 51, 365-372.
- Jennett, S. (2008). *Churchill Livingstone's Dictionary of Sport and Exercise Science and Medicine*. London: Churchill Livingstone.
- Kaminski, G. (1994). „Konzentration“ im Sport aus transaktionaler Sicht. *Psychologie und Sport*, 1, 43-55.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum S. A. & Hudspeth, A. J. (2012). *Principles of neural science* (5. Auflage). New York: McGraw-Hill.

- Kerick, S. E., Douglass, L. & Hatfield, B. D. (2004). Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. *Medical Science of Sport Exercise*, 36, 118-129.
- Kim, J., Lee, H. M., Kim, W. J., Park, H. J., Kim, S. W., Moon, D. H.,...Tennant, L. K. (2008). Neural correlates of pre-performance routines in expert and novice archers. *Neuroscience Letters*, 445, 236-241.
- Kim, B.-H., Shin, J.-T. & Choi, J. C. (2009). The development of training method for automatic shooting behavior in competition. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 21, 132-155.
- Klem, G. H., Luders, H. O., Jasper, H. H. & Elger, C. (1999). The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Supplement*, 52, 3-6.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.
- Klimesch, W., Sauseng, P. & Hanslmayr, S. (2007). The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53, 63-88.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K.,... Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD – A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 177-186.
- Knudsen, E. I. (2007). Fundamental components of attention. *Annual Reviews of Neuroscience*, 30, 57-78.
- Koehler, S., Lauer, P., Schreppel, T., Jacob, C., Heine, M., Boreatti-Hümmer,...Herrmann, M. J. (2009). Increased EEG power density in alpha and theta bands in adult ADHD patients. *Journal of Neural Transmission*, 116, 97-104.
- Kontinen, N., Landers, D. M. & Lyytinen, H. (2000). Aiming routines and their electrocortical concomitants among competitive rifle shooters. *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports*, 10, 169-177.

- Kratzer, H. (1998). Das Test- und Trainingsprogramm ‚Senso-Control‘ - Anforderungsgerechtes Erfassen und Trainieren leistungsbestimmender psychischer und sensomotorischer Komponenten der Handlungsregulation. In D. Teipel, R. Kemper & D. Heinemann, *Sportpsychologische Diagnostik, Prognostik, Intervention* (S. 318-322). Köln: bps-Verlag.
- Kubota, Y., Sato, W., Toichi, M., Murai, T., Okada, T., Hayashi, A. & Sengoku, A. (2001). Frontal midline theta rhythm is correlated with cardiac autonomic activities during the performance of an attention demanding meditation procedure. *Cognitive Brain Research*, 11, 281-287.
- Kuhl, J. (1983). Emotion, Kognition und Motivation: II. Die funktionale Bedeutung der Emotion für das problemlösende Denken und für das konkrete Handeln. *Sprache und Kognition*, 4, 228-253.
- Lacey, J. L. (1967). Somatic response patterning and stress: Some revisions of activation theory. In M. H. Appley & R. Trumbull (Hrsg.), *Psychological stress: Issues in research*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Landers, D. M., Han, M. W., 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, 313-330.
- Lang, M., Lang, W., Diekmann, V. & Kornhuber, H. H. (1987). The frontal theta rhythm indicating motor and cognitive learning. In R. Johnson, J. W. Rohrbaugh & P. Parasuraman (Hrsg.), *Current trends in event-related potential research* (EEG supplement 40), (S. 322-327). Amsterdam: Elsevier.
- Logemann, H. N. A., Lansbergen, M. M., Van Os, T. W. D. P., Böcker, K. B. E. & Kenemans, J. L. (2010) The effectiveness of EEG-feedback on attention, impulsivity and EEG: A sham feedback controlled study. *Neuroscience Letters*, 479, 49-53.
- Lösel, H. & Funk, F. (1995). Gehirnstromkurven als Kriterien konzentrativer Versenkung bei sportlichen Leistungen. *Leistungssport*, 6, 38-41.
- Lotze, M., Scheler, G., Tan, H. R., Braun, C. & Birbaumer, N. (2003). The musician's brain: Functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *Neuroimage* 20, 1817-1829.

- 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, 727-733.
- Lubar, J. F. (1991). Discourse on the development of EEG diagnostics and biofeedback treatment for attention deficit/hyperactivity disorders. *Biofeedback and Self-Regulation*, 16, 201-225.
- Lubar, J. F. (1997). Neocortical dynamics: Implications for understanding the role of neurofeedback and related techniques for the enhancement of attention. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 22, 111-126.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge: MIT Press.
- Lukesch, H. & Mayrhofer, S. (2001). *KLT-R. Revidierte Fassung des Konzentrations-Leistungs-Test von H. Düker & G. A. Lienert*. Göttingen: Hogrefe.
- Lutz, A., Slagter, A. H., Dunne, J. D. & Davidson, R. J. (2008). Attention regulation and monitoring in meditation. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 163-169.
- Magill, R. A., Chamberlin, C. J. & Hall, K. G. (1991). Verbal knowledge of results as redundant information for learning an anticipation timing skill. *Human Movement Science*, 10, 485-507.
- Magill, R. A. (1994). The influence of augmented feedback during skill learning depends on characteristics of the skill and the learner. *Quest*, 46, 314-327.
- Marschall, F. & Daus, R. (2003). Feedback. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre: Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport (Band: 141)* (S. 281-290). Schorndorf: Hofmann.
- Matsuura, M., Yamamoto, K., Fukuzawa, H., Okubo, Y., Uesugi, H., Moriiwa, M.,... Shimazono, Y. (1985). Age development and sex differences of various EEG elements in healthy children and adults-quantification by a computerized wave form recognition method. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 394-406.
- Meinel, K. & Schabel, G. (2004). *Bewegungslehre Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt*. München: Südwest.
- Mesulam, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology*, 10, 304-325.

- Milton, J., Solodkin, A., Hlušík, P., & Small, S.L. (2007). The mind of expert motor performance is cool and focused. *Neuroimage* 35, 804–813.
- Missonnier, P., Deiber, M.-P., Gold, G., Millet, P., Pun, M. G.-F., Fazio-Costa, L.,... Ibáñez. (2006). Frontal theta event-related synchronization: comparison of directed attention and working memory load effects. *Journal of Neural Transmission*, 113, 1477-1486.
- Monastra, V. J. (2005). Electroencephalographic biofeedback (neurotherapy) as a treatment for attention deficit hyperactivity disorder: Rationale and empirical foundation. *Child & Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14, 55-82.
- Moran, A. (2004). Attention and Concentration Training in Sport. In: C. Spielberger (Hrsg.). *Encyclopedia of Applied Psychology, Volume I*, S. 209-214.
- Moore, N. C. (2000). A review of EEG biofeedback treatment of anxiety disorders. *Clinical Electroencephalography*, 31, 1-6.
- Mulholland, T. (1995). Human EEG, behavioral stillness, and biofeedback. *International Journal of Psychophysiology*, 19, 263–279.
- Nakashima, K. & Sato, H. (1993). Relationship between frontal midline theta activity in EEG and concentration. *Journal of Human Ergology*, 22, 63-67.
- Nakata, H., Yoshie, M., Miura, A. & Kuda, K. (2010). Characteristics of the athletes' brain: Evidence from neurophysiology and neuroimaging. *Brain Research Reviews*, 62, 197-211.
- Neuhaus, C. (2012). *ADHS bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen: Symptome, Ursachen, Diagnose und Behandlung. Rat & Hilfe*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Neumann, G. & Mellinghoff, R. (2002). *Basketball FundaMental Training*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Neumann, H. (2012). *Richtig Basketball: Technik, Taktik, Training* (6. Auflage). München: BLV.
- Nideffer, R. M. (1976). *The Inner Athlete*, New York: Thomas Crowell.
- Nideffer, R.M. (1993). Concentration and attention control training. In: J. Williams (Hrsg.), *Applied sport psychology*, Palo Alto: Mayfield, 243-262.

- Nideffer, R. M. & Sagal, M. S. (2006). Concentration and attention control training. In: J. M. Williams (Hrsg.), *Applied Sport Psychology: Personal Growth to Peak Performance* (5. Auflage) (S. 382-403). Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company.
- Ogrim, G., Kropotov, J. & Hestad, K. (2012). The quantitative EEG theta/beta ratio in attention deficit/hyperactivity disorder and normal controls: Sensitivity, specificity, and behavioral correlates. *Psychiatry Research*, *198*, 482-488.
- Oudejans, R. R. D., Koedijker, J. M., Bleijendaal, I. & Bakker, F. C. (2005). The education of attention in aiming at a far target: Training visual control in basketball jump shooting. *International Journal of Sport Psychology*, *36*, 73-97.
- Pfurtscheller, G. (2001). Functional brain imaging based on ERD/ERS. *Vision Research*, *41*, 1257-1260.
- Pfurtscheller, G., & Lopes da Silva, F. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, *110*, 1842-1857.
- Platt, M. L. & Glimcher, P. W. (1999). Neural correlates of decision variables in parietal cortex. *Nature*, *400*, 233-238.
- Posner, M. I. & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*, 25-42.
- Posner, M. I. & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science, *Annual Review of Psychology*, *58*, 1-23.
- Prebon, J. & Docker, S.B. (1992). Free-throw shooting performance as a function of preshot routines. *Perceptual and Motor Skills*, *75*, 167-171.
- Putmann, P., Verkuil, B., Arias-Garcia, E., Pantazi, I. & van Schie, C. (2014). EEG theta/beta ratio as a potential biomarker for attentional control and resilience against deleterious effects of stress on attention. *Cognitive Affective and Behavioral Neuroscience*, *14*, 782-791.
- Raymond, J., Sajid, I., Parkinson, L. A., & Gruzelier, J. H. (2005). Biofeedback and dance performance: a preliminary investigation. *Applied Psychophysiology & Biofeedback*, *30*, 65-74.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.) *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept – Band 2* (S.261–279). Göttingen: Hogrefe.



- Ritthaler, T. (2014). *Kognitive Reserve und Bewegung*. München: Eigendruck Dissertation.
- Ros, T., Moseley, M. J., Bloom, P. A., Benjamin, L., Parkinson, L. A. & Gruzelier, J. H. (2009). Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback. *BMC Neuroscience*, 10: 87.
- Roth, K. & Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Reinbek: Rowohlt.
- Rothbart, M. K. & Posner, M. I. (2006). Temperament, attention, and developmental psychopathology. In D. Cicchetti & D. J. Cohen (Hrsg.), *Handbook of Developmental Psychopathology* (S.167–88). New York: Wiley.
- Salmoni, A. W., Schmidt, R. A. & Walter, C. B. (1984). Knowledge of result and motor learning: A review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, 95, 355-386.
- 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 of Exercise Sport*, 61, 351-359.
- Sauer-Wolf, I. (2010). SCATT professional – Zielweganalyse. Abgerufen am 3.2.2015, verfügbar unter <http://scatt.de/>
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M. & Doppelmayr, M. (2005a). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*, 57, 97-103.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Stadler, W., Schabus, M., Doppelmayr, M., Hanslmayer, S.,... Birbaumer, N. (2005b) A shift of visual spatial attention is selectively associated with human EEG alpha activity. *European Journal of Neuroscience*, 22, 2917-2926.
- Sauseng, P., Hoppe, J. Klimesch, W., Gerloff, C. & Hummel, F. C. (2007). Dissociation of sustained attention from central executive functions: local activity and interregional connectivity in the theta range. *European Journal of Neuroscience*, 25, 587-593.
- Schomer, D. L. & Lopes da Silva, F. (2011). *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. (6.Auflage). Philadelphia: Lippincott Williams & Wiki.
- Shepherd, M., Findlay, J. M. & Hockey, R. J. (1986). The relationship between eye movement and spatial attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38, 475-491.

- Sherlin, L., Larson, N. & Sherlin, R. (2013). Developing a performance brain training approach for baseball: a process analysis with descriptive data. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38, 29-44.
- Shomstein, S., Kravitz, D. & Behrmann, M. (2012). Attentional control: Temporal relationships within the frontoparietal network. *Neuropsychologica*, 50, 1202-1210.
- Singer, R. N. (2002). Preperformance state, routines and automaticity: what does it take to realise expertise in self paced events? *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 24, 359-375.
- Sohlberg, M. M. & Mateer, C. A. (1987). Effectiveness of an attention-training program. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 9, 117-130.
- Serman, M. B. & Egnor, T. (2006). Foundations and practice of neurofeedback for the treatment of epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31, 21-35.
- Stern, E. & Neubauer, A. (2013). *Intelligenz. Große Unterschiede und ihre Folgen*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Tang, Y. Y. & Posner, M. I. (2009). Attention training and attention state training. *Trends in Cognitive Science*, 13, 222-227.
- Thatcher, R. W., North, D. & Biver, C. (2005). EEG and intelligence: Univariate and multivariate comparisons between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clinical Neurophysiology*, 116, 2129-2141.
- Thompson, T., Steffert, T., Ros, T., Leach, J. & Gruzelier, J. (2008). EEG applications for sport and performance. *Methods*, 45, 279-288.
- Tremayne, P. & Barry, R. J. (2001). Elite pistol shooters: physiological patterning of best vs. worst shots. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 19-29.
- Tsorbatzoudis, H. (1995). Psychologische und psychometrische Charakteristika von Sportschützen der Spitzenklasse. *Leistungssport*, 5, 50-54.
- Vernon, D. (2005). Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 30, 347-364.
- Viitasalo, J. T., Era, P., Kontinen, N., Mononen, H., Mononen, K. & Norvapalo, K. (2001). Effects of 12-week shooting training and mode of feedback on shooting scores among novice shooters. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11, 362-368.

- Vickers, J. N. (2007). *Perception, cognition, and decision training: The quiet eye in action*. Champaign: Human Kinetics.
- Vickers, J. N. (2009) Advances in coupling perception and action: the quiet eye as a bidirectional link between gaze, attention, and action. *Progress in Brain Research*, 174, 279-288.
- Vogt, A.-K. & Vogt, U. (1999). Möglichkeiten der Beeinflussung psychischer Leistungsfaktoren im Basketball. *Leistungssport*, 29, 33-38.
- Wang, J., Barstein, J., Ethridge, L. E., Mosconi, M. W., Takare, Y. & Sweeney, J. A. (2013). Resting state EEG abnormalities in autism spectrum disorders. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 5: 24.
- Wegner, M. (1992). *Konzentration und Konzentrationstraining im Hallenhandball: Theorie und Empirie*. Kiel: Eigendruck Dissertation.
- Weinberg, R. S. & Gould, D. (2007). *Foundations of sport and exercise psychology*. Champaign: Human Kinetics.
- Weineck, J. (2004). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Baldingen: Spitta.
- Wender, P. H. (2001). Adults with ADHD. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 932, 1-16.
- Westhoff, K. & Hagemeyer, C. (2004). *Konzentrationsdiagnostik*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Willcutt, E. G. (2012). The prevalence of DSM-IV attention-deficit/hyperactivity disorder: A meta-analytic review. *Neurotherapeutics*, 9, 490-499.
- Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W. & Ward, P. (2011). Perceptual-cognitive expertise in sport and its acquisition: Implications for applied cognitive psychology. *Applied Cognitive Psychology*, 25, 432-442.
- Wilson, V. & Peper, E. (2011). Athletes are different: Factors that differentiate biofeedback/neurofeedback for sport versus clinical practice. *Biofeedback*, 9, 27-30.
- Wolf, S., Brölz, E., Scholz, D., Ramos-Murguialdy, A., Keune, P. M., Hautzinger, M., ... Strehl, U. (2014). Winning the game: brain processes in expert, young elite and amateur table tennis players. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8: 370.

- Wolf, S., Brölz, E., Keune, P. M., Wesa, B., Hautzinger, M., Birbaumer, N. & Strehl, U. (2015). Motor skill failure or flow-experience? Functional brain asymmetry and brain connectivity in elite and amateur table tennis players. *Biological Psychology*, *105*, 95-105.
- World Health Organisation. (2013). *Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision (ICD-10)*. Genf: WHO.
- Wu, C.-T., Lo, L.-C., Lin, J.-H., Shih, H.-S., Hung, T.-M. (2007). The relationship between basketball free throw performance and EEG coherence. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *5*, 448-450.
- Wulf, G. & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*, 648-660.
- Wulf, G. & Shea, C. H. (2004). "Understanding the role of augmented feedback: the good, the bad, and the ugly,". In A. M. Williams & N. J. Hodges (Hrsg.), *Skill acquisition in sport: Research, theory and practice* (S. 121-141). London: Routledge.
- Wulf, G., Töllner, T. & Shea, C. H. (2007). Attentional focus effects as a function of task difficulty. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *78*, 257-264.
- 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*, 585-596.

## **Anhang**

- Anhang A: Fragebogen zur Erfassung der Ausgangslage (FAL, alle Studien)
- Anhang B: Fragebogen zum Erfahrungsgrad im Schießsport (Studie I und II)
- Anhang C: Einverständniserklärung EEG-Studie (alle Studien)
- Anhang D: Regressionsanalyse für die obere Alpha-Power (Studie I)
- Anhang E: Ausschreibung Studienteilnehmer (Studie III)
- Anhang F: Fragebogen (Studie III)

## Anhang A: Fragebogen zur Erfassung der Ausgangslage (FAL, alle Studien)

FAL															
Die folgenden Angaben sind wichtig für die Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Wir bitten dich daher, die Fragen ehrlich und genau zu beantworten (selbst wenn du die dir bekannten Verhaltensrichtlinien aus irgendwelchen Gründen nicht einhalten konntest).															
1.	a) Fühlst du dich zurzeit unwohl? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein b) Wenn ja, gib bitte deine Beschwerden genau an, die Art (z.B. Schnupfen, Erkältung, Kopfschmerzen, etc.), die bisherige Dauer und Stärke.  _____														
2.	a) Bist du Raucher? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein b) Wie viele Zigaretten rauchst du gewöhnlich am Tag? _____ c) Wie viele Zigaretten hast du heute schon geraucht? _____														
3.	a) Wie hast du letzte Nacht geschlafen? <table border="0"><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>ausgezeichnet</td><td>sehr gut</td><td>gut</td><td>mittel</td><td>schlecht</td><td>sehr schlecht</td><td>miserabel</td></tr></table> b) Wie viele Stunden hast du geschlafen? _____ Stunden c) Wie viele Stunden schläfst du gewöhnlich? _____ Stunden	0	1	2	3	4	5	6	ausgezeichnet	sehr gut	gut	mittel	schlecht	sehr schlecht	miserabel
0	1	2	3	4	5	6									
ausgezeichnet	sehr gut	gut	mittel	schlecht	sehr schlecht	miserabel									
4.	a) Hast du in den letzten acht Stunden alkoholhaltige Getränke zu dir genommen? <input type="checkbox"/> Ja, vor _____ Stunden. <input type="checkbox"/> Nein b) Wenn ja, gib bitte genau an, welche und in welcher Menge?  _____														

## Anhang B: Fragebogen zum Erfahrungsgrad im Schießsport (Studie I und II)

<b>EEG-Studie Sportschießen</b>	
<b>Soziodemographische Angaben</b>	
VP-Code:	_____
Alter:	_____
Geschlecht:	<input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich
Händigkeit:	<input type="checkbox"/> Rechtshänder <input type="checkbox"/> Linkshänder
Sportschütze seit wie viel Jahren?	_____
Kaderzugehörigkeit seit:	_____
Disziplin:	_____
Sind Sie Brillenträger?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
wenn ja, Angabe der Dioptrien:	_____
Was tragen Sie nun?	<input type="checkbox"/> Brille <input type="checkbox"/> Kontaktlinsen
Nehmen Sie aktuell irgendwelche Medikamente ein?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
wenn ja, welche?	_____
Gibt es bekannte Krankheiten?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
wenn ja, welche?	_____
Sonstige Anmerkungen:	

## Anhang C: Einverständniserklärung EEG-Studie (alle Studien)

Lieber Untersuchungsteilnehmer,

du hast dich dazu bereit erklärt an einer elektroenzephalographischen Studie (EEG) teilzunehmen, in deren Rahmen die Gehirnaktivität beim Freiwurf gemessen wird. Ziel dieser Studie ist es, Aufschluss über die sportartspezifische Konzentration und Aufmerksamkeit zu bekommen. Mit diesem Informationsblatt möchten wir dich über den Ablauf des Versuches und über die verwendeten Methoden aufklären. Der gesamte Versuch wird ungefähr eine Stunde dauern.

### Informationen hinsichtlich der EEG-Messung:

- Mittels EEG ist es nicht möglich die Gedanken einzelner Personen zu „lesen“. Es dient nur dazu, die Aktivität im jeweiligen Gehirneareal herauszufinden.
- Es handelt sich dabei zwar um ein elektrisches Messgerät, es kommt bei der Aufzeichnung aber in keinsten Weise zu „Elektroschocks“ oder Ähnlichem. Trotz der Bezeichnung „Ableitung“ wird Energie weder zu- noch abgeführt.
- Die Aufzeichnungen werden rein zur Beantwortung wissenschaftlicher Fragen durchgeführt. Etwaige Anomalitäten oder klinische Abweichungen deiner Gehirnfunktionen können wir somit nicht feststellen.

Bitte lese dir folgende Punkte aufmerksam durch!

- Ich erkläre, dass ich die Teilnehmerinformation gelesen und verstanden habe.
- Ich wurde für mich ausreichend mündlich und schriftlich über die wissenschaftliche Untersuchung informiert.
- Ich weiß, dass ich jederzeit meine Einwilligung, ohne Angabe von Gründen, widerrufen und den Versuch abbrechen kann, ohne dass dies für mich nachteilige Folgen hat.
- Ich weiß, dass alle Angaben freiwillig sind und ich nur die Angaben mache, die ich auch machen möchte.
- Ich wurde informiert, dass während des Versuchs Fotos und Videoaufzeichnungen gemacht werden, die ich auf Wunsch einsehen kann.
- Ich bin damit einverstanden, dass die im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchung über mich erhobenen Daten in anonymisierter Form aufgezeichnet werden. Es wird gewährleistet, dass meine personenbezogenen Daten nicht an Dritte weitergegeben werden. Im Falle von Veröffentlichungen der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit meiner persönlichen Daten gewährleistet. Die Beachtung des Bundesdatenschutzes ist in vollem Umfang sichergestellt.
- Mit der vorstehend geschilderten Vorgehensweise bin ich einverstanden und bestätige dies mit meiner Unterschrift.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Versuchsperson

Wir bedanken uns für die Bereitschaft an dieser Studie teilzunehmen! 😊



**Anhang D: Regressionsanalyse für die obere Alpha-Power (Studie I)**

*Koeffizienten der Regressionsanalyse für die obere Alpha-Power im temporalen Bereich*

Schritt	Prädiktor	R	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	β	t	p
1*	Schusswert	.10	.01	.01	.10	2.99	.003
2**	Schusswert	.10	.01	.00	.11	3.09	.002
	Trainerurteil				.03	0.78	.439
3***	Schusswert	.24	.06	.05	-.01	-0.22	.826
	Trainerurteil				.07	1.84	.067
	Zielzeit				.06	1.85	.065
	10.0				.11	1.61	.108
	10.5				-.01	-0.21	.835
	10a0				.03	0.63	.532
	Länge				-.09	-1.90	.057
	Abstand				-.10	-2.30	.022

AV: Relative neurophysiologische Aktivierung für das obere Alpha im temporalen Bereich

\*  $F(1, 926) = 8.93, p = .003$ ; \*\*  $F(2, 926) = 4.76, p = .009$ ; \*\*\*  $F(8, 926) = 6.82, p = .000$ .

*Koeffizienten der Regressionsanalyse für die obere Alpha-Power im parietalen Bereich*

Schritt	Prädiktor	R	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	β	t	p
1*	Schusswert	.05	.00	.00	-.05	-1.55	.122
2**	Schusswert	.06	.00	.00	-.04	-1.23	.219
	Trainerurteil				.03	0.95	.341
3***	Schusswert	.16	.03	.02	-.02	-0.42	.677
	Trainerurteil				.00	0.01	.996
	Zielzeit				.10	2.96	.003
	10.0				.04	0.59	.553
	10.5				-.07	-1.14	.255
	10a0				-.11	-2.17	.030
	Länge				.01	0.24	.811
	Abstand				-.01	-0.11	.915

AV: Relative neurophysiologische Aktivierung für das obere Alpha im parietalen Bereich

\*  $F(1, 926) = 2.40, p = .122$ ; \*\*  $F(2, 926) = 1.65, p = .192$ ; \*\*\*  $F(8, 926) = 3.14, p = .002$ .

## Anhang E: Ausschreibung Studienteilnehmer (Studie III)



Technische Universität München





Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft



### Erfahrene Basketball-Freiwurfschützen gesucht!!!

Derzeit findet am Lehrstuhl für Sportpsychologie eine Studie zum Thema **Konzentration und Aufmerksamkeit im Leistungssport** statt. Um Aufschluss über neurophysiologische Prozesse beim Basketballfreiwurf zu bekommen werden erfahrene Basketballspieler gesucht, die bereit sind ein paar Körbe zu werfen während deren Gehirnaktivität gemessen wird. Die Ergebnisse können wichtige Erkenntnisse zum Basketballfreiwurf und einer möglichen Verbesserung der Wurfquote liefern.

**Was wird gemacht bzw. geboten?**

- Analyse der Gehirnaktivität während des Freiwurfs (EEG)
- Analyse der Treffergenauigkeit (hochauflösende Videokameras)
- Teilnahme an einer spannenden sportwissenschaftlichen Studie
- Individuelle Rückmeldung über die (Konzentrations-)leistung

**START ab** Individuelle Terminvereinbarung über unten stehende **10.09.12** Adresse. **Dauer:** 60-90 Minuten.

**WO?** Leichtathletikhalle des ZHS (Olympiapark)  
Connollystraße 32  
80809 München


## Anhang F: Fragebogen (Studie III)

**SOZIODEMOGRAPHISCHE ANGABEN**

Im Folgenden bitten wir dich ein paar Fragen zu deiner Person und der Erfahrung im Basketballsport zu beantworten.

Alter: \_\_\_\_\_

Händigkeit:  Rechtshänder  Linkshänder

Brillenträger?  ja  nein  
wenn ja, Angabe der Dioptrien: \_\_\_\_\_

Was trägst du nun?  Brille  Kontaktlinsen

Schildere kurz deine Erfahrung im Basketballsport?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Zum Ende würden wir gerne noch wissen, wie sehr dich das EEG bei der Ausführung abgelenkt hat?

Gar nicht 0% 50% Sehr 100%

\_\_\_\_\_

Sonstige Anmerkungen: \_\_\_\_\_

**Vielen Dank für die Teilnahme an unserer Studie und deine Unterstützung!**