

Aus der Klinik für Neurologie  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Peter Hartung

**EEG-Aktivität und Stimmungslage von routinierten  
Feldhockeyspielern bei Ausübung einer intensiven  
Intervallsportart im Mannschaftssetting**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von  
Julia Peter-Krull  
2020

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Rüdiger J. Seitz

Zweitgutachter: Prof. Dr. sportwiss. Dr. theol. Stefan Schneider

Für Petrie

## Zusammenfassung

In der heutigen Gesellschaft hat Sport als Prävention und Verbesserung der körperlichen Gesundheit zunehmend einen wichtigen Stellenwert eingenommen. In den letzten Jahren befasste sich eine wachsende Zahl an Studien mit dem Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Veränderungen der Kortexaktivität im Gehirn sowie deren Auswirkung auf die Stimmungslage. Hierbei zeigte sich, dass eine Abnahme der präfrontalen Aktivität und ein damit einhergehender, positiver Effekt auf die Stimmungslage von Faktoren wie Intensität, Dauer und Präferenz einer Sportart beeinflusst wird. Untersucht wurden bislang Individualsportarten.

Die aktuelle Studie hatte zum Ziel eine Abnahme der Aktivität im frontalen Kortex und Veränderungen der Stimmungslage nach Ausübung einer intensiven Intervallsportart im Rahmen eines Mannschaftssettings zu finden. Untersucht wurden Spieler (aktive (n=12 aktiv; n=12 passiv) einer Feldhockeymannschaft unter realen Bedingungen während Bundesligapunktspielen.

Eine Elektroenzephalografie-Messung und die aktuelle Stimmungslage wurden vor Spielbeginn und nach Spielende erfasst.

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied für die kortikale Gehirnaktivität. Für die Stimmungslage ergab sich nach der intensiven Intervallsportart innerhalb des Teamsettings eine Abnahme bezogen auf den *wahrgenommenen physischen Zustand* und die wahrgenommene psychische Belastung.

Nachfolgende Studien müssen weiterführend den Einfluss von Faktoren wie Präferenz, Dauer und Intensität auf die kortikale Aktivität und Stimmungslage untersuchen. Zudem sollten sich zukünftige Studien auch mit den Faktoren Tempo (Intervall versus gleichbleibend) und der Sportart (Team versus Individual) beschäftigen.

## Abstract

In today's society, sport has become increasingly important as prevention and improvement of physical health. In recent years, a growing number of studies have focused on the relationship between physical activity and changes in cortex activity in the brain and their effect on mood. It has been shown that a decrease in prefrontal activity and an associated positive effect on mood is influenced by factors such as intensity, duration and preference of a sport. So far, individual sports have been investigated.

The aim of the current study was to find a decrease in activity in the frontal cortex and changes in mood after an intensive interval sport in a team setting.

Players (active (n=12 active; n=12 passive) of a field hockey team were examined under real conditions during Bundesliga point matches.

An electroencephalography measurement and the current mood were recorded before the start of the match and after the end of the match.

There was no significant difference for cortical brain activity. After the intensive interval sport within the team setting, there was a decrease in the mood related to the *perceived physical state* and the *perceived psychological strain*.

Subsequent studies must further investigate the influence of factors such as preference, duration and intensity on cortical activity and mood. In addition, future studies should also address the factors speed (interval versus constant) and type of sport (team versus individual).

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ANOVA</b>	Varianzanalyse
<b>C3</b>	Elektrodenposition Central 3
<b>C4</b>	Elektrodenposition Central 4
<b>CZ</b>	Elektrodenposition Central Zentral
<b>dB</b>	Dezibel
<b>EEG</b>	Elektroenzephalogramm/-grafie
<b>ERP</b>	Ereignisbezogene Hirnpotenziale
<b>FFT</b>	Spektralanalyse
<b>FIH</b>	Fédération Internationale de Hockey
<b>Fisher-LSD</b>	Fishers Least Significant Difference Test
<b>FP1</b>	Elektrodenposition Frontal 1
<b>FP2</b>	Elektrodenposition Frontal 2
<b>FZ</b>	Elektrodenposition Frontal Zentral
<b>F3</b>	Elektrodenposition Frontal 3
<b>F4</b>	Elektrodenposition Frontal 4
<b>Hf</b>	Herzfrequenz
<b>Hz</b>	Hertz
<b>LORETA</b>	Quantitative elektroenzephalografische Bildgebung mit elektromagnetischer Tomographie niedriger Auflösung
<b>MOT</b>	Wahrgenommener Motivationszustand
<b>OZ</b>	Elektrodenposition Okzipital Zentral
<b>O1</b>	Elektrodenposition Okzipital 1
<b>O2</b>	Elektrodenposition Okzipital 2
<b>PEPS</b>	Wahrgenommener physischer Zustand
<b>PSYCHO</b>	Wahrgenommene psychische Belastung
<b>PZ</b>	Elektrodenposition Parietal Zentral
<b>P3</b>	Elektrodenposition Parietal 3
<b>P4</b>	Elektrodenposition Parietal 4
<b>QEEG</b>	Quantitative elektroenzephalografische Bildgebung
<b>SD</b>	Standardabweichung
<b>µV</b>	µ Volt

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Auswirkung von Sport auf die physische Gesundheit und das affektive Befinden</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Anatomische und physiologische Grundlagen des Gehirns</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 Anatomie .....	2
1.2.2 Gliederung und Funktionen des Großhirns .....	3
<b>1.3 Messung der Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalografie</b> .....	<b>4</b>
1.3.1 Grundlagen der Elektroenzephalografie .....	4
1.3.2 Einsatz der Elektroenzephalografie .....	4
1.3.3 Einteilung der EEG-Aktivität in Frequenzbänder.....	5
1.3.4 Ereignisbezogene Potenziale (ERP).....	5
1.3.5. Kortikale Stromdichte .....	6
<b>1.4 Auswirkung von Sport auf die Gehirnaktivität</b> .....	<b>6</b>
1.4.1 Theorie der Transienten Hypofrontalität.....	7
1.4.2 Dosis-Wirkungs-Beziehung und <i>Dual Mode</i> Theorie .....	7
1.4.3 Trainingspräferenz-Hypothese .....	9
<b>1.5 Teamsport Feldhockey</b> .....	<b>10</b>
1.5.1 Geschichte .....	10
1.5.2 Sportart Feldhockey und Regeln.....	11
<b>1.6 Ziele der Arbeit</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Probanden und Prozedur</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Ablauf</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 Herzfrequenz</b> .....	<b>14</b>
<b>2.4 Elektroenzephalografie</b> .....	<b>15</b>
2.4.1. Versuchsaufbau/-durchführung .....	15
2.4.2 EEG-Analyse.....	16
<b>2.5 Moodmeter®/Stimmungsbeurteilung</b> .....	<b>17</b>
<b>2.6 Statistik</b> .....	<b>19</b>
2.6.1 Herzfrequenz.....	19

2.6.2 Elektroenzephalografie .....	19
2.6.3 Stimmungsbeurteilung .....	20
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Herzfrequenz .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 EEG-Aktivität .....</b>	<b>21</b>
3.2.1 Dreifaktorielle ANOVA.....	21
<b>3.3 Stimmungsbeurteilung.....</b>	<b>22</b>
3.3.1 Wahrgenommener physischer Zustand ( <i>Bodyfinder</i> ).....	23
3.3.2. Wahrgenommene psychische Belastung und wahrgenommener Motivationszustand ( <i>Feelfinder</i> ) .....	24
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. EEG .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2. Stimmungslage .....</b>	<b>29</b>
4.2.1. Wahrgenommener physischer Zustand ( <i>Bodyfinder</i> ).....	30
4.2.2. Wahrgenommene psychische Belastung und wahrgenommener Motivationszustand .....	30
<b>4.3 Schlussfolgerung: Zusammenhang EEG und Stimmungslage.....</b>	<b>32</b>
<b>5. Limitationen .....</b>	<b>34</b>
<b>6. Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>36</b>
<b>7. Anhang .....</b>	<b>43</b>
<b>7.1 Formeln.....</b>	<b>43</b>
<b>7.2 Einverständniserklärung Probanden.....</b>	<b>44</b>
<b>7.3 Fragebogen Stimmungsbeurteilung .....</b>	<b>46</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Auswirkung von Sport auf die physische Gesundheit und das affektive Befinden

Regelmäßige körperliche Aktivität hat bekanntlich einen positiven Einfluss auf die physische Gesundheit (Scully, Kremer et al. 1998, Kleppel 2016). Durch regelmäßiges Training kann beispielsweise das Risiko für chronische Erkrankungen wie koronare Herzerkrankungen, Bluthochdruck oder Diabetes mellitus gesenkt werden (Malin, Niemi et al. 2012, Swift, Lavie et al. 2013, Guo, Lou et al. 2015). Da die Anzahl der neu aufgetretenen Diagnosen für Diabetes mellitus und Bluthochdruck eine steigende Tendenz zeigt (Kearney, Whelton et al. 2005, Chen, Magliano et al. 2012, Popkin 2012), sollte eine regelmäßige körperliche Aktivität als präventiver Faktor solcher Erkrankungen in der heutigen Gesellschaft besondere Beachtung finden.

Gleichwohl ist das Interesse über die positive Auswirkung von körperlicher Aktivität auf das affektive Befinden in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus gerückt (Eduardo, Eduardo et al. 2014, Harris 2018). Einen Zusammenhang beschreiben Studien, welche zeigen, dass eine oder mehrere chronische Erkrankungen mit einer negativen Stimmungslage wie beispielweise einer depressiven Symptomatik, (Schwab, Traven et al. 1978, Murrell, Himmelfarb et al. 1983) vergesellschaftet sind. Hier kann sich moderates körperliches Training positiv auf die Stimmungslage auswirken (Scully, Kremer et al. 1998, Colcombe and Kramer 2003) und somit unter anderem Stress reduzieren und Depressionen mildern (Salmon 2001).

Vorherige Studien zeigten, dass die Faktoren Intensität (Ludyga, Gronwald et al. 2016), Fitnesslevel der Teilnehmer (Eduardo, Eduardo et al. 2014) und Dauer der sportlichen Aktivität (Yeung 1996, Ekkekakis and Lind 2006) den positiven Effekt auf die Stimmungslage nach körperlicher Aktivität beeinflussen. Die zugrundeliegenden Mechanismen sind schwer zu erfassen. Es scheinen hier Veränderungen der neuronalen Aktivität (Hall, Ekkekakis et al. 2007) sowie Veränderungen der Konzentration von Neurotransmittern eine Funktion zu haben

(Eadie, Redila et al. 2005). Ein weiterer, ergänzender Erklärungsansatz ist im Bereich der funktionellen Neuroanatomie unter der Hypothese der transienten Hypofrontalität zu sehen, da Bewegung nachweislich mit regionalen Veränderungen der kortikalen Aktivität in motorischen, sensorischen und autonomen Regionen des Gehirns verbunden ist (Dietrich 2006).

## 1.2 Anatomische und physiologische Grundlagen des Gehirns

### 1.2.1 Anatomie

Das Gehirn kann anatomisch in 4 große Abschnitte unterschieden werden, alle Abschnitte liegen innerhalb des Schädels und sind von *Meningen* und *Liquor* umgeben (Bob and Bob 2007):

- 1) *Truncus encephali* (Hirnstamm) bestehend aus *Pons*, *Mesencephalon* und *Medulla oblongata*. Er enthält unter anderem Strukturen, welche für das auditorische, visuelle und das Bewegungssystem zuständig sind. Zudem sitzt hier das Kontrollzentrum für Kreislauf und Atmung.
- 2) *Cerebellum* (Kleinhirn): Es ist zuständig für die Feinabstimmung von Bewegung und Gleichgewicht.
- 3) *Diencephalon* (Zwischenhirn): Es enthält Anteile des hormonellen, sensorischen, motorischen und limbischen Systems.
- 4) *Telencephalon* (Großhirn): Das Großhirn hat vielfältige Funktionen, u.a. solche für die Planung und Umsetzung von Bewegung sowie Entstehung der Emotionen zuständig sind. Zudem ist es der Sitz des menschlichen Bewusstseins.

Für die aktuelle Arbeit ist das Großhirn der entscheidende Teil des Gehirns, weshalb sich die Darstellung der Anatomie und physiologischen Eigenschaften im Folgenden nur mit diesem Abschnitt des Gehirns befasst.

### 1.2.2 Gliederung und Funktionen des Großhirns

Das Großhirn ist hierarchisch strukturiert und in der Lage anspruchsvolle emotionale und kognitive Prozesse zu verarbeiten (Barton and Venditti 2013).

Das Großhirn teilt sich auf in zwei Hemisphären. Jede Hemisphäre ist aufgebaut aus Kortex und Marklager mit subkortikalen Kernen (z.B. Thalamus). Es wird in vier Lappen (*Lobi*) unterteilt: *Lobus frontalis*, *parietalis*, *temporalis* und *occipitalis*. Bestimmte Funktionen können den einzelnen Lappen zugeordnet werden, wobei aufgrund der Komplexität weitere Areale (z.B. Kleinhirn und Zwischenhirn) an diesen Funktionen beteiligt sind (Bob and Bob 2007).

Im *Lobus temporalis* liegen das primär auditorische Zentrum und das sensorische Sprachzentrum (Mesulam, Rogalski et al. 2014, Rauschecker 2015). Der *Lobus occipitalis* stellt das visuelle Zentrum dar (Tohid, Faizan et al. 2015). Im *Lobus parietalis* liegen das somatosensorische und ein Anteil des visuellen Zentrums (Yin, Zhao et al. 2012, Wood, Chouinard et al. 2017).

Die Bedeutung des *Lobus frontalis* hat sich in den letzten zwei Jahrhunderten entwickelt. So war man zunächst von einer reinen motorischen Ausführung (Fritsch and Hitzig 1870) ausgegangen. Heute kennt man weitere, komplexere Funktionen wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis (Fuster 2009, Reilly, Rodriguez et al. 2011), Sozialverhalten (Shamay-Tsoory, Harari et al. 2010, Langen, Leemans et al. 2012), Bewusstsein (Crick and Koch 1990, Dehaene, Kerszberg et al. 1998), Koordination und Verarbeitung von Emotionen und Wahrnehmungen (Miller and Cohen 2001, Goodwin 2016). Letztere Funktionen lassen sich in einem Bereich, welcher als *präfrontalen* Kortex bezeichnet wird, zuordnen. Dieser ist Teil des *Lobus frontalis* und liegt *rostral* der motorischen Zentren.

Möglich ist dieses breite Spektrum an Fähigkeiten aufgrund von mehreren Netzwerken von Fasern, die die komplexe Anatomie der *frontalen* weißen Substanz bilden (Thiebaut de Schotten, Dell'Acqua et al. 2012, Yeterian, Pandya et al. 2012). Durch weiträumige Projektions- und Assoziationsfasern erhalten die Frontallappen sensorische Informationen von subkortikalen Kernen und den

sensorischen kortikalen Gebieten (d.h. visuelle, auditorische, somatosensorische, gustatorische und olfaktorische) und reagieren auf Umweltreize (Catani, Dell'Acqua et al. 2012).

### **1.3 Messung der Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalografie**

Der folgende Abschnitt soll über die Grundlagen der neuronalen Aktivität informieren und erklären, wie diese mittels Elektroenzephalogramm aufgezeichnet werden kann.

#### **1.3.1 Grundlagen der Elektroenzephalografie**

Das Elektroenzephalogramm (EEG) dient der Messung elektrischer neuronaler Aktivität im Gehirn. Das EEG nimmt die elektrischen Signale wahr, mit der die Nervenzellen im Gehirn untereinander kommunizieren. Die wichtigste Rolle bei der Entstehung des EEGs spielen die kortikalen Pyramidenzellen aufgrund ihrer senkrecht zur Kortexoberfläche stehenden apikalen Dendriten, die über tausende Synapsen mit anderen Nervenzellen verbunden sind. Das EEG ist somit die Summe aus den Ruhepotentialen aller erregenden und hemmenden postsynaptischen Potenzialen kortikaler Neurone (Kirschstein 2008). Das EEG im Wachzustand zeigt für bestimmte Hirnregionen charakteristische, verschiedene physiologische Rhythmen (Rosenow and Hamer 2008).

#### **1.3.2 Einsatz der Elektroenzephalografie**

In der klinischen Diagnostik wird die Messung der kortikalen Aktivität mittels Elektroenzephalografie bei zentralnervösen Erkrankungen wie beispielweise Epilepsie, Gehirntumoren, Enzephalitis oder Entzündungsherden angewendet (Foerster and Altenburger 1934, Reif, Strzelczyk et al. 2016).

Weiterführend wird die Elektroenzephalografie in der Forschung genutzt, um Veränderungen der kortikalen Aktivität als Folge von emotionalen und

kognitiven Prozessen sichtbar zu machen (Lindsley 1960, Davidson 1988, Dussault, Jouanin et al. 2005). Daher wird diese Methode nicht nur im klinischen Feld eingesetzt, sondern gilt mittlerweile auch im sportwissenschaftlichen Bereich als gängige Methode (Brümmer, Schneider et al. 2011, Schneider, Abeln et al. 2013, Vogt, Schneider et al. 2013, Wollseiffen, Schneider et al. 2016).

### **1.3.3 Einteilung der EEG-Aktivität in Frequenzbänder**

Allgemein wird die EEG-Aktivität in fünf Frequenzbereiche eingeteilt:  $\delta$  (0,5-3,5 Hz),  $\theta$  (3,5-7,5 Hz),  $\alpha$  (7,5-12,5 Hz),  $\beta$  (12,5-35 Hz) und  $\gamma$  (>35Hz). Die Frequenzen  $\alpha$  und  $\beta$  können jeweils noch in einen niedrigen ( $\alpha_1$  7,5-10 Hz;  $\beta_1$  12,5-18 Hz) und hohen Abschnitt ( $\alpha_2$  10-12,5 Hz;  $\beta_2$  18-35 Hz) unterteilt werden (Schneider, Askew et al. 2009). Während Entspannung mit dem vermehrtem Auftreten von  $\alpha$ -Aktivität assoziiert wird, kommt es bei Prozessen der Konzentration, Stress oder Aktivierung zur Verschiebung und Zunahme der höheren Frequenzen wie der  $\beta$ -Aktivität (Lindsley 1960, Bonnet and Arand 2001).

### **1.3.4 Ereignisbezogene Potenziale (ERP)**

Ereignisbezogene Hirnpotenziale (ERP) sind elektrische Gehirnreaktionen, die unmittelbar auf einen sensorischen Stimulus reagieren und aus dem EEG abgeleitet werden können (Birbaumer and Schmidt 1989). Sie stellen die messbare Antwort auf einen optischen, akustischen oder somatosensorischen Reiz wie beispielweise eine kognitive Aufgabe dar und hängen somit mit einem beobachtbaren Ereignis wie einer motorischen Reaktion zusammen (Heinze, Weissenborn et al. 1986, Picton 1988). Möglich wird dies durch die hohe Empfindlichkeit der ERPs, die das Potenzial haben die elektrische Aktivität des Gehirns mit einer hohen zeitlichen Auflösung (in der Größenordnung von Millisekunden) zu überwachen (Campanella, Pogarell et al. 2013). ERPs sind somit vom Spontan-EEG zu unterscheiden, welches zeitlich ausgedehnte Zustände der kortikalen Funktion charakterisieren wie Phasen der Wachsamkeit, Konzentration oder Schlaf (Pfurtscheller and Aranibar 1979, Kotchoubey 2017) wiedergibt.

### **1.3.5. Kortikale Stromdichte**

Das EEG ist in seiner räumlichen Auflösung begrenzt, wenn es zur Lokalisierung und Abbildung der elektrischen Aktivität des Gehirns verwendet wird (Nunez and Srinivasan 2006). Die quantitative elektroenzephalografische Bildgebung (QEEG) mit elektromagnetischer Tomographie niedriger Auflösung (LORETA) ist ein weit verbreitetes Werkzeug zur dreidimensionalen Lokalisierung von kortikaler Aktivität. LORETA berechnet aus den Arealen der höchsten kortikalen Stromdichte, der linear gewichteten Summe von elektrischen Potentialen der Kopfhaut, die Quelle der Aktivität (Pascual-Marqui, Michel et al. 1994 , Korb, Hunter et al. 2009). Das Auflösungsvermögen der LORETA ist allerdings auf die kortikale graue Substanz beschränkt, da die Aktivität kortikaler Pyramidenzellen als Ursache des EEG-Signals angenommen werden (Gloor 1985). Die Fähigkeit von LORETA, EEG-Quellen zu lokalisieren, wurde anhand bekannter Methoden wie der Magnetresonanztomographie (Worrell, Lagerlund et al. 2000) oder der Positronen-Emissions-Tomographie (Oakes, Pizzagalli et al. 2004) validiert und bietet eine zeitlich schnellere sowie kostengünstigere Alternative.

## **1.4 Auswirkung von Sport auf die Gehirnaktivität**

Sport wirkt sich auf das affektive Befinden aus und als vermittelnder Effekt scheint hier die Veränderung der kortikalen Aktivität ursächlich (Woo, Kim et al. 2009, Schneider, Askew et al. 2010). Diese Theorien sollen in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

### **1.4.1 Theorie der Transienten Hypofrontalität**

Im Gehirn ist der Frontallappen der Hauptsitz für Prozesse, die Emotionen wie Angst, Stress und Depressionen steuern (Baxter 1990, Mayberg 1997). Es wird vermutet, dass eine Reduktion der Gehirnaktivität in diesem Areal negative Emotionen wie Stress und Angst vermindert und somit die psychische Gesundheit stärken kann (Dietrich 2006).

Der positive Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Stimmungsanlage scheint im Zusammenhang mit messbaren Veränderungen der zerebralen Aktivität innerhalb des frontalen Kortex zu stehen (Schneider, Brümmer et al. 2009). In vorherigen Studien über die Auswirkung von Sport auf die Gehirnaktivität konnte eine Reduktion der Aktivität in frontalen Arealen mit der Verschiebung in jene Kortextbereiche beobachtet werden, welche für Planung und Ausführung (senso-) motorischer Prozesse zuständig sind (Schneider, Askew et al. 2010, Brümmer, Schneider et al. 2011, Dietrich and Audiffren 2011). Aufgrund von limitierter Informationsverarbeitung im Gehirn und dem Fakt, dass das Gehirn mit einem bestimmten Maximum an metabolischen Ressourcen arbeiten muss (Ide and Secher 2000), kommt es zur oben genannten Umverteilung der Gehirnaktivität. Diese Beobachtung der Verschiebung der kortikalen Aktivität beschrieb erstmalig Dietrich in der Theorie der transienten Hypofrontalität (Dietrich 2006).

### **1.4.2 Dosis-Wirkungs-Beziehung und *Dual Mode* Theorie**

Bereits in derselben Studie äußerten Dietrich et. al (Dietrich 2006) die Theorie, dass Bewegung nicht nur mit einem Rückgang der frontalen Aktivität verbunden ist, sondern auch, dass der Grad der körperlichen Anstrengung mit dem Schweregrad der frontalen Deaktivierung korreliert sein könnte.

Bezogen auf das affektive Befinden beschreiben Ekkekakis et al. (Ekkekakis and Petruzzello 1999, Ekkekakis, Hall et al. 2000) denselben Effekt in Abhängigkeit vom Schweregrad der körperlichen Anstrengung in einer Dosis-Wirkungs-Beziehung. Sie postulieren, dass der positive psychologische Effekt in Abhängigkeit von der Intensität steht.

Weiterführend erklärt wird dieses Ergebnis in der *Dual Mode* Theorie von Ekkekakis et. al (Ekkekakis 2003, Ekkekakis and Acevedo 2006). Diesem Modell nach besteht ein Zusammenhang zwischen affektivem Befinden und der Intensität der ausgeübten Sportart, wie folgend dargestellt: Moderate Trainingsintensitäten (Belastungen im aeroben Bereich,  $HF < 70\% HF_{max}$ ) gehen mit positivem Empfinden, sehr hohe Intensitäten (Belastungen oberhalb der anaeroben Schwelle  $HF > 90\% HF_{max}$ ) eher mit negativem Befinden einher. Eine individuelle Varianz des Empfindens besteht bei Ausübung einer hohen Intensität ( $HF 70-80\% HF_{max}$ ). Dahingegen wird bei Sporteinheiten mit geringer Intensität davon ausgegangen, dass sie nicht ausreichen, um eine positive Auswirkung auf das emotionale Empfinden zu haben. Der optimale Intensitätsbereich für die bestmögliche psychologische Auswirkung befindet sich daher zwischen den beiden Extremen, im moderaten bis höherem Intensitätsbereich (Ekkekakis and Petruzzello 1999, Ekkekakis, Hall et al. 2000, Brümmer, Schneider et al. 2011). Darüber hinaus ließ sich in Studien nachweisen, dass dieser Effekt durch Änderungen der kortikalen Aktivität vermittelt scheint (Schneider, Askew et al. 2009, Woo, Kim et al. 2009, Schneider, Askew et al. 2010).

Diesbezüglich befassten sich Schneider et. al (Schneider, Askew et al. 2009) in Anlehnung an die Dosis-Wirkungs-Beziehung in ihrer Studie mit dem Zusammenhang zwischen Trainingsintensität, Veränderungen der kortikalen Gehirnaktivität und dem Effekt auf die Stimmungslage. Sie konnten bei Freizeitsportlern beobachten, dass eine hohe Belastungsintensität mit einer Abnahme der  $\beta$ -Aktivität und einer Abnahme der psychologischen Belastung einhergeht. Gleichwohl besteht daher eine Korrelation zwischen der Abnahme der frontalen Gehirnaktivität (Schneider, Brümmer et al. 2009) und dem positiven Effekt auf das affektive Befinden (Schneider, Askew et al. 2009). Ein weiterer beeinflussender Faktor, welcher Auswirkungen auf die Beziehung zwischen Trainingsintensität und kortikaler Hirnaktivität hat, scheint zudem der individuelle Trainingsstatus zu sein (Boutcher SH 1988; Brümmer, Schneider et al. 2011). Insgesamt ist ein Zusammenhang zwischen Trainingsintensität, Rückgang der frontalen Aktivität und positivem Effekt auf das affektive Befinden anzunehmen.

### 1.4.3 Trainingspräferenz-Hypothese

Einen weiteren Effekt beschreiben Schneider et. al (Schneider, Brümmer et al. 2009) in ihrer Trainingspräferenzhypothese. Diese stellt dar, dass die größte positive Reaktion auf die Stimmungslage und neurophysiologischen Effekt (Abnahme der frontalen Aktivität) in Abhängigkeit von der persönlichen Vorliebe beziehungsweise Gewohnheit der Sportler (= Läufer laufen) zu stehen scheint.

Zugleich hat der jeweilige Trainingsstatus neben der Gewöhnung an eine Übung eine wichtige Bedeutung. Bei regelmäßig trainierenden Läufern zeigte sich der größte Effekt, wenn diese ihr eigenes und kein vorgegebenes Tempo (bevorzugte Geschwindigkeit) liefen und sie nicht innerhalb einer fremden Sportart (Fahrrad/Armpedaltrainer) ein ähnliches Training absolvierten (Schneider, Brümmer et al. 2009, Brümmer, Schneider et al. 2011). Diese Theorie unterstützten Lattari et. al (Lattari, Portugal et al. 2016) in ihrer Studie. Sie konnten aufzeigen, dass bei selbstbestimmter Trainingsintensität im Vergleich zu einer vorgegebenen Intensität ein besserer Effekt auf das emotionale Wohlbefinden nachzuweisen war.

Weiterführend bewiesen Brümmer et. al (Brümmer, Schneider et al. 2011), dass die bevorzugte Bewegung (d.h. Läufer beim Laufbandlauf) mit einer Verringerung der  $\beta$ -Aktivität im präfrontalen Kortex einhergeht, wobei in sich hier gleichermaßen eine Korrelation zwischen der Abnahme der frontalen Aktivität und hohen Trainingsintensitäten nachweisen ließ. Ferner postulierten sie, dass diese Erfahrung im bevorzugten Sport und in verschiedenen Intensitätsstufen zu höherer Ruhe, Wohlbefinden und/oder positiven Emotionen bei höheren Trainingsintensitäten (ideal seien 50-80% der individuellen Trainingskapazität) führen. Letztendlich ist zu beachten, dass Sportler bereits im alltäglichen Training hohe Intensitäten bevorzugen und diese somit gewöhnt sein können (Schneider, Askew et al. 2009).

Dementsprechend unterstützten die oben genannten Ergebnisse gleichermaßen die Hypothese der Trainingspräferenz, aber auch die Dosis-Wirkungs-Beziehung, was bedeutet, dass die Anpassung an bestimmte Übungen

und Intensitäten die Reaktion auf diesen Reiz beeinflusst und zu einem spezifischen Aktivierungsmuster der Hirnrinde führt, nämlich einer Deaktivierung der Aktivität des frontalen Kortex (Brümmer, Schneider et al. 2011).

## **1.5 Teamsport Feldhockey**

In dieser Studie wurde als Sportart Feldhockey ausgewählt und der folgende Abschnitt soll über die relevanten Grundlagen dieses Mannschaftssports informieren.

### **1.5.1 Geschichte**

Die Anfänge des Feldhockeys finden sich bereits vor ca. 4000 Jahren im Alten Ägypten, wobei sich das heutige Feldhockey im 18. Jahrhundert in England entwickelte. Dort wurde es in Schulen als Sportart eingeführt. Die ersten Feldhockeyregeln wurden ebenfalls in England, im Jahr 1876 niedergeschrieben. Seit 1908 ist Feldhockey eine olympische Sportart. Damals traten die Männermannschaften von sechs Ländern, unter anderem Deutschland, in London gegeneinander an. 1924 wurde in Paris die *Fédération Internationale de Hockey* (FIH) gegründet, welche heutzutage den obersten Verband für Feldhockey weltweit darstellt (The International Hockey Federation 2018).

In Deutschland wurde Feldhockey erstmalig 1887 als Sportart erwähnt. Englische Hockeyspieler gründeten zu jener Zeit in Hannover und Heidelberg die ersten Hockeyvereinigungen (Deutscher Hockey- Bund e.V. 2015). In Deutschland gibt es derzeit ca. 70.000 Hockeyspielerinnen und -spieler, in ungefähr 400 eingetragenen Vereinen (Deutscher Hockey- Bund e.V. 2015).

### **1.5.2 Sportart Feldhockey und Regeln**

Die Regeln werden von der *International Hockey Federation* herausgegeben. Die folgenden Erläuterung zu den Regeln wurde aus dem aktuellen Regelkatalog entnommen (The International Hockey Federation 2016). Im Sommer finden die Spiele auf Natur- oder Kunststoffrasen, im Winter in der Halle statt. Die Größe des Hockeyfeldes im Freien beträgt 91,4 m Länge und 55 m Breite. Eine Mannschaft besteht aus mindestens elf Spielern/innen. Ebenfalls dürfen maximal elf Spieler/innen eines jeden Teams zur gleichen Zeit den Platz bespielen. Zur empfohlenen Ausrüstung eines Feldspielers/-spielerin gehören neben dem obligatorischen Schläger auch Schienbeinschoner und Mundschutz. Der Torhüter/die Torhüterin ist verpflichtet eine Schutzausrüstung inklusive Helm zu tragen. Auch der Torhüter/die Torhüterin hält einen Schläger. Der Spielball darf nur mit dem Schläger berührt werden- lediglich dem Torhüter/der Torhüterin ist es erlaubt den Ball mit seinem/ihrem ganzen Körper zu berühren.

In Deutschland gibt es für Herrenmannschaften unter anderem eine 1. Bundesliga und eine 2. Bundesliga, diese sind jeweils für die Feld- und Hallensaison unterschiedlich (Deutscher Hockey- Bund e.V. 2015). Die Spieldauer für die Feldsaison variiert zwischen mindestens 2 x 15 min bis maximal 2 x 30min, in den internationalen Ligen beträgt die aktuelle Spieldauer 4 x 15 min (The International Hockey Federation 2016). Zwei Schiedsrichter/innen leiten das Spiel und sorgen für die Einhaltung der Regeln. Hockey ist ein körperlich anstrengendes und schnelles Spiel, welches durch die Einführung des Selbstpasses im Jahr 2009 noch schneller gestaltet wurde (Deutscher Hockey- Bund e.V. 2015).

### **1.6 Ziele der Arbeit**

Es gibt bereits viele veröffentlichte Studien, welche sich mit den durch Sport verursachten Veränderungen der kortikalen Gehirnaktivität und deren

Auswirkung auf das affektive Befinden/die Stimmungslage, befassen. Allerdings wurden die meisten bislang ausschließlich im Bereich der Individualsportarten untersucht. Inwiefern die Ausübung einer intensiven Intervallsportart innerhalb einer Mannschaft Auswirkungen auf spezifische Veränderungen der neuronalen Gehirnaktivität und diese Veränderungen wiederum in einem Zusammenhang mit dem affektiven Befinden/der Stimmungslage stehen, ist bislang unbekannt.

Angesichts der wichtigen Rolle von Freizeitsport in unserer Gesellschaft (Chen, Tsai et al. 2017) wurden für diese Studie Spieler einer Feldhockeymannschaft aus dem Freizeitsportbereich als Probanden ausgewählt. Bislang fokussierten vorherige Studien Untersuchungen von sportlicher Aktivität im Laborsetting, sodass affektive Reaktionen im Feld noch wenig thematisiert sind (Molinari, Schmid et al. 2015). Infolgedessen analysierte diese Studie die Sportler während der regulären Bundesligasaison. Feldhockey wurde zudem in die Kategorie intensive Intervallsportart eingeordnet (Theilen, Mueller-Eising et al. 2015).

Basierend auf vorherigen Ergebnissen der Dosis-Wirkungs-Beziehung bezüglich Bewegung und affektiven Befindens sowie der Trainingspräferenzhypothese (Schneider, Brümmer et al. 2009) hatte diese Studie das Ziel, ebenfalls einen positiven Effekt auf die Stimmungslage durch Ausübung der intensiven Intervallsportart bei routinierten Hockeyspielern innerhalb eines Teamsettings nachzuweisen. Als Kontrollgruppe diente eine Gruppe passiver Hockeyspieler, welche die Punktspiele von der Ersatzbank aus verfolgten.

Aufgrund von vorherigen Studien wurde angenommen, dass innerhalb der Gruppe von aktiven Spielern eine positive Veränderung der Stimmungslage mit einer Abnahme der  $\beta$ -Aktivität im Bereich des frontalen Kortex korreliert.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Probanden und Prozedur**

Diese Studie wurde von der Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule Köln am 17.3.2011 genehmigt. An der Studie nahmen 17 erwachsene und sechs jugendliche männliche Feldhockeyspieler des „Deutschen Hockey Club Hannover e.V.“ als Probanden im Alter von 21,41 (Mittelwert) / 20 (Median) Jahren teil.

Die 23 Probanden wurden in eine aktive (n=12; Durchschnittswerte: Alter: 21,83 Jahre (Mittelwert), 21,5 Jahre (Median), Gewicht: 79,75 kg (Mittelwert), Größe: 185,0 cm (Mittelwert) und eine passive (n=12; Durchschnittswerte: 21,0 Jahre (Mittelwert), 18 Jahre (Median), Gewicht: 74,0 kg (Mittelwert), Größe: 183,2 cm (Mittelwert) Gruppe eingeteilt. Ein Proband wurde beiden Gruppen an zwei unterschiedlichen Testtagen zugeteilt, sodass er einmal als passive und einmal als aktive Testperson an der Studie teilnahm, sodass es insgesamt eine Probandenanzahl von 24 ergibt. Die aktive Gruppe bestand aus Mitgliedern der Mannschaft, welche am Untersuchungstag aktiv im Spielgeschehen eingesetzt wurden. Die Gruppe der passiven Spieler bestand aus Mitgliedern der Mannschaft, die am Untersuchungstag nicht für das Spiel eingesetzt wurden. Die Probanden der passiven Gruppe hatten die Aufgabe sich das Spiel als Zuschauer vom Spielfeldrand aus anzuschauen.

Die Einteilung der Spieler in die Gruppen erfolgte in Absprache mit dem Trainerteam jeweils zwei Tage vor einem Punktspiel.

Alle Probanden waren professionelle Spieler in der 2. Bundesliga des Deutschen Hockey Verbands mit einer minimalen Trainingseinheit von fünf Stunden pro Woche. Keiner der Teilnehmer gab physische oder psychologische Erkrankungen, sowie chronische Vorerkrankung an oder nahm regelmäßig Medikamente ein.

Die Untersuchungen fanden an sieben Punktspieltagen unter realen Wettkampfbedingungen während der Feldhockeysaison im Sommer statt. Es wurden zwei bis fünf Probanden pro Spieltag untersucht. Ein Punktspiel dauerte zwei Halbzeiten mit jeweils 35 min plus einer Halbzeitpause von 15 min.

## **2.2 Ablauf**

Die Untersuchung der Spieler wurde vor und nach dem Spiel nach einer festgelegten Methodik durchgeführt, wie folgend beschrieben:

Stimmungstest - EEG - Feldhockeyspiel - Stimmungstest – EEG.

Die Stimmungstests wurden in einem ruhigen und geschlossenen Untersuchungsraum auf dem Spielstättengelände unweit des Hockeyplatzes durchgeführt.

Der Zeitpunkt der Messungen der EEG-Aufnahmen vor und nach dem Hockeyspiel wurde in demselben Untersuchungsraum unter gleichen und ruhigen Bedingungen durchgeführt. Die Herzfrequenz wurde während des Hockeyspiels aufgezeichnet.

## **2.3 Herzfrequenz**

Für die Aufzeichnung der Herzfrequenz während des Hockeyspiels wurden zwei verschiedene Herzfrequenz-Messsysteme verwendet (1. Acentas Herzfrequenz Monitoring®, „ID=00018000, ID=00016876, ID=00016887, ID=00016689, Herzfrequenz Monitoring Team System, Hörgertshausen/Deutschland; 2. Suunto®, Modell t1c, Vantaa/Finnland). Die Brustgurte wurden 30 Minuten vor Spielbeginn angelegt, die Herzfrequenz alle 20 Sekunden aufgezeichnet und während der gesamten Spielzeit einschließlich der Halbzeitpause von 15 Minuten getragen.

Mittels eines dem Acentas Herzfrequenz Monitoring© Team Systems zugehörigen USB-Sticks konnten via Bluetooth die aufgezeichneten Herzfrequenzen am Computer eingelesen werden. Dazu wurde das Programm *acentasMemSync 2.0* genutzt und die Daten anschließend in Excel (Microsoft® Excel® für Mac 2011, Version 14.5.1) übertragen. In der Excel Tabelle waren die Herzfrequenzdaten, das Datum, Uhrzeit bei Beginn der Aufzeichnung, Uhrzeit bei Ende der Aufzeichnung sowie die Identifikationsnummer des Brustgurtes aufgelistet. Zu Beginn und Ende des Hockeyspiels wurde die Uhrzeit notiert, zusätzlich wurden auch der Anfang und das Ende der Halbzeitpause notiert. Mittels der Zeitangaben in der Excel Tabelle wurden die Herzfrequenzdaten ausgewählt, die zwischen der Uhrzeit des Beginns und Ende des Spiels aufgezeichnet wurden, exklusive der Halbzeitpause. Unterschieden wurde zwischen den Gruppen der aktiven und passiven Spieler. Die Herzfrequenz wurde anschließend über die Zeit gemittelt.

## **2.4 Elektroenzephalografie**

### **2.4.1. Versuchsaufbau/-durchführung**

Vor Spielbeginn wurde zuerst die EEG-Aktivität der aktiven Spieler erfasst, da diese Spieler eine Aufwärmphase von 40 Minuten durchlaufen mussten. Anschließend wurde die EEG-Aktivität der passiven Spieler aufgezeichnet. Bei der aktiven Gruppe fanden die EEG-Messungen im Durchschnitt 130 Minuten (Median 130,5 min) vor Spielbeginn und 51 Minuten (Median 51 min) nach Spielende statt. Bei der passiven Gruppe wurden die EEG-Messungen im Durchschnitt 61 Minuten (Median 48 min) vor Spielbeginn und 42,5 Minuten (Median 35,5 min) nach Spielende durchgeführt. Die EEG-Aufzeichnungen nach dem Spiel erfolgten aus logistischen und gesundheitlichen Gründen in umgekehrter Reihenfolge, so dass die aktiven Spieler Zeit hatten, die Abkühl- und muskuläre Regenerationsphase von 20 min durchzuführen.

Eine 16-Kanal - EEG-Kappe (Brain Products, München, Deutschland) mit 16 im 10:20-System (Jasper 1958) angeordneten Trockenelektroden wurde auf dem Kopf des Teilnehmers an den folgenden Positionen montiert: FP1, FP2, F3, F4, FZ, C3, C4, CZ, P3, P4, PZ, O1, O2, OZ. Die EEG-Kappe wurde an die Kopfgröße des Teilnehmers angepasst und mit einem Riemen unter dem Kinn fixiert. Auf jede Elektrode wurde Electro-Gel™ (Electro-Cap International, Inc., Eaton, USA) zur verbesserten Übertragung mittels Pinsel aufgetragen. Die Elektroden wurden möglichst direkt auf der Kopfhaut platziert, um größtmöglichen Hautkontakt zu haben. Die Elektroden Frontal 1 (FP1) und Frontal 2 (FP2) wurden rechts und links über den Augenbrauen auf der Stirn platziert. Die genaue Platzierung erfolgte mit Hilfe einer Schablone, welche auf die Nasenwurzel aufgesetzt wurde. Die Schablone enthielt zwei vorgefertigte Markierungspunkte wodurch die genaue Lokalisation für FP1 und FP2 auf der Stirn der Probanden gekennzeichnet werden konnten.

Die kortikale Hirnaktivität wurde drei Minuten lang aufgezeichnet, wobei sich der jeweilige Teilnehmer in einer die Augen geschlossenen und sitzenden Position befand. Zudem sollten die Zähne nicht auf einander gebissen und die Hände entspannt in den Schoß gelegen werden.

#### **2.4.2 EEG-Analyse**

Die EEG-Analyse wurde offline mit dem Programm *Brain Vision Analyzer* (Brain Products, München, Deutschland) durchgeführt.

Das EEG wurde hoch- und tiefpass gefiltert, so dass sich ein Frequenzbereich von 0,5 bis 70 Hz für die Analyse mit einer Zeitkonstante von 0,1591549 s und einer 24 dB pro Oktave (Kerbfiter bei 50 Hz) ergab. Die Daten wurden in 4- sekündige Abschnitte unterteilt, in denen eine Überschneidung von 10% akzeptiert wurde. Für die Detektion von Artefakten mit einem maximalen Spannungsschritt/Abtastpunkt von  $< 50 \mu\text{V}$ , einem Amplitudenkriterium der minimalen und maximalen Amplitude zwischen  $-200 \mu\text{V}$  und  $200 \mu\text{V}$  wurden 200 ms vor und nach dem Ereignis Datensequenzen markiert und entfernt.

Anschließend wurden die segmentierten Daten durch Spektralanalyse (FFT) unter Verwendung der Leistungsabgabe ( $\mu V^2$ ) korrigiert und analysiert und über alle übrigen Segmente gemittelt. Das FFT-Wellenband von  $\alpha$  (7,5-12,5 Hz) und  $\beta$  (12,5-38 Hz) wurde als Rohsumme der Aktivitätswerte ( $\mu V^2$ ) für jede Elektrode exportiert. Schließlich wurden die Daten manuell auf Artefakte in jedem Kanal und Frequenzbereich überprüft. Um die Daten weiter zu analysieren, wurden Elektroden für den frontalen Kortex (FP1, FP2, F3, F4, FZ), den zentralen Kortex (C3, C4, CZ), den parietalen Kortex (P3, P4, PZ) und den okzipitalen Kortex (O1, O2, OZ) zusammengefasst.

Anschließend wurden die Daten in eine Excel Tabelle importiert (Microsoft® Excel® für Mac 2011, Version 14.5.1).

## **2.5 Moodmeter©/Stimmungsbeurteilung**

Die Stimmungsbeurteilung wurde mit einer Papierform des *MoodMeter*©, einem tragbaren Computerprogramm, welches aus den beiden Modulen *Bodyfinder* und *Feelfinder* besteht, durchgeführt. Das *Bodyfinder*-Modul bewertet den aktuellen wahrgenommenen physischen Zustand (PEPS) analog zu denen, die traditionell in die klinische oder verhaltensorientierte Forschung integriert sind und ist sehr empfindlich gegenüber kurzfristigen Stimmungsschwankungen. Das *Feelfinder*-Modul bewertet die wahrgenommene psychische Belastung (PSYCHO) und den wahrgenommenen Motivationsstatus (MOT).

Alle diese Module beinhalten eine kurze 32-Punkte-Version der "Eigenzustandsskala" (EZ-Skala, (Nitsch 1976)). Für diese Studie wurde die papierbasierte Form des *MoodMeter*© mit 32 Adjektiven (16 Adjektive *Bodyfinder*, 16 Adjektive *Feelfinder*) entworfen und den Teilnehmern zum Ankreuzen vorgelegt. Bei der Präsentation der einzelnen Adjektive wurden die Teilnehmer gebeten anzugeben, wie gut dieses Adjektiv ihren aktuellen mentalen und physischen Zustand beschreibt, indem sie eine der sechs *Likert*-Skalen von 0 (trifft gar nicht zu) bis 5 (trifft voll zu) auswählen mussten.

Die 32 Adjektive wurden den drei verschiedenen Abschnitten zugeordnet: aktueller wahrgenommener physischer Zustand (PEPS), wahrgenommene psychische Belastung (PSYCHO) und wahrgenommenen Motivationsstatus (MOT). Jeder dieser drei Abschnitte wurde weiter in vier Untergruppen unterteilt (*Tabelle 2*).

Die erste Untergruppe (PEPS-Abschnitt) setzte sich aus den vier Untergruppen „Aktiviertheit“, „Trainiertheit“, „Beweglichkeit“ und „Gesundheit“ zusammen. „Aktiviertheit“ beinhaltet Adjektive, die im Zusammenhang mit Lethargie sowie Müdigkeit stehen („ausgelaugt, schlapp, abgeschlafft, energielos“). Die „Trainiertheit“ beschreibt die physische Fitness mit den Adjektiven „durchtrainiert, kräftig, kraftvoll, fit und stark“. Die Adjektive „gelenkig, beweglich, unbeweglich und steif“ formulieren die „Beweglichkeit“. Die vierte Untergruppe von PEPS stellt die „Gesundheit“ („gesund, angeschlagen, lädiert, krank“) dar.

Die „PSYCHO“-Gruppe wurde in die folgenden vier Untergruppen mit dazugehörigen Adjektiven unterteilt: „Ausgeruht sein“ („matt, schläfrig“), „Erholung“ („erholt, ausgeruht“), „positive Stimmung“ („gut gelaunt, fröhlich“) sowie „Innere Ruhe“ („gelassen, ruhig“).

Die letzten vier Untergruppen beschreiben den Motivationsstatus (MOT): „Soziale Anerkennung“ („anerkannt, beliebt“), „Kontaktbereitschaft“ („Kontaktbereit, mitteilbar“), „Selbstsicherheit“ („routiniert, selbstsicher“) und „Anstrengungsbereitschaft“ („energiegeladener“).

Die angekreuzten Punkte nach den *Likert*-Skalen wurden für die negativen Adjektive („ausgelaugt, schlapp, abgeschlafft, energielos, unbeweglich, steif, angeschlagen, lädiert, krank, matt, schläfrig) umgekehrt, um die Daten entsprechend den positiven Adjektiven zu analysieren.

Die berechneten Durchschnittswerte für jede der oben genannten 12 Untergruppen wurden zur Berechnung der Durchschnittswerte für die drei

Hauptgruppen herangezogen (*Tabelle 2*). In dieser Datenauswertung wurde zwischen aktiven und passiven Spielern und weiter zwischen den Messpunkten "vorher" und "nachher" unterschieden.

## **2.6 Statistik**

Die statistische Auswertung wurde unter der Anleitung und Betreuung von Frau Dr. Vera Abeln und Prof. Dr. Dr. Stefan Schneider, Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft der Deutschen Sporthochschule Köln, durchgeführt. Für alle statistischen Verfahren wurde die Signifikanzstufe auf  $p < 0.05$  gesetzt. Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm OriginPro (OriginPro 2016G(64-bit) Sr1; b9.3.1.273; OriginLab Cooperation, Northhampton, MA 01060 USA) durchgeführt.

### **2.6.1 Herzfrequenz**

Ein zweiseitiger t-Test wurde verwendet, um signifikante Unterschiede für die Herzfrequenz zwischen der aktiven und der passiven Gruppe zu finden. Anschließend wurde die Trennschärfe berechnet (*Formel 1: Trennschärfe Herzfrequenz*).

### **2.6.2 Elektroenzephalografie**

Die statistische Analyse wurde mit Hilfe einer Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt, die die Faktoren ZEIT (vor dem Spiel, nach dem Spiel) und LOKALISATION (frontal, global, parietal, okzipital, zentral) und Gruppe (aktiv, passiv) integriert. Der *Fisher-LSD* Test wurde für die *post hoc*-Analyse verwendet. Zusätzlich wurde die Trennschärfe berechnet (*Formel 2: Trennschärfe ANOVA*).

Es konnten alle 48 aufgezeichneten EEG-Datensätze zur Analyse verwendet werden.

### 2.6.3 Stimmungsbeurteilung

Mit dem *Mann-Whitney-U-Test* wurden an den beiden verschiedenen Messpunkten "vorher" und "nachher" signifikante Veränderungen zwischen der aktiven und der passiven Gruppe festgestellt. Der *Wilcoxon-Paired-Samples-Test* wurde durchgeführt, um signifikante Veränderungen innerhalb der Gruppen an den beiden Messpunkten "vorher" und „nachher“ zu identifizieren. Zudem wurde die Effektstärke berechnet ( $r < 0,1$  schwach;  $r = 0,1-0,3$  mittel;  $r > 0,5$  stark) (*Formel 3: Effektstärke für Mann-Whitney- U-Test und Wilcoxon-Paired-Sample-Test*).

Alle 48 Fragebögen wurden korrekt durch die Probanden ausgefüllt und wurden in die Berechnungen eingeschlossen.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Herzfrequenz

Für die Herzfrequenzen der beiden Gruppen zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $p < .001$ ). Für die aktive Gruppe (Mittelwert 151/min,  $SD \pm 14.05$ ) war während des Hockeyspiels ein höherer Durchschnitt der Herzfrequenz im Vergleich zur passiven Gruppe (Mittelwert 87.1/min  $SD \pm 13.65$ ) gemessen worden. Die *Power* ergab 1 ( $\alpha: 0.05$ ).

### 3.2 EEG-Aktivität

#### 3.2.1 Dreifaktorielle ANOVA

Für die EEG-Aufzeichnung konnten weder für die aktive noch für die passive Gruppe Veränderungen festgestellt werden (*Tabelle 1*).

#### ALPHA:

GRUPPE ( $F_{(1,220)} = 9.78$ ;  $p = 0.002$ )

LOKALISATION ( $F_{(4,220)} = 15.43$ ,  $p = 3,87814E-11$  ( $p < 0.001$ ))

ZEIT ( $F_{(1,220)} = 0.34$ ;  $p = 0.56$ )

GRUPPE und LOKALISATION ( $F_{(4,220)} = 0.61$ ;  $p = 0.65$ )

GRUPPE und ZEIT ( $F_{(1,220)} = 1.57$ ;  $p = 0.21$ )

LOKALISATION und ZEIT ( $F_{(4,220)} = 0.05$ ;  $p = 1$ )

GRUPPE und LOKALISATION und ZEIT ( $F_{(4,220)} = 0.43$ ;  $p = 0.79$ )

Die Trennschärfe für die drei Gruppen betrug  $p = 0.41$ .

#### BETA:

GRUPPE ( $F_{(1,220)} = 11.34$ ;  $p = 8,93953E-4$  ( $P < 0.001$ ))

LOKALISATION ( $F_{(4,220)} = 10.57$ ;  $p = 7.55919E-8$  ( $p < 0.001$ ))

ZEIT ( $F_{(1,220)} = 5.56$ ;  $p = 0.02$ )

GRUPPE und LOKALISATION ( $F_{(4,220)} = 0.31$ ;  $p = 0.88$ )

GRUPPE und ZEIT ( $F_{(1,220)} = 0.78$ ;  $p = 0.38$ )

LOKALISATION und ZEIT ( $F_{(4,220)} = 0.58$ ;  $p=0.68$ )

GRUPPE und LOKALISATION und ZEIT ( $F_{(4,220)} = 0.02$ ;  $p=1$ )

Die Trennschärfe für die drei Gruppen betrug  $p=0.06$ .

**Tabelle 1: Durchschnittliche Leistung [ $\mu V^2$ ] der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Frequenzbereiche für die jeweils aktive und passive Gruppe und die Messungen „Vorher“ und „Nachher“**

BAND	GRUPPE	VORHER		NACHHER		vorher vs. nachher	aktiv vs. Passiv		
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD		aktiv vs. Passiv		
global									
$\alpha$	aktiv	2.46	1.51	2.25	1.76	0.87			
$\alpha$	passiv	3.15	2.18	3.79	2.77	0.61	vorher: 0.58	nachher: 0.22	$p<0.05^*$
$\beta$	aktiv	0.19	0.05	0.25	0.16	0.33			
$\beta$	passiv	0.29	0.11	0.31	0.13	0.85	vorher: 0.15	nachher: 0.52	$p<0.01^{**}$
frontal									
$\alpha$	aktiv	1.34	0.66	1.4	0.79	0.96			
$\alpha$	passiv	1.72	1.03	1.89	1.06	0.89	vorher: 0.76	nachher: 0.06	
$\beta$	aktiv	0.14	0.04	0.18	0.12	0.53			
$\beta$	passiv	0.21	0.09	0.22	0.06	0.94	vorher: 0.3	nachher: 0.62	
central									
$\alpha$	aktiv	1.56	0.70	1.61	1.13	0.97			
$\alpha$	passiv	2.43	1.86	2.55	1.63	0.92	vorher: 0.5	nachher: 0.46	
$\beta$	aktiv	0.17	0.05	0.23	0.17	0.44			
$\beta$	passiv	0.27	0.11	0.27	0.12	0.97	vorher: 0.15	nachher: 0.52	
parietal									
$\alpha$	aktiv	2.83	2.13	2.45	2.19	0.76			
$\alpha$	passiv	4.08	3.92	4.81	4.14	0.57	vorher: 0.32	nachher: 0.06	
$\beta$	aktiv	0.22	0.08	0.29	0.19	0.29			
$\beta$	passiv	0.29	0.14	0.33	0.19	0.49	vorher: 0.32	nachher: 0.53	
occipital									
$\alpha$	aktiv	5.58	4.80	4.66	5.15	0.47			
$\alpha$	passiv	6.29	5.38	8.46	7.70	0.09	vorher: 0.57	nachher: 0.00**	
$\beta$	aktiv	0.28	0.10	0.41	0.36	0.06			
$\beta$	passiv	0.42	0.29	0.52	0.36	0.13	vorher: 0,05*	nachher: 0.11	

Werte sind Mittelwerte und  $\pm$ SD. Vorher: Erste Messung vor dem Spiel; Nachher: Messung nach dem Spiel; Vorher vs. Nachher: Intragruppenvergleich; Aktiv vs. Passiv: Intergruppenvergleich; \*Markierungen  $*p<0.05$ ;  $**p<0.01$

### 3.3 Stimmungsbeurteilung

Sowohl der *wahrgenommene physische Zustand* ( $W=73$ ;  $Z=2.63$ ;  $p=0.01$ ;  $r=0.54$ ) als auch die *wahrgenommene psychische Belastung* ( $W=52$ ;  $Z=2.45$ ;  $p=$

0.01;  $r = 0.5$ ) zeigten eine signifikante Veränderung innerhalb der aktiven Gruppe, während für die passive Gruppe keine Veränderungen festgestellt wurden (PEPS: (W=25.5; Z= -1.02;  $p=0.31$ ); PSYCHO: (W=56; Z=1.31;  $p= 0.2$ )) (Tabelle 2). Für beide Dimensionen waren die Mittelwerte in der Messung "nachher" innerhalb der aktiven Gruppe kleiner. Für den *wahrgenommenen Motivationszustand* konnten keine Veränderungen beobachtet werden, weder für die aktive Gruppe (W=44; Z=0.94;  $p= 0.35$ ) noch für die passive Gruppe (W=37; Z=0.32;  $p= 0.75$ ).

Im Intergruppenvergleich ergab sich ein signifikanter Unterschied zum Zeitpunkt „vorher“ für den *wahrgenommenen physischen Zustand* (U=115; Z= 2.46;  $p= 0.01$ ;  $r= 0.5$ ). Hier fanden sich für die aktiven Spieler höhere Mittelwerte. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ergaben sich für die *wahrgenommene psychische Belastung* (U=78; Z=0.32;  $p=0.75$ ) und den *wahrgenommenen Motivationszustand* (U=91.5; Z=1.10;  $p=0.27$ ).

Zum Zeitpunkt „nachher“ war zwischen den Spielergruppen für den *wahrgenommenen physischen Zustand* (U=56.5; Z=-0.87;  $p=0.39$ ), die *wahrgenommene psychische Belastung* (U=56; Z=-0.90;  $p=0.37$ ) und den *wahrgenommenen Motivationszustand* (U=82; Z=0.55;  $p=0.58$ ) kein signifikanter Unterschied festzustellen.

### **3.3.1 Wahrgenommener physischer Zustand (*Bodyfinder*)**

Innerhalb der aktiven Gruppe zeigten *Aktiviertheit* (W=65; Z=2.80;  $p= 0.001$ ;  $r=0.57$ ), *Trainiertheit* (W=36; Z=2.46;  $p= 0.01$ ;  $r=0.5$ ) und *Gesundheit* (W=57; Z=2.10;  $p=0.04$ ;  $r= 0.43$ ) eine signifikante Abnahme nach dem Spiel (Tabelle 2). Keinen Unterschied ergab sich für die *Beweglichkeit* (W=57.5; Z=1.42;  $p=0.15$ ).

Innerhalb der passiven Gruppe ergab sich kein signifikanter Unterschied für die *Aktiviertheit* (W=15.5; Z=-0,78;  $p=0.49$ ), *Trainiertheit* (W=2.,5; Z=-0.99;  $p=$

0.32), *Beweglichkeit* (W=31; Z=-0.59; p=0.55) und *Gesundheit* (W=29; Z=-0.75; p= 0.46).

Vor dem Spiel zeigte sich im Intergruppenvergleich für die Untergruppen *Trainiertheit* (U=125; Z=3.05; p=0.00; r= 0.62) und *Gesundheit* (U=113.5; Z=2.38; p=0.02; r= 0,5) ein signifikanter Unterschied. Hier ergab die Auswertung im Durchschnitt einen höheren Mittelwert bei den aktiven Spielern. Keine Unterschiede konnten bei *Aktiviertheit* (U=94; Z=1.28; p=0.20) und *Beweglichkeit* (U=98; Z=1.49; p=0.14) gemessen werden.

Zum Zeitpunkt „nachher“ ergab sich in der Untergruppe *Aktiviertheit* (U=30; Z=-2.41; p=0.02; r=0.5) ein niedrigerer Mittelwert bei der aktiven Spielergruppe. Die Untergruppen *Trainiertheit* (U=78; Z=0.32; p= 0.75), *Beweglichkeit* (U=77.5; Z=0.29; p=0.77) und *Gesundheit* (U=78.5; Z=0.35; p=0.73) ergaben keinen Unterschied.

### **3.3.2. Wahrgenommene psychische Belastung und wahrgenommener Motivationszustand (*Feelfinder*)**

Lediglich für die Untergruppe *Erholung* ergab sich innerhalb der aktiven Gruppe eine signifikante Veränderung (W=78; Z=3.03; p= 4,88281E-4; r= 0.62) (*Tabelle 2*). Für *Ausgeruht sein* (W=40; Z=0.60; p= 0.55), *Positive Stimmung* (W=26; Z=1.05; p= 0.31) und *Innere Ruhe* (W=24.5; Z=0.84; p= 0.38) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede.

In der passiven Spielergruppe zeigten sich keine signifikanten Veränderungen nach dem Spiel (*Ausgeruht sein* (W=15; Z=0.09; p= 0.94), *Erholung* (W=30.5; Z=0.26481; p= 0.81), *Positive Stimmung* (W=33.5; Z=1.29; p= 0,25), *Innere Ruhe* (W=19; Z=0.79; p= 0.44).

Im Intergruppenvergleich konnten zum Messzeitpunkt „vorher“ für *Ausgeruht sein* (U=62; Z=-0.56; p=0.58), *Erholung* (U=90; Z=1.03; p=0.30), *Positive Stimmung* (U=82; Z=0.57; p=0.57) und *Innere Ruhe* (U=79.5; Z=0.41; p=0.68) keine Unterschiede gefunden werden.

Zum Messzeitpunkt „nachher“ ergab sich im Vergleich für die aktiven Spieler in der Untergruppe *Erholung* ( $U=23$ ;  $Z=-2.83$ ;  $p=0.01$ ;  $r=0.58$ ) ein niedrigerer Mittelwert (*Tabelle 2*). Für *Ausgeruht sein* ( $U=60.5$ ;  $Z=-0.64$ ;  $p=0.52$ ), *Positive Stimmung* ( $U=86.5$ ;  $Z=0.83$ ;  $p=0.41$ ) und *Innere Ruhe* ( $U=75.5$ ;  $Z=0.18$ ;  $p=0.86$ ) konnten keine signifikanten Unterschiede nach dem Spiel gefunden werden.

In den Untergruppen des *wahrgenommenen Motivationszustandes* ergab sich innerhalb der aktiven Gruppe eine Abnahme für die *Anstrengungsbereitschaft* ( $W=50$ ;  $Z=2.29$ ;  $p=0.02$ ;  $r=0.46$ ) nach dem Spiel (*Tabelle 2*). Keine Unterschiede wurden für *Soziale Anerkennung* ( $W=8$ ;  $Z=-0.43$ ;  $p=0.63$ ), *Kontaktbereitschaft* ( $W=29$ ;  $Z=0.72$ ;  $p=0.47$ ) und *Selbstsicherheit* ( $W=16.5$ ;  $Z=-0.14$ ;  $p=0.85$ ) gefunden.

Innerhalb der passiven Gruppe zeigte sich keine signifikante Änderung durch das Spiel für *Soziale Anerkennung* ( $W=12$ ;  $Z=-0.28$ ;  $p=1$ ), *Kontaktbereitschaft* ( $W=35$ ;  $Z=1.6$ ;  $p=0.18$ ), *Selbstsicherheit* ( $W=10.5$ ;  $Z=-0.54$ ;  $p=0.77$ ) und *Anstrengungsbereitschaft* ( $W=14.5$ ;  $Z=0$ ;  $p=1$ ).

Im Intergruppenvergleich waren vor dem Spiel für die Untergruppen *Kontaktbereitschaft* ( $U=57.5$ ;  $Z=-0.82$ ;  $p=0.41$ ) und *Anstrengungsbereitschaft* ( $U=107.5$ ;  $Z=2.07$ ;  $p=0.04$ ;  $r=0.42$ ) für die aktive Gruppe signifikant höhere Mittelwerte nachweisbar (*Tabelle 2*). Keinen Unterschied machten *Soziale Anerkennung* ( $U=93$ ;  $Z=1.22$ ;  $p=0.22$ ) und *Selbstsicherheit* ( $U=107$ ;  $Z=2.06$ ;  $p=0.04$ ) vor dem Spiel.

Nach dem Spiel waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachweisbar (*Soziale Anerkennung* ( $U=93$ ;  $Z=1.21$ ;  $p=0.23$ ), *Kontaktbereitschaft* ( $U=71.5$ ;  $Z=0$ ;  $p=1$ ), *Selbstsicherheit* ( $U=104.5$ ;  $Z=1.90$ ;  $p=0.06$ ), *Anstrengungsbereitschaft* ( $U=73$ ;  $Z=0.03$ ;  $p=0.98$ )).

## Tabelle 2: Mann-Whitney-U-Test (Intergruppenvergleich) und Wilcoxon-Paired-Samples- Test (Intragruppenvergleich)

Ergebnisse und Werte für jede der drei Messungen, dem wahrgenommenen physischen Zustand, der psychischen Belastung und dem Motivationszustand sowie jede ihrer Unterdimensionen.

Stimmungsbeurteilung	VORHER		NACHHER		vorher vs. nachher	aktiv vs. Passiv	
	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD			
<b>Wahrgenommener physischer Zustand</b>							
aktiv	4.15	0.57	3.32	0.8	0.01**	vorher: 0.01**	p<0.05*
passiv	3.15	0.64	3.61	0.7	0.31	nachher: 0.39	p<0.01**
<b>Aktiviertheit</b>							
aktiv	4.29	0.9	2.6	1.35	0.01**	vorher: 0.2	
passiv	3.92	0.76	4.02	0.68	0.49	nachher: 0.02*	
<b>Trainiertheit</b>							
aktiv	4.19	0.52	3.52	1.02	0.01**	vorher: 0.00**	
passiv	3.02	0.69	3.44	0.81	0.32	nachher: 0.75	
<b>Beweglichkeit</b>							
aktiv	3.75	0.79	3.35	1.33	0.15	vorher: 0.14	
passiv	3.27	0.75	3.33	0.88	0.55	nachher: 0.77	
<b>Gesundheit</b>							
aktiv	4.38	0.6	3.81	0.78	0.04*	vorher: 0.02*	
passiv	3.46	0.87	3.66	1.01	0.46	nachher: 0.73	
<b>Wahrgenommene psychische Belastung</b>							
aktiv	3.88	0.46	3.04	1.16	0.01**	vorher: 0.75	
passiv	3.83	0.6	3.68	0.66	0.20	nachher: 0.37	
<b>Ausgeruht sein</b>							
aktiv	3.63	1.11	3.29	1.62	0.55	vorher: 0.58	
passiv	3.92	0.7	3.79	1.01	0.94	nachher: 0.52	
<b>Erholung</b>							
aktiv	3.58	0.63	1.75	0.92	0.00**	vorher: 0.3	
passiv	3.29	0.75	3.17	1.07	0.81	nachher: 0.01**	
<b>Positive Stimmung</b>							
aktiv	4.33	0.54	3.5	2.16	0.31	vorher: 0.57	
passiv	4.17	0.69	3.92	0.67	0.25	nachher: 0.41	
<b>Innere Ruhe</b>							
aktiv	3.96	1.03	3.63	3.03	0.38	vorher: 0.68	
passiv	3.96	0.75	3.83	0.69	0.44	nachher: 0.86	
<b>Wahrgenommener Motivationszustand</b>							
aktiv	3.99	0.53	3.76	0.92	0.35	vorher: 0.27	
passiv	3.67	0.6	3.65	0.66	0.75	nachher: 0.58	
<b>Soziale Anerkennung</b>							
aktiv	4.13	0.64	4.21	0.87	0.63	vorher: 0.22	
passiv	3.71	0.81	3.75	0.87	1	nachher: 0.23	
<b>Kontaktbereitschaft</b>							
aktiv	3.63	0.74	3.17	1.81	0.47	vorher: 0.41	
passiv	3.92	0.73	3.71	0.81	0.18	nachher: 1	
<b>Selbstsicherheit</b>							
aktiv	4.25	0.62	4.29	0.81	0.85	vorher: 0.04*	
passiv	3.71	0.62	3.79	0.69	0.77	nachher: 0.06	
<b>Anstrengungsbereitschaft</b>							
aktiv	3.96	0.7	3.38	0.83	0.02*	vorher: 0.04*	
passiv	3.33	0.84	3.33	0.78	1	nachher: 0.98	

Werte sind Mittelwerte und  $\pm$ SD. Vorher: Erste Messung vor dem Spiel; Nachher: Messung nach dem Spiel; Vorher vs. Nachher: Intragruppenvergleich; Aktiv vs. Passiv: Intergruppenvergleich;

\*Markiert \*p< 0.05; \*\*p< 0.01.

## 4. Diskussion

Diese Studie hatte zum Ziel einen Zusammenhang zwischen elektroenzephalografischer Aktivität und Veränderungen der Stimmungslage nach Ausübung einer gewohnten intensiven Intervallteamsportart zu finden.

Um die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Trainingsintensität und Gehirnaktivität (Ekkekakis and Petruzzello 1999, Brümmer, Schneider et al. 2011, Erickson, Colcombe et al. 2007) sowie die vorgeschlagene Trainingspräferenz-Hypothese (Schneider, Brümmer et al. 2009, Brümmer, Schneider et al. 2011) zu testen, wurden routinierte Hockeyspieler bei Ausübung dieser intensiven Intervallsportart innerhalb eines Teamsettings untersucht. Als Kontrollgruppe diente eine Gruppe passiver Hockeyspieler, welche die Punktspiele von der Ersatzbank aus verfolgten.

Auf der Grundlage der *Dual-Mode* Theorie (Ekkekakis 2003, Ekkekakis and Acevedo 2006), der Trainingspräferenzhypothese (Schneider, Brümmer et al. 2009, Brümmer, Schneider et al. 2011) und der transienten Hypofrontalitätshypothese (Dietrich 2003, Dietrich 2006, Brümmer, Schneider et al. 2011) nahmen wir an, dass die Ausübung der gewohnten intensiven Intervallsportart zur Deaktivierung der  $\beta$ -Aktivität innerhalb der frontalen Hirnregionen führen würde (Schneider, Askew et al. 2009, Schneider, Brümmer et al. 2009).

Bei getrennter Analyse zeigten die Ergebnisse keinen Effekt der gewohnten intensiven Intervallteamsportart auf die elektroenzephalografische Aktivität, jedoch aber einen Effekt für die Stimmungslage, sowohl innerhalb der aktiven und passiven Gruppe sowie im Zwischengruppenvergleich. Hier konnten Veränderungen in den Bereichen wahrgenommener physischer Zustand, wahrgenommene psychische Belastung und wahrgenommener Motivationszustand nachgewiesen werden.

## 4.1. EEG

Interessanterweise zeigten entgegengesetzt der initialen Hypothese, die Ergebnisse der EEG-Untersuchungen keinen Effekt auf die kortikale Gehirnaktivität nach Ausübung der intensiven Intervallsportart zwischen den aktiven und passiven Sportlern. Es galt daher die aufgestellte Hypothese bezüglich einer Abnahme der frontalen  $\beta$ -Aktivität abzulehnen. Ein Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kortikaler Aktivität bezogen auf eine gewohnte intensive Intervallsportart innerhalb eines Mannschaftssettings wurde in dieser Studie nicht nachgewiesen, sodass die Theorien der transienten Hypofrontalität hier nicht bestätigt werden konnte.

Weder für die kortikale  $\beta$ - noch für die  $\alpha$ -Aktivität konnten Veränderungen gemessen werden, obwohl ausgegangen von vorherigen Studien (Schneider, Brümmer et al. 2009, Brümmer, Schneider et al. 2011) die gewohnte Bewegung bei hohen Intensitäten (d.h. Läufer beim Laufbandlauf) mit einer Abnahme der  $\beta$ -Aktivität im präfrontalen Kortex einher zu gehen und weiterführend dazu bekannte Trainingsmethoden (Laufband und Fahrrad) eine erhöhte  $\alpha$ -Aktivität im parietalen Kortex auszulösen scheinen (Brümmer, Schneider et al. 2011). Hinweise darauf, dass bei einer wiederkehrender Ausübung einer Sportart die Aktivität im somatosensorischen und motorischen Bereich im parietalen Kortex immer ausgeprägter wird (Halsband and Lange 2006, Peyton JL 2005), bestätigten sich in dieser Studie bei routinierten Hockeyspielern nicht.

Eine mögliche Ursache für das Ausbleiben einer signifikanten Veränderung der kortikalen Aktivität könnte der Faktor Messzeitpunkt nach der Ausübung der sportlichen Aktivität darstellen.

In vorherigen Studien wurden signifikante Veränderungen der kortikalen Aktivität unmittelbar bis 30 min nach Beendigung der sportlichen Aktivität gemessen (Schneider, Askew et al. 2009, Schneider, Brümmer et al. 2009, Brümmer, Schneider et al. 2011). Des Weiteren bestätigten Studien (Boutcher and Landers 1988, Mechau, Mucke et al. 1998), dass ein Anstieg der  $\alpha$ -Aktivität

in den ersten 5 bis 10 min nach dem Training am stärksten war und um etwa die 30. Minute der Erholung auf das Niveau vor dem Training zurückkehrte.

In der aktuellen Studie betrug die Dauer der Hockeyspiele mindestens 70 min und die Messung nach dem Spiel erfolgte daher nach frühestens 42 min, was für das Ausbleiben kortikaler Veränderung ausschlaggebend sein könnte.

Neben dem Messzeitpunkt nach der Aktivität scheint auch die Dauer der sportlichen Belastung eine Auswirkung zu haben, da sich beispielweise eine Abnahme der präfrontalen Kortexaktivität nach 45-60 min sportlicher Aktivität wie Laufen (Schneider, Askew et al. 2009, Schneider, Askew et al. 2010) nachweisen ließ. Ebenfalls konnten Wollseiffen et al. (Wollseiffen, Schneider et al. 2016) in einer Studie über einen 6-Stunden-Dauerlauf eine Abnahme der  $\beta$ -Aktivität nach der ersten Stunde des Laufes nachweisen: im Anschluss kam es aber zu keiner weiteren Abnahme, wofür als Ursache ein Deckungs- Effekt vermutet wurde (Wollseiffen, Schneider et al. 2016). Auch Woo et al. (Woo, Kim et al. 2009) befassten sich mit den Auswirkungen der Dauer einer sportlichen Belastung auf die kortikale Aktivität und konnten zeigen, dass die höchste kortikale Aktivitätsveränderung nach 30-minütiger sportlicher Ertüchtigung messbar war. Zudem beschrieben sie anschließend eine rasche Rückentwicklung der kortikalen Aktivität in Richtung des Ausgangswertes bei länger anhaltender körperlicher Belastung.

## **4.2. Stimmungslage**

Innerhalb der drei Hauptdimensionen des *wahrgenommenen physischen Zustands*, der *wahrgenommenen psychischen Belastung* und des *wahrgenommenen Motivationsstatus* zeigten sowohl der *wahrgenommene physische Zustand* als auch die *wahrgenommene psychische Belastung* eine signifikante Veränderung innerhalb der aktiven Gruppe für die gewohnte

intensive Intervallsportart innerhalb des Teamsettings, während keine Veränderung für den *wahrgenommenen Motivationszustand* beobachtet wurde.

Dennoch zeigten sich in den Subdimensionen des *wahrgenommenen Motivationsstatus* für die aktive Gruppe signifikante Veränderungen.

Zudem konnten ebenfalls signifikante Veränderungen für die Hauptdimension des *wahrgenommenen physischen Zustands*, sowie in den Subdimensionen aller drei Hauptgruppen im Zwischengruppenvergleich von aktiver und passiver Gruppe beobachtet werden.

#### **4.2.1. Wahrgenommener physischer Zustand (*Bodyfinder*)**

Für den *wahrgenommenen physischen Zustand* wurde nach der Ausübung einer gewohnten intensiven Intervallsportart ein allgemeiner Rückgang beobachtet. Dies spiegelt wahrscheinlich die körperliche Erschöpfung und das energielose Körpergefühl nach dem Spiel wider.

Ein genauer Blick auf die Untergruppen zeigte, dass die intensive Intervallsportart innerhalb der aktiven Gruppe lediglich einen Einfluss auf die *Aktiviertheit*, die *Trainiertheit* und die *Gesundheit* hatte. Ausschließlich für die Dimension *Beweglichkeit* kam es zu keinen relevanten Unterschieden. Bereits Schneider et al. (Schneider, Askew et al. 2009) stellten die *wahrgenommene Trainiertheit* und *Beweglichkeit* als Dimensionen in Frage, da sie entweder nicht anwendbar sein oder trotz sorgfältiger Prüfung eher nachrangige Dimensionen seien. In der aktuellen Studie jedoch konnte für die Dimension *Trainiertheit* eine signifikante Veränderung nachgewiesen werden, sodass die Infragestellung hauptmerklich für die wahrgenommene *Beweglichkeit* als Dimension gelten sollte.

#### **4.2.2. Wahrgenommene psychische Belastung und wahrgenommener Motivationszustand**

Wie vermutet kam es innerhalb der aktiven Gruppe ebenfalls zu einer Abnahme der *wahrgenommenen psychischen Belastung*. Bezogen auf die

Untergruppen war hierfür die Dimension *Erholung* ausschlaggebend. Ebenfalls kam es zu einer deutlichen Abnahme für die *Anstrengungsbereitschaft*. Beides verhielt sich ähnlich zu den Untergruppen des *wahrgenommenen physischen Zustands* (*Aktiviertheit*, *Trainiertheit* und *Gesundheit*) und geht vermutlich mit der körperlichen Erschöpfung einher.

Eine Besonderheit zeigte sich im Intergruppenvergleich für die Unterdimension *Selbstsicherheit*. Hier waren bereits zum Zeitpunkt vor dem Spiel höhere Mittelwerte für die aktive Gruppe nachzuweisen. Somit könnte sich besonders die Zugehörigkeit zu einem Team innerhalb einer Mannschaftssportart kurz vor einer Wettkampfsituation positiv auf das eigene Selbstwertgefühl auswirken.

Vorherige Studien bestätigten diesen psychologischen Vorteil in den Bereichen wie Selbstwirksamkeit und Selbstwertgefühl, bezogen auf die sportliche Aktivität innerhalb eines Mannschaftssettings, wobei hierfür die soziale Interaktion ursächlich zu sein scheint (Blumenthal, Babyak et al. 1999, Eime, Young et al. 2013).

Auch wenn für den Aspekt *Soziale Anerkennung* keine signifikanten Unterschiede zu beobachten waren, konnten insgesamt zu beiden Messzeitpunkten für die aktive und passive Gruppe sehr hohe Werte gemessen werden. Gestützt wird diese Erkenntnis von Studien welche zeigten, dass Mitglied eines Teamsports zu sein positiv mit sozialer Akzeptanz korreliert (Boone and Leadbeater 2006, Eime, Young et al. 2013). Weiterführend sind laut Eime et al. (Eime, Young et al. 2013) die positiven Auswirkungen von Sport innerhalb einer Teamsportart denen der Einzelsportart darüber hinaus überlegen.

Im Hinblick auf das Selbstbewusstsein scheint somit neben der Betrachtung von Individualsportarten (Schneider, Askew et al. 2009) ebenfalls der Aspekt des Teamsetting einen positiven Effekt zu haben, auch wenn dieser Effekt in dieser Studie nur im Intergruppenvergleich vor dem Spiel für die aktive Gruppe nachzuweisen war.

### 4.3 Schlussfolgerung: Zusammenhang EEG und Stimmungslage

Insgesamt konnte kein Zusammenhang zwischen EEG-Aktivität und Veränderungen der Stimmungslage gefunden werden.

Schneider et. al (Schneider, Askew et al. 2009) postulierten, dass eine Zunahme der Stimmung mit einer Zunahme der  $\alpha$ -Aktivität verbunden ist, während eine Abnahme der Stimmung mit einer Zunahme der höheren Frequenzen korreliert. Obwohl wir ebenfalls eine Veränderung der Stimmung in dieser Studie nachweisen konnten, zeigten sich keine Veränderungen der elektroenzephalografischen Aktivität.

Ein wichtiger Parameter, um diese Differenz erklären zu können, scheint wie oben erwähnt zum einen der gewählte Messzeitpunkt nach der sportlichen Aktivität und zum anderen die Dauer der sportlichen Aktivität zu sein.

Zudem scheint neben dem Messzeitpunkt für die EEG-Messung auch jener für die Durchführung des Stimmungstests entscheidend zu sein.

Diese Beobachtung machten auch Schneider et al. (Schneider, Askew et al. 2009), in dem sie bereits nach 15 min wieder einer Abnahme des Effekts auf den *wahrgenommenen physischen Zustand* bemerkten. In der aktuellen Studie wurde die Stimmungslage nach dem Spiel jeweils unmittelbar vor der EEG-Untersuchung durchgeführt. Diese Zeitspanne lag zwischen 42-51 min nach Beendigung des Spiels. Hier zeigten sich dennoch signifikante Veränderungen, sodass die Auswirkung der sportlichen Aktivität auf die Stimmungslage eine Zeitspanne bis zu 51 min zu überdauert scheint.

Auch wenn die vorgeschlagene Trainingspräferenzhypothese und die damit verbundenen Anpassungsprozesse sich in dieser Studie nicht in den kortikalen Aktivitätsveränderungen nachweisen ließen, bleiben dennoch die nachweislichen Veränderungen der Stimmungslage. Diese Veränderungen können durch einen internen oder funktionalen Mechanismus erklärt werden.

Wie Ekkekakis und Petruzzello (Ekkekakis and Petruzzello 1999) beschrieben, gibt es viele mögliche interne Faktoren, um individuelle Unterschiede als Reaktion auf körperliche Aktivität zu erklären, wie beispielsweise die Faktoren Persönlichkeit, Selbstwirksamkeit und Übereinstimmung der wahrgenommenen Anstrengung. Gemäß diesem Ansatz und ihrer *Dual-Mode* Theorie können wir trotzdem wie auch Brümmer et. al. (Brümmer, Schneider et al. 2011) zu dem Schluss kommen, dass Erfahrung im bevorzugten Sport und hohen Intensitätsstufen, einen positiven Einfluss auf die mentale bzw. psychische Gesundheit zu haben scheint.

Insgesamt konnte in dieser Studie wie auch von Eduardo et. al. in ihrem Review (Eduardo, Eduardo et al. 2014) beschrieben, kein direkter Zusammenhang von Ursache und Auswirkung zwischen kortikalen Aktivitätsveränderungen und der Stimmungslage nach sportlicher Betätigung gefunden werden.

## 5. Limitationen

Es ist hervorzuheben, dass diese Studie nicht unter exakt planbaren Umständen wie in einem Studienlabor oder auf einem Laufband stattfinden konnte. Dies für Mannschaftssportarten zu realisieren stellt eine große Herausforderung dar. Hier sollten zunächst die Abläufe für zukünftige Studiendesigns unter regulären Umständen außerhalb eines Laborsettings verbesserten werden. Dies kann natürlich zu spezifischen Einschränkungen im Studiendesign führen, aber neben laborgesteuerten Daten auch unser Wissen über die Auswirkungen von Bewegung auf die Stimmungslage und Wohlbefinden verbessern.

Aufgrund der vorangeführten Umstände resultierte in dieser Studie ein zeitlich später Messzeitpunkt nach Spielende für die EEG-Aktivität und den Stimmungstests. Grund für die späte Messung bei den Untersuchungen war die 20-minütige für die physische Erholung wichtige Abkühlphase der Athleten nach dem Spiel. Erst im Anschluss konnten sich diese dem Fragebogen und der Elektroenzephalografie-Messung unterziehen. Dieser zeitliche Unterschied könnte ursächlich für die nicht festzustellenden kortikalen Veränderungen im Vergleich zu vorherigen Studien sein (Schneider, Askew et al. 2009, Brümmer, Schneider et al. 2011, Wollseiffen, Schneider et al. 2016) Die Zeitspanne in dieser Studie betrug im Mittel 51 min zwischen Beendigung der körperlichen Aktivität und Beginn der EEG-Messung, bzw. Ausfüllen des Fragebogens für die Stimmungslage.

Diese Annahme wird durch diverse Studien (Ángyán and Czopf 1998, Crabbe and Dishman 2004, Dietrich 2006, Schneider, Brümmer et al. 2009) untermauert, da hier nachgewiesen werden konnte, dass die stärksten Veränderungen der kortikalen Aktivität innerhalb der ersten Minuten nach Ausübung der Trainingseinheit messbar waren und bereits innerhalb weniger Minuten im Anschluss begannen wieder auf das Level der Aktivität vor der Trainingseinheit zurück zu gehen.

Nachfolgende Studien sollten zudem eine größere Anzahl an Studienteilnehmern berücksichtigen. Es wäre zudem zu empfehlen, kleinere Probandengruppen pro Spieltag zu wählen, um die Messzeitpunkte nach der sportlichen Aktivität möglichst unmittelbar an die Trainingseinheit anschließen zu können, um damit innerhalb des Zeitrahmens von bereits als relevant nachgewiesenen Aktivitätsveränderungen zu liegen (Schneider, Askew et al. 2009).

Des Weiteren gilt es die Adjektive im Fragebogen der Unterdimension *Beweglichkeit* zu überarbeiten, um die Anwendbarkeit oder die Priorisierung als mögliche nachrangige Dimensionen zu prüfen, wie vorherige Studien dies bereits anmerkten (Schneider, Askew et al. 2009, Wollseiffen, Schneider et al. 2016).

## 6. Literatur- und Quellenverzeichnis

Ángyán, L. and J. Czopf (1998). "Exercise-induced slow waves in the EEG of cats." Physiology & Behavior **64**(3): 267-272.

Barton, R. A. and C. Venditti (2013). "Human frontal lobes are not relatively large." Proc Natl Acad Sci USA **110**(22): 9001–9006.

Baxter, L. R. (1990). "Brain imaging as a tool in establishing a theory of brain pathology in obsessive–compulsive disorder." Journal of Clinical Psychiatry **5**: 22-25.

Birbaumer, N. and R. F. Schmidt (1989). Biologische Psychologie. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer.

Blumenthal, J. A., M. A. Babyak, K. A. Moore and e. al. (1999). "Effects of exercise training on older patients with major depression." Archives of Internal Medicine **159**(19): 2349-2356.

Bob, A. and K. Bob (2007). Anatomie (Duale Reihe) Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Bonnet, M. H. and D. L. Arand (2001). "Impact of activity and arousal upon spectral EEG parameters." Physiology & Behavior **74**(3): 291-298.

Boone, E. and B. Leadbeater (2006). "Game on: diminishing risks for depressive symptoms in early adolescence through positive involvement in team sports." Journal of Research on Adolescence **16**(1): 79-90.

Boutcher, S. H. and D. M. Landers (1988). "The effects of vigorous exercise on anxiety, heart rate, and alpha activity of runners and nonrunners." Psychophysiology **25**: 696–702.

Boutcher SH, L. D. (1988;). "The effects of vigorous exercise on anxiety, heart rate, and alpha activity of runners and nonrunners. ." Psychophysiology. **25**: 696–702.

Brümmer, V., S. Schneider, T. Abel, T. Vogt and H. K. Strüder (2011). "Brain Cortical Activity Is Influenced by Exercise Mode and Intensity." Medicine & Science in Sports & Exercise **43**(10): 1863-1872.

Campanella, S., O. Pogarell and N. Boutros (2013). "Event-Related Potentials in Substance Use Disorders: A Narrative Review Based on Articles from 1984 to 2012." Clinical EEG and Neuroscience **45**(2): 67-76.

Catani, M., F. Dell'Acqua, F. Vergani, F. Malik, H. Hodge, P. Roy, R. Valabregue and M. Thiebaut de Schotten (2012). "Short frontal lobe connections of the human brain." Cortex **48**(2): 273-291.

Chen, C., L.-T. Tsai, C.-F. Lin, C.-C. Huang, Y.-T. Chang, R.-Y. Chen and S.-Y. Lyu (2017). "Factors influencing interest in recreational sports participation and its rural-urban disparity." PloS one **12**(5): e0178052-e0178052.

Chen, L., D. J. Magliano and P. Z. Zimmet (2012). "The worldwide epidemiology of type 2 diabetes mellitus—present and future perspectives." Nat Rev Endocrinol **8**(4): 228-236.

- Colcombe, S. and A. F. Kramer (2003). "Fitness Effects on the Cognitive Function of Older Adults: A Meta-Analytic Study." Psychological Science **14**(2): 125-130.
- Crabbe, J. B. and R. K. Dishman (2004). "Brain electrocortical activity during and after exercise: A quantitative synthesis." Psychophysiology **41**(4): 563-574.
- Crick, F. and C. Koch (1990). Some reflections on visual awareness. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. **55**: 953-962.
- Davidson, R. J. (1988 ). "EEG measures of cerebral asymmetry: conceptual and methodological issues." Int J Neurosci **39**(1–2): 71–89.
- Dehaene, S., M. Kerszberg and J. P. Changeux (1998). "A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **95**(24): 14529-14534.
- Deutscher Hockey- Bund e.V. (2015). "Die Geschichte des Hockeysports." Retrieved 22.09.2015, from <http://www.deutscher-hockey-bund.de/VI-web/Faszination/Historie/Historie-Start.asp?lokal=DHB&seite=0>.
- Deutscher Hockey- Bund e.V. (2015). Spielordnung des Deutschen Hockey-Bundes e.V. Mönchengladbach, Deutscher Hockey- Bund e.V.: 5-61.
- Dietrich, A. (2003). "Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: The transient hypofrontality hypothesis." Consciousness and Cognition **12**(2): 231-256.
- Dietrich, A. (2006). "Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise." Psychiatry Research **145**(1): 79-83.
- Dietrich, A. and M. Audiffren (2011). "The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise." Neuroscience and Biobehavioral Reviews **35**: 1305-1325.
- Dussault, C., J. C. Jouanin, M. Philippe and C. Y. Guezennec (2005). "EEG and ECG changes during simulator operation reflect mental workload and vigilance." Aviat Space Environ Med **76**(4): 344-351.
- Eadie, B. D., V. A. Redila and B. R. Christie (2005). "Voluntary exercise alters the cytoarchitecture of the adult dentate gyrus by increasing cellular proliferation, dendritic complexity, and spine density." The Journal of Comparative Neurology **486**(1): 39-47.
- Eduardo, L., P. Eduardo, M. Helena, M. Sergio, M. S. Tony and C. D. Andrea (2014). "Acute Effects of Exercise on Mood and EEG Activity in Healthy Young Subjects: A Systematic Review." CNS & Neurological Disorders - Drug Targets **13**(6): 972-980.
- Eime, R. M., J. A. Young, J. T. Harvey, M. J. Charity and W. R. Payne (2013). "A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents: informing development of a conceptual model of health through sport." The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity **10**: 98.
- Ekkekakis, P. (2003). "Pleasure and displeasure from the body: perspectives from exercise." Cogn Emot **17**: 213-239.

- Ekkekakis, P. and E. O. Acevedo (2006). "Affective response to acute exercise: toward a psychobiological dose–response model." Psychobiology of Physical Activity(Champaign (IL): Human Kinetics): 91-109.
- Ekkekakis, P., E. E. Hall, L. M. VanLanduyt and S. J. Petruzzello (2000). "Walking in (affective) circles: can short walks enhance affect?" J Behav Med **23**: 245-275.
- Ekkekakis, P. and E. Lind (2006). "Exercise does not feel the same when you are overweight: the impact of self-selected and imposed intensity on affect and exertion." Int J Obes **30**(4): 652-660.
- Ekkekakis, P. and S. J. Petruzzello (1999). "Acute aerobic exercise and affect: current status, problems and prospects regarding dose–response." Sports Med **28**(337-74).
- Erickson, K. I., S. J. Colcombe, R. Wadhwa and e. al. ( 2007). "Training-induced functional activation changes in dual-task processing: an fMRI study." Cereb Cortex **17**: 192–204.
- Foerster, O. and H. Altenburger (1934). "Elektrobiologische Vorgänge an der menschlichen Hirnrinde." Dtsch Z Nervenheilk **135**: 277–288.
- Fritsch, G. and E. Hitzig (1870). Arch. F. Anat. Physiol. und Wissenschaftl. Mediz. Leipzig: 300-332.
- Fuster, J. M. (2009). "Cortex and memory: Emergence of a new paradigm." Journal of Cognitive Neuroscience **21**(11): 2047-2072.
- Gloor, P. (1985). "Neuronal generators and the problem of localization in electroencephalography: application of volume conductor theory to electroencephalography." Journal of clinical neurophysiology **2**(4): 327-354.
- Goodwin, G. M. (2016). "Neuropsychological and neuroimaging evidence for the involvement of the frontal lobes in depression: 20 years on." J Psychopharmacol.
- Guo, J., Y. Lou, X. Zhang and Y. Song (2015). "Effect of aerobic exercise training on cardiometabolic risk factors among professional athletes in the heaviest-weight class." Diabetology & Metabolic Syndrome **7**: 78.
- Hall, E. E., P. Ekkekakis and S. J. Petruzzello (2007). "Regional brain activity and strenuous exercise: Predicting affective responses using EEG asymmetry." Biological Psychology **75**(2): 194-200.
- Halsband, U. and R. K. Lange (2006). "Motor learning in man: a review of functional and clinical studies." J Physiol Paris **99**: 414–424.
- Harris, M. A. (2018). "The relationship between physical inactivity and mental wellbeing: Findings from a gamification-based community-wide physical activity intervention." Health Psychology Open **5**(1).
- Heinze, H. J., K. Weissenborn, T. F. Münte and H. Künkel (1986). "Endogene evozierte Potentiale." Aktuelle Neurologie **13**(2): 61-65.
- Ide, K. and N. H. Secher (2000). "Cerebral blood flow and metabolism during exercise." Progress in Neurobiology **61**: 379-414.
- Jasper, H. (1958). "The ten-twenty electrode system of the international Federation." Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl **35 (suppl 10)**: 371–375.

- Kearney, P. M., M. Whelton, K. Reynolds and e. al. (2005). "Global burden of hypertension: analysis of worldwide data." Lancet **365**: 217–223.
- Kirschstein, T. (2008). "Wie entsteht das EEG?" Das Neurophysiologie-Labor **30**(1): 29-37.
- Kleppel, H.-C. (2016). Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit: Wie beeinflussen Sportfechten und le Parkour die Konzentrationsfähigkeit bzw. Kreativität von Studierenden? , Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Korb, A. S., A. M. Hunter, I. A. Cook and A. F. Leuchter (2009). "Rostral anterior cingulate cortex theta current density and response to antidepressants and placebo in major depression." Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology **120**(7): 1313-1319.
- Kotchoubey, B. (2017). "Evoked and event-related potentials in disorders of consciousness: A quantitative review." Consciousness and Cognition **54**: 155-167.
- Langen, M., A. Leemans, P. Johnston, C. Ecker, E. Daly, C. M. Murphy and et al. ( 2012). "Fronto-striatal circuitry and inhibitory control in autism: Findings from diffusion tensor imaging tractography." Cortex **48**( 2): 166-176.
- Lattari, E., E. Portugal, R. S. M. Junior, B. R. R. Oliveira, T. M. Santos, G. Mura, F. Sancassiani, E. Murillo-Rodriguez, O. Arias-Carrión, H. Budde, N. B. Rocha and S. Machado (2016). "Acute Affective Responses and Frontal Electroencephalographic Asymmetry to Prescribed and Self-selected Exercise." Clinical Practice and Epidemiology in Mental Health : CP & EMH **12**: 108-119.
- Lindsley, D. B. (1960). "Attention, consciousness, sleep and wakefulness." Magoun. Handbook of Physiology. Sect 1 edition. Washington: Am Physiological Society: 1553-1593.
- Ludyga, S., T. Gronwald and K. Hottenrott (2016). "Effects of high vs. low cadence training on cyclists' brain cortical activity during exercise." Journal of Science and Medicine in Sport **19**(4): 342-347.
- Malin, S. K., N. Niemi, T. P. J. Solomon, J. M. Haus, K. R. Kelly, J. Fillion, M. Rocco, S. R. Kashyap, H. Barkoukis and J. P. Kirwan (2012). "Exercise training with weight loss and either a high or low glycemic diet reduces metabolic syndrome severity in older adults." Annals of nutrition & metabolism **61**(2): 135-141.
- Mayberg, H. S. (1997). "Limbic-cortical dysregulation: a proposed model of depression." Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience **9**: 471-481.
- Mechau, D., S. Mucke, M. Weiss and H. Liesen (1998). "Effect of increasing running velocity on electroencephalogram in a field test." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **78**: 340–345.
- Mesulam, M. M., E. J. Rogalski, C. Wieneke, R. S. Hurley, C. Geula, E. H. Bigio, C. K. Thompson and S. Weintraub (2014). "Primary progressive aphasia and the evolving neurology of the language network." Nature reviews. Neurology **10**(10): 554-569.
- Miller, E. K. and J. D. Cohen (2001). "An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function." Annual Review of Neuroscience **24**(1): 167-202.

- Molinari, V., J. Schmid, G. Sudeck and A. Conzelmann (2015). "Wirkung sportlicher Aktivität auf das aktuelle Befinden im höheren Erwachsenenalter." Sportwissenschaft **45**(3): 138-148.
- Murrell, S. A., S. Himmelfarb and K. Wright (1983). "Prevalence of depression and its correlates in older adults." Am J Epidemiol **117**: 173.
- Nitsch, J. R. (1976). "Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) – Ein Verfahren zur hierarchisch- mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In: NITSCH, J.R.; UDRIS, I. (Hrsg.). Beanspruchung im Sport. Beiträge zur psychologischen Analyse sportlicher Leistungssituation: 81-102.
- Nunez, P. L. and R. Srinivasan (2006). Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG, Oxford University Press, USA.
- Oakes, T. R., D. A. Pizzagalli, A. M. Hendrick, K. A. Horras, C. L. Larson, H. C. Abercrombie, S. M. Schaefer, J. V. Koger and R. J. Davidson (2004). "Functional coupling of simultaneous electrical and metabolic activity in the human brain." Human brain mapping **21**(4): 257-270.
- Pascual-Marqui, R. D., C. M. Michel and D. Lehmann (1994 ). "Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain International." Journal of Psychophysiology **18** 49-65.
- Peyton JL, B. W., Burke BL, Frank LM. ( 2005). "Novel motor and somatosensory activity is associated with increased cerebral cortical blood volume measured by near-infrared optical topography." J Child Neurol. **20**: 817–821.
- Pfurtscheller, G. and A. Aranibar (1979). "Evaluation of event-related desynchronization (ERD) preceding and following voluntary self-paced movement." Electroencephalography and Clinical Neurophysiology **46**(2): 138-146.
- Picton, T. W. E. (1988). Human event-related potentials. Amsterdam Elsevier.
- Popkin, B. M. (2012). "Time use and physical activity: a shift away from movement across the globe." Obes Rev **13**: 659–680.
- Rauschecker, J. P. (2015). "Auditory and visual cortex of primates: a comparison of two sensory systems." The European journal of neuroscience **41**(5): 579-585.
- Reif, P. S., A. Strzelczyk and F. Rosenow (2016). "The history of invasive EEG evaluation in epilepsy patients." Seizure **41**: 191-195.
- Reilly, J., A. D. Rodriguez, J. E. Peelle and M. Grossman (2011). "Frontal lobe damage impairs process and content in semantic memory: Evidence from category-specific effects in progressive non-fluent aphasia." Cortex **47**(6): 645-658.
- Rosenow, F. and H. M. Hamer (2008). "Normales EEG der Erwachsenen inklusive der Normvarianten." Das Neurophysiologie-Labor **29**(4): 189-198.
- Salmon, P. (2001). "Effects of physical exercise on anxiety, depression, and sensitivity to stress: A unifying theory." Clinical Psychology Review **21**(1): 33-61.
- Schneider, S., V. Abeln, J. Popova, E. Fomina, A. Jacobowski, R. Meeusen and H. K. Strüder (2013). "The influence of exercise on prefrontal cortex activity and cognitive performance during a simulated space flight to Mars (MARS500)." Behavioural Brain Research **236**: 1-7.

- Schneider, S., C. D. Askew, T. Abel, A. Mierau and H. K. Strüder (2010). "Brain and exercise: a first approach using electro tomography." Medicine and Science in Sports and Exercise **42 (March)**: 600-607.
- Schneider, S., C. D. Askew, J. Diehl, A. Mierau, J. Kleinert, T. Abel, H. Carnahan and H. K. Strüder (2009). "EEG activity and mood in health orientated runners after different exercise intensities." Physiology & Behavior **96(4–5)**: 709-716.
- Schneider, S., V. Brümmer, T. Abel, C. D. Askew and H. K. Strüder (2009). "Changes in brain cortical activity measured by EEG are related to individual exercise preferences." Physiology & Behavior **98(4)**: 447-452.
- Schwab, J. J., N. D. Traven and G. J. Warheit (1978). "Relationships between physical and mental illness." Psychosomatics **19**: 458.
- Scully, D., J. Kremer, M. M. Meade, R. Graham and K. Dudgeon (1998). "Physical exercise and psychological well being: a critical review." British Journal of Sports Medicine **32(2)**: 111-120.
- Shamay-Tsoory, S. G., H. Harari, J. Aharon-Peretz and Y. Levkovitz (2010). "The role of the orbitofrontal cortex in affective theory of mind deficits in criminal offenders with psychopathic tendencies." Cortex **46(5)**: 668-677.
- Swift, D. L., C. J. Lavie, N. M. Johannsen, R. Arena, C. P. Earnest, J. H. Keefe, R. V. Milani, S. N. Blair and T. S. Church (2013). "Physical Activity, Cardiorespiratory Fitness, and Exercise Training in Primary and Secondary Coronary Prevention." Circulation Journal **77(2)**: 281-292.
- The International Hockey Federation (2016). Rules of hockey including explanations. Lausanne, The International Hockey Federation: 4-66.
- The International Hockey Federation. (2018). "History of Hockey." Retrieved 10.12.2018, from <http://fih.ch/hockey-basics/history/>.
- Theilen, T.-M., W. Mueller-Eising, P. Wefers Bettink and U. Rolle (2015). "Injury data of major international field hockey tournaments." British Journal of Sports Medicine.
- Thiebaut de Schotten, M., F. Dell'Acqua, R. Valabregue and M. Catani (2012). "Monkey to human comparative anatomy of the frontal lobe association tracts." Cortex **48(1)**: 82-96.
- Tohid, H., M. Faizan and U. Faizan (2015). "Alterations of the occipital lobe in schizophrenia." Neurosciences (Riyadh, Saudi Arabia) **20(3)**: 213-224.
- Vogt, T., S. Schneider, V. Anneken and H. K. Strüder (2013). "Moderate cycling exercise enhances neurocognitive processing in adolescents with intellectual and developmental disabilities." Research in Developmental Disabilities **34(9)**: 2708-2716.
- Wollseiffen, P., S. Schneider, L. A. Martin, H. A. Kerhervé, T. Klein and C. Solomon (2016). "The effect of 6 h of running on brain activity, mood, and cognitive performance." Experimental Brain Research **234(7)**: 1829-1836.
- Woo, M., S. Kim, J. Kim, S. J. Petruzzello and B. D. Hatfield (2009). "Examining the exercise-affect dose–response relationship: Does duration influence frontal EEG asymmetry?" International Journal of Psychophysiology **72(2)**: 166-172.

Wood, D. K., P. A. Chouinard, A. J. Major and M. A. Goodale (2017). "Sensitivity to biomechanical limitations during postural decision-making depends on the integrity of posterior superior parietal cortex." Cortex **97**: 202-220.

Worrell, G. A., T. D. Lagerlund, F. W. Sharbrough, B. H. Brinkmann, N. E. Busacker, K. M. Cicora and T. J. O'Brien (2000). "Localization of the epileptic focus by low-resolution electromagnetic tomography in patients with a lesion demonstrated by MRI." Brain topography **12**(4): 273-282.

Yeterian, E. H., D. N. Pandya, F. Tomaiuolo and M. Petrides (2012). "The cortical connectivity of the prefrontal cortex in the monkey brain." Cortex **48** (1): 58-81.

Yeung, R. R. (1996). "The acute effects of exercise on mood state." Journal of Psychosomatic Research **40**(2): 123-141.

Yin, X., L. Zhao, J. Xu, A. C. Evans, L. Fan, H. Ge, Y. Tang, B. Khundrakpam, J. Wang and S. Liu (2012). "Anatomical substrates of the alerting, orienting and executive control components of attention: focus on the posterior parietal lobe." PloS one **7**(11): e50590-e50590.

## 7. Anhang

### 7.1 Formeln

#### Formel 1: Trennschärfe Herzfrequenz

$$Power = Prob(t > t_{(1-\alpha, \nu)}, \nu, \lambda)$$

#### Formel 2: Trennschärfe ANOVA

$$power = 1 - probf(f, df, dfe, nc)$$

#### Formel 3: Effektstärke für Mann-Whitney- U-Test und Wilcoxon-Paired-Sample-Test

$$r: abs(Z)/srq(n)$$

## 7.2 Einverständniserklärung Probanden



Deutsche Sporthochschule Köln  
Institut für Motorik und Bewegungstechnik

### Informationsblatt und Einverständniserklärung

Name des Probanden: \_\_\_\_\_

Geb.-Datum: \_\_\_\_\_

Erkrankungen/Allergien/Verletzungen: \_\_\_\_\_

#### Beschreibung und Ziele des Projektes

Dieses Projekt soll die Auswirkungen von der Mannschaftssportart Feldhockey während eines Punktspiels auf zentrale Vorgänge (Gehirn) sowie die peripher neurotrophen Faktoren (Blut) aufzeigen. Ziel der Studie ist es Erkenntnisse von zentralen und peripheren Ereignissen, die während der physischen Belastung (Hockeypunktspiel: 2 Halbzeiten zu 35 Minuten) mittels der Korrelation von Ergebnissen aus der Elektroenzephalographie (EEG) und Blutanalysen zu gewinnen. Probanden für die Studie sind die Spieler der Mannschaft der 1. Herren des Deutschen Hockey Club Hannover, die in der 2. Bundesliga aktiv sind. Die Untersuchungen finden begleitend an den Punktspieltagen während der Feldsaison 2013 im Zeitraum vom April bis Juni statt.

Eine Stunde vor Beginn des Spiels und ca. zehn Minuten nach Ende wird bei einer im Vorfeld bestimmen Gruppe von Spielern (4) ein EEG aufgezeichnet. Selbiges soll Unterschiede, aufgetreten durch die Belastungsphase, darstellen. Des Weiteren wird zum gleichen Zeitpunkt Blut abgenommen, um eine neurotrophe Wertbestimmung vorzunehmen (BDNF und IGF-1, Prolactin, Cortison). Der gesamte Testablauf wird einen Zeitaufwand von jeweils ein bis zwei Stunden vor und nach dem Spiel umfassen. Die Untersuchungen, sowie die Blutabnahmen finden vor Ort in den Sportvereinen an den jeweiligen Punktspieltagen statt. Es werden dafür Räume zur Verfügung gestellt, die ein hygienisches und wissenschaftliches Arbeiten erlauben. Sämtliche Untersuchungen werden von Mitarbeitern des Instituts für Neurowissenschaft und Bewegung der Deutschen Sporthochschule Köln überwacht und begleitet. Eventuell sind einige Vortests (Stufentest, EEG-Baseline-Messungen, Ruhe-Blutwerte) notwendig, um die Testwerte mit Ausgangswerten vergleichen und die Auswirkungen der Belastung ermitteln zu können. Hierfür könnte es notwendig sein, dass der Proband an einem weiteren Tag erscheinen muss.

#### Mögliche Nebenwirkungen

Hiermit werde ich darüber informiert, dass es im Rahmen der Blutabnahme schlimmsten Falls zu lokalen Hämatomen (Blutergüssen), leichten Blutungen, kurzzeitigen Schmerzen und Unannehmlichkeiten, Infektionen und Kreislaufproblemen bis hin zur Ohnmacht kommen kann. Bei der Elektroenzephalographie könnten leichte Hautabschürfungen infolge der Hautbearbeitung für gute Widerstandswerte zurückbleiben. Mir wird hiermit versichert, dass allgemeine Vorkehrungen zur Verhinderung von Infektionen eingehalten werden, ich nur mit sterilen Materialien behandelt werde und diese Materialien nur für mich benutzt werden. Alle allgemeingültigen Standards für die Ausführung der Untersuchungen werden berücksichtigt. Mit sonstigen längerfristigen Nebenwirkungen und Begleiterscheinungen ist nicht zu rechnen.

#### **Datenschutz/Anonymität**

Mir wird hiermit versichert, dass persönliche Daten und Informationen vertraulich behandelt und die Testergebnisse anonym verarbeitet werden. In Publikationen und anderen Veröffentlichungen werden Ergebnisse von Probanden ausschließlich durch einen Probandencode angegeben. Daten und Informationen der Probanden werden nicht länger aufbewahrt als notwendig und für keinerlei weitere Zwecke verwendet.

#### **Freiwilligkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich mich freiwillig bereit an der Studie „Auswirkungen von Sportspielen auf neurotrophe Faktoren und das Modell der frontalen Asymmetrie“ inklusive aller enthaltenen Testverfahren (EEG und Blutabnahme) *unentgeltlich* teilzunehmen. Ein Widerruf und damit eine Beendigung der Teilnahme an dieser Studie ist jederzeit möglich.

Hiermit erkläre ich, dass ich keinerlei Krankheiten oder Verletzungen habe, die meine sportliche Leistungsfähigkeit einschränken oder eine Teilnahme an diesem Testverfahren bedenklich machen würden. Über jegliche mir bekannten Erkrankungen und Verletzungen habe ich die Versuchsleitung nach bestem Gewissen informiert und bin mir über mögliche Folgen der Untersuchungen oder des Verschweigens von wichtigen Informationen bewusst.

Ich bin darüber informiert, dass mir eine kleinlumige Kanüle zur Blutabnahme gelegt und dass mir eine Haube mit Oberflächenelektroden für die Elektroenzephalographie (EEG) aufgesetzt werden.

Ich bin darüber informiert, dass die invasiven Eingriffe (Legen der Kanüle) von medizinischem Personal durchgeführt werden und diese auch während der Tests meinen Gesundheitsstatus und die Testverfahren überwachen.

Ich bin mir darüber bewusst, dass eventuelle Vorgaben für die Ernährung am Testtag gegeben werden und erkläre mich freiwillig dazu bereit diese einzuhalten.

Hiermit versichere ich, dass ich die oben stehenden Informationen aufmerksam gelesen habe und über die Risiken und möglichen Nebenwirkungen der Untersuchungen aufgeklärt bin. Ich erkläre hiermit, dass ich die Informationen dieser **zwei** Seiten verstanden habe und in die Testbedingungen freiwillig einwillige.

Ich bin mir bewusst, dass ich jeder Zeit weitere Informationen von Seiten der Testleitung erhalten kann und diese mir bei Rückfragen o.ä. unter dem unten genannten Kontakt zur Verfügung steht.

Ich weiß, dass ich zu *jeder Zeit* den Test abbrechen, Testinhalte verweigern und meine Einverständniserklärung widerrufen kann.

---

Ort, Datum und Unterschrift des Probanden

#### **Kontakt**

cand. med. Julia Krull  
HHU Uniklinik Düsseldorf  
Email: [juliakrull@me.com](mailto:juliakrull@me.com)  
Tel: 0172-4551827

## 7.3 Fragebogen Stimmungsbeurteilung

NAME:

PROBANDEN-KENNUNG:

DATUM:

UHRZEIT:

PREEXERCISE?

oder  POSTEXERCISE?

Im Augenblick fühle ich mich ....

<b>matt</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>ausgelaugt</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>durchtrainiert</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>gelenkig</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>routiniert</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>schlapp</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>gutgelaunt</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>gelassen</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>selbstsicher</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>ruhig</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>kontaktbereit</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>beweglich</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>gesund</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>anerkannt</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>schläfrig</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>unbeweglich</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>erholt</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>angeschlagen</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>abgeschlafft</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>energiegeladen</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>kräftig</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>fröhlich</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>beliebt</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>mitteilsam</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>lädiert</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>energielos</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>kraftvoll</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>fit</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>stark</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>steif</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>krank</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht
<b>ausgeruht</b>	völlig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gar nicht

## Danksagung

Ich möchte mich hiermit bei Prof. Dr. Dr. Stefan Schneider und Dr. Sportwiss. Vera Abeln für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung, vielen Erklärungen und Korrekturen meiner Arbeit bedanken. Ebenfalls gilt mein Dank Prof. Dr. med. Rüdiger Seitz, der sich ohne zu Zögern auf das „neue“ Projekt – eine Kooperation mit der Deutschen Sporthochschule Köln- eingelassen und mir stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat.

Mein besonderer Dank gilt meinem Mann Max Peter für seine Liebe und emotionale Unterstützung. Ohne ihn hätte ich Rückschläge nicht so gut wegstecken und mich in meinen Motivationstiefs schwieriger aufraffen können.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Eltern Christiane und Reinhard „Felix“ Krull dafür bedanken, dass auch sie mich in dieser langen und anstrengenden Phase unterstützt haben. Was wäre meine Arbeit nur gewesen ohne die liebevollen Grammatikkorrekturen meiner Mutter oder Motivationsansprachen sowie die vielen Fragen meines Vaters (beginnend am ersten Tag meiner Arbeit) wann ich denn » fertig wäre mit meinem Doktor« - Jetzt!