Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften
Institut für Sportwissenschaft

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades
„Bachelor of Science“ (B. Sc.)

Validierung der Anwendbarkeit des „Windows of Trainability“™-Ansatzes zur Bestimmung der aktuellen Trainingsbereitschaft im Schwimmen

vorgelegt von: Theuer, Johannes
Geboren am/in: 23.10.1995 / Brandenburg an der Havel
Matrikelnummer: 206922

Gutachter: Prof. Dr. Anita Hökelmann (Erstgutachter)
M.Sc. Torsten Amstein (Zweitgutachter)

Magdeburg, 01.10.2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 4
Zusammenfassung 5
Abstract 6
1 Einleitung 7
2 Problem- und Zielstellungen 8
3 Theoretische Grundlagen 9
4 Forschungsstand 11
4.1 DC-Potential 11
4.2 Herzparameter 14
4.2.1 Amplituden Frequenz Analyse von EKG 14
4.2.2 Herzfrequenzvariabilität 15
4.3 Windows of Trainability™ 16
4.4 Forschungsdefizite 18
5 Abgeleitete Fragestellungen und Hypothesen 20
6 Methodik 21
6.1 Probanden 21
6.2 Studiendesign 22
6.2.1 Forschungsmittel 22
6.2.2 Durchführung der Studie 23
6.2.3 Durchführung des Pre- und Posttest 24
6.3 Datenaufnahme 25
6.4 Datenauswertung 26
7 Ergebnisse 27
7.1 Grundlegende Ergebnisse 27
7.2 Statistische Auswertung 29
8 Diskussion 32
9 Schlussfolgerungen 34
10 Bildnachweis 36
11 Literaturverzeichnis 37
12 Anhang 40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der zeitlichen Differenzen zwischen den R-R-Intervallen in Millisekunden 9

Abbildung 2:Veränderung des DC-Potentials bei variablen kognitiven Belastungsintensitäten 12

Abbildung 3: Auszug aus der Bestimmung der Windows of Trainability 18

Abbildung 4: Brustumfänge in mm und inches im Zusammenhang mit Brustgurtgrößen 22

Abbildung 5: Prozentuale Veränderung des Leistungsniveaus der Versuchsgruppe... 28

Abbildung 6: Prozentuale Veränderung des Leistungsniveaus der Kontrollgruppe 28

Abbildung 7: Mittelwerte des Sprinttests beider Gruppen in Sekunden mit Standardabweichungen..... 30

Abbildung 8: Mittelwerte der Ausdauertests beider Gruppen in Sekundenmit Standardabweichungen..... 30

Abbildung 9: DC-Potential Graphen während des Atemhalten Tests..... 41

Abbildung 10: Probanden während der Messung zu Trainingsbeginn..... 45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die drei Zonen des DC-Ruhewerts und ihre psycho-physiologischen Charakteristiken 13

Tabelle 2: Wichtige Parameter der Multifaktoranalyse 14

Tabelle 3: modifizierte Borg-Skala zur Befindensbewertung 25

Tabelle 4: Auszug der Trainingsplanmodellierung 27

Tabelle 5: Zusammenfassung der subjektiven Borg Skala Bewertungen 29

Tabelle 6: Ergebnisse des Levene-Tests und des t-Test für unabhängige Stichproben 31

Tabelle 7: Übersicht über die von Omegawave aufgenommenen Daten 42

Zusammenfassung

Inhalt dieser Arbeit ist die Validierung der Anwendbarkeit des „*Windows of Trainability*“ – Ansatzes im Schwimmen. Hauptbestandteil dieser Studie ist das Messsystem des Unternehmen Omegawave. Dieses System misst den Funktionszustand des Athleten direkt vor dem Training und benutzt die *Windows of Trainability* um Trainingsempfehlungen basierend auf den Messdaten zu geben. Ziel der Studie war es herauszufinden ob diese Empfehlungen im Schwimmen anwendbar sind oder nicht.
Von den zwölf Teilnehmern zu Beginn der Studie, schlossen sie elf ab. Diese elf wurden für die Datenanalyse berücksichtigt. Alle Probanden waren männlich, zwischen 16 und 36 Jahren alt und betrieben seit wenigstens acht Jahren den Sport Wasserball. Die Teilnehmer wurden in zwei Gruppen à sechs Personen geteilt, mit einem Altersdurchschnitt von 24,8 ± 6,9 in der Versuchsgruppe und 25,3 ± 7,4 in der Kontrollgruppe. Die Probanden wurden angeleitet gemeinsam ihre Daten 15 Minuten vor Trainingsbeginn zu erfassen und ihr allgemeines und muskuläres Befinden mittels einer modifizierten Borg Skala zu bewerten. Die Kontrollgruppe musste immer mit maximalem Trainingsvolumen trainieren, während der Trainingsplan der Versuchsgruppe basierend auf ihren Daten angepasst wurde. Diese Anpassungen bestanden aus Reduzierungen der Intensität, des Umfangs und der Frequenz. Es gab vier Abstufungen von 100% Trainingsvolumen, über 70% und 50% bis hin zum Trainingsverbot. Über 40% des Trainings musste nach fünf Wochen mit zwei Einheiten pro Woche, angepasst werden. Der Vergleich der beiden Gruppen zeigte keine signifikanten Ergebnisse, weder im Sprint noch im Ausdauer Bereich. Es ist allerdings bemerkenswert, dass die Versuchsgruppe sich insgesamt um 1,562% mehr verbesserte als die Kontrollgruppe, obwohl sie weniger trainiert hatten. Es ist also zu erkennen, dass sich die Versuchsgruppe zwar nicht signifikant gegenüber der Kontrollgruppe verbessern konnte, sie allerdings mit weniger Trainingsaufwand auf einem gleichhohen Niveau blieben, was die Leistungssteigerung angeht.
Diese Studie hatte einige Limitationen, weshalb weitere Forschungen zu diesem Thema notwendig sind. Für zukünftige Untersuchungen ist vor allem eine größere Probandenanzahl empfehlenswert, genauso wie mehr Trainingseinheiten. Es könnte außerdem von Interesse sein herauszufinden inwiefern die Trainingsanpassungen den individuellen Befindens Zustand der Probanden beeinflussen.

Abstract

The purpose of the thesis was to validate the applicability of the “Windows of Trainability”™ theory of the Omegawave measurement system in swimming. The system analysed the functional readiness of an athlete right before the training and included the Windows of Trainability to give training recommendations based on this data. Aim of the study was to validate if this suggestions are usable in swimming or not.

Twelve male subjects between 16 to 36 years originally enrolled this study, of which eleven were included for the analysis. The participants were divided into an experimental group (age 24,8 ± 6,9) and a control group (age 25,3 ± 7,4) and performed two training sessions per week over a five week period. Every participant was instructed to measure their data 15 minutes before training and to rate their mental and muscular state with a modified Borg-scale. The control group always worked out with the maximal volume, while the training of the experimental group was adjusted based on their individual readiness. These adjustments included reductions in intensity, volume and frequency in four adaptation steps: 100%, 70% or 50% of the training volume and with no training, based on the results of the Windows of Trainability analysis.

No significant differences between experimental group and control group were observed, neither in sprint nor in endurance conditions. The experimental group had a slightly higher average improvement of 1,562%, but their training volume was reduced by over 40% compared to the control group. Windows of Trainability theory did not improve the experimental group’s results significantly in comparison to the control group, but they stayed nearly on the same level with less training effort and reduced training volume.

This study had some limitations thus, further research is needed for this topic. For future research, a bigger group of participants is recommendable. It could also be interesting to investigate the effect of the training adaptations to the individual mental state.

1 Einleitung

Diese Arbeit setzt sich das Ziel den *Windows of Trainability*- Ansatz (Fenster der Trainierbarkeit) des Omegawave Messsystems im Hinblick auf seine Aussagen bezüglich der Trainingsbereitschaft zu validieren. Diese Interpretationsmöglichkeit der EKG und DC-Potential Werte liefert vier Trainingsempfehlungen in den Bereichen: Ausdauer, Schnelligkeit & Schnellkraft, Kraft, Koordination & Geschick. Werden diese Empfehlungen durch verschiedene Belastungsnormative wie beispielsweise Belastungsintensität oder –dauer im Training angewendet, so soll ein vergleichbarer oder erhöhter Trainingseffekt trotz Reduktion des Trainingsumfangs eintreten. Zu diesem Zweck wurde eine fünfwöchige Studie im Rahmen einer Bachelorarbeit für die Sportart Schwimmen durchgeführt. In diesem Bereich existieren bisher sehr wenige Forschungsergebnisse, was gleichzeitig auch die Motivation für diese Arbeit darstellt. Als grundlegende Literatur für die Thematik *Windows of Trainability* wird empfohlen die Arbeit „*The Effect of Fluid Periodization on Athletic Performance Outcome*“ von Chris Morris (2015) zu lesen.

2 Problem- und Zielstellungen

Aus der bisherigen Studie zu dieser Thematik (Morris, 2015) geht hervor, dass die Anwendung des *Windows of Trainability* - Ansatzes eine wirkungsvolle Methodik bietet, um die Produktivität eines Trainings langfristig zu erhöhen und die Gefahr in ein Übertraining zu geraten, minimiert. Es handelt sich um die einzige veröffentlichte Studie zu diesem Themengebiet, weshalb weitere Grundlagenforschung betrieben werden muss. Des Weiteren ist die praktische Anwendbarkeit und Funktionalität dieses Ansatzes auf andere Sportarten außer *American Football* gänzlich ungeklärt. Ziel dieser Studie ist es die Anwendung des *Windows of Trainability* Ansatzes auf eine komplexe Sportart zu untersuchen und die Wirksamkeit zu testen, um Grundlagenwerte für weitere Forschungen zu erhalten.

3 Theoretische Grundlagen

Die Grundlage des *Windows of Trainability* – Ansatzes bildet die Analyse des kardialen und des kognitiven Systems des Menschen. Der Zustand des kardialen Systems wird zum Großteil über die Analyse der Herzfrequenz generiert. Zu diesem Zweck wird ein Elektrokardiogramm (EKG) aufgenommen, während sich der Proband im Ruhezustand befindet. Ohne irgendeine körperliche Beanspruchung, sollte im optimalen Fall eine hohe Variabilität zwischen den einzelnen Herzschlägen des Probanden zu messen sein. Nach Draghici & Taylor ist die Variabilität des Herzschlages eine intrinsische Charakteristik des gesunden kardialen Funktionierens und reflektiert die bewussten Antworten auf internale und externale Stimuli (vgl. 2016). Bei der Analyse der Herzfrequenzvariabilität wird die Differenz der zeitlichen Abstände zwischen den R-R-Intervallen des Herzschlages interpretiert. Als R-Zacken bezeichnet man den größten positiven Ausschlag des QRS-Komplexes eines Herzschlages. In Abbildung 1 ist diese Variabilität schematisch durch einen Ausschnitt eines EKGs dargestellt.

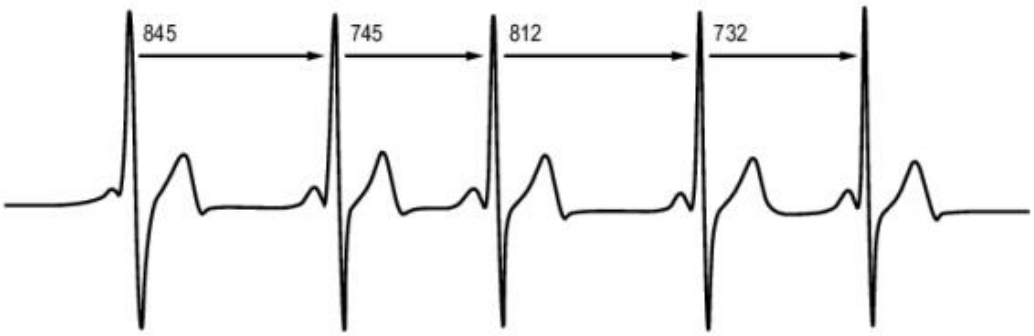


Abbildung 1: Schematische Darstellung der zeitlichen Differenzen zwischen den R-R-Intervallen in Millisekunden

Der Sympathikus und Parasympathikus regulieren die Aktivität des Herzens und nach Sammito & Böckelmann kann durch die Analyse der HFV nicht nur diese Steuerung aufgezeigt werden, sondern auch der „[…]Einfluss des autonomen Nervensystems auf das Herz-Kreislauf-System mathematisch[…] (2014, S. 76)“ beschrieben werden. Je nachdem wie man die EKG-Daten auswertet, gibt es drei Arten an Parametern über die Aussagen über das Herz-Kreislauf-System getroffen werden können. In der zeitbezogenen HFV-Analyse werden die Daten mit Blick auf ihre Varianz ausgewertet, während bei der frequenzbezogenen HFV-Analyse aus den R-R-Intervallen

Leistungsspektren berechnet und bei der dritten Art der HFV-Analyse Methoden der nichtlinearen Dynamik schwingender Systeme angewandt werden (Sammito & Böckelmann, 2014).

Diese Analyse des Funktionszustandes des Körpers ist insofern nötig, beziehungsweise hilfreich bei der Trainingsplangestaltung, als das sie die Chancen minimiert, das der Athlet in den Zustand eines Übertrainings gerät. Dieser Zustand kann beispielsweise durch unzureichende Erholung, zu hohe Beanspruchung über einen längeren Zeitraum oder ein dauerhaftes Ungleichgewicht zwischen Belastungs- und Pausenzeiten initiiert werden. Resultierend daraus wird nicht nur die Leistungsfähigkeit gesenkt, sondern auch das Verletzungsrisiko aufgrund von Überbeanspruchung des physiologischen Bewegungsapparates erhöht (Fomin & Nasedkin, 2013).

4 Forschungsstand

4.1 DC-Potential

Das *direct-current potential* (im folgenden DC-Potential genannt) ist ein Gleichspannungspotential dessen Ursprung in der Großhirnrinde des Cortex liegt. Dieses Potential beschreibt die langsamen kortikalen Potentialschwankungen des Gehirns, welche sich in einem Frequenzbereich von <0,5 Hertz befinden und somit unter den vom EEG erfassbaren Beta-Wellen (14 – 30 Hz) und Delta-Wellen (0,5 - 3,5 Hz) liegen. 1939 wurden die ersten Versuche von Davis, Davis und Loomis unternommen das DC-Potential zu messen, ohne das der Ursprung dessen bekannt war. Weiterführende Untersuchungen zum DC-Potential gab es daraufhin beispielsweise im Jahr 1958 von Aladzhalova und Kol'tsova, die als erste sehr langsame, kortikale Potentialschwankungen wissenschaftlich beschrieben hatten. Eine der führenden Wissenschaftler auf dem Gebiet der Erforschung des DC-Potentials ist Ilyukhina geworden, da sie seit 1986 gemeinsam mit ihren Kollegen, bereits über 2900 gesunde Sportler und über 1200 Personen mit unterschiedlichen Erkrankungen (Csapo, Gormasz, Proietti, & Baron, 2008), darunter vor allem Parkinson erkrankte und Kinder im Alter von drei bis zwölf Jahren mit Sprachstörungen untersucht hat (Ilyukhina & Chernysheva, 2007; Ilyukhina, Kozhushko, & Bokarius, NEUROPHYSIOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE FEATURES OF THE STATE AND PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF SOME STRUCTURES OF THE STRIOPALLIDIYM AND THALAMUS IN VARIOUS FORMS OF PARKINSONISM, 1995; Krivoshchapova & Ilyukhina, 2005). Basierend auf diesen Untersuchungen „…postulierten die Autoren einen direkten Zusammenhang zwischen Veränderungen des Omega-Potentials und chemisch metabolischen, neurohumoralen und endokrinen Reaktionsprozessen unter körperlicher Belastung" (Csapo, Gormasz, Proietti, & Baron, 2008, S. 19). Im Jahre 1989 versuchten Baba-Zade et al. erstmals das DC-Potential für die Analyse des Funktionszustandes von Athleten zu nutzen (Fomin, 2013). Ilyukhina und Zabolotskikh beschrieben in ihren Arbeiten (1993; 2000) einen Zusammenhang zwischen dem DC-Potential und energiearmen Zuständen des Körpers und bildeten damit die Grundlage für eine neue Messmethode zur Bestimmung des DC-Potentials: „omegametry" (vgl. Fomin, 2013, S. 5), welche erstmalig durch Khabibullina (2009) im Bereich Sport angewandt wurde. Basierend auf diesen Untersuchungen können in der Literatur drei mögliche Kennwerte zur Bestimmung des Funktionszustandes des Körper mittels des DC-Potentials bestimmt werden: der DC-Anfangswert, die Kurvenverläufe und der DC-Ruhewert.

Der DC-Anfangswert oder auch „Level of active wakefulness" (Ilyukhina V. , Ultraslow Information Control Systems in the Integration of Life Activity Processes in the Brain and Body, 2013) genannt, beschreibt den Wert zu Beginn einer Messung des DC-Potentials.

Über seine wissenschaftliche Aussagekraft gibt es bis heute kaum Publikationen, jedoch wird durch Ilyukhina ein Zusammenhang zwischen ihm und limbisch-retikulären, suprasegmentalen Mechanismen der Desintegration des Hirnstammes bei chronischen Erkrankungen des Nervensystems durch ein asthenisches Syndrom, welches die sauerstoffabhängigen Systeme bei der Pathogenese stört, postuliert (vgl. Ilyukhina V. , 2013, S. 329).

Über die Kurvenverläufe lassen sich nach Haschke & Speckmann (1993) und Altenmüller (1993) Aussagen über die Bereitstellung bzw. den Verbrauch der Ressourcen bei der Bearbeitung einer kognitiven Aufgabenstellung treffen. Sie verweisen darauf, dass eine negative Potentialverschiebung auf den Verbrauch, während eine positive Potentialverschiebung auf das zur Verfügung stellen besagter Ressourcen hindeutet. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Studien durchgeführt, welche die Diskussionsgrundlage des Zusammenhangs der kortikalen Potentialschwankungen bei dem Ausführen kognitiv anspruchsvoller Aufgaben untermauern, sodass dies mit dem heutigen Wissen als anerkannt gesehen werden kann. In

Abbildung 2 sind die von Haschke & Speckmann als typisch klassifizierten Potentialveränderungen von Probanden beim Lösen von kognitiven Aufgaben, die eine geringe oder eine hohe Schwierigkeit darstellen, im Vergleich zu dem positiven Kurvenverlauf der bei Ruhe (ohne kognitive Beanspruchung) eintritt, zu erkennen.

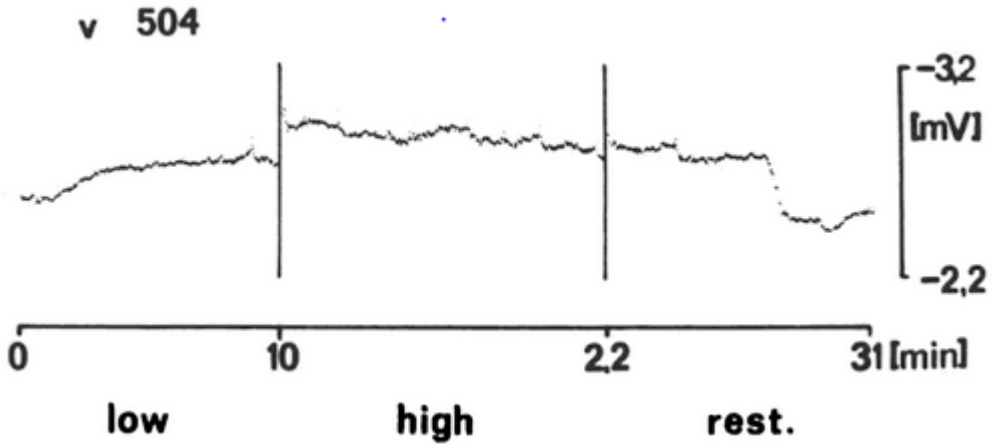


Abbildung 2:Veränderung des DC-Potentials bei variablen kognitiven Belastungsintensitäten

Über den dritten Kennwert des DC-Potentials, den DC-Ruhewert, lassen sich verschiedene Zonen im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit der Athleten einteilen. Nach Messungen an über 5000 Sportlern und der Anmerkung, dass die Zonen individuell variieren, wurden die Zonen zunächst wie folgt bestimmt: reduzierte Zone (1-20 mV), optimale Zone (20-40 mV) und erhöhte Zone des DC Ruhewerts (40-60 mV) (Ilyukhina, Sychev, Shcherbakova, Jaryshev, & Denisova, 1982). Nachdem weitere Forschungen getätigt, neue Messmethoden benutzt und ein erheblicher Datenpool durch Nasedkin et

al. ausgewertet wurden, mussten die Zonen angepasst werden und liegen aktuell für das Omegawave Messsystem in folgenden Bereichen: <9mV, 9-40mV und >40mV (Fomin & Nasedkin, Coach's Handbook, 2014). Aus Tabelle 1 können die nach Fomin & Nasedkin (2014) zugehörigen psycho-physiologischen Charakteristika der jeweiligen Zonen entnommen werden, welche auf den Grundlagen von Ilyukhina (2011) beruhen.

Tabelle 1: Die drei Zonen des DC-Ruhewerts und ihre psycho-physiologischen Charakteristiken

reduzierte Zone	**Optimale Zone**	**Erhöhte Zone**
Verringerte (Alarm-) Bereitschaft und mentale Aktivierung	Optimales Niveau der Wachsamkeit und mentalen Aktivierung	Erhöhte (Alarm-) Bereitschaft und mentale Aktivierung
Suboptimale Funktionsfähigkeit der Zentralen Gehirnmechanismen aufgrund eines Erschöpfungszustandes während des Prozesses zur Regulierung des Übergangs von aktiver Wachsamkeit zur Erholung	Optimaler, ausgeglichener und stabiler Zustand der zentralen Gehirnmechanismen zur Regulierung des Niveaus der aktiven Wachsamkeit und funktionsfähigen Erholung	Suboptimale Funktionsfähigkeit der zentralen Gehirnmechanismen aufgrund eines Zustandes der erhöhten Anspannung während des Prozesses zur Regulierung des Überganges von aktiver Wachsamkeit zur Phase der Erholung
Limitierte Adaptationskapazität des Körpers	Erhöhte Adaptationskapazität des Körpers	Geringe Adaptationskapazität des Körpers
Reduzierte Effizienz der kognitiven Aktivität und verringerte Lernfähigkeit	Hohe Produktivität der kognitiven Aktivität und hohe Lernbereitschaft	Eingeschränkte kognitive Aktivität und verringerte Lernfähigkeit
Reduzierte Adaptationsreserven des Körpers	Die Fähigkeit der spontanen Entspannung während des Übergangs vom Zustand der aktiven Wachsamkeit hin zur Erholung	-
Unangemessene Reaktion auf bestimmte physische, mentale, soziale oder sonstige Stimuli	Adäquate Rückmeldung auf jegliche externe Einflüsse: physisch, mental, sozial und sonstige	Ungeeignete Reaktion auf bestimmte physische, mentale, soziale oder sonstige Stimuli
Verringerte Stresswiderstandsfähigkeit	Hohe Stresswiderstandsfähigkeit	Geringe Stresswiderstandsfähigkeit
Psycho-emotionale Instabilität	Psycho-emotionale Stabilität	Psycho-emotionale Spannung und/oder Instabilität

Diese Zonen gelten allerdings nur für junge und gesunde Menschen. Inwiefern die Zonen bei älteren oder erkrankten Personen verändert werden müssen ist noch nicht wissenschaftlich erforscht. Lediglich wird in einer noch unveröffentlichten, an der Otto-von-Guericke Universität durchgeführten Studie an Senioren darauf hingewiesen, dass sie tendenziell geringere Werte haben (Grässler, unveröffentlicht).
Die Korrektheit der DC-Potential Messung mittels des Omegawave Messsystems wurde unter anderem 2017 von Kara in einer Studie nachgewiesen. In dieser Studie sollten Probanden während der Potentialmessung die Luft anhalten, um so einen künstlichen Stressor zu erzeugen. Dabei wurden die Messergebnisse mit denen des simultan messenden und klinisch verwendeten Mitsar-EEG-202 verglichen (siehe Anhang Abbildung 9).

4.2 Herzparameter

Das Omegawave Messsystem bedient sich zweier Modelle bei der Auswertung der Herzparameter der Athleten. Zum einen wird die Amplituden-Frequenz-Analyse des Elektrokardiogrammes benutzt und zum anderen die Herzfrequenzvariabilität analysiert.

4.2.1 Amplituden Frequenz Analyse von EKG

Die Amplituden Frequenz Analyse wurde 1986 das erste Mal von Dushanin in der Sportmedizin untersucht. Es handelt sich dabei um eine nicht invasive Multifaktoranalyse, bei der über 150 Leistungs- und physiologische Parameter aufgenommen werden, um die körperliche Leistungsfähigkeit von Athleten zu bestimmen. In Tabelle 2 sind dazu die nach Fomin (vgl. 2013, S. 12) wichtigsten Parameter mit ihrer jeweiligen Bedeutung dargestellt.

Tabelle 2: Wichtige Parameter der Multifaktoranalyse

Parameter	**Bedeutung**
Kraft	die Geschwindigkeit der Energiebereitstellung während aerober und anaerober Metabolismen
Kapazität	stellt die Stabilität des funktionalen Systems und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Veränderungen in Homöostase dar

Effektivität/Ökonomie	stellt die Fähigkeit funktionale Reserven und Energie für die Muskelaktivität zur Verfügung zu stellen dar
Labilität/Mobilisation	Geschwindigkeit der Rekrutierung von funktionalen und metabolischen Reaktionen während der Muskelaktivität
Realisierung von potentiellen Fähigkeiten	Maß für die Kosten von Mobilisierung und Nutzung von funktionellen und metabolischen Systemen
Erholungsfähigkeit des funktionellen und metabolischen Systems	stellt die Geschwindigkeit der Anpassungsphasen und das Bereitschaftslevel des Athleten gegenüber zukünftigen Trainingsbelastungen dar

‚Die physiologische Grundlage dieser Methodik bildet die Verbindung der Myokarddepolarisationsrate des rechten und linken Ventrikels, mit den metabolischen Indikatoren der anaeroben bzw. aeroben physischen Kapazität. [….] Zusätzlich wird die Erkenntnis genutzt, dass die Skelettmuskulatur und das Myokardium, die sehr ähnliche strukturelle und chemische Zusammensetzungen haben, im Gleichgewicht was die Intensität und Menge der Natriumionenversorgung durch die Muskelfaserzellmembran angeht, stehen' (vgl. Fomin, 2013, S. 13). Dadurch ergibt sich nach Fomin die Möglichkeit mit dem Ruhe-EKG Prognosen über die Ökonomie des Energiestoffwechsels während muskulärer Aktivität zu treffen.

4.2.2 Herzfrequenzvariabilität

Die Untersuchung der Herzfrequenzvariabilität (HFV) begann bereits in den 60er Jahren. Zunächst noch in der Raumfahrtmedizin im Fokus wurde ihre Bedeutung, für die Analyse der Anpassung eines Körpers an unterschiedliche Stressoren, mit der Zeit immer größer. 1986 waren Baevskii und Motylyanskaya eine der ersten die eine Arbeit über den Nutzen der HFV-Methode bei Sportlern verfassten. Heutzutage ist dieser Ansatz sowohl in der Sportwissenschaft als auch in der Medizin sehr weit verbreitet und findet eine hohe Anwendung in der Trainingsregulation von Athleten. Die von Omegawave genutzte HFV Analyse basiert auf 15 aufgenommenen Parametern (siehe Anhang 3), fünf davon sind russischen Ursprungs und zehn gehören zu den Standard Zeit und Frequenz Parametern der *European Society of Cardiology* und der *North American Society of*

Electrophysiology (Fomin & Nasedkin, 2016). Für die Analyse der HRV werden alle drei, der in Abschnitt 3 Theoretische Grundlagenbeschriebenen Arten zur Auswertung der R-R-Intervalle, verwendet. Darüber hinaus wird in der HFV Analyse von Omegawave nach Fomin hauptsächlich auf drei wissenschaftliche Prinzipien zur Anpassung des Körpers auf Stress, Trainingsreize und die Umwelt zurückgegriffen: das Anpassungssyndrom, die Theorie des funktionellen Systems & der biologischen Kybernetik und die Neurohumorale Regulation der Funktionen.

Das Anpassungssyndrom (engl.: general adaptation syndrome) wurde von Hans Selye nach einem Experiment mit Ratten in verschiedenen Stresszuständen beschrieben. Ihm viel auf das sie alle, unabhängig voneinander, drei Phasen beim Umgang mit Stress durchliefen. Phase eins ist die Alarmreaktionsphase, in der sich der Körper für die „fight or flight“ Entscheidung des Gehirns vorbereitet und seine Leistungsfähigkeit erhöht. Phase zwei bildet das Widerstandsstadium, in welcher der Körper versucht den Stressor zu negieren um seinen Normalzustand zurück zu erlangen. Das Erschöpfungsstadium bildet die letzte Phase und wird nur erreicht, wenn sich der Körper in langfristigen oder dauerhaft wiederholenden Stresssituationen befindet und es dadurch zu Langzeitschädigungen kommen kann (Selye, 1950).

Die Theorie des funktionellen Systems ist ein neurowissenschaftliches Konstrukt, welches als Grundlage der physiologischen Architektur des Verhaltensaktes dient. Sie beschreibt wie aus einem bedingten Reiz eine Handlung samt Handlungsvoraussage wird (Anochin, Haschke, & Sudakow, 1978). Die Biologische Kybernetik ist nach Lindner (2018): „ […] an interdisciplinary medium for theoretical and application-oriented aspects of information processing in organisms, including sensory, motor, cognitive, and ecological phenomena.”

Fomin postuliert, dass für Omegawave die HFV einen Indikator für die akute Reaktion eines mehrschichtigen Regulationssystems des menschlichen Herz-Kreislauf-Systems bei der Anpassung an Belastungen darstellt und dadurch Zustände wie Übertraining frühzeitig erkannt werden können.

4.3 Windows of Trainability™

Die Zielstellung des *Windows of Trainability* Ansatzes ist es das Training in solchem Maße an den Athleten anzupassen, dass er sein individuelles Ziel auf dem schnellsten und gleichzeitig für die Psychologie und Physiologie auf dem gesündesten Weg erreicht. Diese Herangehensweise an die Trainingsmodellierung ermöglicht dem Sportler, durch fortlaufende Messungen des momentanen Funktionszustandes des Körpers, fortwährende Adaptionen durch körperliche Belastungen (unter Berücksichtigung aller auf den Athleten einwirkenden Stressoren) in die Trainingsplanmodellierung

einzubinden und die optimalen Zeitpunkte für das Einsetzen erneuter Trainingsreize zu finden. Zu diesem Zweck gibt das Omegawave Messsystem, nach erfolgreichem durchführen einer Messung basierend auf den aktuell aufgenommenen Daten, eine Trainingsempfehlung aus. Diese Empfehlungen sind in vier Bereiche unterteilt: Ausdauer, Schnelligkeit & Schnellkraft, Kraft und Koordination & Skill und werden in vier Empfehlungskategorien angegeben. Dabei bedeutet es wenn eine Kategorie rot ist, wird empfohlen diesen Bereich aus dem Training heraus zu lassen, während gelb einen moderaten Umgang mit diesen Trainingskategorien und grün vollständige Bereitschaft für ein Training in diesem Bereich suggeriert.

Bereits im Jahr 2007 gelang es Struganov durch die Analyse von DC-Potentialen die Trainingsabläufe und Belastungsnormative von Marathonläufern erfolgreich zu planen und ihre Leistungsentwicklung vorherzusagen. Die *Windows of Trainability* setzen sich allerdings nur zu 50% aus den Ergebnissen der DC-Potential Messung und zur anderen Hälfte aus den Daten der HFV Messung zusammen. Dadurch können für die Bewertung der Leistungsfähigkeit des Athleten deutlich mehr Parameter einbezogen und deswegen auch auf mehr Bereiche des Organismus Rücksicht genommen werden. Die genauen Berechnungen der Fenster obliegen dem Betriebsgeheimnis von Omegawave und sind der Öffentlichkeit nicht zugänglich. Es darf allerdings gesagt werden, dass die Bereitschaft des kardialen und die des zentralen Nervensystems mit in die Berechnung eingehen, nicht aber die Bereitschaft des Energiebereitstellungssystems. Die Bereitschaft des kardialen Systems wird hauptsächlich über die Aktivität des Sympathikus und Parasympathikus bestimmt und beeinflusst vor allem die Trainingsempfehlung des Ausdauer-Fensters. Ist das zentrale Nervensystem indes nicht vollends regeneriert, werden die Fenster für Schnelligkeit & Schnellkraft sowie Koordination & *Skill* angepasst. In Abbildung 3 ist eine beispielhafte Bestimmung der Fenster durch die zu Grunde liegenden Daten dargestellt. Die HFV Analyse hat ausgegeben, dass das kardiale System vollständig bereit ist, für jegliche Art von Aktivität. Das DC-Potential hingegen befindet sich im erhöhten Bereich, sodass eine Gesamtbewertung von 6 von 7 ausgegeben wird. Als Ergebnis der Auswertung resultiert eine sehr gute Bereitschaft für Ausdauer und Kraft, wobei man auf Maximalbelastungen verzichten sollte. Die Fenster für Schnelligkeit & Schnellkraft und Koordination & Skill sind indes nur moderat „geöffnet“, was in der Trainingsplanung berücksichtig werden kann. Nach diesem Schema variieren die Zusammensetzungen der Empfehlungen der Trainingsfenster in Wechselwirkung mit den Messungen der kardialen Parameter und des DC-Potentials.

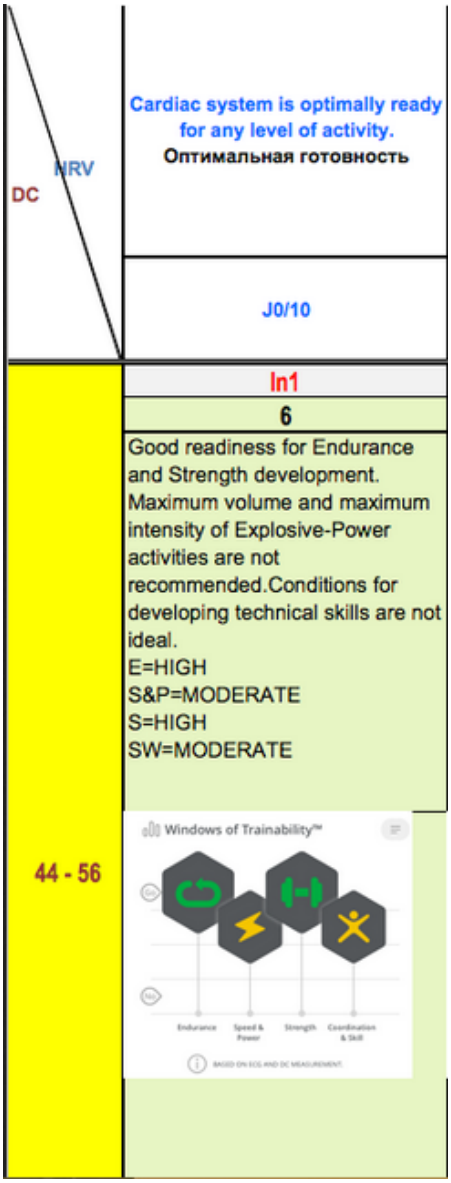


Abbildung 3: Auszug aus der Bestimmung der Windows of Trainability

4.4 Forschungsdefizite

Zu der praktischen Anwendbarkeit des *Windows of Trainability* Ansatzes durch das Omegawave Messsystem gibt es bisher erst eine veröffentlichte Studie von Morris (2015). Er testete 61 College Schüler eines American Football Teams, welche in eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe unterteilt wurden, um die Wirkung des Placebo-Effektes zu berücksichtigen und vergleichbare Daten zu erhalten. In der Versuchsgruppe wurde anhand des ermittelten Funktionszustandes der Athleten durch das Omegawave System, das Training durch den Belastungsumfang bzw. die Belastungsintensität reguliert. Es wurden zwei Pre- und zwei Posttests durchgeführt, mit je einer zwei-tägigen Erholungspause, um die Folgen von Ermüdung aufgrund der vielen unterschiedlichen Tests zu minimieren. *„The dependent variables included anthropometric measures*

(mass, relative body fat, fat mass, and fat free mass), performance outcome tests (broad jump, vertical jump, triple broad jump, 10 lb. medicine ball overhead throw, tempo test), and total volume of loads (Morris, 2015, S. 49)*".* Unter den anthropometrischen Variablen gab es keine signifikanten Verbesserungen in der Testgruppe gegenüber der Kontrollgruppe, gleiches gilt für den ‚Medizinball über Kopf Wurf' und den Dreifach-Sprungtest. Im Gegensatz dazu gab es eine signifikante Verbesserung bei der vertikalen Sprungkraft, dem vertikalen Sprung, dem breitbeinigen Sprung und der aeroben Effizienz. Die signifikanten Verbesserungen reichten von 94% in der vertikalen Kraft bis hin zu 592% mehr Leistungssteigerung bei den breitbeinigen Sprungtests. Daraufhin beschreibt Morris die Verwendung eines Systems wie Omegawave als hocheffektive Methode um den Trainingsprozess von Athleten aufzuzeichnen und empfiehlt die Anwendung besonders bei Sportlern, die unter erhöhtem psychischen Belastungen stehen, wie zum Beispiel Studenten (vgl. Morris, 2015, S. 83). Da dies die einzige Studie ist, welche sich bisher mit den Auswirkungen einer stetigen Funktionszustandsanalyse durch DC-Potential und HFV-Datenerhebung und deren Einfluss auf die Trainingsplanentwicklung beschäftigt, stellt dies ein Defizit dar, was die Grundlage für diese Arbeit bildet.

5 Abgeleitete Fragestellungen und Hypothesen

Für diese Studie sind folgende Fragestellungen von Bedeutung:

Fragstellung 1: Wie valide sind die Aussagen des *Windows of Trainability* Ansatzes für eine Trainingsplan Anpassung in der Sportart Schwimmen?

Hypothese 1: Die Aussagen des *Windows of Trainability* Ansatzes sind bezüglich einer Trainingsplan Anpassung valide.

Fragestellung 2: Hat die Testgruppe einen größeren Trainingseffekt gegenüber der Kontrollgruppe durch die Analyse des Funktionszustandes des Körpers und den dadurch generierten Anpassungen der Belastungsnormative Trainingsplanes?

Hypothese 2: Die Testgruppe hat einen größeren Trainingseffekt als die Kontrollgruppe.

Fragestellung 3: Sorgt die Reduzierung der Belastungsnormative für eine Leistungsminderung der Versuchsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe?

Hypothese 3: Die Leistung wird trotz geringerer körperlicher Belastung nicht geschmälert.

6 Methodik

6.1 Probanden

Die Probanden sind allesamt Mitglieder des Amateursportclub 03 Brandenburg in der Abteilung Wasserball. Darüber hinaus sind sie männlich und betreiben die Sportart Wasserball seit mindestens 8 Jahren. Ein wichtiges Ausschlusskriterium war das Alter. Die Probanden sollten einerseits noch in der Lage sein das Training vollständig durchzuführen und andererseits nicht zu jung sein durften, als das ihre körperliche Entwicklung noch nicht ausreichend fortgeschritten war, wodurch es zu einer Verfälschung der Untersuchungsergebnisse kommen könnte. Aus diesem Grund befanden sich alle Probanden in einem Alter zwischen 16 und 36 Jahren. Des Weiteren wurden Sportler ausgeschlossen, die keine kontinuierliche Trainingsbeteiligung auf Grund von privaten Gründen versichern konnten, was eine Analyse der Trainingseffekte unmöglich machen würde. Das Gleiche galt für krankheits- oder verletzungsgeschädigte Athleten, da auch bei ihnen keine 100 prozentige Leistungsfähigkeit/Trainingsbeteiligung vorauszusetzen wäre. Jeder Proband musste darüber hinaus im regulären Ligabetrieb beteiligt sein und sollte ein ähnliches Trainingsniveau erreicht haben, um vereinzelte exponentielle Leistungszuwächse, aufgrund von einer zuvor eingelegten Pause, zu vermeiden. Um weitere Fehlerquellen zu minimieren wurde den Probanden verboten über die zwei studienrelevanten Trainingseinheiten pro Woche hinaus zu trainieren, egal ob es sich dabei um Schwimm-, Kraftsport oder andere sportspezifischen Aktivitäten handelte (allgemeine körperliche Aktivität im Rahmen des Sportunterrichts in der Schule oder durch körperlich sehr anstrengende Arbeit ausgeschlossen).

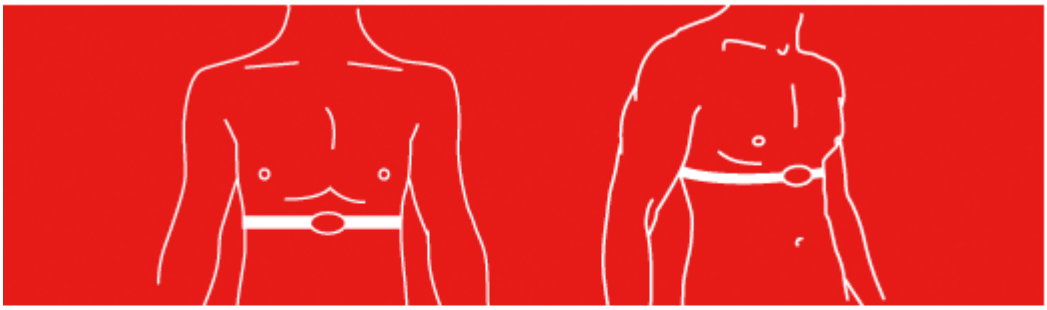
Unter diesen Voraussetzungen wurden in Verbindung mit dem Trainerstab aus dem 2. Liga-Team zwölf Probanden ausgewählt, die basierend auf ihrem Alter in zwei Gruppen unterteilt wurden. Dabei Betrug der Altersdurchschnitt in der ersten Gruppe 24,8±6,9 Jahre und in der zweiten 25,3±7,4 Jahre. Im weiteren Studienverlauf wurde die erste Gruppe als Versuchsgruppe und die zweite Gruppe als Kontrollgruppe angesehen. Dies wurde den Probanden allerdings nicht mitgeteilt, um einerseits keine individuellen Übermotivierungen oder Motivationsdefizite zu generieren, aber auch um einen möglichen Placebo-Effekt zu berücksichtigen. Der Trainingsplan wurde vor jedem Training mit den Trainern zusammen aufgestellt und in vier Abschwächungen vorbereitet, sodass die Zuteilung des Trainingspensums direkt nach der Messung der Vitalwerte geschehen konnte. Athleten, deren Funktionszustand vollkommende Bereitschaft signalisierte, absolvierten das Trainingspensum zu 100%, während Athleten mit einer moderaten Bereitschaft das Trainingspensum zu 70%, Athleten mit einer

geringen Bereitschaft nur 50% zu absolvieren hatten. Dabei wurden die Anpassungen über die Belastungsnominative Intensität, Umfang und Dichte getätigt. Kein Athlet hatte eine so ungenügende Bereitschaft, dass er das Training auslassen musste.
Nach einer muskulären Verletzung im Oberschenkel musste ein Proband aus der Versuchsgruppe die Studie vorzeitig abbrechen und wurde somit in der Auswertung nicht berücksichtigt. Elf Probanden konnten die Studie erfolgreich abschließen und bieten die Grundlage für die Ergebnisse und Diskussion dieser Arbeit.

6.2 Studiendesign

6.2.1 Forschungsmittel

Für die Studie wurden von Omegawave zwölf Messsysteme und von der Universität ein Messsystem samt iPad zur Verfügung gestellt. Ein Messsystem bestand dabei aus einem Omegawave BLE Sensor, einem EKG Brustgurt, einem DC-Kabel und mehreren Silberchlorid Klebeelektroden für EKG-Messungen. Die Brustgurtgrößen konnten dabei mit Hilfe der in Abbildung 4 dargestellten Tabelle, bestimmt werden.



Size	Range (mm)		Range (inches)	
0*	<421		<16,57	
1	421	447	16,57	17,6
2	448	473	17,64	18,62
3	474	501	18,66	19,72
4	502	536	19,76	21,1
5	537	578	21,14	22,76

Abbildung 4: Brustumfänge in mm und inches im Zusammenhang mit Brustgurtgrößen

Zusätzlich erhielten alle Teilnehmer der Studie die neuste Sportlerversion (Version 3.0.286) der Omegawave App und die damit verbundenen Lizenzen zum Durchführen der Messungen auf ihren mobilen Engeräten. Für die Organisation der Datenaufnahme wurde darüber hinaus eine Trainerversion der App (Omegawave Coach Plus) samt Lizenzen zur Verfügung gestellt. Dadurch bestand die Möglichkeit nicht nur Messungen

durchzuführen, sondern auch ein Team und eigene Profile für alle Probanden zu erstellen, was die Zuordnung zu den verschiedenen Trainingsplänen erheblich erleichterte. Die Messungen wurden an den beiden Trainingstagen jeweils zweimal (einmal morgens und einmal direkt vor dem Training) durchgeführt. Da aufgrund von technischen Schwierigkeiten zwischen den mobilen Endgeräten einiger Probanden und den BLE Sensoren, nicht alle Probanden in der Lage waren jeden Tag die Morgenmessung durchzuführen, wird sie in der Auswertung nicht berücksichtigt. Ein weiteres Forschungsmittel war indes die Schwimmhalle, welche über 50m Bahnen und eine konstante Wassertemperatur von 23°C verfügte. Dadurch konnten variable äußere Umwelteinflüsse minimiert und eine Trainingsstätte unter annähernd konstanten Bedingungen hergestellt werden.

6.2.2 Durchführung der Studie

Die Studie wurde im Zeitraum vom 17.11.2017 bis 22.12.2017 durchgeführt. Dabei wurden pro Woche zwei Trainingseinheiten angesetzt, die jeweils dienstags und freitags von 19:45 - 21:00 Uhr stattfanden. Die Messungen wurden in den ersten 15 Minuten des Trainings in der Schwimmhalle „Marienbad“ in Brandenburg a. d. Havel durchgeführt. Für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse war es sehr wichtig, dass die Messungen simultan stattfanden, damit alle Probanden während der Messung denselben Umwelteinflüssen unterlagen. Diese sind in einer Schwimmhalle nicht zu unterschätzen, da es einen erhöhten Geräuschpegel aufgrund von beispielsweise schreienden Kindern oder den Pfiffen anderer Trainer geben kann, was wiederrum der für die Messung notwendigen Entspannung entgegen wirkt. Allein wegen diesen Gründen konnten die optimalen Messempfehlungen von Omegawave nicht vollends erfüllt werden. Daraufhin legten sich alle Probanden nach dem Anfeuchten der Kontaktstellen des Brustgurtes nebeneinander und verbanden den Sensor mit dem Brustgurt und dem mobilen Endgerät. Daraufhin wurde das DC-Kabel an den Sensor angeschlossen und sowohl die Handinnenfläche der dominanten Hand als auch die Stirn gereinigt. Das Anbringen der Klebeelektroden wurde durch den Studienleiter begutachtet und gegebenenfalls variiert. Dabei war darauf zu achten das die Klebeelektrode der Stirn sauber, zentral über dem Frontallappen des Gehirns und ohne Faltenbildung der Haut aufgeklebt wurde. Die zweite Klebeelektrode sollte mittig auf dem Daumenballen der dominanten Hand angebracht werden. Es war darauf zu achten, die Elektrode möglichst nicht direkt über einer Ader zu befestigen, da sonst durch das pulsierende Blut eine erhöhte Messungenauigkeit resultieren könnte. Wenn alle Vorbereitungen für die Messungen getroffen wurden, gab es ein Signal vom Studienleiter woraufhin die Messungen auf dem mobilen Endgerät gleichzeitig gestartet wurden (siehe Anlage 5, Abbildung 10).

Während der Messung musste darauf geachtet werden, dass die dominante Hand mit der Elektrode offen liegen blieb und sich die Probanden, so gut es ihnen möglich war, entspannen sollten. Wenn die Messung eines Probanden beendet war (nach ca. 4 Minuten), wurden sie gebeten weiterhin liegen zu bleiben, da die Messdauer durchaus variierte und andere Probanden nicht gestört werden sollten. Im Anschluss wurden das allgemeine Wohlbefinden und die muskuläre Leistungsfähigkeit von den Probanden subjektiv eingeschätzt und mit einem Zahlenwert auf einer Borg-Skala verifiziert. Mittels der Trainerversion der Omegawave App konnten nun die Athleten den zugehörigen Trainingsplänen zu geordnet werden.

6.2.3 Durchführung des Pre- und Posttest

Wasserball ist eine sehr vielseitige und komplexe Schwimmsportart, bei der sowohl taktisches Verständnis und Können als auch körperliche Variabilität vonnöten ist. Physiologisch gesehen müssen Wasserballspieler einerseits sehr sprintstark sein, um das 30m Feld so schnell wie möglich durchqueren zu können und dem Gegner keine Räume zu bieten. Andererseits beträgt die durchschnittliche Spieldauer mit Unterbrechungen ca. 90 Minuten, wodurch die Ausdauerfähigkeit nicht zu vernachlässigen ist. Deshalb wurde sowohl die Sprint-, als auch die Ausdauerfähigkeit in den Pre- und Posttests überprüft. In dieser Studie wurde die kognitive Komponente des *Windows of Trainability*-Ansatzes, welche durch das DC-Potential erhoben wird, nicht gesondert getestet. Die für den Wasserballsport wichtige Schnelligkeit hängt von der Verarbeitungsgeschwindigkeit der Nerven ab und ist somit auch an die Leistungsfähigkeit des zentralen Nervensystems gebunden. Um den Sprinttest schnellstmöglich absolvieren zu können, muss eine möglichst hohe Bewegungsgeschwindigkeit und -frequenz erreicht werden, was eine hohe koordinative Anstrengung darstellt. Über diesen Weg wurde die kognitive Leistungsveränderung durch die Trainingsplanmodellierung mittels des Sprinttest indirekt untersucht.
Der Pre- beziehungsweise Posttest wurde nach einem vorher festgelegten Protokoll durchgeführt, was die Vergleichbarkeit der Daten gewährleisten sollte. Zu diesem Zweck wurde vor dem Pretest eine circa halbstündliche Einführung in die Thematik und das Messsystem vorgenommen. Daraufhin wurde das Testprotokoll angewendet, dem zufolge als erstes die gemeinsame Messung zu tätigen war. Nach dem alle Daten gesammelt wurden, hatten die Probanden 10 Minuten Zeit sich individuell schwimmspezifisch zu erwärmen. In Folge dessen wurden die Sprinttests in Sechser Gruppen durchgeführt, um Behinderungen durch andere Probanden auf den Schwimmbahnen zu umgehen. Im nächsten Schritt wurde eine sechsminütige Pause eingelegt in der sich die Sportler erholen beziehungsweise auf den nächsten Test

vorbereiten sollten. Darauffolgend wurde der 400m Test initiiert, bei dem die Probanden in Sechser-Gruppen (beziehungsweise beim Posttest in einer Fünfer und einer Sechser-Gruppe) und mit 30 Sek. Abstand starteten. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich vergleichbar schnelle Athleten auf einer Bahn befanden, um Zeitverlust bei wiederholten Überholvorgängen ausschließen zu können.

6.3 Datenaufnahme

Über das Omegawave Messsystem können eine Vielzahl an Parametern aufgenommen und bestimmt werden. Welche davon für den Ansatz der *Windows of Trainability* wichtig sind, wurde bereits in Abschnitt 4 erläutert. Weitere Daten, die aufgenommen wurden, sind im Anhang 3 in der Tabelle 7: Übersicht über die von Omegawave aufgenommenen Daten, zu finden. Zur Bestimmung des subjektiven allgemeinen und muskulären Befindens wurde für die Probanden eine modifizierte Borg-Skala angelegt und nach jeder Messung benutzt. Die Probanden wurden angeleitet, ihr momentanes allgemeines Befinden (sowohl gesundheitliche als auch psychologische Faktoren) mit einem Zahlenwert von eins bis zehn zu bewerten. Dies wurde ebenfalls für das muskuläre Befinden gemacht und in das Notizfeld der Messung eingefügt, wobei eins den optimalen und zehn den schlechtmöglichsten Zustand darstellte. Die Borg-Skala wurde, wie in Tabelle 3 dargestellt, aufgeteilt.

Tabelle 3: modifizierte Borg-Skala zur Befindensbewertung

Zahlenwert	**Befinden**
1	keinerlei Beschwerden, perfektes Gefühl, exzellenter Schlaf
2-3	kaum muskuläre Beschwerden, sehr gutes Gefühl, sehr gut geschlafen
4-5	alltägliche muskuläre Beschwerden, gutes Gefühl, normaler Schlaf
6-7	Muskelkater, schlechtes Gefühl, nicht gut geschlafen
8-9	starke Muskuläre Probleme, sehr schlechtes Gefühl, schlecht geschlafen
10	extreme Beschwerden, krankheitszustand, bettlägerig, extrem schlechter bzw. kein Schlaf

Es wurde versucht eine Vielzahl an situationsspezifischen Wortgruppen zu finden, um den Probanden die Zuordnung und die Eindeutigkeit der Zahlenwerte zu verdeutlichen. Darüber hinaus wurden die Schwimmzeiten des Ausdauer- und des Sprinttests aufgenommen.

6.4 Datenauswertung

Die Datenauswertung erfolgte mittels der Software *SPSS Statistics 24* von *IBM*. Durch einen Mittelwertvergleich der Ergebnisse aller Tests der Versuchs- und der Kontrollgruppe wurden die zu interpretierenden Ergebnisse erzeugt. Um die Signifikanz der Ergebnisse zu verifizieren wird ein Signifikanzniveau von 95% ($p > .05$ = signifikant) angelegt. Um das richtige Verfahren für die Signifikanzanalyse bestimmen zu können, wurde zunächst für den Test auf Normalverteilung ein Shapirow-Wilk Test durchgeführt. Auf einen Kolmogorov-Smirnov-Test wurde verzichtet, da dieser bei kleinen Stichproben sehr große Abweichungen benötigt, um die These einer Normalverteilung zu verwerfen (Ebermann, 2010). Basierend auf diesen Voruntersuchungen der Daten und einem Expertengespräch mit Prof. Dr. Blaser der Otto-von- Guericke-Universität, wurde für die Analyse zwischen den Gruppen der T-Test für unabhängige Stichproben und für die Untersuchungen innerhalb der Gruppen der T-Test für abhängige Stichproben verwendet. Im Nächsten Schritt wurde die Effektstärke über den Korrelationskoeffizienten (r) von Pearson bestimmt und über die Einteilung von Cohen (1992) interpretiert. Nach Cohen steht ein Koeffizient von $r = .10$ für einen schwachen, $r = .30$ für einen mittleren und $r = .50$ für einen starken Effekt.

7 Ergebnisse

Die Darstellung der Daten wurde mittels Microsoft Excel 2013 getätigt. In Tabelle 4 ist exemplarisch ein Ausschnitt der Trainingsplanmodellierung vom 15.12.2017 aufgeführt. In der linken Spalte sind in den verschiedenen Farben die unterschiedlichen Trainingsprogramme aufgeführt, mit den dazu gehörigen Gesamtwerten der Analyse (siehe Abschnitt 4.3 Windows of Trainability). In der Spalte Training befinden sich die verschiedenen Trainingspläne die wie in Abschnitt 6.1 erstellt und angepasst wurden. In der rechten Spalte wurden die Kürzel der Probanden eingetragen, je nachdem welche Bereitschaft sie erzielten. Allerdings konnten sie herunter gestuft werden, wenn ihr Kurvenverlauf des DC-Potentials sich nicht stabilisierte, weil die Omegawave Applikation momentan nur den Endwert der DC-Potential Analyse beurteilt und nicht den gesamten Kurvenverlauf. Insgesamt musste dadurch 42,22% des Trainings reduziert und wie in Tabelle 4 angepasst werden.

Tabelle 4: Auszug der Trainingsplanmodellierung

Datum: 15.12.2017	Training	Probanden
Programm 6/7	400m Einschwimmen 10x50m GA2 alle 60 Sek. 10x100m alle 105 Sek. 5x100m alle 90 Sek.	V2, V4, V5,V6
Programm 4/5	400m Einschwimmen 7x50m GA2 alle 60 Sek. 7x100m alle 105 Sek. 4x100m alle 90 Sek.	V1, V3
Programm 1/2/3	400m Einschwimmen 5x50m GA2 alle 60 Sek. 5x100m alle 105 Sek. 3x100m alle 90 Sek.	-
Programm 0	-	-

7.1 Grundlegende Ergebnisse

Alle Ergebnisse sind auf drei Stellen nach dem Komma genau, sollten weniger Nachkommastellen angegeben sein, so sind die fehlenden Positionen mit Null zu belegen.

Es bietet sich an auch die gesamte prozentuale Leistungsentwicklung der einzelnen Probanden zu betrachten. Zu diesem Zweck wurden die zeitlichen Differenzen der Pre- und Posttests der Athleten miteinander verrechnet und wie in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.

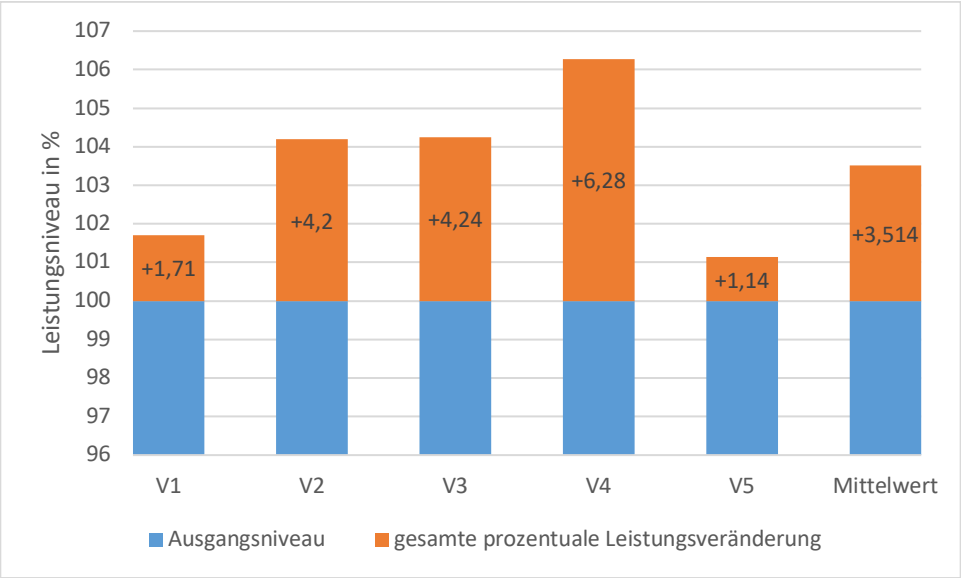


Abbildung 5: Prozentuale Veränderung des Leistungsniveaus der Versuchsgruppe

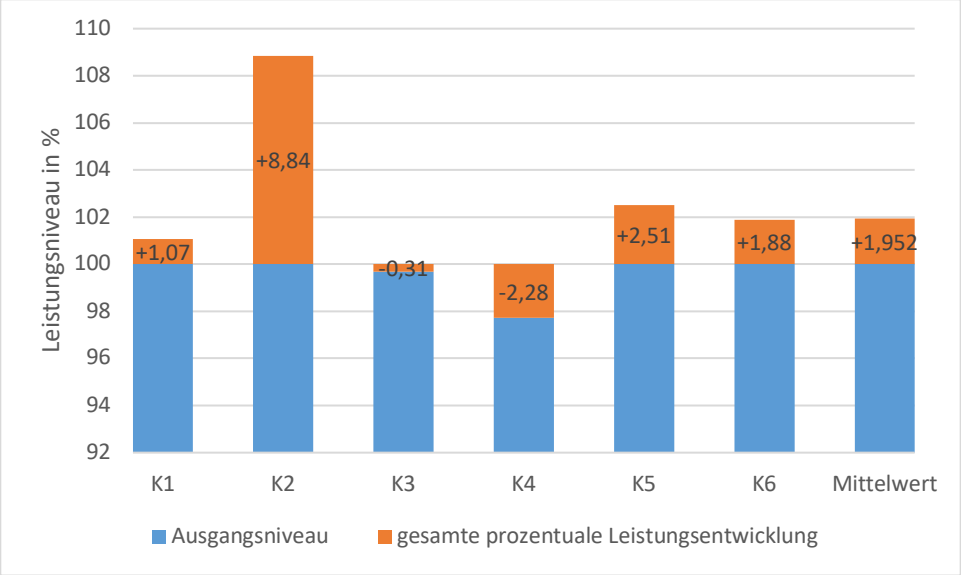


Abbildung 6: Prozentuale Veränderung des Leistungsniveaus der Kontrollgruppe

Ausgehend von einem individuellen Leistungsniveau von 100% zu Beginn der Studie, waren nach der Studie sowohl positive als auch negative Leistungsentwicklungen zu erkennen. Insgesamt gab es aber in beiden Gruppen einen positiven Trend von 3,514% in der Versuchsgruppe und 1,952% in der Kontrollgruppe. Die Differenz, um die sich die Versuchsgruppe prozentual mehr verbessert, hat liegt bei 1,562%.

Wie in Tabelle 5 dargestellt, wurden die Daten der Borg-Skala zusammengestellt und ausgewertet. Für die Skaleneinteilung gelten Werte von 1-10, wobei eins den bestmöglichen und zehn den schlechtesten Zustand beschreibt. Genauere Ausführungen, wie die einzelnen Werte beschrieben wurden, sind in Tabelle 3 zu finden.

Dabei stehen V1 – V5 für die Probanden der Versuchsgruppe und K1 – K6 für die Probanden der Kontrollgruppe. Die in den letzten beiden Spalten errechneten Mittelwerte des allgemeinen und muskulären Befindens beruhen auf allen subjektiven Einschätzungen.

Tabelle 5: Zusammenfassung der subjektiven Borg Skala Bewertungen

	Pretest		**Posttest**			
Probanden	allgemeines Befinden	muskuläres Befinden	allgemeines Befinden	muskuläres Befinden	Durchschnitt allgemeines Befinden	Durchschnitt muskuläres Befinden
V1	2	2	3	3	2,64	2,73
V2	6	3	3	3	3,45	2,91
V3	2	2	2	2	3,73	3
V4	4	5	4	4	4,64	4,18
V5	1	3	4	4	3,36	3,55
K1	3	3	3	4	3,45	3,27
K2	4	5	4	3	4,18	4,09
K3	3	5	6	7	4	4,55
K4	4	4	4	4	4,45	4
K5	2	3	4	4	3,91	3,73
K6	4	3	3	3	3,82	3,55

7.2 Statistische Auswertung

Zunächst wurden die Daten der Versuchsgruppe untereinander verglichen. Der Test auf Normalverteilung ergab für die Zeiten der Pre- und Posttests jeweils eine Signifikanz von p =,748 und p =,928, somit sind diese Ergebnisse p >,05 und normalverteilt. Die Zeiten der Ausdauer Tests hatten eine Signifikanz von p =,297 (Pretest) und p =,676 (Posttest), damit waren sie ebenfalls normalverteilt. Die Analyse der Daten der Kontrollgruppe ergab, dass der Sprint Pretest mit einer Signifikanz von p =,330 und der Sprint Posttest mit einer Signifikanz von p =,556 normalverteilt waren. Für die beiden Ausdauertests der Kontrollgruppe ergab der Shapirow-Wilk Test eine Normalverteilung mit einer Signifikanz von p =,805 für den Pretest und p =,867 für den Posttest. Die in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellten Mittelwerte, samt Standardabweichungen wurden für die Signifikanzanalyse der Gruppenergebnisse verwendet.

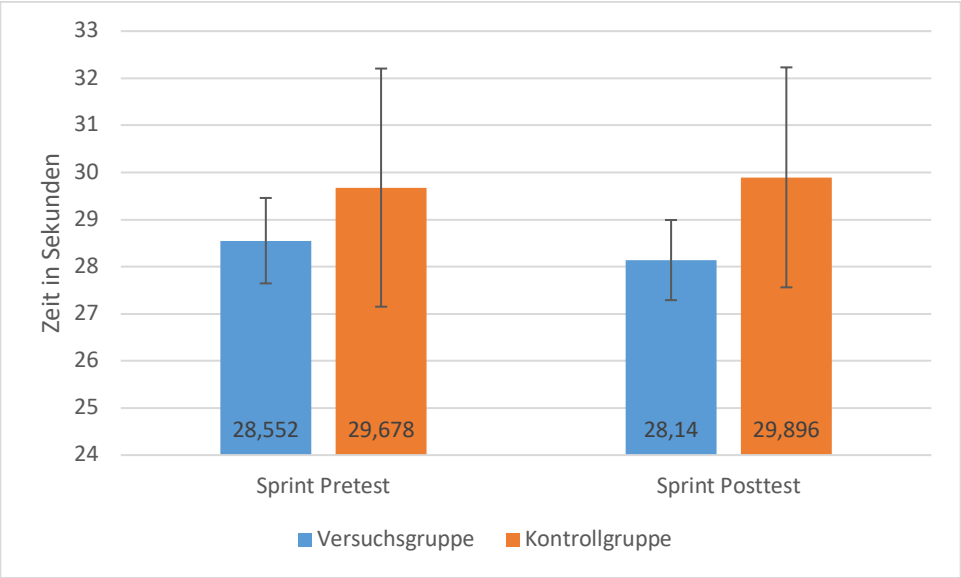


Abbildung 7: Mittelwerte des Sprinttests beider Gruppen in Sekunden mit Standardabweichungen

Sie werden aus Übersichtlichkeitsgründen in zwei getrennten Diagrammen dargestellt.

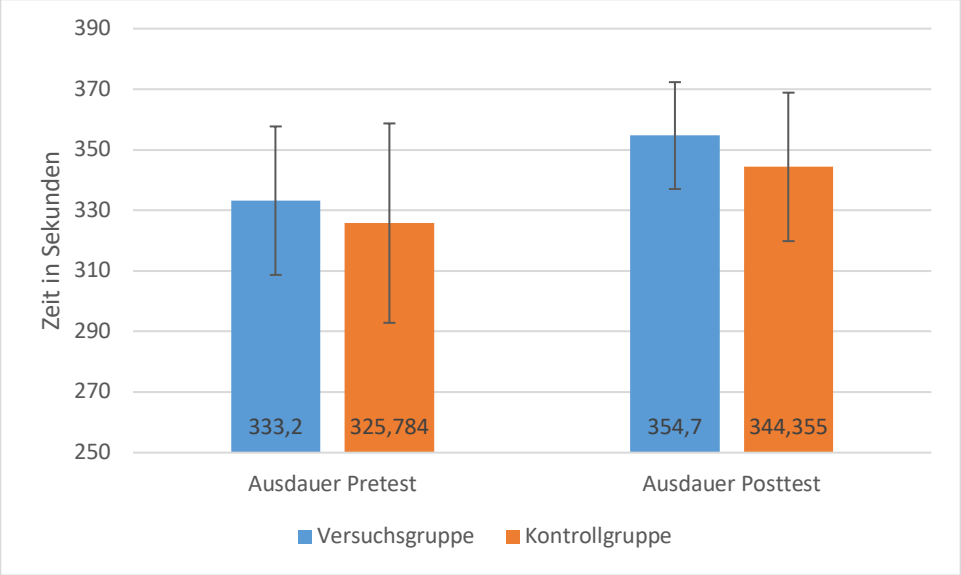


Abbildung 8: Mittelwerte der Ausdauertests beider Gruppen in Sekundenmit Standardabweichungen

Zur Interpretierung der Daten innerhalb der beiden Gruppen, wurde ein t-Test für abhängige Stichproben angewandt. Durch diese Betrachtung muss man schließlich schlussfolgern, das die Mittelwerte des Sprint Pre- und Posttests für die Versuchsgruppe, sich nicht signifikant unterscheiden (t = 1,325; p = ,256). Die gleiche Schlussfolgerung hat man auch nach der Analyse der Ausdauer Tests (t = 1,935; p = ,125). Der berechnete Korrelationskoeffizient nach Pearson mit der Einschätzung nach Cohen (1992) ergibt für die Effektstärke der Sprinttests einen starken Effekt (r = ,552) und für die Ausdauertests ebenfalls einen starken Effekt von r = ,695. Im Folgenden

wurden die Mittelwerte der Tests der Kontrollgruppe auf Signifikanz untersucht. Dabei fällt auf, das die Ergebnisse der Sprinttests zwar keine Signifikanz aufweisen (t = -,709; p = ,510), dagegen jedoch eine Signifikanz im Vergleich der Ausdauertests zu finden ist (t = 2,672; p = ,044). Eine mittlere Effektstärke von r = ,302 hatte das nicht signifikante Ergebnis der Sprinttests, wo hingegen die Signifikanz des Ausdauertests einem starken Effekt (r = ,767) entspricht. Zu diesem Zweck wird durch einen Levene-Test überprüft ob Varianzhomogenität (p >,05 = signifikant) vorliegt. Dies ist wie in Tabelle 6 unter Levene-Test und Signifikanz zu lesen, bei jedem Ergebnis der Fall.

Tabelle 6: Ergebnisse des Levene-Tests und des t-Test für unabhängige Stichproben

	Levene-Test		t-Test für unabhängige Stichproben	
Tests	F	Signifikanz	T	Signifikanz (2-seitig)
Sprint Pretest	2,530	,146	-,940	,372
Sprint Posttest	4,671	,059	-1,159	,147
Ausdauer Pretest	,043	,840	-1,204	,259
Ausdauer Posttest	,189	,674	-1,411	,192

Für den t-Test gilt, dass die Mittelwertvergleiche als signifikant anzusehen sind, wenn die Nullhypothese des Tests angenommen werden kann, also p <,05. Wie in der Spalte Signifikanz (2-seitig) zu erkennen ist, ist dies bei keinem der Testläufe der Fall gewesen. Sodass man schlussfolgern muss, dass kein überzufälliges Ergebnis durch die Anpassung des Trainingsplans mittels der Omegawave Coach+ Applikation generiert wurde. Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt für den Sprint Pretest bei r =,29 (mittlerer Effekt) und für den Posttest bei r =,36 (mittlerer Effekt). Für die Ausdauer liegt sie bei r =,37 für den Pretest und r =,43 für den Posttest, was ebenfalls mittleren Effekten entspricht.

Im Folgenden wurde die Borg-Skala ausgewertet. Es ergeben sich Mittelwerte für das allgemeine Befinden der Versuchsgruppe von 3,564 und für das muskuläre Befinden von 3,274. Welche im Vergleich zu den Werten der Kontrollgruppe von 3,968 für das allgemeine Befinden und 3,865 für das muskuläre Befinden, zwar geringer waren aber keine signifikanten Unterschiede boten. Die Signifikanz des Unterschiedes des allgemeinen Befindens lag bei p = ,251 mit einer Effektstärke von r =,379, was einem mittleren Effekt entspricht. Im Vergleich dazu lag die Signifikanz des muskulären Befindens bei p = ,092 mit einer Effektstärke von r =,532, was einem starken Effekt entspricht.

8 Diskussion

Ziel dieser Studie war es die Validität der Aussagen des *Windows of Trainability* Ansatzes für ihre Anwendung in der Sportart Schwimmen zu beurteilen. Dafür wurde das Training der Versuchsgruppe, nach Analyse des Funktionszustandes der Probanden angepasst und die Leistungsentwicklung in Pre- und Posttests begutachtet. Die Auswertung der Daten hat keine signifikanten Ergebnisse zur Folge gehabt, mit Ausnahme der Ausdauerleistung der Kontrollgruppe (p =,044). Es wurde eine starke Effektstärke bei dem Vergleich der Ausdauerleistung zu Beginn der Studie mit den Ergebnissen zum Ende festgestellt. Dieses Resultat lässt sich mit Blick auf die reinen Schwimmzeiten leicht erklären. Proband K2 verbesserte sich innerhalb der sechs Wochen um 25,07 Sek. in der 400m Strecke und erreichte so allein 40,76% der gesamten Leistungsveränderung der Kontrollgruppe in diesem Test. Zu Beginn der Studie war das Leistungsniveau dieses Probanden deutlich unter dem der anderen Athleten (65,47 Sek. über dem Mittelwert aller Probanden im Ausdauertest). Dieser enorme Unterschied an Entwicklungspotential schlägt sich besonders auf die Ergebnisse des Ausdauertests nieder. Untrainierte Personen können eine Sprintstrecke in vergleichbar kurzer Zeit absolvieren können, während die Möglichkeit eine Ausdauerstrecke überhaupt zu bewältigen eher beschränkt ist. Dies ist mit der durchschnittlich elfmal längeren Belastungszeit während des Ausdauertest der Fall. Bei zunehmender Belastungszeit wird der Unterschied im Leistungsniveau immer deutlicher, sodass die Auswirkungen in den Ergebnissen des Ausdauertests größer sind. Zudem wird die Fähigkeit dauerhaft einer Belastung standzuhalten auch bei dem häufigen absolvieren kürzerer Intervalle trainiert. Aufgrund dessen, dass sich die Probanden im Ligabetrieb befanden, konnte kein reines, intensives Sprinttraining initiiert werden, da wie in Abschnitt 6.2.3 erklärt die Ausdauerkomponente die wichtigere im Wasserballsport ist. Der in Tabelle 4 gezeigte exemplarische Auszug des Trainingsplans verdeutlicht, dass auch die sprintspezifischen Strecken von der Kontrollgruppe mit relativ vielen Wiederholungen absolviert wurden. Zusätzlich waren die Pausenzeiten nicht für ein Sprintfähigkeitstraining ausgelegt. Diese Feststellung wird davon unterstützt das sich fünf der elf Athleten über die 50m Sprintstrecke verschlechterten, während es bei dem Ausdauertest nur zwei Sportlern nicht gelang sich zu verbessern. Hottenrott & Hoos (2013) gehen für ein Sprintfähigkeitstraining von drei bis acht Wiederholungen mit drei bis sechs Minuten Pause aus.

Da die Einschätzung des Befindens durch die Borg-Skala sehr subjektiv ist und von dem Verständnis der einzelnen Abstufungen der Probanden abhängt, ist ein Vergleich zwischen den einzelnen Probanden nicht sehr aussagekräftig. Aus diesem Grund wurde die Bewertung vor dem Pretest, mit der Bewertung vor dem Posttest der einzelnen

Probanden verglichen. Auf diesem Weg konnte beurteilt werden, ob sich die Athleten gleichermaßen bereit für die Tests fühlten. Diese Daten sind in Tabelle 5 aufgeführt. Betrachtet man sie, ist zu erkennen, dass sich die Einschätzung des allgemeinen Befindens bei fünf der elf Probanden nicht verändert hat, während sie sich bei Vieren im Hinblick auf den Posttest verschlechtert und sich bei Zweien verbessert hat. Die Bewertung des muskulären Befindens ist sehr ähnlich. Auch hier haben sich die Einschätzungen zweier Probanden verbessert, bei vier Probanden hat sich nichts verändert und laut fünf Probanden war ihr muskuläres Befinden im Posttest schlechter als im Pretest. Insgesamt ließ sich eine leicht negative Tendenz der Befindensbewertung zum Posttest erkennen, wobei durchschnittlich die Bewertungen der Versuchsgruppe um 0,4 bzw. 0,59 besser waren. Dies würde bedeuten, dass sich die Probanden der Kontrollgruppe ohne eine Trainingsanpassung schlechter gefühlt haben, als die Personen der Versuchsgruppe. Allerdings können, wie eingangs schon erwähnt, in diesem Testdesign die Ergebnisse der Borg Skala nur bedingt zwischen den Probanden verglichen werden. Darüber hinaus waren keine Zusammenhänge zwischen der Leistungsveränderung und den Bewertungen des Befindens ersichtlich.

Die H2 Hypothese mit der Aussage: die Versuchsgruppe habe einen größeren Trainingseffekt als die Kontrollgruppe, musste verworfen werden. Als Folge dessen kann auch die H1 Hypothese welche die Validität der Aussagen des Omegawave Messsystems betrifft, nicht angenommen werden. Im Gegensatz dazu kann die H3 Hypothese, dass es keine Leistungsminderung der Versuchsgruppe im Gegensatz zur Kontrollgruppe gab, angenommen werden. Es ist bemerkenswert, das sich die Versuchsgruppe zwar nicht signifikant verbessern konnte, sie sich aber trotz der Anpassung von über 40% des Trainings nicht verschlechtert hat gegenüber der Kontrollgruppe. Es ist also zu erkennen, dass eine Analyse des Funktionszustandes des Körpers und die darauf basierende Anpassung des Trainingsplanes positive Effekte hat.

9 Schlussfolgerungen

Die Studie untersuchte die Anwendbarkeit des *Windows of Trainability* Ansatzes im Schwimmen. Hypothese 3 konnte angenommen werden, während Hypothese 1 und 2 verworfen werden mussten, wobei berücksichtigt werden sollte, dass diese Studie mit Limitationen behaftet war. Eines der größten Probleme war die geringe Anzahl an Teilnehmern, welche durch das Ausfallen eines Probanden noch weiter geschmälert wurde. Je kleiner die Stichprobe, desto unwahrscheinlicher ist es signifikante Ergebnisse herauszufinden und umso schwerwiegender sind Ausfälle unter den Probanden. Für weitere Forschungen auf diesem Gebiet wird eine deutlich höhere Anzahl an Probanden empfohlen. Es hat sich bereits eine Gruppengröße von 59 als aussagekräftig erwiesen (Morris, 2015). Ebenfalls wird empfohlen die Studie zu Beginn der Saisonvorbereitung der Athleten durchzuführen. Es sind deutliche höhere Leistungsveränderungen zu erwarten, welche die Unterschiede zwischen den Trainingsmethoden noch deutlicher zum Vorschein bringen sollten. Auf dem Niveau auf dem sich diese Probanden befanden, gibt es über den Sommer eine zweimonatige Trainingspause, um wieder neue Motivation für die kommende Saison zu sammeln. Resultierend daraus sinkt das Leistungsniveau relativ stark, weshalb in der Zeit der Saisonvorbereitung, eine enorme Leistungssteigerung zu erwarten ist. Als Studienbeginn ist jedoch der 17. November ausgegeben, sodass davon auszugehen war, dass die Probanden zu diesem Zeitpunkt die Saisonvorbereitung bereits abgeschlossen hatten und ein exponentielles Leistungswachstum nicht mehr zu erwarten war. In der Nachbereitung der Studie wurde festgestellt, dass der in Abschnitt 8 bereits angesprochene Proband K2 verletzungsbedingt die Vorbereitung nicht vollständig absolvieren konnte. Er hatte sein normales Leistungsniveau innerhalb der Saison noch nicht erreicht, weshalb er mit Abstand die größten Leistungsveränderungen zu verzeichnen hatte. Es sollte bei zukünftigen Arbeiten darauf geachtet werden, dass sich sämtliche Athleten auf demselben Niveau befinden, um derartige Ausbrüche zu minimieren. Weiterhin ist anzumerken, dass der Interventionszeitraum von sechs Wochen mit zwei Trainingseinheiten pro Woche relativ rar bemessen war. Vergleichbare Studien bevorzugten eine achtwöchige Intervention mit fünf Einheiten pro Woche (Morris, 2015). Auch auf diesen Punkt müssen zukünftige Arbeiten ein erhöhtes Augenmerk legen, da variable Trainingsanpassungen durch vermehrte Messungen leichter gesteuert werden können. Durch den Sprinttest und die damit verbundene hohe koordinative und zentralnervöse Leistung des Körpers, wurde die Veränderung der Kognition (welche durch das DC-Potential wiedergespiegelt wird), überprüft. Jedoch ist es empfehlenswert in weiteren Arbeiten einen direkten sportartspezifischen Kognitionstest durchzuführen. Im Falle des Sportes Wasserball könnte das beispielsweise durch Torwandwerfen

geschehen, bei dem in bestimmter Reihenfolge, verschiedene Bereiche des Tores angespielt werden sollen.

Um den positiven Effekt der Trainingsplananpassung auf das individuelle Befinden zu untersuchen, welcher sich in Tendenzen in dieser Arbeit angezeigt hat, sind weitere gezielte Arbeiten nötig. Es sollte versucht werden ein objektives Bewertungssystem für den muskulären und allgemeinen körperlichen Zustand zu finden, sodass alle Probanden im exakt selben Maßstab verglichen werden können. Beispielsweise könnten dazu die Messdaten des Omegawave Systems verwendet werden. Darüber hinaus wäre es aus sportpsychologischer Sicht sicherlich interessant, herauszufinden wie sich die Trainingsbereitschaft bei reduziertem Trainingsvolumen gegenüber anderen Sportlern verhält.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich der *Windows of Trainability* – Ansatz für die Überprüfung des momentanen Funktionszustandes von Athleten und die damit verbundene Trainingsplangestaltung durchaus eignen kann. Von der Anwendung kann basierend auf den nicht signifikanten Ergebnissen dieser Studie nicht grundlegend abgeraten werden, da sie unter größeren Limitationen litt. Das Omegawave Messsystem bildet ein schnelles und hilfreiches Mittel für außenstehende die Leistungsfähigkeit eines Sportlers zu beurteilen. Die Versuchsgruppe hatte sich im Schnitt um rund 1,562% mehr verbessert als die Kontrollgruppe, trotz des reduzierten Trainingsumfangs, auch wenn diese Ergebnisse nicht signifikant sind. Für weitgreifende Aussagen sind weitere Forschungen auf diesem Gebiet nötig.

10 Bildnachweis

Abbildung 1 https://support.polar.com/e_manuals/V800/Polar_V800_user_manual_Deutsch/Content/R-R%20Recording.htm, letzter Zugriff 25.06.2018

Abbildung 2 Haschke & Speckmann, Slow Potential Changes in the Brain, 1993

Tabelle 1 Fomin & Nasedkin, Coach's Handbook, 2014

Tabelle 2 Fomin, Literature Review Of Omegawave Methods - Part 1, 2013

Abbildung 3 Unveröffentlichtes Anleitungsmaterial von Omegawave, 2018

Abbildung 4 https://shop.omegawave.com/belt-sizes, letzter Zugriff 09.04.2018

11 Literaturverzeichnis

Aladzhalova, N. (1958). Very Slow Rhythmic Variations In The Potential Of The Nuclei Of The Hypothalamus And The Thalamus.

Altenmüller, E., Marckmann, G., Uhl, H., Kahrs, J., & Dichgans, J. (1993). DC-Potentiale zeigen entwicklungsabhängige Änderungen kortikaler Aktivierungsmuster während Sprachverarbeitung. *EEG-EMG Zeitschrift fur Elektroenzephalographie Elektromyographie und Verwandte Gebiete,24 (1)*, S. 41-48.

Amstein, T. (2018). *Unveröffentlichtes Anleitungsmaterial von Omegawave.*

Anochin, P. K., Haschke, W., & Sudakow, K. V. (1978). *Beitrage zur Allgemeinen Theorie des Funktionellen Systems.* Jena: Fischer Verlag.

Baba-Zade, A. A., Ozolin, N. N., Fokin, V. F., Klimenko, L. L., & Konkova, A. F. (1989). Brain DC potential analysis as a method for monitoring the athletes' state. *Theory and Practice of Physical Education, 42-44*.

Baevskii, R. M., & Motylyanskaya, R. E. (1986). Heart rate in athlete. *Physcial Education and Sports*.

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin, 122*, 155-159.

Csapo, R., Gormasz, C., Proietti, R., & Baron, R. (2008). Omegawave Sport Technology® – Neue Wege der Leistungsdiagnostik. *Österreichisches Journal für Sportmedizin,38 (1)*, S. 15-24.

Davis, H., Davis, P. H., Loomis, A. L., Harvey, E. N., & Hobart, G. (1939). Journal of Neurophysiology 2 - Electrical reactions of the human brain to auditory stimulation during sleep .

Draghici, A. E., & Taylor, J. A. (2016). The physiological basis and measurement of heart rate variability in humans. *Journal of Physiological Anthropology, 35 (22)*.

Dushanin, S. A. (1986). A system for multifactor express diagnostics of athletes' functional preparedness with medical and methodological monitoring and supervision.

Ebermann, E. (18. Juni 2010). Von Strategien für vernetztes Lernen: https://www.univie.ac.at/ksa/elearning/cp/quantitative/quantitative-62.html abgerufen

Fomin, R. (2013). Literature Review Of Omegawave Methods - Part 1. 1-36.

Fomin, R., & Nasedkin, V. (2013). White Paper - Effectiv Management Of Athlete Preparation. 1-32.

Fomin, R., & Nasedkin, V. (2014). Coach's Handbook.

Fomin, R., & Nasedkin, V. (2016). Re-Defining Readiness and Performance.

Grässler, B. (unveröffentlicht). *Untersuchung physiologischer und kognitiv-mentaler Leistungsdeterminanten zur Bestimmung der physischen und kognitiven Leistungsfähigkeit von Senioren.*

Haschke, W., & Speckmann, E.-J. (1993). Slow Potential Changes in the Brain.

Hintenberger, T., Houtkooper, J., & Kotchoubey, B. (2004). Effects Of Feedback Control On Slow Cortical Potentials And Random Events. *Parapsychological Association Convention*.

Hottenrott, K., & Hoos, O. (2013). Sportmotorische Fähigkeiten und sportliche Leistungen – Trainingswissenschaft.

Ilyukhina, V. (2011). Continuity and Prospects of Research in Systemic Integrative Psychophysiology of Functional States and Cognitive Activity. *Human Physiology*, 484-499.

Ilyukhina, V. (2013). Ultraslow Information Control Systems in the Integration of Life Activity Processes in the Brain and Body. *Human Physiology, 39*, S. 114-126.

Ilyukhina, V. A., & Zabolotskikh, I. B. (1993). Energy-deficient states of the healthy and unhealthy human brain.

Ilyukhina, V. A., & Zabolotskikh, I. B. (2000). Physiological basis of differences in the body tolerance to submaximal physical load to capacity in healthy young individuals. *Human Physiology 26*, S. 330-336.

Ilyukhina, V., & Chernysheva, E. (2007). *Psychophysiological Mechanisms of Cognition Disorders and Optimization of Their Correction: I. Psychophysiological Effects of Transcranial Micropolarization Used as a Corrective Therapy for Different Disturbances in the Control of Wakefulness, Emotions,..* St. Petersburg.

Ilyukhina, V., Kozhushko, N., & Bokarius, V. (1995). NEUROPHYSIOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE FEATURES OF THE STATE AND PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF SOME STRUCTURES OF THE STRIOPALLIDIYM AND THALAMUS IN VARIOUS FORMS OF PARKINSONISM. In *Neuroscience and Behavioral Physiology, Vol. 25, No. 2.*

Ilyukhina, V., Sychev, A., Shcherbakova, N. I., Jaryshev, G. I., & Denisova, V. V. (1982). The omega-potential: a quantitative parameter of the state of brain structures and of the individual. *Human Physiology, 8 (5)*, S. 721-733.

Kara, O. (2017). BrainFitness – Balance Focus Calm.

Khabibullina, I. R., Shayakhmetova, E. S., & Masyagutova, L. M. (2009). The physiological basis of long-term adaptation of combat athletes to intense physical loads. *Chelyabinsk State Teacher Training University Bulletin*, S. 320-327.

Krivoshchapova, M. N., & Ilyukhina, V. (2005). Age-Related Specificity of the Frontal and Temporoparietal Cortex Activation Levels in Three- to Seven-Year-Old Children. In *Human Physiology, 2006, Vol. 32,* (S. 47-58). Pleiades Publishing, Inc.

Lindner, B. (2018). Biological Cybernetics - Advances in Computational Neuroscience.

Morris, C. (2015). *The Effect of Fluid Periodization on Athletic Performance Outcomes in American Football Players.* University of Kentucky.

Sammito, S., & Böckelmann, I. (2014). *Analyse der Herzfrequenzvariabilität - Mathematische Basis und praktische Anwendung.* Urban & Vogel.

Selye, H. (1950). Stress and the General Adaptation Syndrome. *British Medical Journal*.

Struganov, S. M. (2007). *Rational planning of the training process at the special stage of elite marathon runners' training.*

12 Anhang

Anlage 1: Kurvenverläufe der Studie von Kara (2017) ……...…41

Anlage 2: Formel zur Amplituden-Frequenz Analyse von EKG……..41

Anlage 3: Übersicht über die von Omegawave aufgenommenen Parameter, Definitionen und Einheiten…….42

Anlage 4: Mathematische Beschreibung der Herzfrequenzvariabilität nach Sammito & Böckelmann, 2014, S. 79-80……..44

Anlage 5: Beispielhafte Messung der Omegawave Daten in der Trainingstätte.....……45

Anlage 6: ERKLÄRUNG des Studierenden……...45

Anlage 1: Kurvenverläufe zur Studie von Kara (2017)

In Graph A ist die Messung durch das Omegawavesystem und in Graph B die Messung durch das Mitsar-202-EEG System dargestellt.

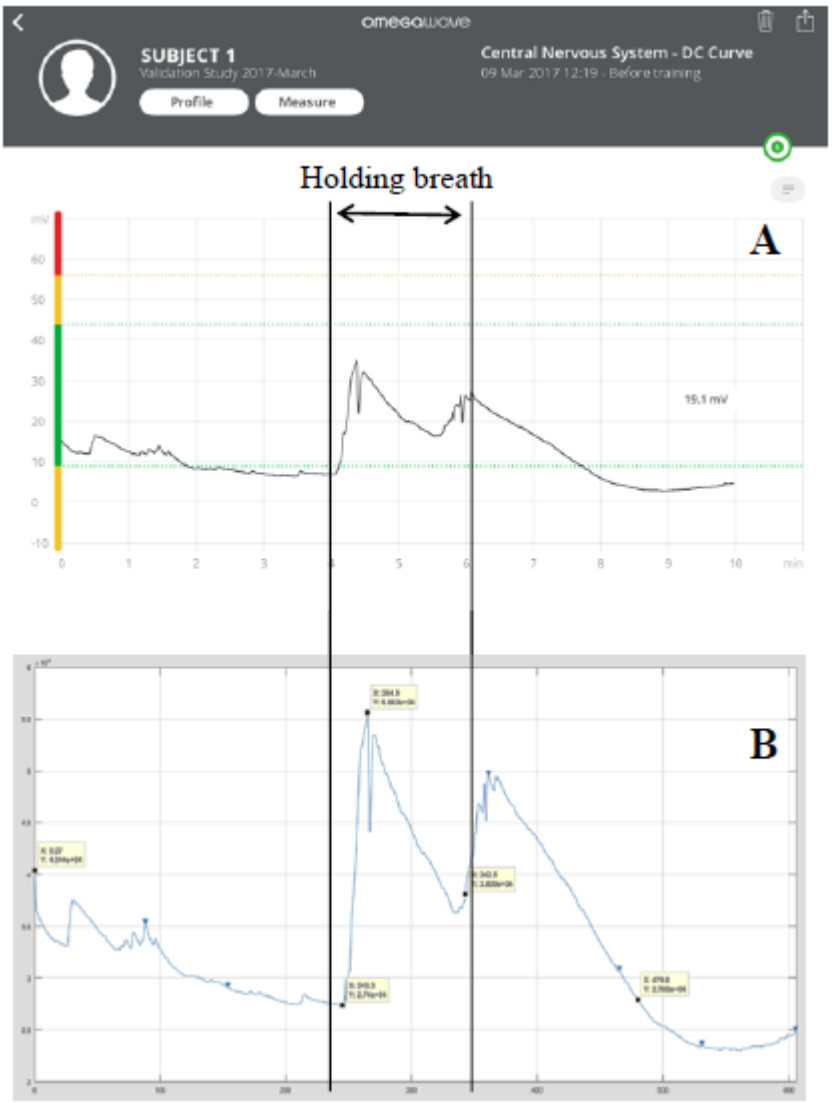


Abbildung 9: DC-Potential Graphen während des Atemhalten Tests

Anlage 2: Formel zur Amplituden-Frequenz Analyse von EKG

Laut Fomin beruhen das Berechnungsmodell von Omegawave zur Amplituden Frequenz Analyse auf folgender Formel: $\frac{R*100\%}{R+S}$

Dabei stehen R und S für die Amplituden des Herzschlages, welche den Zustand des Na-Ionenkanals der Myokardzellmembran durch Messung seiner Geschwindigkeit während der Null- (Anfangs-) Phase wiederspiegeln.

Anlage 3: Übersicht über die von Omegawave aufgenommenen Parameter, Definitionen und Einheiten (Morris, 2015)

Tabelle 7: Übersicht über die von Omegawave aufgenommenen Daten

Variable Name	Definitions	[….]	Units
Stress Index	The level of tension in the cardiac system in response to physical and mental loads	[….]	Relative/7
Fatigue	The temporary state of the cardiac system that occurs during prolonged work that leads to a decrease in the effectiveness of the work		Relative/7
Adaptation Reserves	A measure of how long and effectively the cardiac system can express the ability to adapt to external stimuli		Relative/7
Activity of Vagus Regulatory Mechanisms	Indicates the current activation level of the parasympathetic nervous system's regulation of the cardiac system, which serves to maintain homeostasis and restore the functionality of the body after load		Sec
Activity of Sympathetic Regulatory Mechanisms	Indicates the current activation level of the sympathetic nervous system's regulation of the cardiac system.		%
Tension Index	The level of tension in the cardiac system in response to physical and mental loads. Reflects the level of centralization of heart rhythm regulation. Centralization involves increased involvement of central levels of regulation and a decreased level of autonomic regulation of heart rhythm.		Relative
Standard Deviation of the Aspirate Waves	Reflects the level of automatization of heart rhythm regulation. Automatization involves a predominance of autonomic regulation and a decreased responsibility of central levels of regulation.		Relative
Share of the Aperiodic Influences	Reflects the level of random and aperiodic activity that influences heart rhythm. Slow waves reflect activation of the central circuit and a predominance of activity in the cardio-stimulatory center (which is part of the medulla). Ex: over-trained athletes express slow waves in a significant manner.		Sec
Standard Deviation Normal to Normal	Standard deviation of the full array of cardio intervals. Reflects the total effect of autonomic regulation.		ms
Standard Deviation of Successive Differences	Standard deviation of differences between adjacent normal to normal intervals.		ms
Root of the Mean Square of the Difference of Successive Intervals	The square root of the sum of differences of a sequential series of cardiointervals. Reflects the parasympathetic activity.		ms

Total Power TP	Variance of all normal-to-normal intervals, ≤0.4 Hz. Reflects the level of activity of regulatory system.		ms2
Low Frequency/High Frequency Ratio	Ratio between low and high frequency components. Reflects the Sympathetic-Parasympathetic Balance. Ratio LF [ms2] / HF [ms2]		….
High Frequency	Power in high frequency range 0•15–0•4 Hz. Reflects the parasympathetic activity.		ms2
High Frequency (Normalized Units)	LF power in normalised units LF/(Total Power–VLF) x 100, n.u.		Normalized Units
Low Frequency	Power in low frequency range 0•04–0•15 Hz. Reflects the sympathetic activity.		ms2
Low Frequency (Normalized Units)	LF power in normalised units LF/(Total Power–VLF) x 100, n.u.		Normalized Units
Very Low Frequency	Power in very low frequency range ≤0•04 Hz. Reflects the humoral activity.		ms2

Anlage 4: Mathematische Beschreibung der Herzfrequenzvariabilität

Tab. 1 Mathematische Beschreibung der Herzfrequenzvariabilität (HRV)

Analyse	Methode	Variabilitätsmaß	Andere Bezeichnung	Mess-einheit	Definition und Erklärung
Zeitbezogene („time domain")	Statistisch	SDNN	RRSD, SD, SDRR	ms	Standardabweichung der NN-Intervalle im Messzeitbereich („standard deviation of NN intervals"); frequenzabhängiger Indikator für die Höhe der Gesamtvariabilität (hohe SDNN → hohe HRV, niedrige SDNN → niedrige HRV)
		SDANN		ms	Mittelwert der Standardabweichungen aller konsekutiven 5-min-NN-Intervalle; zur Abschätzung der HRV bei Langzeitmessungen
		RMSSD	R-MSSD, rMSSD	ms	Quadratwurzel des Mittelwerts der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen; Parameter der Kurzzeitvariabilität; zur Betrachtung des parasympathischen Einflusses
		SDNN-Index		ms	Mittelwert der Standardabweichung von allen normalen NN-Intervallen von 5-min-Segmenten aus der 24-h-EKG-Aufzeichnung; keine klare Zuordnung
		NN50		k. E.	Anzahl der Paare benachbarter NN, die mehr als 50 ms voneinander abweichen; zeigt den parasympathischen Einfluss
		pNN50		%	Prozentsatz aufeinanderfolgender NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen; ein hoher pNN50-Wert bedeutet hohe spontane Änderung der Herzschlagfrequenz; zur Betrachtung des parasympathischen Einflusses
	Geometrisch	HRV-Triangularindex		k. E.	Integral der Dichteverteilung [Anzahl aller NN-Intervalle, dividiert durch das Maximum (Höhe) der Dichteverteilung] bzw. Quotient aus der absoluten Anzahl der NN-Intervalle zur Anzahl der modalen NN-Intervalle; keine klare Zuordnung
		TINN		ms	Länge der Basis des minimalen quadratischen Unterschieds der triangulären Interpolation für den höchsten Wert des Histogramms aller NN-Intervalle; keine klare Zuordnung
Frequenzbezogene („frequency domain")	FFT („Fast-Fourier"-Transformation) und autoregressives (AR-) Modell	„Total power"	TP	ms^2	Gesamtleistung oder gesamtes Spektrum; „total power" entspricht Energiedichte im Spektrum von 0,00001 bis 0,4 Hz; Parameter der Gesamtvariabilität
		ULF		ms^2	„Ultra very low frequency"; Leistungsdichtespektrum unter 0,003 Hz, Periodendauergrößer als 5:30 min
		VLF		ms^2	„Very low frequency"; Leistungsdichtespektrum von 0,003 bis 0,04 Hz, Periodendauer von 25 s bis 5:30 min
		LF	B-Band	ms^2	„Low frequency power"; Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,04 bis 0,15 Hz, Periodendauer von 7 bis 25 s; daran ist sowohl der Sympathikus als auch der Parasympathikus beteiligt, wobei der Anteil des Sympathikus überwiegt
		HF	C-Band, respiratorische Sinusarrhythmie, Atmungsband	ms^2	„High frequency power"; Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,15 bis 0,40 Hz, Periodendauer 2,5 bis 7 s; zeigt ausschließlich den parasympathischen Stimmungsanteil
		LF nu	LF n.U.	nu	"Low frequency normalized unit"; entspricht LF/("total power" - VLF) × 100
		HF nu	HF n.U.	nu	"High frequency normalized unit"; entspricht HF/("Total-power" - VLF) × 100
		LF/HF	Quotient aus LF und HF; LF/HF-Ratio		Quotient der sympathovagalen Balance; als Wert des Zusammenspiels von Parasympathikus (HF) und Sympathikus (LF) LF/HF ↑ = Sympathikus ↑ (Sympathikusaktivität steigt an) LF/HF ↓ = Parasympathikus ↑
		VLF-Peak		Hz	"Very low frequency peak"; Frequenzgipfel im VLF-Band; Thermoregulations-Peak
		LF-Peak		Hz	"Low frequency peak": Frequenzgipfel im LF-Band; Baroreflex-Peak
		HF-Peak		Hz	"High frequency peak"; Frequenzgipfel im HF-Band; respiratorischer Peak

Tab. 1 Mathematische Beschreibung der Herzfrequenzvariabilität (HRV) (Fortsetzung)

Analyse	Methode	Variabilitätsmaß	Andere Bezeichnung	Mess-einheit	Definition und Erklärung
Nichtlineare	Poincaré-Plot	DL	D_L, Lorenz-Länge	ms	Länge des Längsdurchmessers der 95%-Vertrauensellipse; beschreibt die Langzeitabweichung der Herzschlagfrequenz
		DQ	D_Q, DW, Lorenz-Breite	ms	Länge des Querdurchmessers der 95%-Vertrauensellipse; beschreibt kurzzeitige Änderungen der Herzschlagfrequenz
		SD1	SDQ, SDw, stdb, SO_D, SD-quer, SO_W	ms	Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser; quantifiziert die spontane (kurzzeitige) Variabilität
		SD2	SDL, SD-längs, stda, SO_L	ms	Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser; beschreibt langfristige HRV-Änderungen
	„Detrended-fluctuation"-Analyse (DFA) oder trendbereinigende Fluktuationsanalyse	DFA1	Alpha 1	k. E.	Grad der Zufälligkeit/Korreliertheit; reicht von 0,5 (zufällig) bis 1,5 (korreliert) mit Normalwerten um 1,0; wird häufig als nichtlinearer Parameter für kurze NN-Intervall-Daten genutzt
		DFA2	Alpha 2	k. E.	Wird häufig als nichtlinearer Parameter für längere RR-Intervalle genutzt; reduzierte Werte sind assoziiert mit einer schlechten Prognose

k. E. keine Einheit, *NN* Abstand zweier Herzschläge („normal to normal"), *RR* Abstand zweier Herzschläge (R-Zacken im EKG).

Anlage 5: Beispielhafte Messung der Omegawave Daten in der Trainingsstätte

Abbildung 10: Probanden während der Messung zu Trainingsbeginn

Anlage 6: ERKLÄRUNG des Studierenden

Name: Theuer Vorname: Johannes

geb. am: 23.10.1995 Matrikel-Nr.: 206922

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit „Validierung der Anwendbarkeit des „Windows of Trainability“™-Ansatzes zur Bestimmung der aktuellen Trainingsbereitschaft im Schwimmen“, selbständig verfasst wurde, dass keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt wurden und dass die Stellen der Arbeit, die aus fremden literarischen Werken oder Darstellungen wissenschaftlicher oder technischer Art übernommen wurden, einschließlich der in den elektronischen Medien veröffentlichten Quellen, unter Hinweis auf die Quelle gekennzeichnet wurden.

Mir ist bekannt, dass Verstöße gegen das Urheberrecht, Unterlassungs- und Schadensersatzansprüche des Urhebers sowie eine strafrechtliche Ahndung durch die Strafverfolgungsbehörden begründen kann.

Magdeburg, den 01.10.2018

_____

Unterschrift