DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Auswirkung eines vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung“

verfasst von / submitted by

Mathias Schmollmüller

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet:	A 190 482 299
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Diplomstudium UF Bewegung und Sport, UF Psychologie und Philosophie
Betreut von / Supervisor:	emer. o. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bachl

Zusammenfassung

Zielsetzung High-Intensity Training wie auch semispezifische Trainingsprogramme sind regulärer Bestandteil leistungsorientierten Schwimmtrainings, wissenschaftliche Belege über kombinierte Interventionen beider Methoden sind jedoch weitestgehend begrenzt. Ziel der vorliegenden Studie war es, die Auswirkungen eines vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Trainings am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung von Freizeitathleten und Freizeitathletinnen zu untersuchen.

Methodik 24 sportlich aktive Studenten und Studentinnen (13 männlich, 11 weiblich) wurden auf zwei randomisierte Gruppen aufgeteilt: eine Interventionsgruppe (n = 14) und eine Kontrollgruppe (n = 10). Die Experimentalgruppe absolvierte ein über vier Wochen andauerndes semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer bestehend aus zwei Trainingseinheiten pro Woche. Alle Probanden und Probandinnen wurden zu Beginn und am Ende der Studie evaluiert. Als Ergebniswerte wurden die Schwimmleistung über 100 und 300 Meter, die durchschnittliche Wattleistung sowie die Zugfrequenz herangezogen.

Ergebnisse Es wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den durchschnittlichen Wattleistungen der Interventions- und der Kontrollgruppe beobachtet. Keine signifikanten Veränderungen wurden hinsichtlich der Schwimmleistungen und der Zugfrequenz festgestellt, die Interventionsgruppe zeigte im Vergleich zur Kontrollgruppe lediglich einen minimalen Trend zur Leistungssteigerung in Bezug auf die Schwimmzeiten.

Conclusio Ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer bestehend aus zwei Trainingseinheiten pro Woche führt zu einer Steigerung der durchschnittlichen Wattleistung bei Freizeitathleten und Freizeitathletinnen. Die Ergebnisse der Untersuchung belegen gleichzeitig jedoch keine Verbesserung der Schwimmleistungen, obwohl ein leichter Trend zur Leistungssteigerung durchaus feststellbar ist.

Schlüsselwörter: High-Intensity Training, Schwimmergometer, Schwimmleistung, Hobby- und BreitensportlerInnen

Abstract

Objective High-intensity training as well as semispecifc training programmes are common practice in swimming training, though scientific evidence regarding combinated interventions between those two methods is limited. The primary concern of this research was to examine the effects of a four-week semispecific high-intensity training on the swimming performance of recreationally active students.

Methods Twenty-four recreationally active students (13 male, 11 female) were randomly divided into two groups: the dry-land high-intensity group (n = 14) and the control group (n = 10). The experimental group underwent a four-week semispecific high intensity training program on a swim ergometer consisting of two sessions per week. The subjects were evaluated before the training intervention and at the end of the training program. The outcome values ascertained were performance during 100m and 300m front crawl, tethered swimming force and stroke rate.

Results Significant differences in tethered swimming between the dry-land high-intensity group and the control group were observed. No significant differences in performance during 100m and 300m front crawl and stroke rate were found, though the experimental group improved tethered swimming force and swimming performance more than the control group.

Conclusion A two-weekly semispecific high-intensity training over four weeks increases tethered swimming force in recreationally active students. However, the main findings can not clearly state that semispecific high-intensity training allowed an enhancement in swimming performance, although a tendency to improve swimming performance due to dry-land high-intensity training was noticed.

Keywords: high-intensity training, swim ergometer, swimming performance, recreationally athletes

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 8

1 Einleitung 9

2 Theoretische Grundlagen der sportmotorischen Ausdauer 13

2.1 Definition und Differenzierung der sportmotorischen Ausdauer 13

2.1.1 Begriffsbestimmung 13

2.1.2 Differenzierung des Ausdauerbegriffes 15

2.2 Methoden und Inhalte des Ausdauertrainings 19

2.2.1 Dauermethode 19

2.2.2 Intervallmethode 22

2.2.3 Wiederholungsmethode 24

2.2.4 Wettkampf- oder Kontrollmethode 26

2.3 Objektivierung und Diagnostik der Ausdauerleistungsfähigkeit 27

2.3.1 Methoden der aeroben Leistungsdiagnostik 27

2.3.2 Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik 29

3 Forschungsstand und Analyse vorhergehender Publikationen 33

3.1 High-Intensity Training 33

3.1.1 High-Intensity Training im Breiten- und Leistungssport 35

3.1.2 High-Intensity Training im Schwimmsport 37

3.2 Semispezifisches Training im Schwimmsport 41

3.2.1 Semispezifisches Training mit Gewichten 42

3.2.2 Semispezifisches Training am Schwimmergometer 48

3.3 Schwimmspezifisches Widerstandstraining 51

4 Empirische Studie am ÖISM und USZ 58

4.1 Studiendesign 58

4.2 Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen 61

4.3 Datenerhebung 63

4.4 Durchführung der High-Intensity-Trainingseinheiten 67

5 Statistische Datenanalyse und Ergebnisse 70

5.1 Analyse und Resultate der Schwimmleistungen 72

5.2 Analyse und Resultate der durchschnittlichen Wattleistungen 75

5.3 Analyse und Resultate der durchschnittlichen Zugfrequenzen 77

5.4 Analyse und Resultate der Critical Power und W‘ 80

5.5 Korrelationen zwischen den Schwimm- und Wattleistungen 84

6 Diskussion und Fazit 88

6.1 Schwimmleistungen über 100- und 300-Meter 88

6.2 Leistungen am Schwimmergometer 91

6.3 Durchschnittliche Zugfrequenz über 100- und 300-Meter 95

6.4 Critical Power und W‘-Werte 96

6.5 Korrelation zwischen Schwimm- und Wattleistung 97

6.6 Limitationen 98

6.7 Fazit 98

Literaturverzeichnis 100

Tabellenverzeichnis 114

Abbildungsverzeichnis 115

Anhang 117

Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie 117

Einwilligungserklärung 122

Curriculum Vitae 123

Eidesstattliche Erklärung 125

Vorwort

Im Rahmen meines Studienabschlusses an der Universität Wien möchte ich hiermit die Gelegenheit ergreifen, um folgenden Personen und Persönlichkeiten meine tiefste Anerkennung auszusprechen.

Zuerst ist es mir ein großes Anliegen emer. o. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bachl sowohl für die Überlassung des Themas dieser Diplomarbeit, als auch für die dadurch gewonnenen Einblicke in die empirische Forschung an der Universität Wien zu danken.

Besonderer Dank gilt Mag. Bernhard Koller-Zeisler und Dr. Christoph Triska, BSc MSc, für deren unentwegte Unterstützung während der Planung und Realisierung dieses Forschungsprojektes. Vielen Dank für die effiziente Zusammenarbeit.

Danken möchte ich außerdem allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Studie, ohne der Bereitschaft und Partizipation die Entstehung sowie Verwirklichung dieses Projektes nicht möglich gewesen wäre.

Ich bedanke mich zudem herzlichst bei meinen Eltern, Doris und Gerald, deren fortwährende Unterstützung diese Ausbildung erst ermöglicht hat.

Abschließend möchte ich allen Kommilitonen und Kommilitoninnen danken, die mich auf meinen Weg durchs Studium begleitet haben.

1 Einleitung

Bewegung und Sport sind zu einem bedeutenden Phänomen unserer modernen Gesellschaft herangewachsen. Gerade die aktive Ausübung von Hobby- Breitensportarten wie Laufen, Radfahren und Schwimmen sowie deren kombinierte Ausführung, wie sie vor allem im Triathlon beispielsweise zu finden ist, erfreuen sich immer größer Beliebtheit. So zeigt sich stellvertretend nach eigenen Angaben der deutschen Triathlon Union (vgl. *DTU*) eine deutliche Zunahme der Mitgliederzahlen sämtlicher Triathlon-Vereine Deutschlands innerhalb der letzten zehn Jahre um 113%. Die Mehrheit dieser Mitglieder stellen dabei vorrangig Vollzeitberufstätige jungen und mittleren Alters dar. Gerade ausdauerbetonte Sportarten wie etwa Triathlon charakterisieren sich jedoch als überwiegend umfangbetonte und daher zeitintensive breitensportliche Disziplinen, deren Trainingsgestaltung Hobbysportler und Hobbysportlerinnen meist vor hohe zeitökonomische Anforderungen stellt. Während allerdings Subdisziplinen wie Laufen und Radfahren sich auf Grund der minimalen Verwendung zusätzlich benötigter Ressourcen und Materialen einfach in den Alltag integrieren lassen, muss im Falle des Schwimmens weitgehend auf öffentliche, externe Sportstätten zurückgegriffen werden. Freizeitsportler und Freizeitsportlerinnen sind in der Ausübung des Schwimmens demnach nicht nur von zeitlichen Faktoren abhängig, sondern auch durch die jeweilige Situation der kommunalen Bäderlandschaft eingeschränkt. Kontemporäre Lösungsansätze hinsichtlich dieser Problematik bieten sich jedoch in der Anwendung zeitsparender Trainingsmethoden, wie beispielsweise dem High-Intensity Training, sowie im Einsatz semispezifischer Trainingsgeräte, wie Ergometer, die eine präzise Nachahmung der Zielbewegung ermöglichen. Besonders das Thema High-Intensity Training (oder kurz HIT) erfährt dabei seit jüngster Vergangenheit eine große breiten- und leistungssportliche Relevanz. Unzählige Studien der letzten Jahre belegen hierbei, dass High-Intensity Training vergleichbare bzw. mitunter größere Erfolge und Anpassungen mit geringerer Trainingszeit erzeugt als das bisher verwendete klassische kontinuierliche Ausdauertraining (Foster et al. 2015; Milanovic, Sporis & Weston 2015; Weston, Taylor, Batterham & Hopkins 2014). Vor allem aus Gründen der Zeitersparnis also könnte ein semispezifisches High-Intensity Training auf einem Schwimmergometer für Breitensportler und Breitensportlerinnen äußerst relevant sein. Während allerdings die physiologischen Effekte hochintensiven Trainings auf die sportliche Leistung weitestgehend erforscht wurden, so zeigt sich die Studienlage in Bezug auf den Einsatz schwimmspezifischer Ergometer bislang eher eingeschränkt. Zwar finden Schwimmergometer generell im Bereich leistungsdiagnostischer Überprüfungen seit Jahren eine

breite und regelmäßige Verwendung, der praktische Gebrauch im Rahmen von semispezifischen Trainingsprozessen hingegen erweist sich in der wissenschaftlichen Literatur als wenig dokumentiert. Welche Auswirkungen aber könnte der systematische Einsatz eines semispezifischen Schwimmergometers in Kombination mit einem High-Intensity Training auf die Schwimmleistung von Breitensportlern und Breitensportlerinnen haben? Diese und ähnliche Fragen bilden den zentralen Ausgangspunkt dieser Diplomarbeit.

Persönliche Motivation

Die Motivation für die Durchführung dieses Projektes entnahm ich zum Großteil aus meinem allgemeinen Interesse für die empirische Forschung im Bereich der Sport- und Bewegungswissenschaften. Besonders aber führte meine Ausbildung an der Universität Wien wie auch meine Profession als Trainer für allgemeine Körperausbildung dazu, mich im Laufe der Jahre intensiv mit unterschiedlichsten Methoden und Inhalten der Trainingsplanung auseinanderzusetzen. Vor allem hochintensive Trainingsformen sowie der Einsatz von Heimgeräten wie Fahrrad- oder Ruderergometern erfreuten sich dabei aufgrund der zeitsparenden Eigenschaften bei vielen Klienten und Klientinnen stets großer Beliebtheit. Als ich nun schließlich, während der Suche nach einer akkuraten Thematik für meine Abschlussarbeit, auf die Ausschreibung zur Studie „Auswirkung eines vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung“ stieß, wollte ich daher sofort die Gelegenheit nutzen, ein Teil dieses aussichtsreichen Projektes zu werden.

Ziel der Arbeit

Die Leistungsfähigkeit des sportorientierten Schwimmens ist ein facettenreiches Phänomen menschlichen Potenzials, dessen Ausmaß sich einzig über eine Vielzahl an unterschiedlichsten Faktoren bestimmen lässt (Barbosa et al. 2010). Allgemein wird ein Großteil der Schwimmleistung durch die Fähigkeit eines Athleten oder einer Athletin determiniert, hohe Antriebskräfte bei gleichzeitiger Reduzierung des Widerstandes gegen die Vorwärtsbewegung zu generieren (Toussaint 2011). Eine überwiegende Mehrheit des dadurch erzeugten Antriebes wird dabei über die Bewegung der Arme sichergestellt (Toussaint 2011). Lediglich 10-13% der Schwimmgeschwindigkeit werden hingegen durch den Einsatz der Beine erzeugt (Deschodt, Arsac & Rouard 1999; Gourgoulis et al. 2013). Wie aus Untersuchungen von Sharp et al. (1982), Hawley und Williams (1991) sowie Bradshaw und Hoyle (1993) weiters hervorgeht, herrscht eine enge Korrelation zwischen der Schwimmgeschwindigkeit

sowie der Kraftleistung der Schulter- und Armmuskulatur. Dieser Zusammenhang ist sowohl auf kurzen (25-100-Meter) wie auch auf mittleren Schwimmdistanzen (200-400-Meter) gut erkennbar (Aspenes et al. 2012). Pauschal charakterisieren sich Trainingsprogramme im Schwimmsport jedoch vorrangig durch umfangbetonte und dadurch oftmals zeitintensive Trainingseinheiten, deren Fokus sich nach Maglischo (2003) dabei hauptsächlich auf die Ausbildung der aeroben Leistungsfähigkeit der Athleten und Athletinnen richtet. Für breitensportlich aktive Personen birgt eine klassische Trainingsgestaltung daher oftmals zeitökonomische Hindernisse, wodurch die Anwendung zeitsparender Methoden wie etwa dem High-Intensity Training oder dem semispezifischen Training für jene Zielgruppe von großer Bedeutung wäre. Doch obwohl High-Intensity Training wie auch semispezifische Trainingsprogramme seit Jahren als regulärer Bestandteil leistungsorientierten Schwimmtrainings gelten, zeigt sich die wissenschaftliche Forschungslag über kombinierte Interventionen beider Trainingsmethoden bislang als weitestgehend begrenzt. Aus diesem Grund war es Ziel dieser Studie, die Auswirkungen eines vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung von freizeitsportlich aktiven Personen zu eruieren.

Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in zwei Bereiche. Im ersten Abschnitt, dem Theorieteil, werden über die Kapitel 2-3 zentrale Begrifflichkeiten wie auch im weiteren Verlauf der Arbeit relevant werdende Standpunkte aus dem Gebiet der Leistungsphysiologie sowie der Trainingswissenschaft abgeklärt. Kapitel 2 bildet hierbei eine theoretisch-praktisch orientierte Einführung in die Thematik der sportmotorischen Ausdauer, deren Trainingsmethoden sowie den derzeitigen Objektivierungs- und Diagnosemöglichkeiten der aeroben wie anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit. Kapitel 3 umfasst einen Auszug des kontemporären Forschungsstandes bezüglich der Themen High-Intensity Training sowie semispezifischen und sportartspezifischen Trainingsmethoden im Schwimmsport. Die dabei im Zuge der Dokumentation und Analyse verwendeten Publikationen entstammen den elektronischen Datenbanken *MEDLINE*, *PubMed*, *ResearchGate*, *SPORTDiscus*, *Web of Science* sowie der universitätseigenen Suchmaschine der Universitätsbibliothek Wien. Ab dem vierten Kapitel widmet sich die Arbeit dem zweiten bzw. empirischen Abschnitt, der mit einer detaillierten Beschreibung des Studiendesigns sowie der methodischen Vorgehensweise der vorliegenden Untersuchung eingeleitet wird. Kapitel 5 beinhaltet die statistische Analyse der

erhobenen Datensätze sowie deren anschließende Interpretation. Die Auswertung der erhobenen Daten stützte sich hierbei auf die Zuhilfenahme der quantitativen, empirischen Forschungsmethode. Im abschließenden sechsten Kapitel erfolgt die Diskussion der Ergebnisse. Hierbei werden die Resultate der vorliegenden Studie systematisch in den Kanon bisheriger Publikationen eingefügt sowie vergleichend analysiert.

2 Theoretische Grundlagen der sportmotorischen Ausdauer

Kapitel 2 umfasst einen theoretisch-praktisch orientierten Einstieg in die Thematik der sportmotorischen Ausdauer, deren Trainingsmethoden sowie den derzeitigen Objektivierungs- und Diagnosemöglichkeiten der aeroben wie anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit.

2.1 Definition und Differenzierung der sportmotorischen Ausdauer

Die sportmotorische Ausdauer wird neben Kraft, Beweglichkeit, Schnelligkeit sowie den koordinativen Fähigkeiten als eine motorischen Hauptbeanspruchungsform angesehen, welche eine wesentliche Rolle in der Aneignung und Ausführung sportlicher Bewegungshandlungen einnimmt (Schnabel, Harre & Krug 2011; Weineck 2010). Ausdauer, Kraft sowie Schnelligkeit verkörpern hierbei die vorrangig energetischen Elemente der Sportleistungsfähigkeiten und bezeichnen zusammengefasst den Begriff der konditionellen Fähigkeiten (Schnabel et al. 2011).

2.1.1 Begriffsbestimmung

Hottenrott und Neumann (2016, S.122) charakterisieren die physiologische Ausdauer als „eine konditionelle Fähigkeit, die eine belastungsadäquate Energieversorgung des Organismus sichert, ermüdungsbedingte Leistungs- oder Geschwindigkeitsabnahme bei sportlichen Belastungen verzögert und die Erholungsfähigkeit beeinflusst“. Weineck (2010, S. 229) sowie Zintl und Eisenhut (2013, S. 30) definieren den Begriff Ausdauer ferner gezielt als die „psychophysische Ermüdungswiderstandsfähigkeit“ von Athletinnen und Athleten. Ermüdung bzw. in weiterer Folge Ermüdungserscheinungen skizzieren Hohmann, Lames und Letzelter (2010, S. 50) wiederum „als vorübergehende (reversible) Minderung der Leistungsfähigkeit“. Bedingt durch zentrale oder periphere Faktoren kann Ermüdung nach Ansicht der heutigen Sportmedizin sowohl anhand subjektiver als auch objektiver Anzeichen diagnostiziert werden (Hohmann et al. 2010). Nach Findeisen, Linke und Pickenhain (1989, zit. n. Hohmann et al. 2010, S. 51) lassen sich so folgende, in Tab. 1 ersichtliche, gängige Ermüdungsanzeichen charakterisieren.

Tab. 1: Symptome der Ermüdung (modifiziert nach Hohmann et al. 2010, S. 51)

Subjektive Ermüdungsanzeichen	Objektive Ermüdungsanzeichen
o Augenflimmern, o Ohrensausen, o Atemnot, o Übelkeit, o Abgeschlagenheit, o Apathie gegen äußere Reize, o Muskelschmerz	o Nachlassende Muskelkraft (Verlängerte Refraktärzeit, ansteigende Reizschwelle, verminderte Reflexantworten, Muskelzittern, Koordinationsstörungen), o Verminderte sportliche Leistung, o Elektrolytverschiebungen, Laktatanstieg, pH-Wert-Änderungen, Glykogenverarmung, Hormonspiegelabnahme, o Veränderungen der Hirnstromaktivitäten (EEG), o Konzentrations- und Aufmerksamkeitsminderung, Verschlechterung der Wahrnehmungsfähigkeit

Schnabel et. al. (2011) betonen hierbei, dass Ermüdungsprozesse zum Großteil durch das substanzielle Energiedefizit sowie die Ansammlung leistungsmindernder Stoffwechselnebenprodukte (z.B. Laktat) erklärt werden könnten.

Neben den physischen bzw. energetischen Komponenten wird die Ausdauerleistung von Sportlerinnen und Sportlern zudem auch von psychischen Faktoren beeinflusst (Schnabel et al. 2011; Weineck 2010). Viele Autoren verwenden zur Beschreibung dieses Phänomens häufig Synonyme wie Willensanstrengung, Willensspannkraft oder Durchhaltevermögen (Schnabel et al. 2011). Ferner charakterisiert Weineck (2010, S. 229) die psychische Ausdauer noch als „die Fähigkeit des Sportlers, einem Reiz, der zum Abbruch einer Belastung auffordert, möglichst lange widerstehen zu können“.

Zusammengefasst kann die sportmotorische Ausdauer als die Fähigkeit bezeichnet werden, die es ermöglicht physischen sowie psychischen Ermüdungsprozessen entgegenzuwirken. Ihre Aufgabe besteht zumeist darin, Bewegungshandlungen bzw. die Intensitäten dieser Bewegungshandlungen sowie sportbezogene Techniken und Taktiken über einen möglichst

langen Zeitraum aufrecht und stabil zu erhalten bzw. Belastungsreizen, die zum Bewegungsabbruch oder einem Intensitätsverlust führen könnten, zu widerstehen (Hohmann et al. 2010). Aufgrund der Vielzahl an Unterteilungsmöglichkeiten, wird im nachfolgenden Abschnitt auf die verschiedenen Erscheinungsformen der Ausdauer näher eingegangen.

2.1.2 Differenzierung des Ausdauerbegriffes

Die Ausdauerfähigkeit bietet, bedingt durch ihre hohe Komplexität, unterschiedlichste Arten der Klassifikation. Aus diesem Grund sollte eine kurze Strukturierung der gängigsten Differenzierungsmöglichkeiten hier Überblick schaffen (Tab. 2).

Tab. 2: Klassifizierungsoptionen der Ausdauerfähigkeit (mod. n. Hottenrott & Neumann, 2016, S. 123)

Nach der Arbeitsweise der Skelettmuskulatur statische Ausdauer - dynamische Ausdauer
Nach der vorrangigen Energiebereitstellung aerobe Ausdauer - anaerobe Ausdauer
Nach dem Anteil der beanspruchten Muskulatur Allgemeine Ausdauer - lokale Ausdauer
Nach der Zeitdauer der Belastung Kurzzeitausdauer - Mittelzeitausdauer - Langzeitausdauer

Nach der Arbeitsweise der Skelettmuskulatur

Wird nach der vorherrschenden Kontraktionsbedingung differenziert, so lassen sich zum einen die statische und die dynamische Ausdauer voneinander unterscheiden. Statische Ausdauer definiert sich hierbei durch die vorrangig isometrische (haltende) Muskelarbeitsweise, wie sie etwa beim Halten von Stützpositionen (z.B. Unterarmstütz) gefragt ist. Ihr gegenüber steht die dynamische Ausdauer, die in den meisten Ausdauersportarten mit zyklischen Bewegungsmustern eine vorherrschende Rolle einnimmt. (Hottenrott & Neumann 2016)

Nach der vorrangigen Energiebereitstellung

Die Klassifizierung der Ausdauer nach energetischen Kriterien ermöglicht eine Unterteilung in aerobe sowie anaerobe Energiebereitstellung. Herrscht eine vorwiegend aerobe Stoffwechselsituation vor, können Substrate wie Glukose und freie Fettsäuren mit Hilfe von Sauerstoff zur Energiegewinnung herangezogen werden (Hottenrott & Neumann 2016; Weineck 2010). Vor allem Ausdauerbelastungen, die über einen längeren Zeitraum (>10 Minuten) erfolgen, werden zu mehr als 80 % auf aeroben Weg versorgt (Hohmann et al. 2010). Erfolgt die Energiebereitstellung hingegen auf anaeroben Weg, so wird der Energieträger Glukose anoxidativ (ohne Sauerstoff) über die Glykolyse verbrannt. (Hottenrott & Neumann 2016). Vorwiegend hohe Belastungsintensitäten (z.B. erhöhte Bewegungsfrequenzen oder Krafteinsätze) führen laut Weineck (2010) zu einer Ansteuerung des anaeroben Stoffwechsels.

Aerobe und anaerobe Ausdauer können zudem anhand von Laktatmesswerten im Blut voneinander differenziert werden. Liegt die Konzentration des Laktatspiegels beispielsweise unter 2 mmol/l, dominieren aerobe Stoffwechselvorgänge zur Energiegewinnung. Laktatmesswerte von 2 - 4 mmol/l kennzeichnen dagegen aerob-anaerobe Muskelbelastungen. Ab einer Laktatkonzentration von ca. 6 mmol/l kommt es schließlich zu einer merklichen Übersäuerung der arbeitenden Muskulatur und somit zu einer bevorzugt anaeroben Energiebereitstellung. (Hottenrott & Neumann 2016)

Nach dem Anteil der beanspruchten Muskulatur

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit der Ausdauer bietet die Einteilung in eine allgemeine sowie eine lokale Inanspruchnahme der Arbeitsmuskulatur. Ist ein Sechstel bis ein Siebtel (ca. 15%) der Gesamtmuskulatur involviert, wird von allgemeiner Ausdauer gesprochen. Faktoren wie Herz-Kreislauf-Atmungssystem sowie periphere Sauerstoffausnutzung gelten für diese Form der Ausdauer als besonders leistungslimitierend. Die lokale Ausdauer kennzeichnet sich demgegenüber durch eine Beanspruchung der Arbeitsmuskulatur von weniger als einem Sechstel bis einem Siebtel (ca. 15 %) und wird abgesehen von der allgemeinen Ausdauer durch eine Vielzahl weiterer leistungsbestimmender Faktoren beeinflusst (z.B. anaerobe Kapazität, Qualität der Bewegungstechnik, ...). (Hottenrott & Neumann 2016; Weineck 2010)

Nach der Belastungsdauer

In der Sportpraxis hat sich das Unterscheidungsmodell der allgemeinen Ausdauerfähigkeit nach Art der Belastungsdauer in Kurzzeitausdauer (KZA), Mittelzeitausdauer (MZA) und Langzeitausdauer (LZA) als sinnvoll erwiesen. Kurzzeitausdauerbelastungen umfassen dabei eine Zeitspanne von ca. 35 Sekunden bis zwei Minuten bei einer vorwiegend anaeroben Energiebereitstellung. Zugleich steigt nach Hollmann und Strüder (2009) auch die Laktatproduktion in diesem Belastungszeitraum auf ihren Maximalwert an. Belastungen mit einer Dauer von ungefähr zwei bis zehn Minuten sowie einer zunehmend oxidativen Energiewiederherstellung fallen in den Bereich der Mittelzeitausdauer (MZA). Ausdauerbelastungen über ca. zehn Minuten werden als Langzeitausdauer eingeordnet und beinahe vollständig über eine aerobe Energiebereitstellung vorsorgt. (Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al. 2011; Spencer & Gastin 2001; Weineck, 2010)

Angesichts des breiten Spektrums der Langzeitausdauer (LZA) unterscheidet Weineck (2010) drei (LZA I-III) bzw. Neumann (1983) vier weitere Subgruppen (LZA I-IV). Belastungszeiten von zehn bis 35 Minuten werden dabei der LZA I zugesprochen, die vornehmlich durch die Zerlegung von Muskel- und Leberglykogen unterhalten wird. Die LZA II umfasst eine Zeitspanne von 35 bis 90 Minuten, in der sowohl Glukose als auch freie Fettsäuren als Energielieferanten herangezogen werden können. Ausdauerbelastungen von 90 bis 360

Minuten bilden die Subgruppe der LZA III., deren Hauptenergieversorgung durch den Fettstoffwechsel sichergestellt wird. Dauert eine Belastung über 360 Minuten, so wird diese nach Neumann (1983) der erweiterten Untergruppe LZA IV zugeteilt.

Sämtliche sportliche Bewegungshandlungen mit zyklischen Bewegungsmuster lassen sich nach Schnabel et al. (2011) mit Hilfe dieses Einteilungsmodells zwar ansatzweise gut miteinander vergleichen, jedoch sollten folgende Faktoren dabei nicht unberücksichtigt bleiben:

- Intensitätsverlauf im Wettkampf
  Sportliche Disziplinen zeichnen sich durch extensive oder intensive Startverhalten aus und können mit konstantem oder variablem Intensitätsverlauf ausgeführt werden.
- Kraft-Zeit-Charakteristik der Bewegungszyklen
  Bewegungen unterscheiden sich grundlegend in Bezug auf die jeweilige Zeitspanne, die benötigt wird um einen vollständigen Bewegungszyklus auszuführen. Bewegungsfrequenz sowie die Relation zwischen Anspannungs- und Entspannungsphase im Bewegungsverlauf variieren dadurch von Sportart zu Sportart.
- Körperhaltung
  Die Haltung des Körpers während der Bewegungsausführung kann sowohl aufrecht, kniend, sitzend oder liegend sein, wodurch es zu einer unterschiedlichen Aktivierung der angewandten Muskulatur kommt.
- Position in Mannschaftssportarten
  Die sportartspezifische Position sowie die damit verbundene Funktion innerhalb eines Teams beeinflussen sowohl die physischen als auch die psychischen Ressourcen von Athleten und Athletinnen.

2.2 Methoden und Inhalte des Ausdauertrainings

Auf Grund der unterschiedlichen Ausprägungen und Differenzierungsmöglichkeiten der sportmotorischen Ausdauer werden auch in Bezug auf die Trainingsmöglichkeiten eine Vielzahl an verschiedenen Trainingsmethoden sowie Trainingsinhalten unterschieden. Physiologisch betrachtet, lassen sich nach Weineck (2010) jedoch sämtliche Praktiken und methodische Zugänge in vier wesentliche Hauptklassen gliedern (Tab. 3).

Tab. 3: Einteilung der Ausdauertrainingsmethoden, dargestellt am Beispiel des leichtathletischen Laufes (mod. n. Weineck, 2010, S. 269)

Trainingsmethoden	**Trainingsinhalte**
1. Dauermethode	Kontinuierlicher Dauerlauf, Tempowechseldauerlauf, Fahrtspiel
2. Intervallmethode	Langzeit-, Mittelzeit- und Kurzzeitintervallbelastungen
3. Wiederholungsmethode	Tempoläufe, Test- und Kontrollläufe
4. Wettkampfmethode	

2.2.1 Dauermethode

Die Dauermethode (DM) kennzeichnet sich durch eine kontinuierlich gleichmäßige, variable oder wechselhafte Belastungsstruktur aus, bei der Trainingsreize über einen länger andauernden Zeitraum aufrechterhalten werden. Die zeitliche Dauer dieser Belastungen orientiert sich dabei zum einen an der gewählten Intensität sowie der individuellen Belastungsfähigkeit der Sportler und Sportlerinnen, zum anderen an den spezifischen Anforderungen und Eigenheiten der jeweiligen Sportart oder Disziplin. (Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al. 2011; Zintl & Eisenhut 2013)

Der Einsatz von Dauermethoden im Ausdauersport hat nach Weineck (2010, S. 270) „die Verbesserung der aeroben Kapazität“ zum Ziel. Folglich eignet sich diese Form der Belastung besonders zur Entwicklung und Erhaltung der Grundlagenausdauer. Eine Verbesserung der Grundlagenausdauer wiederum führt zu einer Rechtverschiebung der Laktat-Leistungs-Kurve und damit einhergehend zu einem Anstieg der Bewegungsgeschwindigkeit im Falle aerober bzw. aerob-anaerober Belastungen. Physiologisch lassen sich diese Effekte anhand mehrerer Anpassungsvorgänge erklären. So bewirkt die Dauermethode beispielsweise eine Ökonomisierung des Stoffwechsels, die vor allem auf einer Vermehrung der Energiespeicher sowie einer gesteigerten Ansteuerung des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels basiert. Auch kommt es zu einer Regulation des Herz-Kreislauf-Systems, die eine Reduzierung der Herzschlagfrequenz in submaximalen Intensitätsbereichen sowie eine gesteigerte Nutzbarmachung der VO_{2max} bewirkt. Ebenso werden im Zusammenhang mit der Dauermethode eine Zunahme des Myoglobingehaltes im Blut und eine verbesserten Kapillarisierung der Arbeitsmuskulatur sowie der Herzkranzgefäße erwähnt. Charakterisiert wird die Dauermethode anhand kontinuierlicher (extensive DM / intensive DM) und variabler (Tempowechselmethode / Fahrtspielmethode) Belastungsnormativen. (Hohmann et al. 2010; Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al. 2011; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Extensive (kontinuierliche) Dauermethode

Unter Berücksichtigung des Einsatzes verschiedener Belastungsumfänge und Intensitäten lassen sich mit Hilfe der Dauermethode differenzierte Anpassungen ermöglichen. Extensive Ausdauereinheiten unter bzw. an der aeroben Schwelle (AS) mit überwiegend hohen Belastungsumfängen und gleichzeitig verhältnismäßig niedrigen Intensitäten führen so beispielsweise zu spezifischen Adaptionen des Fettstoffwechsels. Diese sind vor allem bedingt durch eine überwiegende Metabolisierung freier Fettsäuren, wodurch einerseits eine Schonung der Glykogenspeicher ermöglicht wird und andererseits eine Zunahme der Enzymaktivität der Beta-Oxidation zustande kommt. Je nach Sportart, Disziplin oder dementsprechender Zielsetzung wird eine durchschnittliche Belastungsdauer von mindestens 30 Minuten bis mehreren Stunden empfohlen. Besondere Anwendung findet die extensive (kontinuierliche) Dauermethode daher verstärkt beim Aufbau der Grundlagenausdauer im Gesundheits- und Fitnessbereich, aber auch bei der Vorbereitung auf ultralange Wettkampfdistanzen im Breiten- und Leistungssport (wie z.B. Marathon, Triathlon, usw.). (Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al. 2011; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Intensive (kontinuierliche) Dauermethode

Die Anwendung der intensiven (kontinuierlichen) Dauermethode bedingt im Gegenzug zur vorher genannten, extensiven Variante eine erhöhte Aktivierung des Kohlenhydratstoffwechsels, wodurch ein vermehrter Abbau der Glykogenspeicher sowie eine anschließend verstärkte Superkompensation resultieren. Die intensive Dauermethode bedient sich hierbei mittlerer bis submaximaler Belastungsreize, die im Bereich der individuellen anaeroben Schwelle (IANS) liegen. Die individuelle anaerobe Schwelle definiert dabei jenes Belastungsintervall, in dem Laktatbildung und Laktatkompensation gerade noch im Gleichgewicht gehalten werden können (Laktat-Steady-State). Weineck (2010, S. 272) geht folglich von einem „Grenzbereich der aeroben Leistungsfähigkeit" aus, dessen Überschreitung zu einem schnellen Anstieg des Blutlaktatwertes und in weiterer Folge schließlich zum Abbruch der Belastung führt. Vorteil der intensiven Dauermethode ist die erweiterte Faserrekrutierung, die nach Saltin et al. (1995a) eine effizientere Anpassung der Typ-IIa-Muskelfasern gestattet. Diese sind im Vergleich zu langsam kontrahierenden Typ I-Muskelfasern besser geeignet, ATP über die aerobe Glykolyse zu resynthetisieren. Aufgrund der erhöhten Gesamtbeanspruchung wird im Durchschnitt eine Belastungsdauer von 15 Minuten bis maximal drei Stunden empfohlen. Die intensive Dauermethode kann daher zur leistungswirksamen Ausprägung sportartspezifischer Ausdauerfähigkeit im Bereich von Mittel- sowie Langzeitsportarten eingesetzt werden. Angesichts hohen physischen und psychischen Beanspruchung wird jedoch im Allgemeinen von einer häufigeren Durchführung (über zwei- bis dreimal pro Woche) abgeraten. (Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al 2011; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Tempowechselmethode

Die Tempowechselmethode stellt eine variable Form der Dauermethode dar, bei der sich leichte bis submaximale Belastungsintensitäten innerhalb einer Trainingseinheit systematisch abwechseln. Die Anforderungen an den Stoffwechsel alternieren somit ständig zwischen aerober, aerob-anaerober und anaerober Beanspruchung und sollen meist die, in der jeweiligen Sportart (bzw. Disziplin) wettkampfspezifischen, Intensitätswechsel imitieren. Ein regelmäßiger Einsatz der Tempowechselmethode führt weithin zu einer verbesserten aeroben und anaeroben Kapazität sowie zu einer Optimierung der Fähigkeit, zwischen den Formen der aeroben und gemischt aerob-anaeroben Energiebereitstellung umzuschalten. (Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al. 2011; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Fahrtspielmethode

Die Fahrtspielmethode oder auch Fartlek (schwedisch für „Spiel mit der Geschwindigkeit“) genannt charakterisiert eine Sonderform der variablen Dauermethode, die durch unsystematische Belastungswechsel, aufgrund von Veränderungen des Geländeprofils (eben, bergauf, bergab) oder individuellem Befinden, gekennzeichnet wird. Wie auch bei der Tempowechselmethode kommt es so zu einem steten (unplanmäßigen) Wechsel zwischen aerober und anaerober Energiebereitstellung sowie zu ähnlichen Trainingswirkungen. (Hottenrott & Neumann 2016; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

2.2.2 Intervallmethode

Die Intervallmethode stellt eine intermittierende Form des Ausdauertrainings dar, die durch wiederholte, systematische Wechsel zwischen Belastungs- und Entlastungsphasen skizziert wird. Entlastungs- bzw. Erholungsphasen sind hierbei besonders durch das Prinzip der lohnenden Pause gekennzeichnet, bei dem es zu keiner vollständigen Erholung für Athleten und Athletinnen kommt. Die Dauer dieser (lohnenden) Pausen ergibt sich aus der Berücksichtigung der Belastungsintensität, des Belastungszeitraumes sowie des individuellen Trainingszustandes. Darüber hinaus wird als weiteres Erholungskriterium eine Herzfrequenz von 120 bis 140 Schlägen pro Minute am Ende der jeweiligen Entlastungsphase genannt (Reindell, Roskamm & Gerschler 1962; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013). Die Pausenintervalle schwanken zeitlich somit meist zwischen 30 Sekunden und mehreren Minuten. Der Einsatz der Intervallmethode wirkt sich in besonderer Weise auf die Vergrößerung des Herzmuskels aus. Zum einen bildet die ausgeprägte Herzdruckarbeit (bedingt durch größere periphere Widerstände) während der Belastungsphase einen effektiven Reiz für die Hypertrophie der Herzmuskulatur, zum anderen findet infolge einer überwiegenden Herzvolumenarbeit (bedingt durch abnehmende periphere Widerstände) im Zuge der Entlastungsphase eine Dilatation der Herzhöhlen statt. Untersuchungen von Reindel et al. (1962) konnten diesbezüglich belegen, dass bereits nach wenigen Wochen des Intervalltrainings eine signifikante Vergrößerung des Herzvolumens um 220 cm^3 zu erwarten ist. Eine durch intensives Training hervorgerufene Hypertrophie der Herzmuskulatur wiederum erhöht die maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit des Körpers, wodurch in Folge daraus eine Zunahme der Ausdauerleistung resultiert. Helgerud, Engen, Wisloff und Hoff (2001) konnten beispielsweise in einer

achtwöchigen Studie mit 19 männlichen Elite-Fußballspielern der Juniorenklasse aufzeigen, dass ein zweimal pro Woche durchgeführtes Lauf-Intervalltraining (4x4 Minuten bei 90-95% der maximalen Herzfrequenz und dreiminütiger Trabpause) zu einer Steigerung der VO_{2max} um 10,8% führt. Neben dem genannten Effekt der Herzvolumenvergrößerung werden der Intervallmethode im Allgemeinen zudem eine Leistungssteigerung im aerob-anaeroben bzw. anaerob-aeroben Belastungsbereich sowie eine Optimierung der Bewegungsausführung bei erhöhter physischer Beanspruchung zugeschrieben. (Helgerud et al. 2001; Hottenrott & Neumann 2016; Reindell et al. 1962; Schnabel et al. 2011; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Angesichts der großen Variationsmöglichkeiten des Intervalltrainings wird in der gängigen Literatur zur Erleichterung der Übersicht meist eine Klassifizierung nach Belastungsintensitäten und/oder Belastungsdauern erstellt. Wird anhand der Unterteilung nach Belastungsintensitäten ausgegangen, so wird zwischen der extensiven und der intensiven Intervallmethode differenziert. Extensives Intervalltraining kennzeichnet sich dabei durch den Einsatz submaximaler Belastungsintensitäten, die über einen (verhältnismäßig) längeren Zeitraum bei gleichzeitig kürzeren Entlastungsphasen aufrechterhalten werden sollen. Demgegenüber bedient sich die intensive Intervallmethode höherer bzw. maximaler Belastungsintensitäten, die von geringerer Dauer sind und zugleich mit längeren Entlastungsphasen ausgeführt werden. Intensives und extensives Intervalltraining unterscheiden sich zudem aufgrund der jeweilig vorrangig herrschenden Energiebereitstellung. Während hohe Belastungsintensitäten bei kurzer Belastungsdauer eine verstärkte Energieversorgung über den Abbau von Glukose bedingen, fällt bei länger andauernden und zugleich weniger intensiven Belastungsphasen der Anteil der glykolytischen Energiebereitstellung zunehmend ab. Keul, Löhmann und Adolph (1970) schreiben dem extensiven Intervalltraining daher einen wesentlichen Steigerungseffekt zur Entwicklung der aeroben Kapazität zu. Intensiv geprägtes Intervalltraining kann laut Ansicht einiger Autoren und Autorinnen hingegen dazu verwendet werden, die anaerobe Ausdauerleistungsfähigkeit von Athleten und Athletinnen zu erhöhen. So zeigte eine Untersuchung von Creer, Ricard, Conlee, Hoyt und Parcell (2004), dass ein vierwöchiges, hochintensives Sprinttraining im Intervallmodus am Fahrradergometer sowohl zu einer Erhöhung der selektiven Beanspruchung der FT-Fasern, als auch der Blutlaktatwerte während der Belastungsphase, bei gleichzeitiger Steigerung der Output-Leistung, führt. (Hohmann et al. 2010; Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al. 2011; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Erfolgt die Differenzierung der Intervallmethode anhand zeitlicher Kategorien, so wird in der trainingswissenschaftlichen Literatur üblicherweise eine Unterteilung zwischen Langzeit-, Mittelzeit-, Kurzzeit- und gelegentlich auch Ultra-Kurzzeit-Intervallmethode gewählt (Schnabel et al. 2011; Zintl & Eisenhut 2013). Die für die jeweilige Zeitkategorie definierte Dauer kann aus Tab. 4 entnommen werden.

Tab. 4: Varianten der Intervallmethode (mod. n. Zintl & Eisenhut, 2013, S. 121)

Intervallmethoden (IM)	
Nach Belastungsintensität	Nach Belastungsdauer
- Extensive IM - Intensive IM	- Langzeit-IM (3-8 min) - Mittelzeit-IM (1-3 min) - Kurzzeit-IM (15-60 s) - extreme Kurzzeit-IM (6-9 s)

2.2.3 Wiederholungsmethode

Die Wiederholungsmethode kennzeichnet sich, ähnlich wie die Intervallmethode, durch wiederholt ausgeführte, intensive Belastungsphasen mit dazwischenliegenden Entlastungsphasen. Im Gegenzug zur Intervallmethode jedoch wird bei der Wiederholungsmethode eine vollständige Regeneration der physiologischen Leistungsparameter (Herz-Kreislauf-System, Atmungs- und Stoffwechselsystem) zum Ende der jeweiligen Erholungsphase hin vorausgesetzt. Die Dauer dieser Erholungspausen steht dabei in Abhängigkeit zum Ausmaß der vorhergegangenen Belastung bzw. vorbelastenden Faktoren. Kurze, hochintensive Belastungsreize erfordern zur vollständigen Erholung daher nur Pausenzeiten von geringerer Dauer (z.B. ein bis zwei Minuten). Nach ausgedehnten Belastungsreizen (bis zu drei Minuten) hingegen bedarf es auch einer wesentlich längeren Erholungsphase (z.B. 15 bis 30 Minuten), um ein Zurückkehren aller beanspruchten Funktionssysteme in den Ausgangszustand zu gewährleisten. Zudem lassen sich normativ festgelegte Pausenintervalle in der Praxis aufgrund unterschiedlicher sportartspezifischer Belastungsprofile kaum realisieren. (Steinhöfer 1993; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Der Anspruch einer vollständigen Regeneration sämtlicher Leistungsparameter der beanspruchten Funktionssysteme zwischen den einzelnen Belastungen erfordert am Beginn jeder nachfolgenden Belastungsphase ein erneutes Durchlaufen sämtlicher physiologischer Regulationsmechanismen. Auf diese Weise kommt es zu einer weitreichenden Optimierung jener regulativen Steuerungsprozesse des Organismus, die sich wiederum positiv auf die Ausdauerleistungsfähigkeit im anaerob-aeroben Funktionsbereich auswirkten. (Hottenrott & Neumann 2016; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

Abbildung 1 verdeutlicht den physiologischen Ablauf jener leistungsentscheidenden Regulationsmechanismen.

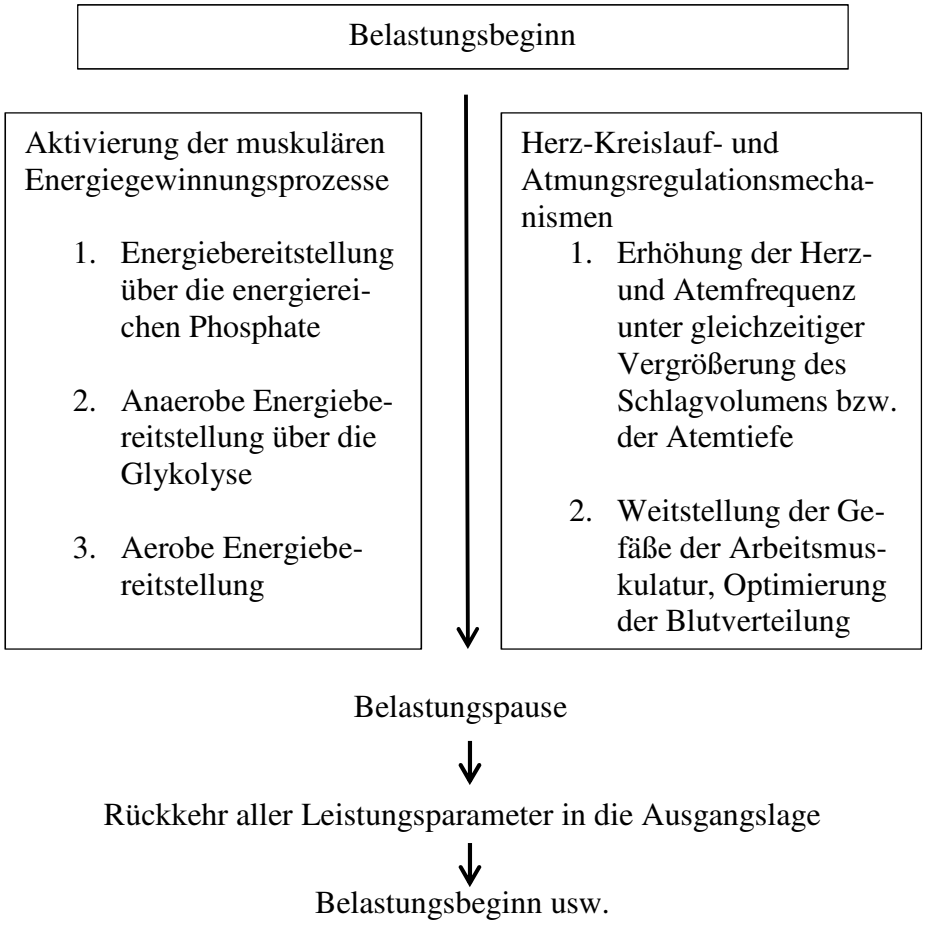

Abb. 1: Das Prinzip der Wiederholungsmethode (mod. n. Weineck, 2010, S. 285)

Abseits einer Verbesserung der regulativen Steuerungsprozesse kommt es beim Wiederholungstraining aufgrund maximaler bzw. submaximaler Belastungsreize zu einer verstärkten Nutzung der FT-Muskelfasern. Ein vermehrter Einsatz dieser Methode findet sich daher vor allem in Bewegungsprogrammen von Sportdisziplinen wieder, die sowohl hohe Anforde-

rungen an die Ausdauerleistungsfähigkeit, als auch an Schnelligkeit von Athleten und Athletinnen stellen (z.B. der leichtathletische Mittelstreckenbereich). Saltin (1973) konnte zudem zeigen, dass die Wiederholungsmethode eine optimale Maßnahme zur raschen Entleerung der Glykogenspeicher der FT-Muskelfasern darstellt. So führte eine Serie von fünf bis sechs intensiven Läufen über 50-60 Sekunden in Saltins Untersuchungen zu einer vollständigen Entleerung der Glykogenspeicher der FT-Muskelfasern. Eine schnelle und zugleich vollständige Entleerung der Energiespeicher wiederum begünstigt nach Weineck (2010) das Eintreten eines ausgeprägten Superkompensationseffekts. Die Wiederholungsmethode nimmt somit auch eine wesentliche Rolle bei der systematischen Vergrößerung der muskulären Energiespeicher ein. (Hottenrott & Neumann 2016; Saltin, 1973; Weineck 2010)

2.2.4 Wettkampf- oder Kontrollmethode

Die Wettkampf- oder Kontrollmethode verkörpert die komplexeste Art des Ausdauertrainings, bei der ein einmaliger, sportartspezifischer Belastungsreiz in Form eines Trainings- bzw. Aufbauwettkampfes angewandt wird. Dieser Belastungsreiz entspricht meist einer schnellstmöglichen Absolvierung der Wettkampfdistanz, wobei ferner auch die Durchführung von Unter- bzw. Überdistanzen (+/- 10-25% der Wettkampfstrecke) Teil des Wettkampftrainings darstellen kann. Die Wettkampf- oder Kontrollmethode ermöglicht eine Optimierung der wettkampfgemäßen Ausdauerfähigkeit, die wiederum zu einer Verbesserung der spezifischen Leistungsfähigkeit auf höchstem Funktionsniveau führt. Zudem schult ein Einsatz der Wettkampf- oder Kontrollmethode nicht nur konditionelle und koordinative Leistungsfaktoren, sondern bietet darüber hinaus eine Möglichkeit des Erwerbs wettkampfnaher Erfahrungswerte und Erprobung taktischen Wettkampfverhaltens (z.B. Einteilung der Distanz, Verhaltensweisen gegenüber anderen Athleten und Athletinnen). Eine regelmäßige Anwendung dieser Methode findet sich daher ausschließlich im Leistungssport im Rahmen der Vorbereitungsphase auf die Wettkampfperiode oder zu leistungsdiagnostischen Zwecken wieder. (Schnabel et al. 2011; Weineck 2010; Zintl & Eisenhut 2013)

2.3 Objektivierung und Diagnostik der Ausdauerleistungsfähigkeit

Zur Erfassung des Ausdauerleistungszustandes von Athleten und Athletinnen werden in der sportwissenschaftlichen Leistungsdiagnostik generell sogenannte Labor- und/ oder Feldtests angewandt. Vor allem sportmedizinische Labortests ermöglichen dabei eine valide Objektivierung des kardiopulmonalen Leistungsverhaltens über die Beurteilung der aeroben sowie anaeroben Leistungsfähigkeit (Zintl & Eisenhut 2013). Aufgrund der Komplexität leistungsdiagnostischer Prüfverfahren werden im weiteren Verlauf dieses Textabschnittes einige ausgewählte Methoden der aeroben und anaeroben Ausdauerleistungsobjektivierung dargestellt.

2.3.1 Methoden der aeroben Leistungsdiagnostik

Die Objektivierung der aeroben (Ausdauer-)Leistungsfähigkeit wird nach derzeitigen sportmedizinischen Standards zum Großteil über das Verfahren der Spiroergometrie (Atemgasanalyse unter körperlicher Belastung) vorgenommen. Wichtigste Untersuchungsgrößen stellen dabei die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), die ventilatorische Schwelle (VT) sowie der respiratorische Kompensationspunkt (RCP) dar. Vor allem die VO_{2max} wurde in der leistungsdiagnostischen Sportmedizin als zentrales Indikationsmerkmal kardiopulmonaler Ausdauerleistungsfähigkeit etabliert. Als Konzentrationsdifferenz zwischen Inspirations- und Exspirationsluft für Sauerstoff definiert, steht die maximale Sauerstoffaufnahme in direkter Proportionalität zur aktivierten Muskulatur und beschreibt unter Belastung, vom Ruhewert ausgehend, einen linearen Steigungsverlauf. Die VO_{2max} verkörpert somit den Höchstwert der, zur Energiebereitstellung benötigen, metabolisierten Sauerstoffmenge des Körpers. Hochtrainierte Ausdauerathleten und Ausdauerathletinnen erreichen hierbei teilweise Werte über 85 $ml \times kg^{-1} \times min^{-1}$, wohingegen untrainierte Normalpersonen mittleren Alters meist Referenzwerte von etwa 30 bis 50 $ml \times kg^{-1} \times min^{-1}$ aufweisen. Hochtrainierte Sportler und Sportlerinnen können im Vergleich zu untrainierten Personen folglich eine doppelt so hohe VO_{2max} besitzen. Aufgrund des höheren Körperfettanteils erreichen Frauen im Allgemeinen zudem niedrigere Werte (-10 bis -15%) als Männer. Darüber hinaus lässt sich die maximale Sauerstoffaufnahme generell durch gezieltes Training steigern, wobei Untrainierte wesentlich stärkere Zunahmen zu erwarten haben als dies bei Spitzensportlern und

Spitzensportlerinnen der Fall wäre. (Friedmann-Bette 2011; Haber & Tomasits 2016; Scharhag-Rosenberger, Meyer, Walitzek & Kindermann 2009; Scharhag-Rosenberger 2010)

Zur Feststellung der maximalen Sauerstoffaufnahme werden in der Sportmedizin zumeist Stufen- oder Rampentest zur Anwendung gebracht. Wesentlich für die korrekte Diagnostik der VO_{2max} scheint jedoch nicht der Modus der Belastungssteigerung, sondern die jeweilige sportartspezifische Belastung selbst zu sein (Bishop, Jenkins & Mackinnon 1998; Friedmann-Bette 2011; Kuipers, Rietjens, Verstappen, Schoenmakers & Hofman 2003; Roffey, Byrne & Hills 2007).

Für Athleten und Athletinnen bleibt die Kenntnis der individuellen, maximalen Sauerstoffaufnahme in Bezug auf die Trainingspraxis indessen nur begrenzt nutzbar. Zentrales Augenmerk legen sportmedizinische Untersuchungen daher nicht nur auf die Feststellung der VO_{2max}, sondern auch auf deren höchsten relativen Anteil (%VO_{2max}), der im Zuge lang andauernder Belastungen, bei gleichzeitigem Ausbleiben einer ansteigenden Laktatazidose, für die Energieversorgung herangezogen werden kann. Aufgrund dessen wird zur Steuerung der Trainingsintensität als auch zur Leistungsprognose oft zusätzlich auf die Analyse der spiroergometrischen Schwellen Bezug genommen. Hierbei lassen sich gemäß dem Zwei-Schwellen-Konzept zum einen die ventilatorische Schwelle (VT) sowie der respiratorische Kompensationspunkt (RCP) voneinander differenzieren. Die ventilatorische Schwelle (VT) kennzeichnet dabei den ersten Anstieg der Milchsäure, die, über das im Blut gespeicherte, Bikarbonat abgepuffert wird und aufgrund der erhöhten Kohlendioxidfreisetzung im weiteren Verlauf zu einem überproportionalen Anstieg der Ventilation führt. Die ventilatorische Schwelle (VT) entspricht folglich daher einem Übergang von rein aerober zu gemischt aerob-anaerober Energiebereitstellung (siehe Abb. 2). Das Ende dieses aerob-anaeroben Übergangbereiches wird wiederum durch den respiratorischen Kompensationspunkt (RCP) definiert. Dieser verkörpert somit den oberen Bereich der anaeroben Laktatschwelle, in welchem die aus der Milchsäure entstandenen Wasserstoff-Ionen (H^+-Ionen) nur noch unzureichend abgepuffert werden können, wodurch es, aufgrund des gleichzeitig sinkenden pH-Wertes im arteriellen Blut, zu einem erneuten überproportionalen Anstieg der Ventilation kommt. Beide Schwellen (VT und RCP) ermöglichen demnach detailliertere Aussagen bezüglich der zu wählenden Belastungsintensität und können so, entgegen der VO_{2max}, auch im Rahmen einer systematischen Trainingsgestaltung berücksichtig werden. (Friedmann-Bette 2011; Kindermann 2004; Scharhag-Rosenberger 2010)

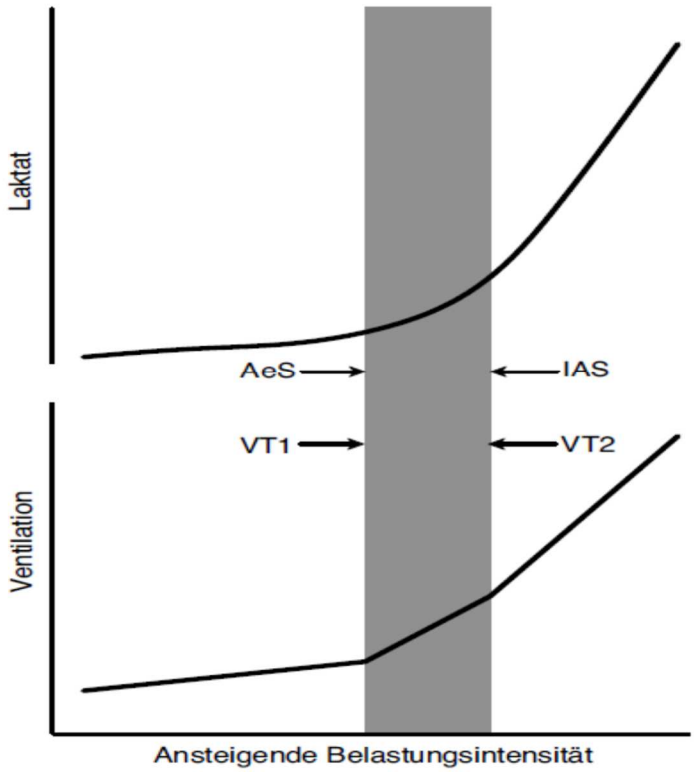

Abb. 2: Schematische Darstellung des aerob-anaeroben Übergangs (Kindermann, 2004, S. 161)

2.3.2 Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik

Während sich leistungsdiagnostische Verfahren zur Untersuchung der aeroben Ausdauerfähigkeit vorwiegend auf wissenschaftlich etablierte Leistungsindikatoren wie VO_{2max}- und Laktatwerte stützen lassen, können Beurteilungen der anaeroben Leistungsfähigkeit sowie der anaeroben Kapazität, aufgrund der Vielzahl an interagierenden Teilkomponenten (alaktazide, laktazide und oxidative), generell nicht anhand einfacher Messverfahren erstellt werden. Gerade die Differenzierung anaerob alaktazider und anaerob laktazider Stoffwechselvorgänge spielt hierbei ein wesentliches Problem. Grund dafür ist, dass jene für metabolische Prozesse benötigten Energielieferanten hauptsächlich in den Muskelzellen selbst zur Verfügung stehen und somit ausschließlich nur über komplexe Verfahren wie muskelbiotische Analysemethoden direkt erfasst werden können. Ebenso lassen Messungen metabolischer Zwischen- und Endprodukte (wie etwa Laktat) lediglich indirekte Schlussfolgerungen über die derzeitige anaerobe Stoffwechsellage zu. (Heck & Schulz 2002)

Im weiteren Verlauf dieses Abschnittes wird aus Gründen der Relevanz zur Thematik dieser Arbeit gezielt auf einige wesentliche Verfahren der anaerob-laktaziden Leistungsermittlung Bezug genommen. Konkret wird hierbei auf die Critical-Power-Methode sowie das Verfahren zur Bestimmung des maximalen akkumulierten Sauerstoffdefizits detaillierter eingegangen. Das Konzept der Critical-Power-Methode wurde erstmals von Monod und Scherer (1965) eingeführt, mit dem Versuch einen hyperbolen Zusammenhang zwischen Belastung und Ausbelastungszeit nachweisen zu können. Die Critical Power (CP) wird demnach als die höchstmögliche Arbeitsleistung eines Muskels bzw. einer Muskelgruppe definiert, die über einen längeren Zeitraum ohne Leistungsabbruch aufrechterhalten werden kann. Mathematisch betrachtet, wird die Critical Power als eine empirische Messgröße verstanden, die in enger Relation zwischen der Belastungsintensität (P) und der jeweiligen Ausbelastungsdauer (t) steht. Die Zeitspanne zur Ausbelastung (t) bei Belastungsintensitäten (P) oberhalb der Critical Power (CP) ist wiederum durch die anaerobe Kapazität (W‘) determiniert und durch folgende Gleichung berechenbar:

$$t = W' / (P - CP)$$

Folglich bietet die Critical-Power-Methode eine nichtinvasive Möglichkeit zur Bestimmung der individuellen Ausbelastungsdauer von Athleten und Athletinnen, wodurch aufgrund der W‘-Komponente simultan indirekte Rückschlüsse auf deren anaerobe Ausdauerleistungsfähigkeit gezogen werden können. Physiologisch betrachtet, entspricht die Critical Power daher in etwa dem metabolischen Zustand des maximalen Laktat-Steady-State (MLSS), einem Stoffwechselverhältnis, dessen Energiebereitstellung gerade noch über rein oxidative Prozesse sichergestellt werden kann und dementsprechend keine Akkumulation des Blutlaktats aufweisen lässt. Bei gesunden Personen findet sich die Critical Power aus diesem Grund oftmals bei ca. 70-80% der VO_{2max}, wobei ausdauertrainierte Sportler und Sportlerinnen ebenso Werte bis zu 90% der VO_{2max} erreichen können. Konträr dazu wird die W‘, oder auch *Work accomplished above Critical Power* genannt, als eine festgelegte Arbeitsleistung verstanden, die oberhalb der jeweiligen Critical Power realisiert werden kann und somit ausschließlich über anaerobe Stoffwechselprozesse versorgt wird. (Heck & Schulz 2002; Jones, Vanhatalo, Burnley, Morton & Poole 2010; Monod & Scherer 1965; Poole, Burnley, Vanhatalo, Rossiter & Jones, 2016; Vanhatalo, Jones & Burnley 2011)

Häufige Anwendung findet das Konzept der Critical Power in vorwiegend kontinuierlich durchgeführten Ausdauersportarten wie etwa Radfahren, Laufen, Schwimmen oder Rudern, in denen ein wesentlicher Anteil der Wettkampfzeit üblicherweise innerhalb der hochintensiven Belastungszone und somit auf anaeroben Wege absolviert wird. Hohe Aussagekraft besitzt die Critical Power daher bei Aktivitäten von zwei bis 30 Minuten Dauer. Maßgebenden Vorteil verschafft sich die Critical Power-Methode gegenüber komplexeren oder gar invasiven Analysemethoden vor allem durch ihre relative einfache Anwendbarkeit. Denn obwohl die Critical Power zwar einen physiologischen Zustand repräsentiert, beruht ihre Messung dennoch einzig und allein auf der Erhebung physikalischer Leistungsparameter (Watt, Lauf- oder Schwimmdistanz). Folglich können Analysen der Critical Power und der W‘ bereits mit wenigen technologischen Hilfsmittel wie etwa Ergometern, GPS-Geräten oder Stoppuhren durchgeführt werden. Ein vielfach angewandtes Testprozedere zur Bestimmung der Critical Power stellt dabei das wiederholte Absolvieren mehrerer Ausbelastungstests dar, wobei für die Belastungsphase der einzelnen Durchgänge meist eine Dauer zwischen zwei bis 15 Minuten gewählt wird. (Jones et al. 2010; Vanhatalo et al. 2011)

Ähnlich der VO_{2max} reagieren auch die Parameter Critical Power und W‘ auf trainingsinduzierte Reize und Belastungsformen. Dabei zeigte sich aus vorhergehenden Studien, dass die Critical Power bereits nach kurzen Trainingsperioden (vier bis sechs Wochen) kontinuierlichen oder auch intermittierenden Ausdauertrainings eine signifikante Steigerung erfahren kann. Im Gegenzug allerdings führt eine Verbesserung der Critical Power zu einer oftmals beobachteten Reduktion der W‘. Empirische Untersuchungen belegten diesbezüglich jedoch, dass die W‘ durch intensives Schnellkraft- oder Sprinttraining ebenfalls einer positiven Steigerung unterzogen werden kann. Im Sinne einer ausdauerorientierten Leistungssteigerung kann eine Verminderung der W‘-Werte daher ohne weiteres in Kauf genommen werden, da vor allem die Critical Power als leistungsentscheidender Parameter innerhalb ausdauerbetonter Sportarten herangezogen werden sollte. (Jones et al. 2010; Poole et al. 2016; Vanhatalo et al. 2011)

Neben der Critical-Power-Methode galt die Feststellung des maximalen akkumulierten Sauerstoffdefizits (oder auch *MAOD* genannt) lange Zeit als Goldstandart in Bezug auf die Überprüfung der anaerob-laktaziden Kapazität (Noordhof, de Koning & Foster). Der Terminus des Sauerstoffdefizits (O_2-Defizits) geht dabei ursprünglich auf Krogh und Lindhard (1920) zurück, die den Begriff als jenen Differenzwert definierten, welcher zwischen dem

Sauerstoff-Steady-State und der aktuellen Sauerstoffaufnahme am Beginn jeder muskulären Beanspruchung zustande kommt. Medbø et al. (1988) schließlich generierten im Zuge ihrer Forschungen ein spezielles Verfahren, bei dem das Ausmaß des gemessenen Sauerstoffdefizits als Richtwert für die anaerobe Kapazitätsleistung eines Athleten bzw. einer Athletin herangezogen werden konnte. Die Anwendung dieses Verfahrens setzt dabei laut Heck und Schulz (2002) folgende Annahmen voraus:

- Das Maß der anaeroben Energiefreisetzung wird als Differenzwert zwischen Gesamtenergiefreisetzung sowie den aeroben Stoffwechselbestandteilen.
- Der Sauerstoffbedarf beschreibt in Abhängigkeit zur Belastung eine lineare Steigung.
- Bei gleichbleibender Belastungsintensität kommt es zu keiner Veränderung des Sauerstoffbedarfes über den jeweiligen Zeitraum der Belastungsdauer.

Zur Berechnung des individuellen Sauerstoffbedarfes eines Athleten oder einer Athletin empfehlen Medbø et al. (1988) sowie Medbø und Tabata (1993) mindestens zehn submaximale Belastungsperioden mit einer Dauer von je zehn Minuten. Die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme der letzten zwei Minuten entspricht dabei dem Sauerstoffbedarf der vorgegebenen Belastungsintensität (Heck & Schulz 2002). Anschließend kann mittels einer Regressionsgeraden die Leistungs-Sauerstoffaufnahme-Funktion (oder auch Power Output-VO_2) bestimmt werden (Noordhof et al. 2010). Durch die Kenntnis des individuell analysierten Sauerstoffbedarfs während einer konstanten Belastungsintensität ist folglich nun auch möglich, das akkumulierte Sauerstoffdefizit in Form des Differenzwertes von Sauerstoffbedarf und Sauerstoffaufnahme nachzuweisen (Heck & Schulz 2002). Trotz vielseitig bestätigter Validität sowie Reliabilität (Jacobs, Bleue & Goodman 1997; Weber & Schneider 2001) genießt die Methode des akkumulierten Sauerstoffdefizits jedoch, aufgrund des hohen zeit- und messtechnischen Aufwands, heutzutage eine eher zweitrangige Bedeutung (Heck & Schulz 2002). Für einige Autoren und Autorinnen repräsentiert die MAOD allerdings auch weiterhin die bislang beste nichtinvasive Verfahren zur Bestimmung der anaeroben Kapazität (Noordhof et al. 2010).

3 Forschungsstand und Analyse vorhergehender Publikationen

Kapitel 3 umfasst einen Auszug des derzeitigen Forschungsstandes bezüglich der Themen High-Intensity Training sowie semispezifischen und sportartspezifischen Trainingsmethoden im Schwimmsport. Die im Zuge der Dokumentation und Analyse verwendeten Publikationen entstammen den elektronischen Datenbanken *MEDLINE*, *PubMed*, *ResearchGate*, *SPORTDiscus*, *Web of Science* sowie der universitätseigenen Suchmaschine der Universitätsbibliothek Wien.

3.1 High-Intensity Training

Das Thema High-Intensity Training (HIT) erfährt seit jüngster Vergangenheit eine große breiten- und leistungssportliche Relevanz. Die Trainingsmethode wird dabei als eine bewährte Alternative zur Verbesserung der Ausdauerleistung angesehen, bei der wiederholt, intensive Belastungsphasen mit einer Intensität von 90 bis 100 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) und einer Dauer von 30 bis 300 Sekunden durchgeführt werden (Wahl, Hägele, Zinner, Bloch & Mester 2010a). Unterbrochen werden diese Belastungsphasen wiederum durch Erholungsphasen von gleicher, kürzerer bzw. längerer Dauer und reduzierter Intensität (Wahl et al. 2010a). Zahlreiche Studien zeigten bislang, dass High-Intensity Training vergleichbare bzw. mitunter auch größere Verbesserungen und Adaptionen der aeroben Leistungsparameter mit geringerer Trainingszeit bewirkt als das bisher verwendete, klassische, umfangbetonte Ausdauertraining (Foster et al. 2015; Milanovic, Sporis & Weston 2015; Weston, Taylor, Batterham & Hopkins 2014). Gerade für Leistungssportler und Leistungssportlerinnen bietet ein hochintensives Intervalltraining nach Azuma und Matsumoto (2017) daher eine effiziente Möglichkeit zum weiteren Ausbau der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, während Freizeitathleten und Freizeitathletinnen besonders durch den zeitsparenden Effekt profitieren würden. So konnten Gibala et al. (2006) in einer Studie mit 16 sportlich aktiven Studenten der McMaster Universität etwa belegen, dass sowohl ein Sprint-Intervall-Training als auch ein herkömmliches Ausdauertraining am Fahrradergometer, trotz komplett konträrer Trainingsinterventionen, zu ähnlichen Anpassungen der aeroben Leistungsfähigkeit führen. Jede der beiden Trainingsgruppen absolvierte im Zuge der Untersuchung hierbei insgesamt sechs Trainingseinheiten über einen Zeitraum von zwei Wochen. Jede Trainingseinheit bestand wiederum entweder aus vier bis sechs 30-sekündigen Sprints,

welche mit maximaler Intensität ausgeführt werden mussten, oder einem 90 bis 120-minütigen kontinuierlichen Ausdauertraining bei 65% der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Trainingszeit betrug am Ende der Studie somit 2,5 Stunden für die Sprint-Intervallgruppe und 10,5 Stunden für die Kontrollgruppe, was einer 20-prozentigen Reduktion der Trainingsdauer sowie einem 90% geringeren Gesamttrainingsvolumen zugunsten der High-Intensity-Gruppe entspricht (Gibala et al. 2006). Die Ergebnisse der Forscher und Forscherinnen bestätigten dadurch frühere Studienresultate von Eddy, Sparks und Adelizi (1977), welche als eine der ersten Forschungsgruppen die Effektivität hochintensiven Intervalltrainings bewiesen. Die Autoren verglichen ihrer Zeit anhand von 14 Testpersonen (sechs männlich, acht weiblich) die Auswirkungen zweier unterschiedlicher Trainingsmethoden auf aerobe Leistungsfaktoren wie Herzfrequenz, Blutlaktatkonzentration und $VO_{2max.}$ Als Trainingsmethoden wählten die Forscher ein kontinuierliches Ausdauertraining bei 70% der individuellen VO_{2max} sowie ein Intervalltraining, welches aus mehreren ein-minütigen Sprints bei 100% der maximalen Sauerstoffaufnahme bestand. Die Trainingszeiten gestalteten sich individuell durch das Erreichen einer vorgegebenen Anzahl an Kilopondmetern (1000 kpm in der ersten Woche, danach folgte eine wöchentliche Steigerung um 3000 kpm), wodurch die Autoren sicherstellten, dass beide Gruppen den gleichen Belastungsumfang erfuhren. Über insgesamt sieben Wochen hinweg mussten die Probanden und Probandinnen jeweils vier Trainingseinheiten pro Woche mit der zuvor zugeteilten Methode absolvieren. Beide Testgruppen nutzten zudem für die Durchführung der jeweiligen Trainingseinheiten ein standardisiertes Fahrradergometer. Nach Beendigung der Studie stellten Eddy et al. (1977) fest, dass sowohl kontinuierliches als auch intermittierendes Ausdauertraining gleichermaßen identische Anpassungen in Bezug auf die Herzfrequenz, Blutlaktatwerte und VO_{2max} nach sich ziehen. Nachfolgende Studien zeigten darüber hinaus, dass jene, durch hochintensives Intervalltraining bedingten, physiologischen Anpassungsmechanismen dabei sowohl geschlechtsunabhängig sind (Astorino et al. 2011), als auch bei Kindern und Jugendlichen (Kappenstein & Ferrauti 2015; Logan, Harris, Duncan & Schofield 2014) sowie Personen mittleren oder höheren Alters (Whitehurst 2012) gleichermaßen ähnliche Anpassungsreaktionen hervorrufen. Schließlich deuten einige Studien sogar auf eine Überlegenheit hochintensiven Intervalltrainings gegenüber einem moderat-kontinuierlich durchgeführten Ausdauertraining hinsichtlich psychologischer Faktoren wie Spaß und Vergnügen während bzw. nach Trainingseinheiten hin (Bartlett et al. 2011; Kong et al. 2016; Thum, Parsons, Whittle & Astorino 2017).

3.1.1 High-Intensity Training im Breiten- und Leistungssport

Obwohl physiologische Adaptionen und Reaktionsvorgänge niedrig-intensiven, umfangbetonten (Grundlagen-)Ausdauertrainings, oder auch High-Volume Training (HVT) genannt, bei ungeübten sowie mäßig-trainierten Populationen weitgehend erforscht sind, bleibt die Frage der Effektivität solcher und weiterer Trainingsprogramme zur Verbesserung der sportmotorischen Ausdauerleistung (darunter auch High-Intensity Training) im Falle (hoch-)trainierter Sportler und Sportlerinnen zuweilen eher ungeklärt (Wahl, Hägele, Zinner, Bloch & Mester 2010). Besonders bei hochtrainierter Athleten und Athletinnen scheint umfangbetontes Grundlagenausdauertraining kaum noch zu einer weiteren Erhöhung der aeroben Ausdauerleistung bzw. zu einer Verbesserung physiologischer Messgrößen (z.B. VO_{2max}) zu führen (Costill et al. 1991). So zeigte eine Studie von Costill et al. (1988) an zwölf männlichen Leistungsschwimmern beispielsweise, dass eine Verdoppelung des Trainingsvolumens (von 4266 auf 8979 Meter/Trainingstag) bei gleichbleibender Trainingsintensität über einen Zeitraum von zehn Tagen keine Veränderungen bezüglich der Schwimmleistung sowie der aeroben Kapazität mit sich bringt. Die Ergebnisse der Autoren und Autorinnen wurden in einer nachfolgenden Meta-Analyse von Londeree (1997) bestätigt. Dieser verglich anhand von insgesamt 34 Studien die Auswirkungen verschiedener Belastungsintensitäten auf die Laktat- und Ventilationsschwelle von trainierten wie untrainierten Personen. Übereinstimmend mit den Ergebnissen von Costill et al. (1988; 1991) konkludierte auch Londeree (1997), dass Trainingsintensitäten nahe der Laktat- oder Ventilationsschwelle zwar einen adäquaten Trainingsreiz für Untrainierte darstellen würden, ausdauertrainierte Personen allerdings höhere Intensitäten zur Verbesserung jener physiologischen Parameter präferieren sollten. Als plausible Ursache für das Ausbleiben weiterer Leistungssteigerungen sehen einige Forscher und Forscherinnen daher die Möglichkeit, dass ausdauertrainierte Athleten und Athletinnen einen sogenannten Plateauzustand in Bezug auf metabolische und kardiorespiratorische Adaptionen erreicht haben könnten, der als Resultat auf überwiegend umfangorientiertes und submaximales Ausdauertraining zurückzuführen sei (Laursen & Jenkins 2002). Auch belegten Studienergebnisse von Swain und Franklin (2002) in diesem Zusammenhang, dass die minimale Intensität, die eine Steigerung der VO_{2max} ermöglicht, stark in Abhängigkeit zu den individuellen, maximalen Sauerstoffaufnahmewerten steht. Den Autoren zufolge sollten ausdauertrainierte Sportler und Sportlerinnen höhere Trainingsintensitäten bewältigen, um eine fortlaufende Verbesserung der VO_{2max} erzielen zu

können, während moderate Intensitäten bei wenig- oder untrainierten Personen bereits ausreichende Anpassungsreize bieten würden (Swain & Franklin 2002).

Der leistungssteigernde Effekt hochintensiven Intervalltrainings auf trainierte Personen konnte zudem in einer Reihe empirischer Interventionsstudien nachgewiesen werden (García-Pinillos, Soto-Hermoso & Latorre-Román 2017; Laursen, Blanchard & Jenkins 2002; Smith, McNaughton & Marshall 1999; Stepto, Hawley, Dennis & Hopkins 1999). Stepto et al. (1999) wiesen als eine dieser Studien beispielsweise die Auswirkung eines hochintensiven Intervalltrainings auf die 40 Kilometer-Zeit-Leistung von 20 männlichen Rennradfahrern nach. Die Probanden wurden hierzu auf fünf randomisierte Gruppen aufgeteilt. Jede der einzelnen Gruppen musste über einen Zeitraum von drei Wochen insgesamt sechs Trainingseinheiten bei einer vorgegebenen Belastungsintensität absolvieren. Nach Beendigung der Posttests stellten die Forscher eine signifikante Leistungsverbesserung zugunsten jener beiden Gruppen fest, die entweder nahe der initialen Renngeschwindigkeit (bei 85% der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit) oder mit höheren Belastungsintensitäten (175% der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit) trainiert wurden. Ebenso veranschaulichte eine Untersuchung von Laursen et al. (2002) die Effektivität eines kurzzeitig durchgeführten High-Intensity Trainings auf die ventilatorischen Schwellen sowie den maximalen Leistungsoutput von 14 hochtrainierten, männlichen Radfahrern. Das Trainingsprogramm setzte sich dabei aus vier High-Intensity Einheiten zusammen, in denen die Probanden jeweils zwanzigmal eine 60-sekündige Sprintleistung bei maximaler Anstrengung erbringen mussten. Zum Ende der Studie hin konnten Laursen et al. (2002) zwar keine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme dokumentieren, jedoch deuteten die Ergebnisse auf eine signifikante Steigerung bezüglich der ersten und zweiten ventilatorischen Schwelle (+22% und +15%) sowie auf eine Erhöhung des maximalen Poweroutputs (+4,3%) hin (Laursen et al. 2002). Beide der zuvor präsentierten Studien belegen allerdings nicht nur das leistungssteigernde Potential eines hochintensiven Intervalltrainings für Athleten und Athletinnen, sondern demonstrieren darüber hinaus auch, dass jene Leistungssteigerungen durch High-Intensity Training bereits nach wenigen Trainingseinheiten erwartet werden können.

Ungeachtet der derzeitigen Forschungslage werfen einige Studien jedoch den Verdacht eines äußerst geringen Anteils an hochintensiven Trainingseinheiten in den Trainingsplanungen vieler leistungsorientierter Sportler und Sportlerinnen auf (Esteve-Lanao, San Juan, Earnest, Foster & Lucia 2005; Seiler & Kjerland 2006). Lediglich acht bis 17% des Trainingspensums verbringen Ausdauerathleten und Ausdauerathletinnen gemäß Esteve-Lanao et al. (2005) bzw. Seiler und Kjerland (2006) im Durchschnitt mit der Durchführung hochintensiver Trainingseinheiten zur Leistungsverbesserung. Folglich wird der Großteil der zur Verfügung stehenden Zeitressourcen für niedrig- oder moderat-intensives Ausdauertraining genutzt, dessen Anwendung jedoch meist einen Anstieg der wöchentlichen Trainingsumfänge nach sich zieht. Ziel für Athleten und Athletinnen sollte es García-Pinillos et al. (2017) und Seiler und Tonnessen (2009) daher sein, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen hochintensiven und niedrig- bis moderat-intensiven Trainingseinheiten sicherzustellen. Im Falle Seiler und Tonnessen (2009) würde dies einem Verhältnis von 80 zu 20% zugunsten umfangorientierter Trainingseinheiten mit geringer oder mäßiger Intensität entsprechen. Ungeklärt bleibt bislang jedoch, welchen Zeitraum High-Intensity Programme einnehmen sollten sowie zu welchem Zeitpunkt der Trainingsperiodisierung hochintensive Belastungszyklen schlussendlich, im Sinne eines leistungsorientierten Trainings, zur Anwendung kommen müssten (Wahl et al. 2010a).

3.1.2 High-Intensity Training im Schwimmsport

Trainingsprogramme im Schwimmsport charakterisieren sich im Allgemeinen durch umfangbetonte und dadurch oftmals zeitintensive Trainingseinheiten. Im Fokus dieser Trainingseinheiten steht nach Maglischo (2003) dabei vorrangig die Ausbildung der aeroben Leistungsfähigkeit der Athleten und Athletinnen. Leistungsorientierte Schwimmsportler und Schwimmsportlerinnen legen daher nicht selten Distanzen von 4000 bis zu 10000 Yards (3657,6 bis 9144 Meter) pro Trainingseinheit im Wasser zurück (Wayman & Pintar 2016). Die Relevanz solch umfangbetonter Trainingseinheiten in einer Sportartart wie dem Schwimmen, dessen Wettkampfzeiten in 26 von 32 der olympischen Distanzen (ca. 81%) durchschnittlich bei etwa zwei Minuten liegen, wird indes von einigen Autoren und Autorinnen mehr und mehr in Frage gestellt (Costa, Bragada, Marinho, Silva & Barbosa 2012; Costill et al. 1991; Nugent, Comyns, & Warrington 2017a; Nugent, Comyns, & Warrington

2017b). Auch scheint die exzessive Anwendung umfangbetonten Trainings im Schwimmsport sowohl mit einer gesteigerten Verletzungsrate des Schultergelenkapparates (Madsen, Bak, Jensen & Welter 2011; Sein et al. 2010) als auch einem gehäuften Auftreten einer Übertrainings-Symptomatik in Verbindung zu stehen (Hooper, MacKinnon, Gordon & Bachmann 1993; Raglin, Sawamura, Alexiou, Hassmén & Kenttä 2000). Eine Reduktion umfangorientierten Trainings zugunsten kürzerer, hochintensiv durchgeführter Einheiten könnte jedoch nicht nur potentielle Vorteile für gesundheitsbezogene Faktoren darstellen. Ebenso deuten mehrere Studien heutzutage auf die leistungsfördernde Wirkung hochintensiven Trainings in vorwiegend aeroben Ausdauersportarten wie dem Schwimmen hin (Laursen 2010).

Kame, Pendergast und Termin (1990) untersuchten als eines der ersten Forscherteams ihrer Zeit den Effekt eines hochintensiven Intervalltrainings im Zuge einer einjährigen Studie mit 17 männlichen Schwimmern im Alter von 19,02 ± 0,22 Jahren. Die Trainingseinheiten wurden dabei für jeden einzelnen Athleten individuell zusammengestellt, fokussierten sich jedoch im Allgemeinen darauf, eine möglichst hohe (bzw. maximale) Schwimmgeschwindigkeit über relativ kurze Distanzen aufrecht zu erhalten. Nach Abschluss der Studie stellten Kame et al. (1990) eine statistisch signifikante Verbesserung der Schwimmleistung fest, die im Zusammenhang mit einer zeitgleichen Steigerung der VO_{2max}, der Zugfrequenz sowie der maximalen Schwimmgeschwindigkeit beobachtet wurde. Die Autoren schlussfolgerten daher, dass High-Intensity Training leistungsbestimmende physiologische wie metabolische Faktoren positiv beeinflussen würde, gleichzeitig jedoch nicht zur Optimierung technischer Fertigkeiten bzw. zur Ausbildung eines ökonomischen Schwimmstils geeignet wäre (Kame et al. 1990). Eine ähnliche Studie von Termin und Pendergast (2000) analysierte die Auswirkungen eines High-Intensity Trainingsprogrammes anhand von 22 männlichen Schwimmern im Alter von 19 ± 0,2 Jahren über einen Gesamtzeitraum von vier Jahren. Das Trainingsprogramm selbst zeichnete sich hierbei durch einen progressiven Anstieg der Belastungsintensität aus. Die Resultate dieser Langzeitstudie dokumentierten neben einer Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme um 48%, ebenso eine signifikante Steigerung der Schwimmleistungen über die 100- sowie die 200-Yard-Distanz (Termin & Pendergast 2000). Konträr zu den Ergebnissen von Kame et al. (1990) konnten die Autoren zuzüglich einer Verbesserung der Schwimmleistung allerdings auch eine positive Veränderung der Schwimmökonomie, im Sinne eines effizienteren Verhältnisses zwischen Zugfrequenz und Zuglänge, beobachten (Termin & Pendergast 2000). Ergänzend zu den bisher bearbeiteten

Publikationen verglichen Sperlich et al. (2010) die Auswirkungen eins hochintensiven Intervalltrainings mit denen eines klassischen, umfangbetonten Ausdauertrainings anhand einer fünfwöchigen Cross-Over-Studie mit insgesamt 26 jugendlichen Schwimmern und Schwimmerinnen im Alter zwischen neun und elf Jahren. Als Trainingsprogramm wählten die Autoren und Autorinnen entweder ein 30-minütiges High-Intensity Training bei 92% der persönlichen Bestzeit über die jeweilige Distanz oder ein 60-minütiges, umfangbezogenes Ausdauertraining bei 85% der individuellen Bestzeit der zu schwimmenden Distanz. Nach Beendigung der Untersuchung zeigten jene Kinder (und Jugendlichen) aus der High-Intensity-Gruppe eine signifikante Verbesserung der 2000 Meter Schwimmzeit sowie eine Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme und der maximalen Laktatbildungsrate. Sperlich et al. (2010) konkludierten daher, dass ein hochintensives Intervalltraining im Schwimmsport nicht nur eine zeitsparende, sondern auch überaus effiziente Methode zur Leistungsverbesserung bei Kindern und Jugendlichen darstellt. Pugliese et al. (2015) belegten schließlich auch die Effektivität eines High-Intensity Trainings bei langjährigen Leistungsschwimmern im Alter von 32,3 ± 5,1 Jahren. Die Forscher und Forscherinnen rekrutierten hierfür zehn erfahrene, männliche Leistungsschwimmer, die über einen Zeitraum von jeweils sechs Wochen zwei unterschiedlichen Trainingsprogrammen unterzogen wurden. Die erste Trainingsperiode charakterisierte sich aus einem niedrig-intensiven, umfangorientierten Ausdauertraining, wohingegen die zweite Trainingsperiode aus einem hochintensiven, jedoch im Umfang reduzierten, Intervalltraining bestand. Zwischen den beiden Trainingsperioden wurde ein 14-tägiges, niedrig-intensives und umfangreduziertes Trainingsprogramm eingehalten. Die Probanden trainierten im Zuge der beiden Trainingsperioden dreimal pro Woche, wobei in der ersten Periode 90% des Trainingspensums zwischen 80-105% der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) bei einem Umfang von 12000 Meter durchgeführt wurden. In der zweiten Periode absolvierten die Studienteilnehmer 90% aller Einheiten wiederum bei einer Trainingsintensität von 110-130% der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) sowie einem wöchentlichen Trainingsumfang von 6000 Metern. Die Intervention durch High-Intensity Training führte im direkten Vergleich beider Trainingsprogramme schließlich zu einer signifikanten Verbesserung der 100-Meter-Schwimmleistung, während sowohl die Schwimmleistungen über 400 und 2000 Meter als auch die VO_{2max} in beiden Gruppen eine annähernd gleiche Steigerung aufwiesen. Pugliese et al. (2015) betonen daher die Relevanz hochintensiver Trainingsphasen zur Maximierung dominant anaerober Schwimmleistungen bei kurzen sowie mittleren Distanzen (50-400 Meter).

Neben den zuvor genannten Studien bestätigen Faude et al. (2008) wie auch Houston, Wilson, Green, Thomson und Ranney (1981) zwar jene, im Zuge durch High-Intensity Training erworbenen, physiologischen Adaptionen (z.B. Steigerung der VO_{2max}), konnten allerdings im Verlauf ihrer jeweiligen Untersuchungen keine signifikanten Verbesserungen der Schwimmleistung beobachten. Zusammenfassend lässt sich jedoch auf Grund der Überzahl an befürwortenden Untersuchungen ein durchaus positiver Effekt hochintensiven Intervalltrainings auf die Schwimmzeiten von Athleten und Athletinnen erkennen. Die Notwenigkeit zukünftiger Studien bleibt hingegen, anlässlich verschiedener limitierender Faktoren (Forschungsdesign, Interventionsdauer, Methodik), weiterhin bestehen. Aus Tab. 5 können abschließend sämtliche bearbeiteten Publikationen dieses Abschnittes übersichtlich entnommen werden.

Tab. 5: Interventionsstudien mit High-Intensity Training im Schwimmsport

AutorInnen	ProbandInnen	Intervention	Schwimmleistung
Houston et al. (1981)	10 (7 männlich, 3 weiblich), 19,8 ± 0,4 Jahre	HIT bestehend aus Intervallen über 25-200 Yards	Keine signifikante Verbesserung
Kame et al. (1990)	17 (männlich), 19,06 ± 0,22 Jahre	Individualisiertes HIT bei 3000 Yards/Einheit	↑ der Schwimmleistungen über 50 bis 1650 Yards
Termin & Pendergast (2000)	22 (männlich), 19 ± 0,2 Jahre	Periodisiertes HIT mit progressivem Intensitätssteigerung	↑ der Schwimmleistung über 100 und 200 Yards
Faude et al. (2008)	10 (6 männlich, 4 weiblich), 16,6 ± 1,4 Jahre	Periodisiertes HIT bei >101% der individuellen anaeroben Schwelle	Keine signifikante Verbesserung

Sperlich et al. (2010)	26 (13 männlich, 13 weiblich), 10,5 ± 1,4 Jahre	30 Minuten HIT bei 92% der individuellen Bestzeit pro jeweiliger Distanz	↑ der Schwimmleistung über 2000 Meter
Pugliese et al. (2015)	10 (männlich), 32,3 ± 5,1 Jahre	HIT bei 110-130% der individuellen anaeroben Schwelle	↑der Schwimmleistung über 100 Meter

(↑... signifikante Verbesserung)

3.2 Semispezifisches Training im Schwimmsport

Leistungsorientierte Schwimmersportler und Schwimmsportlerinnen auf nationalem wie internationalem Niveau verbringen nach einer Studie von Anderson, Hopkins, Roberts und Pyne (2008) sowie einer Umfrage von Krabak, Hancock und Drake (2013) im Durchschnitt drei bis sechs Stunden pro Woche mit der Durchführung von semispezifischen Trainingseinheiten außerhalb des Wassers („Trockentraining“). Im Fokus dieser Trainingseinheiten an Land steht dabei meist die Verbesserung der Maximal- und Schnellkraft der Schultermuskulatur. Zahlreiche Studien konnten darüber hinaus einen positiven Zusammenhang zwischen der (Schnell-)Kraft der Oberkörpermuskulatur und der Schwimmleistung belegen. Sharp, Troup und Costill (1982) beispielsweise fanden in einer Untersuchung mit 40 Leistungsschwimmern und Leistungsschwimmerinnen (18 männliche, 22 weibliche) eine enge Korrelation zwischen der am Schwimmergometer gemessenen Schnellkraftfähigkeit der Schultermuskulatur sowie der 25-yd Sprintschwimmleistung (r = 0,90). Auch Hawley und Williams (1991) stellten einen starken, positiven Einfluss der (anaeroben) Schnellkraft der Oberkörpermuskulatur auf die 50-Meter Schwimmleistung von Leistungsschwimmern und Leistungsschwimmerinnen fest. Die Studie umfasste dabei insgesamt 30 Schwimmsportler und Schwimmsportlerinnen (14 männliche, 16 weibliche). Zur Feststellung der Schnellkraftfähigkeit wurde der Wingate Anaerobic Arm Test (WAAT) angewandt. Die Versuchspersonen wurden zudem einem fünfmonatigen täglichen Training vor der Studie unterzogen. Ähnliche Ergebnisse wiesen Bradshaw und Hoyle (1993) in einer kleineren Studie mit sieben männlichen Leistungsschwimmern mit mindestens drei Jahren Wettkampferfahrung auf. Hierbei fanden die Forscher einen signifikanten Zusammenhang zwischen der erbrachten

Durchschnittsleistung am Schwimmergometer und der 25-Meter Kraulstil-Zeit, welche ohne den Einsatz der Beinmuskulatur erfolgen musste. Bradshaw und Hoyle (1993) schlussfolgerten daraus, dass jene Schwimmer mit höheren Leistungswerten am Schwimmergometer zugleich schnellere Schwimmleistungen erbringen, weshalb Trainingseinheiten zur Verbesserung der schwimmspezifischen Muskulatur der oberen Extremitäten ein regelmäßiger Teil des Sprinttrainings sein sollten. Gleiche Empfehlungen finden sich ebenso in einer Studie von Manning, Dooly-Manning, Terrell und Salas (1986), bei der sieben männliche Schwimmer im Alter von 16 bis 18 Jahren einem neunwöchigen Kraftausdauerprogramm unterzogen wurden. Trotz einer leichten Verbesserung der untersuchten Schwimmzeiten (50-, 100- und 200-yd) konnten die Forscher am Ende der Studie jedoch keine signifikanten Steigerungen der Schwimmleistung erkennen. Manning et al. (1986) argumentierten abschließend aber, dass selbst eine minimale Verbesserung der Schwimmzeit auf solch kurze Distanzen wie 50-, 100- und 200-yd als relevant eingestuft werden können und ein zusätzliches Widerstandstraining an Land deshalb immer Bestandteil des Trainingsprozesses von leistungsorientierten Schwimmern und Schwimmerinnen sein sollte. Obgleich eines hohen Zusammenhangs zwischen der (Schnell-)Kraftfähigkeit der oberen Extremitäten und der Schwimmleistung auf Sprintdistanzen lässt die derzeitige Studienlage dennoch keine generalisierten Aussagen in Bezug auf die Effektivität eines semispezifischen Widerstandtrainings zu (Crowley, Harrison & Lyons 2017).

3.2.1 Semispezifisches Training mit Gewichten

Traditionelles Widerstandstraining und allgemeine Kräftigungsübungen gehören zum Trainingsrepertoire vieler Sportarten und Disziplinen (z.B. Bandrücken, Klimmzüge, Kniebeugen, etc.). Trainingskonzepte mit niedrigem Umfang sowie hoher Intensität und schneller Bewegungsausführung erweisen sich zur Verbesserung der Schwimmleistung im Allgemeinen dabei als besonders effektiv (Crowley et al. 2017). So zeigte Strass (1986), dass ein intensives sechswöchiges Krafttrainingsprogramm des Ellbogenstreckers (vier Trainingseinheiten pro Woche) mit drei Wiederholungen bei 90% des Ein-Wiederholungsmaximums über drei Sätze, zwei Wiederholungen bei 95% des Ein-Wiederholungsmaximums über zwei Sätze und einer Wiederholung bei 100% des Ein-Wiederholungsmaximums über einen Satz hinweg zu einer Verbesserung der 50-Meter-Kraulleistung um 2,1% führt. Strass (1986) in-

terpretierte diese Steigerung der Schwimmleistung auf Grund einer Anpassung neuromuskulärer Prozesse (z.B. Muskelrekrutierung, inter- und intramuskuläre Koordination, etc.). Ähnliche Ergebnisse zu Strass (1986) konnten auch Girold, Maurin, Dugue, Chatard und Millet (2007) in einer Studie mit 21 Leistungsschwimmer und Leistungsschwimmerinnen (zehn männliche, elf weibliche) aufweisen. Untersucht wurden hierbei die Auswirkungen eines traditionellen Krafttrainings sowie eines Widerstandtrainings im Wasser mit zusätzlicher und verringerter Belastung auf die 50-Meter-Kraul-Schwimmzeit Die Probanden und Probandinnen wurden dafür nach dem Zufallsprinzip in drei gleich große Gruppen unterteilt: einer Kraftgruppe, einer Wassergruppe und einer Kontrollgruppe. Jede der drei Gruppen absolvierte sechs Trainingseinheiten pro Woche über einen Zeitraum von insgesamt 12 Wochen. Hauptbestandteil des Trainings aller drei Gruppen war ein aerobes Ausdauertraining (Schwimmen und Laufen). Die Kraft- sowie die Wassergruppe absolvierten darüber hinaus entweder ein semispezifisches Krafttraining an Land oder ein schwimmspezifisches Widerstandtraining im Wasser für jeweils zwei Einheiten pro Woche zu je 45 Minuten. Um den Trainingsumfang in sämtlichen Gruppen gleichzuhalten, mussten die Teilnehmenden der Kontrollgruppe zusätzlich ein aerobes Training am Fahrradergometer für je eineinhalb Stunden pro Woche durchführen. Zum Ende der Studie stellten Girold et al. (2007) eine signifikante Verbesserung der 50-Meter-Kraul-Schwimmleistung um 2,8 % in der Kraftgruppe sowie 2,3% in der Wassergruppe gegenüber der Kontrollgruppe fest. Die Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen wurden dagegen als nicht signifikant beschrieben. Girold et al. (2007) schlussfolgerten daraus, dass semispezifisches Krafttraining wie auch schwimmspezifisches Widerstandtraining im Wasser effektiver zur Steigerung der Schwimmleistung auf 50-Meter seien, als bloße Schwimmprogramme alleine. In einer weiteren Untersuchung gelang es Girold et al. (2012) zudem den positiven Effekt eines traditionellen Krafttrainings auf die Schwimmleistung erneut zu belegen. In der besagten Studie verglichen die Forscher die Auswirkungen eines semispezifischen Widerstandtrainings bzw. eines Elektrostimulationstrainings an 24 Leistungsschwimmern und Leistungsschwimmerinnen (12 männliche, 12 weibliche). Die Einteilung der Probanden und Probandinnen erfolgte wiederum in drei randomisierte Gruppen (zwei Interventionsgruppen, eine Kontrollgruppe). Die Dauer der beiden Trainingsprogramme betrug insgesamt vier Wochen. Wie auch in der zuvor erwähnten Studie fanden Girold et al (2012) eine ähnlich signifikante Steigerung der Schwimmgeschwindigkeit um 2% durch das traditionelle Widerstandtraining mit Gewichten sowie 1,7% in der Elektrostimulationsgruppe. Girold et al. (2012) bewiesen dadurch zum zweiten Mal die Effektivität eines zusätzlichen, semispezifischen Widerstandtrainings zur Verbesserung

der 50-Meter-Kraulleistung. Eine weitere Studie zur Befürwortung semispezifischen Trainings im Schwimmsport lieferten Aspenes, Kjendlie, Hoff und Helgerud (2009), bei der die Autoren den Einfluss eines kombinierten Kraft- und Ausdauertrainings anhand von 20 Probanden und Probandinnen (acht männliche, 12 weibliche) untersuchten. Die Ausdauertrainingseinheiten bestanden aus einem, im Wasser durchgeführten, 4x4-minütigem High-Intensity Training bei 90-95% der individuellen maximalen Herzfrequenz. Zwischen den einzelnen Intervallen erfolgte eine dreiminütige aktive Entlastungsphase, bei der die Teilnehmenden sich weiterhin schwimmend mit 60-75% ihrer individuellen maximalen Herzfrequenz im Wasser fortbewegten. Die Krafttrainingseinheiten gliederten sich aus drei Sätzen zu je fünf Wiederholungen, wobei das Trainingsgewicht sich nach einem erfolgreichen Satz jeweils um ein Kilogramm steigerte. Als Übung wählten die Autoren eine Variation des Pull-Over an einem Kabelzugapparat. Hierzu mussten die Probanden und Probandinnen wiederholt aus einem 170°-Flexionswinkel im Schultergelenk eine bilaterale Extension des Oberarmes ausführen. Sowohl die Ausdauer- als auch die Krafttrainingseinheiten wurden jeweils zwei Mal pro Woche absolviert. Die Kontrollgruppe hingegen verrichtete währenddessen ein reines Schwimmtraining ohne zusätzliche Trainingsinterventionen. Am Ende der Studie wiesen die Teilnehmenden aus der Versuchsgruppe neben einer 20,3-prozentigen Steigerung der gemessenen Kraftparameter ebenso eine signifikante Verbesserung der 400-Meter-Kraulstil-Zeit um durchschnittlich 3,74 Sekunden auf. Zu keiner aussagekräftigen Verbesserung kam es jedoch auf der 50- sowie der 100-Meter-Distanz. Aspenes et al. (2009) konkludierten daher, dass ein zusätzliches Krafttraining mit Gewichten eher zu einer Leistungsverbesserung im Mitteldistanzschwimmen führen kann.

Konträr zu den Ergebnissen von Strass (1986), Girold et al. (2007), Aspenes et al. (2009) und Girold et al. (2012) konnten Manning et al. (1986), Tanaka, Costill, Thomas, Fink und Widrick (1993) sowie Song, Park und Jung (2009) keine wesentlichen Verbesserungen der Schwimmleistung auf Grund eines semispezifischen Widerstandtrainings erkennen.

Manning et al. (1986) erarbeiteten ein neunwöchiges traditionelles Kraftausdauerprogramm mit sieben männlichen Schwimmer im Alter von 16 bis 18 Jahren. Als Trainingsinhalte wählten die Autoren verschiedene Übungen zur Kräftigung der Ober- und Unterkörpermuskulatur sowie der Muskulatur des Rumpfes, welche nacheinander jeweils für 60 Sekunden schnellstmöglich ausgeführt werden mussten. Obwohl sich die individuelle Muskelleistung der Probanden erheblich steigerte, wiesen die gemessenen Schwimmzeiten lediglich einen

leichten, nicht signifikanten Trend zur Verbesserung auf. Nach Crowley et al. (2017) hätten jedoch sowohl die, durch das Trainingsprogramm bedingte, ausgeprägte Hypertrophie der Arbeitsmuskulatur als auch die Restmüdigkeit der Probanden einen erheblichen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse von Manning et al. (1986) gehabt. Neben Manning et al. (1986) konnten auch Tanaka et al. (1993) ebenfalls keine aussagekräftigen Veränderungen der Schwimmleistung durch eine semispezifische Trainingsintervention mit Gewichten feststellen. Die Autoren rekrutierten hierbei 24 männliche Leistungsschwimmer, welche in zwei Gruppen unterteilt wurden. Die Interventionsgruppe absolvierte danach ein kombiniertes Schwimm- und Krafttraining über einen Zeitraum von acht Wochen. Das Krafttrainingstraining bestand dabei aus fünf Übungen für die Schulter- und Armmuskulatur, die zu je drei Sätzen mit acht bis zwölf Wiederholungen bewältigt wurden. Die Kontrollgruppe hingegen führte über dieselbe Dauer ein reines Schwimmtraining (sechs Mal pro Woche) durch. Am Ende der Studie wiesen die Teilnehmer der Interventionsgruppe zwar eine 27-35 prozentige Steigerung der Muskelkraft auf, verbesserten ihre Schwimmleistung jedoch nur im ähnlichen Ausmaß wie die Probanden der Kontrollgruppe. Tanaka et al. (1993) erklärten sich den schwachen Transfer zwischen Kraftzuwachs durch Krafttraining und Schwimmleistung auf Grund einer fehlenden Spezifität des Trainingsregimes. Song et al. (2009) verwendeten entgegen der beiden vorherigen Untersuchungen ein periodisiertes Krafttrainingsprogramm über 40 Wochen mit zwölf männlichen Schwimmern des koreanischen. Nationalteams (18,5 ± 2,07 Jahre). Auch in dieser Studie stellten die Autoren zwar eine Steigerung der gemessenen muskulären Leistungsparameter fest, konnten diese aber dennoch nicht mit einer Verbesserung der Schwimmleistung direkt in Verbindung bringen.

Zusammengefasst lässt sich aus der dargestellten Studienlage erkennen, dass ein zusätzliches semispezifisches Widerstandstraining mit Gewichten durchaus einen positiven Effekt auf die Schwimmleitung auszuüben vermag (Aspenes & Karlsen 2012; Crowley et al. 2017). Entscheidend für die Effektivität eines solchen Trainingsprogrammes scheint dabei jedoch das Zusammenspiel von Umfang und Intensität zu sein. So verwendeten Autoren wie Strass (1986), Girold et al. (2007), Aspenes et al. (2009) und Girold et al. (2012) beispielsweise Trainingsmethodiken, die sich vor allem durch niedrige Wiederholungszahlen (eins bis maximal sechs Wiederholungen) bei gleichzeitig niedriger Gesamtsatzzahl sowie hoher konzentrischer Bewegungsgeschwindigkeit auszeichneten. Laut Coyle et al. (1981) sowie Crowley et al. (2017) führt solch eine Variante des Trainings einerseits zu einer deutlich stärkeren Rekrutierung und Adaption der Typ-II-Muskelfasern, anderseits kommt es durch

das verminderte Trainingsvolumen zu einer geringeren Auslastung des neuromuskulären Systems. Es kann nach Crowley et al. (2017) daher folglich angenommen werden, dass intensitätsbetonte, jedoch im Umfang reduzierte Krafttrainingseinheiten eine wesentliche Verbesserung der Schwimmleistung herbeiführen können. Die Hypothese der Autoren wird dabei durch die Ergebnisse einer vorrausgegangenen Studie von Ramos Veliz, Requena, Suarez-Arrones, Newton und Sáez de Villarreal (2014) unterstützt. Die Forscher dieser Studie untersuchten hierbei in einem 18-wöchigen Experiment mit 27 männlichen Wasserpolospielern den Effekt eines zwei Mal pro Woche durchgeführten, hochintensiven Krafttrainings auf leistungstragende Schlüsselfaktoren der Spieler (darunter auch die 20-Meter Sprintleistung im Kraulstil). Nach Beendigung des 18-wöchigen Trainingsprogramms wiesen Probanden der Interventionsgruppe gegenüber jenen Probanden aus der Kontrollgruppe schließlich eine signifikante Steigerung in sämtlichen erhobenen Variablen auf.

Im Gegensatz zu den Studien von Strass (1986), Girold et al. (2007), Aspenes et al. (2009) und Girold et al. (2012) zeichneten sich jene Trainingsinterventionen von Manning et al. (1986), Tanaka et al. (1993) und Song et al. (2009) generell durch den Einsatz höherer Belastungsumfänge bei gleichzeitig niedrigerer Intensität aus. Eine Erhöhung des Belastungsvolumens führe laut Crowley et al. (2017) aber simultan zu einer Steigerung der neuromuskulären Erschöpfung, wodurch zum einen das individuelle Erholungsvermögen, zum anderen jedoch auch die Kraftentwicklung von Athleten und Athletinnen gehemmt werden würden. Zudem würden die hohen Belastungsumfänge in jenen dargestellten Studien eine Vergrößerung des Muskelquerschnittes zur Folge haben, die sich wiederum negativ auf das Kraft-Masse-Verhältnis auswirkt und dadurch in einer Hemmung der Schwimmleistung resultieren (Crowley et al. 2017). Anlässlich der vereinfachten Übersicht werden nachfolgend in Tab. 6 sämtliche erwähnte Studien dieses Abschnittes nochmals im Groben kurzgefasst.

Tab. 6: Interventionsstudien mit semispezifischem Widerstandtraining

AutorInnen	ProbandInnen	Intervention	Schwimmleistung
Manning et al. (1986)	7 (männlich), 16,49 ± 0,81 Jahre	Kraftausdauertraining (60 Sekunden Belastung und 30 Sekunden Pause)	Keine signifikante Verbesserung
Strass (1986)	19 (17 männlich, 2 weiblich), 16,6 ± 1,2 Jahre	Maximalkrafttraining der Armextensoren	↑ der Schwimmleistung über 50 Meter
Tanaka et al. (1993)	24 (männlich), 19,17 ± 0,32 Jahre	Krafttraining der Schulter- und Armmuskulatur	Keine signifikante Verbesserung
Girold et al. (2007)	21 (10 männlich, 11 weiblich), 16,5 ± 2,5 Jahre	Semispezifisches Maximalkrafttraining	↑ der Schwimmleistung über 50 Meter
Aspenes et al. (2009)	20 (8 männlich, 12 weiblich), 17,5 ± 2,9 Jahre	Kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining	↑ der Schwimmleistung über 400 Meter
Song et al. (2009)	10 (männlich), 16-23 Jahre	Periodisiertes Krafttraining	Keine signifikante Verbesserung
Girold et al. (2012)	24 (12 männlich, 12 weiblich), 21,8 ± 3,9 Jahre	Maximalkrafttraining der Schultermuskulatur	↑ der Schwimmleistung über 50-Meter

(↑... signifikante Verbesserung)

3.2.2 Semispezifisches Training am Schwimmergometer

Die Schwimmleistung wird im Allgemeinen durch die Fähigkeit des Athleten oder der Athletin bestimmt, hohe Antriebskräfte bei gleichzeitiger Reduzierung des Widerstandes gegen die Vorwärtsbewegung zu generieren (Toussaint 2011). Ein Großteil des erzeugten Antriebes wird dabei durch die Bewegung der Arme sichergestellt (Toussaint 2011). Lediglich 10-13% der Schwimmgeschwindigkeit werden dagegen durch den Einsatz der Beine erzeugt (Deschodt, Arsac & Rouard 1999; Gourgoulis et al. 2013). Wie aus Studien von Sharp et al. (1982), Hawley und Williams (1991) sowie Bradshaw und Hoyle (1993) hervorgeht, herrscht eine enge Korrelation zwischen der Schwimmgeschwindigkeit sowie der Kraftleistung der Schulter- und Armmuskulatur. Dieser Zusammenhang ist sowohl auf kurzen (25-100-Meter) als auch auf mittleren Schwimmdistanzen (200-400-Meter) gut erkennbar (Aspenes et al. 2012). Shimonagata, Taguchi und Miura (2003) belegten zudem, dass die Schwimmgeschwindigkeit von Wettkampfschwimmer und Wettkampfschwimmerinnen in enger Beziehung ($r = 0.92$) zur maximal produzierten Leistung am Schwimmergometer steht.

Semispezifisches Training am Schwimmergometer ermöglicht es Athleten und Athletinnen, gezielt die für das Schwimmen leitungsentscheidende Muskulatur der oberen Extremitäten in einem, der Zieltechnik gleichenden, Bewegungsmuster zu beanspruchen. Der oder die Übende befindet sich zu Beginn der Ausführung hierbei in Bauchlage auf dem Gerät, die Arme über dem Kopf ausgestreckt und mit beiden Händen in Zughilfen befestigt. Aus dieser Grundposition folgend initiiert der oder die Übende eine alternierende Zugbewegung der Arme entlang der Frontotransversalachse. Die Bewegungsrealisierung sollte dabei dem bewegungstechnischen Verlauf des jeweiligen Schwimmstiles entsprechen. (Aspenes et al. 2012; Crowley et al. 2017)

Abbildung 2 zeigt eine graphische Repräsentation der Bewegungsausführung des Armzuges am Schwimmergometer.

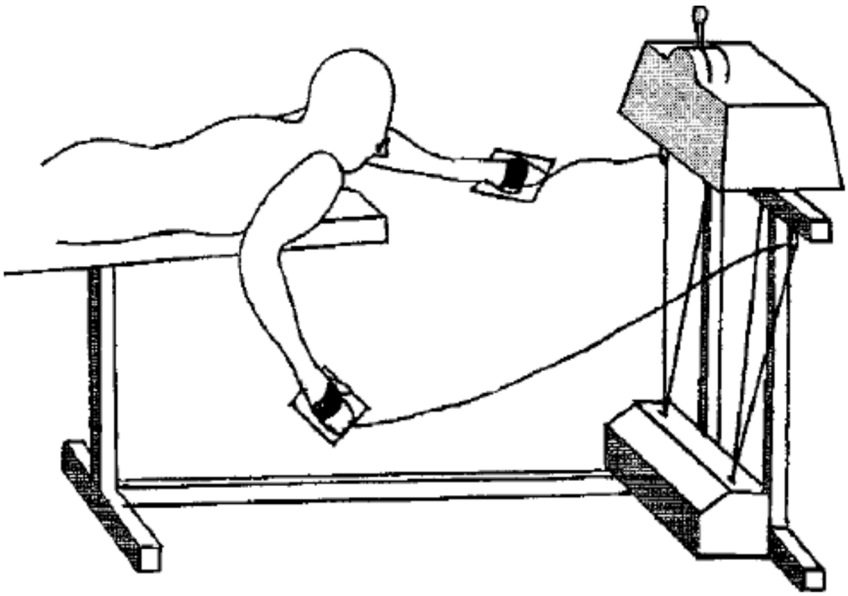

Abb. 2: Graphische Repräsentation des Armzuges am Schwimmergometer (Swaine, 2000, S. 1289)

Trotz jener ähnlichen Bewegungselemente wird dem simulierten Schwimmen am Schwimmergometer häufig eine fehlende Spezifität in Bezug auf biomechanische sowie umgebungsbedingte Aspekte zugeschrieben (Aspenes et al. 2012; Crowley et al. 2017; Pendergast & Lundgren 2009). Zum einen sei die zurückgelegte Zuglänge der Hände größer als dies beim Schwimmen im Wasser der Fall wäre, zum anderen soll sich die Aufteilung der Zugkräfte in den Gelenken deutlich von der im Wasser gemessenen Kraftverteilung unterscheiden (Crowley 2017). Zudem werden laut Aspenes et al. (2012) weitere wesentliche Faktoren wie etwa die im Schwimmsport notwendige Kontrolle des Atemrhythmus sowie vorherrschende hydrostatische Druckbedingungen und Antigravitationseffekte des Wassers im Zuge einer Bewegungssimulation am Schwimmergometer vollständig außer Acht gelassen.

Interventionsstudien von Roberts, Termin, Reilly und Pendergast (1991) sowie Sadowski, Mastalerz, Gromisz und Niźnikowski (2012) scheinen diesbezüglich die fehlende Transferfähigkeit eines Zugergometertrainings auf die Schwimmleistung zu bestätigen. Roberts et al. (1991) untersuchten dazu in einer Studie mit 16 Leistungsschwimmern (im Alter von durchschnittlich 19,1 Jahren) den Effekt eines semispezifischen Intervalltrainings am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung im Kraulstil über 100 Yard. Die Probanden wurden

hierbei zu Beginn nach dem Zufallsprinzip in eine Interventions- sowie eine Kontrollgruppe aufgeteilt. Die Interventionsgruppe absolvierte im Anschluss daran drei Mal pro Woche ein spezielles Trainingsprogramm am Schwimmergometer, das aus vier zehn-sekündigen Kurzintervallen mit drei zehn-sekündigen Erholungsphasen bestand. Zusätzlich führten beide Gruppen weiterhin ein reguläres Schwimmtraining durch. Die Autoren konnten nach Beendigung der Trainingsintervention in beiden Gruppen jedoch keine signifikanten Differenzen zwischen den Schwimmleistungen über 100 Yard feststellen. Roberts et al. (1991) schlussfolgerten daraus, dass ein zusätzlich ausgeführtes, biokinetisches Training am Zugergometer keine Leistungssteigerung für Wettkampfschwimmer verspricht und von einer Anwendung in der Vorbereitungsphase daher abgesehen werden kann. Ähnliche Ergebnisse lieferte eine experimentelle Studie von Sadowski et al. (2012), die den Effekt eines semispezifischen Intervalltrainings auf die Schwimmleistung von jugendlichen Schwimmern untersuchte. Die Forscher rekrutierten hierbei 26 männliche Schwimmer im Alter von ca. 14 Jahren und verteilten diese auf zwei randomisierte Gruppen. Beide dieser Gruppen absolvierten als Basistraining ein hauptsächlich aerob gehaltenes Schwimmtraining im Kraulstil. Zur Kontrolle der Trainingsintensität wurde die Herzfrequenz aller Probanden durchgehend überwacht. Ergänzend zu den Trainingseinheiten im Wasser mussten die Teilnehmer der Experimentalgruppe ein sechswöchiges Intervalltraining auf einem speziell designten (hydroisokinetischen*)* Ergometer bewältigen. Dieser eigens konstruierte Apparat ermöglichte es die Unterwasserphase des Armzuges während der Kraulbewegung zu simulieren. Das Ergometer selbst bestand dabei aus einen stählernen Gerüst, das am Beckenrand angebracht wurde. Um die für das Kraulschwimmen typische Körperlage beizubehalten, lagen die Probanden während der Ausführung in Bauchlage auf einer Bank. Mittels zwei Zughilfen, die über einen Rotationsmechanismus verbunden waren, konnten die Teilnehmer schließlich eine Kraftübertragung der Arme auf das Ergometer erzeugen. Drei Trainingseinheiten pro Woche (montags, mittwochs und freitags) musste jeder Proband der Versuchsgruppe über sechs Wochen lang realisieren, wodurch insgesamt 18 individuelle Trainingssessions durchlaufen wurden. Sämtliche Trainingseinheiten setzten sich wiederum aus einem zehn-minütigen Aufwärmprogramm zusammen, gefolgt von sechs 50-sekündigen Belastungsintervallen mit jeweils zehn Sekunden Pause dazwischen. Auch nach Abschluss des Interventionsprogrammes von Sadowski et al. (2012) stellte sich kein signifikanter Effekt auf die Schwimmleistung der Versuchsgruppe ein, weshalb die Autoren den Gebrauch eines Schwimmergometers zur Leistungssteigerung als ungeeignete Trainingsmethode für heranwachsende Schwimmer betrachten.

Aufgrund der mangelnden Studienlage sowie den widersprüchlichen Forschungsergebnissen daraus bleibt die Frage eines leistungssteigernden Effekts des Schwimmergometers auf die Schwimmperformance bislang eher ungeklärt (Aspenes et al. 2012; Crowley et al. 2017). Hauptfaktor für das Ausbleiben einer Verbesserung der Schwimmleistung sei nach Crowley et al. (2017) hierbei die fehlende Spezifität zur eigentlichen Schwimmbewegung. Vor allem die Ausführung der Zielbewegung auf einer stationären Unterlage wie dem Ergometer führe zu einer erhöhten Stabilität im Ausübungsprozess, die aber in keiner geringsten Weise der umgebungsspezifischen Instabilität des Schwimmens im Wasser entspreche (Crowley et al. 2017). Ebenso sei die Generierung von Vortriebskräften im Wasser nicht auf einem Apparat an Land replizierbar, wodurch für Athleten und Athletinnen keine Transmöglichkeiten bestehen würden und daraus ableitenden auch keine Verbesserungen der Schwimmleistung zu erwarten seien (Crowley et al. 2017). Zur Visualisierung werden jene bearbeiteten Studien dieses Abschnittes in Tab. 7 überblickmäßig aufgelistet.

Tab. 7: Interventionsstudien mit semispezifischem Training am Schwimmergometer

AutorInnen	ProbandInnen	Intervention	Schwimmleistung
Roberts et al. (1991)	16 (männlich), 19,1 ± 2,1 Jahre	Intervalltraining am Schwimmergometer	Keine signifikante Verbesserung
Sadowski et al. (2012)	26 (männlich), 14,0 ± 0,5	Intervalltraining am (hydroisokinetischen) Ergometer	Keine signifikante Verbesserung

3.3 Schwimmspezifisches Widerstandstraining

Neben dem Einsatz semispezifischer Trainingsmethoden bietet sich im Schwimmsport zudem die Möglichkeit an, auf spezielle, sportartspezifische Trainingsmodalitäten zurückzugreifen. Zugseile sowie elastische Widerstandsbänder stellen dabei eine jener möglichen Modalitäten des schwimmspezifischen Widerstandtrainings dar. Hierbei wird dem bzw. der Schwimmenden ein Gürtel um die Hüfte angelegt, der wiederum über Seil mit dem Beckenrad oder einem Startsockel verbunden ist. Derart justiert versucht der oder die Befestigte nun gegen den Widerstand des Seiles oder des elastischen Bandes zu schwimmen.

Die Effektivität eines solchen Trainingsregimes konnte bisweilen nur in einer kleinen Anzahl wissenschaftlicher Untersuchungen bestätigt werden. Girold, Calmels, Maurin, Milhau und Chatard (2006) zeigten in einer Studie mit 37 Leistungsschwimmern und Leistungsschwimmerinnen (16 männlich, 21 weiblich) die Auswirkungen eines schwimmspezifischen Sprinttrainings mit elastischen Widerstandsbändern auf die 100-Meter-Kraulstilleistung. Die Probanden und Probandinnen wurden hierzu in drei randomisierte Gruppen aufgeteilt: eine Interventionsgruppe, die gegen den Widerstand des elastischen Bandes schwimmen musste, eine zweite Interventionsgruppe, die das elastische Band als Zughilfe nutzte und eine Kontrollgruppe, die ohne Gebrauch des Zugapparates trainieren musste. Alle drei Gruppen absolvierten im Anschluss ein dreiwöchiges Training, bestehend aus zehn Trainingseinheiten pro Woche. Drei dieser wöchentlichen Trainingseinheiten wurden dabei für die Anwendung des elastischen Zugapparates herangezogen. Abbildung 3 demonstriert zur Veranschaulichung den jeweiligen Trainingsprozess beider Interventionsgruppen.

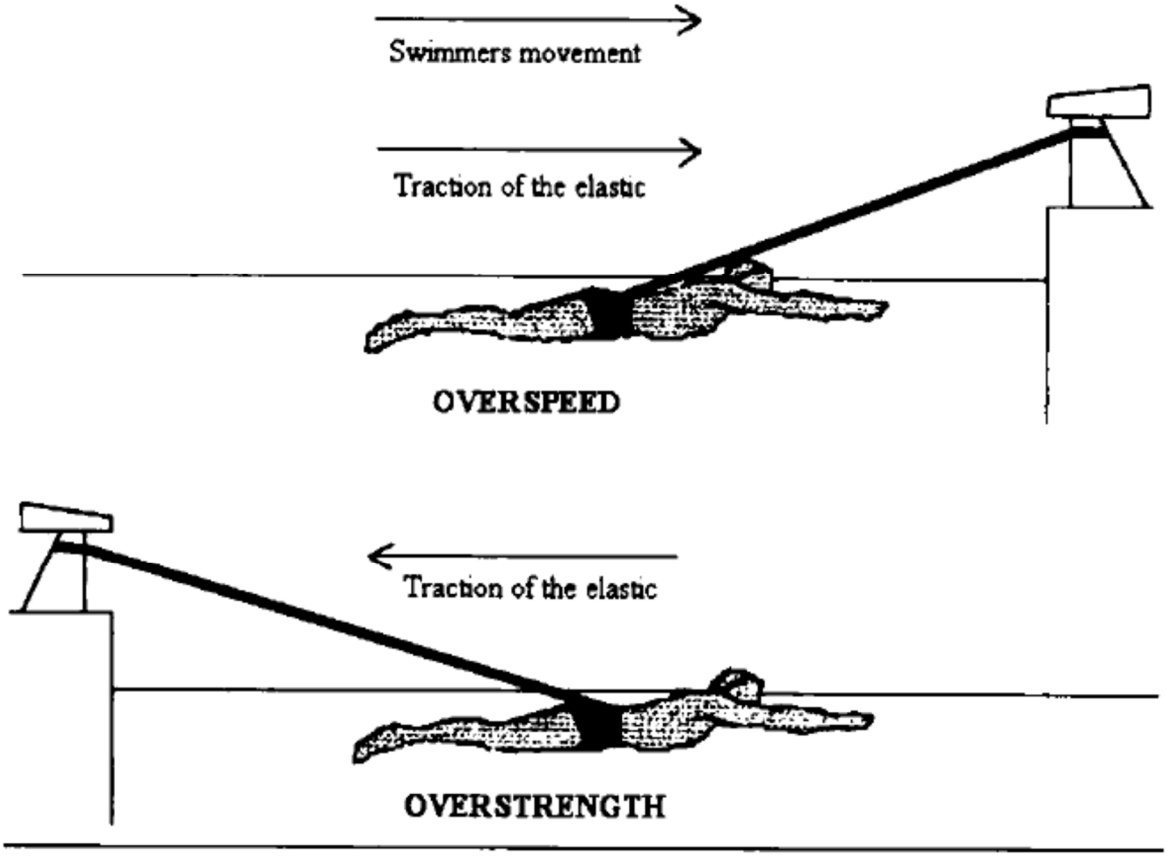

Abb. 3: Seitenansicht der Probanden und Probandinnen während der Übungssituation (Girold et al., 2006, S. 548)

Die Übungseinheiten selbst wurden dabei von allen drei Gruppen im Intervallmodus durchgeführt. So mussten die Probanden und Probandinnen der ersten Interventionsgruppe insgesamt sechs 30-sekündige Sprints gegen den Widerstand eines elastischen Seiles bewältigen, die jeweils von einer 30-sekündigen Erholungsphase unterbrochen wurden. Teilnehmende der zweiten Interventionsgruppe dagegen durchliefen zwölf 25-Meter Sprintintervalle unter Zuhilfenahme eines assistierenden Zugseiles. Ihre Pausenzeit ergab sich aus dem Zurückgehen zum Startpunkt. Die Kontrollgruppe führte währenddessen schließlich sechs 50-Meter Sprints mit einer ebenfalls 30-sekündigen Erholungszeit zwischen den Belastungsintervallen aus. Die durchschnittliche Belastungszeit lag in jeder Gruppe somit bei ca. sechs Minuten. Girold et al. (2006) stellten nach Beendigung der Studie eine 1,9-prozentige Verbesserung der 100-Meter-Kraulstil in jener Interventionsgruppe fest, die gegen den Widerstand des elastischen Zugseiles schwimmen musste. Die Resultate übertrafen dabei sowohl die der zweite Interventionsgruppe sowie der Kontrollgruppe. Girold et al. (2006) konkludierten daher, dass ein schwimmspezifisches Widerstandstraining zu einer Steigerung der Schwimmleistung führt und somit regelmäßige Anwendung im Trainingsprozess von Leistungsschwimmern und Leitungsschwimmerinnen finden sollte. Fernen konnten auch Juárez Santos-García et al. (2013) belegen, dass ein viermal hintereinander durchgeführtes schwimmspezifisches Widerstandstraining mit elastischen Zugapparaten gefolgt von einem maximal absolvierten Sprint eine Steigerung der Schwimmleistung mit sich bringt. Einen alternativen Methodenzugang wählten hingegen Mavridis, Kabitsis, Gourgoulis und Toubekis (2006) in einer kontrollierten, randomisierten Studie mit insgesamt 82 Schwimmsportlern und Schwimmsportlerinnen im Alter zwischen 14 und 15 Jahren. Untersucht wurden die Auswirkungen eines zwölfwöchigen Schwimmsprinttrainings unter Anwendung eines schwimmenden Widerstandes auf die Sprintleistung über zehn Meter. Die Aufteilung der Probanden und Probandinnen erfolgte durch eine zufällige Aufteilung in zwei Gruppen. Sowohl die Kontroll- als auch die Interventionsgruppe erfuhren über den zwölfwöchigen Trainingszeitraum ein dreimal wöchentlich durchgeführtes Sprinttraining im Wasser. Teilnehmende der Experimentalgruppe trugen während dieser Trainingssessions einen speziellen Hüftgürtel, der über ein elastisches Seil mit einem schwimmenden, schüsselartigen Widerstand (35cm im Durchmesser und einem Eigengewicht von 170g sowie fünf Durchzugslöchern) verbunden war. Zum Abschluss der Studie zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Schwimmzeiten über zehn Meter in der Interventionsgruppe (8,5 ± 4,1%) im Vergleich zu jenen der Kontrollgruppe (1,2 ± 1,6%) (Mavridis et al. 2006). Die Autoren sprachen sich in

Folge dessen letztlich für eine praktische Weiterempfehlung des schwimmspezifischen Widerstandtrainings zur Erlangung einer maximalen Schwimmgeschwindigkeit aus, betonten aber zugleich, dass weitere Studien auf diesem Gebiet notwendig seien (Mavridis et al. 2006). In Summe weisen alle drei dargelegten Untersuchungen dennoch auf eine gewisse Effektivität jener beschriebenen Trainingsmethoden zur Verbesserung der Schwimmleistung hin, wobei vorrangig die laut Crowley et al. (2017) ausgewiesene sportartspezifische Nähe zur Zielbewegung (z.B. Kraulstil) als wesentlicher Erfolgsfaktor zu benennen wäre. Die Annahmen von Crowley et al. (2017) decken sich somit mit den Forschungsergebnissen von Sáez De Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff und Ramos Veliz (2015), welche die Wirksamkeit eines sechswöchigen schwimmspezifischen Widerstandtrainings im Wasser auf sportartspezifische Leistungsvariablen von Wasserpolospielern nachweisen konnten.

Eine weitere Option des schwimmspezifischen Widerstandtrainings bietet das isolierte Belasten der Arme bzw. der isolierte Bewegungsverlauf dieser. Wie Untersuchungen von Ribeiro et al. (2015) und Rodríguez et al. (2016) darlegen konnten, wird durch das Weglassen des Beinschlages (z.B. durch den Einsatz einer auftriebgebenden Schwimmhilfe) die maximale Sauerstoffaufnahme sowie der Energieverbrauch bei gleicher Belastungsintensität erheblich reduziert. Daraus abgeleitet, kann diese Trainingsmethode nach Crowley et al. (2017) folglich dazu verwendet werden, die allgemeine Trainingsbelastung von Athleten und Athletinnen zu verringern, ohne dabei den Umfang des Trainings negativ zu beeinflussen. Konstantaki, Winter und Swaine (2008) untersuchten diesbezüglich die Effektivität eines zusätzlich ausgeführten, isolierten Schwimmtrainings der oberen Extremitäten auf die Schwimmleistung von 15 Schwimmern der Nationalliga. Die Forscherinnen und Forscher ersetzten dabei im Zuge des sechswöchigen Experimentes 20% des regulären Schwimmtrainings durch diverse Übungen zur isolierten Beanspruchung der Arm- und Schultermuskulatur. Trotz signifikanter Verbesserungen der Bewegungsökonomie, der Schwimmleistung ohne Einsatz der Arme sowie der muskulären Ausdauer der trainierten Körpersegmente, konnten Konstantaki et al. (2008) keine aussagekräftige Steigerung der Schwimmleistung beobachten. Die Autoren und Autorinnen begründeten diesen fehlenden Leistungstransfer damit, dass potentielle Anpassungseffekte des isolierten Armtrainings mehr Zeit und Training in Anspruch nehmen würden, um relevante Auswirkungen auf die Schwimmleistung zu zeigen (Konstantaki et al. 2008). Crowley et al. (2017) deuten hingegen besonders auf die Vernachlässigung koordinativer Teilaspekte, die im Zuge einer isolierten Bewegungsaus-

führung zwangsläufig auftreten würde, hin. Demnach führe eine Abgrenzung der Schwimmbewegung auf die oberen Extremitäten hin bezogen zu einem zusätzlichen externen Drehmoment entlang der Longitudinalachse des Oberkörpers, das aus einer Veränderung der Stabilität bzw. der Wasserlage resultiert.

Eine abschließende Variante des schwimmspezifischen Widerstandtrainings findet sich in der Anwendung von sogenannten *Drag-Suits* sowie Apparaten zur Messung des aktiven Schwimmzuges (*Measurement of Active Drag Device*) wieder. Erstere zeichnet sich dabei durch das Tragen von spezieller Schwimmkleidung aus, deren bremsende Eigenschaften die Widerstandskraft des Wassers erhöhen sollen. Dragunas, Dickey und Nolte (2012) befassten sich diesbezüglich mit den möglichen leistungssteigernden Effekten einer kontrollierten Anwendung jener *Drag-Suits* im Kontext leistungsorientierten Schwimmtrainings. Zu diesem Zweck verglichen die Forscher die Schwimmleistung auf 50-Meter im Kraulstil von insgesamt 18 männlichen Probanden, die gleichmäßig zu je neun Personen in eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe aufgeteilt wurden. Fünf Wochen lang absolvierten beide Gruppen anschließend ein spezielles Trainingsregime, bestehend aus drei maximal durchgeführten Sprint-Sets. Die Probanden der Versuchsgruppe trugen während dieser Trainingseinheiten einen *Drag-Suit*, die Kontrollgruppe hingegen trainierte in der für Wassersportler üblichen Trainingsbekleidung. Dragunas et al. (2012) konnten nach Beendigung der Studie jedoch keine signifikante Verbesserung der Schwimmleistung durch das Tragen eines *Drag-Suits* feststellen, befürworteten allerdings weiterhin die Integration jener Trainingsmethode als wertvolle Ergänzung zum herkömmlichen Schwimmtraining. Ungeachtet dessen fehlen nach Crowley et al. (2017) bis dato aussagekräftige Langzeitstudien zur Untersuchung potenzieller Effekte des *Drag-Suit*-Trainings auf die Schwimmleistung, wodurch keine pauschalen Empfehlungen diesbezüglich formuliert werden können.

Toussaint und Vervoorn (1990) bedienten sich in einer Untersuchung zur Prüfung der Effektivität schwimmspezifischen Widerstandtrainings auf die Schwimmleistung von Leistungsschwimmern und Leistungsschwimmerinnen wiederum dem sogenannten *MAD*-Apparat (*Measurement of Active Drag*), einem speziellen System, das zur Messung und Aufzeichnung der mechanischen Kraftumsetzung sowie des aktiven Schwimmzuges beim Kraulschwimmen eingesetzt wird. Die mechanischen Komponenten des *MAD*-Apparates selbst umfassen insgesamt 16 Abdruckflächen (im Original *Pushoff-Pads* genannt), die im Abstand von 1,35 Meter und einer Tiefe von 0,8 Meter angebracht werden. Im Zuge der praktischen

Anwendung mussten die Probanden und Probandinnen nun versuchen sich ohne Einsatz der Beine von den vorjustierten Abdruckflächen abzustoßen. Die dabei generierten Abstoßkräfte wurden dann über spezielle Kraftmessplatten aufgezeichnet. In einer randomisierten, kontrollierten Studie verglichen die oben erwähnten Autoren schließlich die Schwimmleistungen aller Probanden und Probandinnen nach einer zehnwöchigen Trainingsintervention mit bzw. ohne Einsatz des *MAD*-Systems. Die Ergebnisse der Enduntersuchung zeigten eine deutliche Verbesserung der Schwimmleistung über 50 und 200 Meter zugunsten der Interventionsgruppe, während die Schwimmzeiten über 25 sowie 100 Meter beider Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede aufwiesen (Toussaint & Vervoorn 1990). Ungeachtet der äußerst vielversprechend wirkenden Resultate deuten Aspenes et al. (2012) allerdings auf die schwache Studienbeteiligung der Teilnehmer und Teilnehmerinnen hin. So wurden laut Angaben der Autoren selbst lediglich 48,3% der Trainingseinheiten in der Interventionsgruppe sowie 46,8% der Trainingseinheiten in der Kontrollgruppe abgeschlossen. Zugleich wurden nur etwa 59,3% der Trainingsinterventionen unter Einsatz des *MAD*-Systems von den Probanden und Probandinnen der Versuchsgruppe besucht. Beide Gruppen zeichneten sich demzufolge durch eine eher unregelmäßige Teilnahme an der Studie aus, wobei die Interventionsgruppe im Schnitt einen höheren Trainingsumfang bewältigte. Dies könne nach Einschätzung von Aspenes et al. (2012) eine mögliche Erklärung für die beobachtete Leistungsverbesserung in der Versuchsgruppe darstellen. Zusammenfassend betrachtet zeigt sich also, dass der Einsatz des *MAD*-Systems zwar potenziell positive Effekte auf die Schwimmleistung ermöglicht, jedoch im Sinne einer höheren Aussagekraft weiterführende Forschungen diesbezüglich getätigt werden müssen. Zur Erleichterung der Übersicht werden nachfolgend in Tab. 8 erneut sämtliche bearbeiteten Studien dieses Abschnittes dargestellt.

Tab. 8: Interventionsstudien mit schwimmspezifischem Widerstandstraining

AutorInnen	ProbandInnen	Intervention	Schwimmleistung
Toussaint & Vervoorn (1990)	22 (16 männlich, 6 weiblich), 18,4 ± 2,1 Jahre	Schwimmspezifisches Training mit dem MAD-System	↑ der Schwimmleistung über 50 und 200 Meter
Girold et al. (2006)	37 (16 männlich, 21 weiblich), 16,5 ± 3 Jahre	Resistiertes Sprinttraining	↑ der Schwimmleistung über 100 Meter
Mavridis et al. (2006)	82, 14,7 ± 1,5 Jahre	Schwimmsprinttraining unter Anwendung eines schwimmenden Widerstandes	↑ der Schwimmleistung über 10 Meter
Konstantaki et al. (2008)	15 (männlich), 16 ± 3 Jahre	Isoliertes Schwimmtraining der Arme	Keine signifikante Verbesserung
Dragunas et al. (2012)	18 (10 männlich, 8 weiblich), 19,3 ± 0,87 Jahre	Schwimmsprinttraining unter Anwendung eines Drag-Suits	Keine signifikante Verbesserung
Juárez Santos-García et al. (2013)	28 (männlich), 15,9 ± 4,0 Jahre	Resistierte Sprints unter Anwendung eines elastischen Bandes	↑ der Schwimmleistung über 25 Meter

(↑... signifikante Verbesserung)

4 Empirische Studie am ÖISM und USZ

Kapitel 4 beschreibt das Design sowie die methodische Vorgehensweise der vorliegenden Untersuchung.

4.1 Studiendesign

Die Studie wurde an der Universität Wien gemeinsam mit dem Österreichischen Institut für Sportmedizin (ÖISM) durchgeführt. Insgesamt nahmen 25 Personen erfolgreich an den Testungen teil. Die Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen wurden zu Beginn entweder in eine Interventionsgruppe (Trainingsintervention mit High-Intensity Training) oder eine Kontrollgruppe zugeteilt. Die Zuteilung erfolgte in randomisierter Form. An vier Tagen fanden die Hauptuntersuchungen statt, welche eine Prüfbelastung umfassten, welche sowohl im Wasser, als auch am Schwimmergometer durchgeführt wurde. Die Prüfbelastung im Wasser umfasste ein standardisiertes Aufwärmen, die Durchführung des Zeitschwimmens auf 300 Meter (Kurzbahn), eine 30-minütige passive Regenerationsphase sowie die Durchführung des Zeitschwimmens auf 100 Meter (Kurzbahn). Die Prüfbelastung am Schwimmergometer umfasste ein standardisiertes Aufwärmen, die Durchführung von Schwimmzügen am Schwimmergometer für die jeweilige Schwimmzeit auf 300 Meter, eine 30-minütige passive Regenerationsphase sowie die Durchführung der Schwimmzüge am Schwimmergometer für die jeweilige Schwimmzeit auf 100 Meter. Die Teilnehmenden der Interventionsgruppe erfuhren zwischen den Prüfbelastungen ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer, welches aus insgesamt acht Trainingseinheiten (zwei/Woche) bestand. Die Trainingseinheiten für die Interventionsgruppe beinhielten ein standardisiertes Aufwärmen, ein standardisiertes 4x4 minütiges High-Intensity Training am Schwimmergometer sowie eine kurze Cool-Down-Phase. Beide Testgruppen absolvierten zudem ein wöchentliches eineinhalbstündiges Schwimmtraining, das im Rahmen der universitätsinternen Lehrveranstaltung *Schwimmen und Tauchen 1* (=*Leisten, Üben und Vermitteln lernen schwimmorientierter Bewegungshandlungen*) durchgeführt wurde.

Fragestellung

In dieser Studie wurde überprüft, welche Auswirkungen nach einem vorhergehenden vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung auftreten. Um einer Beantwortung dieser Fragestellung nachzukommen, wurden folgende Unterfragen definiert:

I. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung über 100-Meter Kraulstil?

II. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung über 300-Meter Kraulstil?

III. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die durchschnittliche Wattleistung über 100 Meter?

IV. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die durchschnittliche Wattleistung über 300 Meter?

V. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die durchschnittliche Zugfrequenz über 100 Meter?

VI. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die durchschnittliche Zugfrequenz über 300 Meter?

VII. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Critical Power?

VIII. Welche Auswirkungen hat ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die W‘?

Folgende Parameter wurden im Rahmen der Untersuchungen dabei gemessen:

- Schwimmzeit auf 100m (Schwimmhalle USZ1, Kurzbahn)
- Schwimmzeit auf 300m (Schwimmhalle USZ 1, Kurzbahn)
- Durchschnittliche Wattleistung (Schwimmergometer: *WEBA Sport*)
- Durchschnittliche Zugfrequenz (Schwimmergometer: *WEBA Sport*)
- Critical Power (Schwimmergometer: *WEBA Sport*)
- Work accomplished above Critical Power (W‘) (Schwimmergometer: *WEBA Sport*)

Die entsprechenden Nullhypothesen lauten:

I. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Schwimmleistungen über 100-Meter Kraulstil.

II. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Schwimmleistungen über 300-Meter Kraulstil.

III. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den durchschnittlichen Wattleistungen über 100 Meter.

IV. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den durchschnittlichen Wattleistungen über 300 Meter.

V. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den durchschnittlichen Zugfrequenzen über 100 Meter.

VI. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den durchschnittlichen Zugfrequenzen über 300 Meter.

VII. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Critical Power-Werten.

VIII. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den W‘-Werten.

4.2 Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen

Alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen der Studie wurden persönlich über die universitätsinterne Lehrveranstaltung Schwimmen und Tauchen 1 (=Leisten, Üben und Vermitteln lernen schwimmorientierter Bewegungshandlungen) nach Vorliegen eines positiven Ethikkommissionsvotums der Universität Wiens rekrutiert. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig, zusätzlich wurde den Teilnehmern und Teilnehmerinnen jeweils ein schriftliches Informationsdokument (TeilnehmerInneninformation) überreicht, mittels dessen die potentiellen Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer über die Ziele, Fragestellung und die praktische Durchführung der Studie detailliert aufklärt wurden. Die Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen wurden darüber hinaus gebeten, an den Untersuchungstagen ihre jeweiligen Nahrungsgewohnheiten beizubehalten, jedoch von koffeinhaltigen Getränken jeglicher Art abzusehen. Während der Testungen bekamen die Probanden und Probandinnen standardisiert Wasser zum Trinken. Die Teilnahme an der Studie konnte jederzeit ohne Angabe von Gründen von den Teilnehmenden beendet werden, auch wenn die Tests bereits begonnen hatten. Der Abbruch der Studie bzw. das Nicht-Teilnehmen konnte per E-Mail, telefonisch oder vor Ort bei den Testungen oder Trainingseinheiten schriftlich oder mündlich bekannt gegeben werden. Die Beendigung oder das Nicht-Teilnehmen an der Studie hatte keinerlei Nachteile für die Teilnehmenden. Die im Verlauf erhobenen Daten der Teilnehmer und Teilnehmerinnen (Geschlecht, Alter, Körpergroße, Körpergewicht sowie sämtliche Daten der Leistungstests) wurden in anonymisierter Form aufgezeichnet. Die Namen der Teilnehmenden wurden in der Datenaufzeichnung sowie der Datenauswertung hierbei durch Ziffern ersetzt um die Anonymität zu gewährleisten. Sämtliche Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen unterlagen zudem festgelegten Ein- bzw. Ausschlusskriterien.

Einschlusskriterien

Zur Teilnahme an der Studie mussten folgende Einschlusskriterien vollständig erfüllt sein.

- Alter zwischen 19 und 40 Jahren
- Verletzungsfreier Zustand zum Zeitpunkt der Erhebung
- Regelmäßige Sportausübung
- Motivation für Leistungstests
- Schriftliche Einwilligungserklärung

Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen von der Teilnahme wurden Probanden und Probandinnen, die eines der unten aufgelisteten Ausschlusskriterien erfüllten.

- Alter <19 Jahren bzw. >40 Jahren
- Verletzung vor oder während der Studie, die eine Teilnahme am Training aus gesundheitlicher Sicht nicht erlauben
- Kardiovaskuläre, pulmonale oder metabolische Erkrankung(en), die die Teilnahme an den Tests bzw. einem intensiven Training nicht erlauben.
- Akute Infektionen ab 1 Woche vor dem Basistest und während der gesamten Studiendauer
- Bekannte Autoimmunkrankheiten oder Erkrankungen das Immunsystem betreffend
- Einnahme von Medikamenten, die die Messung beeinflussen könnten
- Einnahme von Wirkstoffen, die laut WADA-Code verboten sind
- Ausübung einer Sportart auf Leistungssportniveau während der Studie
- Teilnahme an weniger als 90% der Trainingseinheiten (Interventionsgruppe), was einer erlaubten Fehleinheit entsprach

Anzahl der Versuchspersonen

Anhand einer Durchsicht bisheriger Publikationen erfolgte vorab eine Ermittlung der benötigten Fallzahl. Diese sollte im Kontext dieser Studie eine Anzahl von zehn Personen pro Gruppe nicht unterschreiten. Zu Beginn der ersten Testung konnten insgesamt 30 Personen (16 männlich, 14 weiblich) rekrutiert werden, wobei die Interventionsgruppe aus 16 und die Kontrollgruppe aus 14 Versuchspersonen zusammengesetzt wurde. Sechs Personen beendeten im weiteren Verlauf der Studie ihre Teilnahme vorzeitig (zwei aus der Interventionsgruppe; vier aus der Kontrollgruppe), wodurch schlussendlich 24 Teilnehmende (13 männlich; 11 weiblich) aufgrund ihrer Anwesenheit bei den Testungen sowie den Trainingseinheiten in die statistische Auswertung miteinbezogen wurden. Dies entspricht einer Drop-Out-Quote von insgesamt 20%. Tab. 9 veranschaulicht die deskriptive Übersicht der Probanden und Probandinnen.

Tab. 9: Deskriptive Statistiken der Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen

Gruppe	Geschlecht		Mittelwert	Std.-Abweichung
Interventionsgrp.	Männlich (N=7)	Alter (Jahre)	23,7	3,1
		Größe (cm)	180,9	5,3
		Gewicht (kg)	72,7	6,8
	Weiblich (N=7)	Alter (Jahre)	20,3	,95
		Größe (cm)	170,0	7,2
		Gewicht (kg)	62,4	6,6
Kontrollgrp.	Männlich (N=6)	Alter (Jahre)	23,3	2,5
		Größe (cm)	178,2	4,7
		Gewicht (kg)	72,3	6,9
	Weiblich (N=4)	Alter (Jahre)	20,3	,95
		Größe (cm)	165,5	2,9
		Gewicht (kg)	60,3	3,2

4.3 Datenerhebung

Zeitlicher Ablauf

Am ersten Tag der Basistestung erfolgten die Überprüfungen des 300-Meter- sowie des 100-Meter-Kraulstil-Zeitschwimmens, welche durch eine 30-minütige passive Erholungsphase voneinander unterbrochen waren. Nach dem ersten Tag wurde den Teilnehmern und Teilnehmerinnen ein vollständiger Tag zur Regeneration gewährt. Ab Tag drei bis Tag fünf fanden die Testungen der 300-Meter-Kraulstil-Zeit sowie der 100-Meter-Kraulstil-Zeit am Zugergometer statt. Die Teilnehmenden konnten hierbei einen individuell passenden Testtermin vereinbaren. Zwischen der 300-Meter-Kraulstil-Zeit-Ergometertestung und der 100-Meter-Kraulstil-Zeit-Ergometertestung wurde wiederum eine 30-minütige passive Erholungsphase eingelegt. Sämtliche Basistestungen konnten innerhalb einer Woche durchgeführt werden. Alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen wurden zudem gebeten zwei Tage vor dem ersten Untersuchungstermin nur sportliche Aktivitäten mit leichter Intensität durchzuführen. Einen Tag vor Untersuchungsbeginn durfte kein Training stattfinden, um die Testungen in ermüdungsfreiem Zustand absolvieren zu können. Des Weiteren war es den Teilnehmenden drei Stunden vor den Hauptuntersuchungen untersagt koffeinhaltige Getränke zu sich nehmen. Die Teilnehmenden der Interventionsgruppe erfuhren nach den Basistestungen ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer, das aus insgesamt acht Trainingseinheiten bestand. Pro Woche wurden zwei angeleitete

Trainingseinheiten durchgeführt. Zwischen den Trainingseinheiten mussten jeweils ca. 48 Stunden zur Regenerationsmöglichkeit liegen. Die Trainingseinheiten wurden wöchentlich individuell mit den Studienteilnehmern und Studienteilnehmerinnen vereinbart. Zusätzlich absolvierten sowohl die Interventions- als auch die Kontrollgruppe innerhalb des Interventionszeitraums ein wöchentliches eineinhalbstündiges Schwimmtraining, das im Rahmen der universitätsinternen Lehrveranstaltung Schwimmen und Tauchen 1 (=Leisten, Üben und Vermitteln lernen schwimmorientierter Bewegungshandlungen) durchgeführt wurde. Nach einer einwöchigen Erholungsphase, welche im Anschluss an die Trainingswochen folgte, wurden die Posttests durchgeführt. Um eventuelle Verfälschungen der Testwerte auszuschließen, wurde die Reihenfolge sowie die Umsetzung der Untersuchungen genauestens, wie zum Zeitpunkt der ersten Testung, beibehalten (Triska et al. 2018). Abb. 4 zeigt den zeitlichen Verlauf der Datenerhebung in graphischer Ausführung.

1. Woche	**2. - 5. Woche**	**6. Woche**	**7. Woche**
Zeitschwimmen (300 und 100m) Zugergometertests	Intervention mit High-Intensity Training	Einwöchige Trainingspause	Zeitschwimmen (300 und 100m) Zugergometertests

Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Datenerhebung

Testung im Wasser

Die Testung der 300-Meter-Kraulstil-Zeit sowie der 100-Meter-Kraulstil-Zeit wurde im Sportschwimmbecken (25-Meter-Kurzbahn) des Universitätssportzentrums auf der Schmelz (USZ) durchgeführt. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen starteten beide Male auf ein Signal hin direkt aus dem Wasser, ohne Startsprung bzw. Abstoß. Die Zeitnehmung erfolgte manuell-visuell durch den Einsatz mehrerer elektronischer Stoppuhren. Vor der Prüfbelastung im Wasser wurde ein ca. 15-minütiges standardisiertes Aufwärmprogramm angeleitet. Dieses bestand aus einem etwa fünfminütigem Einschwimmen sowie einer ca. zehnminütigen Mobilisierungs- bzw. Aktivierungsroutine für sämtliche, an der Zieltechnik beteiligten, Gelenksstrukturen. Folgende Bewegungen wurden dabei in zwei Sätzen zu je 15 Wiederholungen miteinbezogen:

- Übung 1: Außen- und Innenrotation der Oberarme mit angelegten Ellbogen sowie 90° Flexion im Ellbogengelenk
- Übung 2: Zusammenführen und Lösen der Schulterblätter mit am unteren Rücken abgelegten Handrücken
- Übung 3: Außen- und Innenrotation der Oberarme mit 90° Abduktion im Schulter- sowie 90° Flexion im Ellbogengelenk
- Übung 4: Zusammenführen und Lösen der Schulterblätter mit 90° Flexion im Schulter- sowie 90° Flexion im Ellbogengelenk
- Übung 5: Hochführen und Strecken der Arme über Kopf sowie Senken der Ellbogen bis auf Höhe des Schulterblattes.
- Übung 6: Kreisen des Hüftgelenks nach rechts und links
- Übung 7: Vor- und Rückpendeln des rechten sowie linken Beines im Einbeinstand
- Übung 8: Kreisen der Kniegelenke nach rechts und links
- Übung 9: Kreisen der Fußgelenke nach rechts und links im Einbeinstand

Zwischen der 300-Meter-Kraulstil-Testung und der anschließenden 100-Meter-Kraulstil-Testung erfolgte eine 30-minütige passive Regenerationsphase für die Teilnehmer und Teilnehmerinnen. Die Wassertemperatur betrug bei beiden Testterminen ca. 25° C, die Temperatur der Luft innerhalb der Schwimmhalle wurde konstant auf ca. 27° C gemessen.

Testung am Zugergometer

Zur Untersuchung der semispezifischen Schwimmleistung an Land wurde ein Zug- bzw. Schwimmergometer der Firma *WEBA Sport* eingesetzt. Dazu mussten die Probanden und Probandinnen die schwimmspezifische Körperhaltung auf der Schwimmbank einnehmen und eine technisch einwandfreie Bewegung des Kraularmzuges ausführen. Die Untersuchungen am Zugergometer umfassten wiederum ein standardisiertes Aufwärmen, welches aus den Übungen 1-5 des vorherigen Abschnittes zusammengesetzt wurde sowie die Durchführung von Schwimmzügen am Zugergometer für die jeweilige Schwimmzeit auf 300 und 100 Meter. Zwischen den Prüfbelastungen wurde erneut eine 30-minütige passive Regenerationsphase eingehalten. Zur Herstellung möglichst reliabler Testbedingungen mussten die Probanden und Probandinnen im Rahmen der Posttests erneut jene Schwimmzeiten des ersten Testganges absolvieren. Für die statistische Auswertung wurden die durchschnittliche Wattleistung als auch die durchschnittliche Zugfrequenz der jeweiligen 300-Meter- bzw.

100-Meter-Kraulstil-Zeit als Parameter herangezogen. An beiden Testterminen wurde eine konstante Raumlufttemperatur von ca. 22° C eingehalten.

Feststellung der Critical Power und W‘

Die im Zuge der vorliegenden Untersuchung verwendete Critical-Power-Methode beschreibt nach Jones, Vanhatalo und Doust (2009) ein nicht-invasives und gleichzeitig akkurates Testverfahren, das zur Feststellung sowie zur Überwachung der Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen werden kann. Die Critical Power (oder kurz CP) selbst wird dabei im Allgemeinen als höchstmögliche Arbeitsleistung des aeroben Energiestoffwechsels definiert, die über einen längeren Zeitraum ohne Leistungsabbruch aufrechterhalten werden kann (Gaesser & Wilson 1988; Jones, Wilkerson, DiMenna, Fulford & Poole 2008). Belastungen über der jeweiligen Critical Power wiederum werden als *Work accomplished above Critical Power* (kurz W‘) bezeichnet und können physiologisch betrachtet ausschließlich über anaerobe Stoffwechselprozesse kompensiert werden (Hill 1993).

Zur Feststellung der individuellen Critical Power mussten die Probanden und Probandinnen zu beiden Testzeitpunkten (Pre/Post) zwei zeitlich unterschiedliche Testläufe auf dem Schwimmergometer absolvieren. Die Verwendung von nur zwei anstatt der üblicherweise drei bis fünf ausgeführten Testläufe (Triska et al. 2017) wurde hierbei durch die daraus gewonnen zeitökonomischen Vorteile für die Teilnehmer und Teilnehmerinnen begründet. Wie Simpson und Kordi (2017) zudem in einer Studie mit Rennradfahrern demonstrierten, können auch bei lediglich zwei absolvierten Testläufen durchaus reliable Critical Power- und W‘-Werte erwartet werden. Während der einzelnen Testläufe am Schwimmergometer wurden die Probanden und Probandinnen dazu aufgefordert, eine möglichst hohe Durchschnittswattleistung zu erzielen und die diese soweit wie physisch ertragbar über den gesamten Testlauf hindurch zu halten (Triska et al. 2017). Zusätzlich wurden die Teilnehmenden auf eine technisch einwandfreie Bewegungsumsetzung des Kraularmzuges hingewiesen, wobei Zuglänge und Zugfrequenz weiterhin individuell bestimmt werden konnten. Die Dauer der Testläufe wurde dabei durch die personenbezogenen Schwimmzeiten aus den vorherigen Tests im Wasser bedingt. Die Testreihenfolge bestand aus dem Absolvieren der Zeit über die mittlere Distanz von 300 Meter sowie der Schwimmzeit über die kurze Distanz von 100 Meter. Zwischen den Belastungsphasen wurde eine 30-minütige, passive Ruhepause eingehalten. Die anschießende mathematische Berechnung der Critical Power und der W‘ erfolgte durch eine lineare Regression mittels der Formel $PO = W‘ \ x \ 1/t + CP$ (Triska et al.

2017). *PO* entspricht hierbei der durchschnittlich erbrachten Wattleistung am Schwimmergometer, *t* der jeweiligen Zeit aus den Schwimmtests (300- und 100 Meter), *W'* der Arbeitsleistung über der Critical Power und *CP* der Critical Power (Triska et al. 2017).

4.4 Durchführung der High-Intensity-Trainingseinheiten

Im Rahmen der Studie wurde eine vierwöchige Trainingsintervention angeleitet, die aus insgesamt acht Trainingseinheiten (zwei pro Woche) bestand. Sämtliche Trainingseinheiten folgten einer standardisierten Routine

Trainingsstätte und Trainingsmaterialien

Die Trainingseinheiten der Interventionsgruppe fanden am Institut für Sportwissenschaften der Universität Wiens im Kraftlabor der Abteilung Trainingswissenschaften statt. Die nachfolgenden Trainingsmaterialien wurden sowohl vom Österreichischen Institut für Sportmedizin (ÖISM) als auch von der Abteilung Trainingswissenschaften des Instituts für Sportwissenschaften (ISW) der Universität Wien zur Verfügung gestellt.

- Schwimmergometer (*WEBA Sport*)
- Laufband (*HP Cosmos Saturn*)
- Widerstandbänder (*Thera-Band*)

Trainingsplanung und Zeitrahmen

Die Trainingseinheiten am Zugergometer setzen sich aus vier Abschnitten zusammen: (1) Globales Aufwärmen, (2) Lokales Aufwärmen, (3) High-Intensity Training, (4) Cool-Down (Abb. 5).

Abb. 5: Standardisierter Verlauf der Trainingseinheiten am Zugergometer

Das globale Aufwärmen wurde auf dem Laufband (*HP Cosmos Saturn*) durchgeführt und hatte zum Ziel die Körpertemperatur und die Temperatur der Körpermuskulatur zu erhöhen sowie das kardiopulmonale System auf die bevorstehende Belastung vorzubereiten. Eine allgemeine Steigerung der Körpertemperatur ermöglicht laut Weineck (2010) wiederum eine Optimierung verschiedenster Leistungsparameter des menschlichen Organismus. Weineck (2010) nennt unter anderem eine gesteigerte Stoffwechselaktivität (nach der Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel), eine erhöhte Durchblutung des Gewebes (aufgrund der Vasodilatation der Kapillargefäße), eine Zunahme der Reaktions- und Kontraktionsgeschwindigkeit (bedingt durch die gesteigerte Erregbarkeit des zentralen Nervensystems) sowie eine verbesserte Verletzungsprophylaxe (durch die Abnahme elastischer und visköser Widerstände) als wesentliche Effekte einer Körpertemperatursteigerung. Die Teilnehmenden dieser Studie mussten dafür zu Beginn jeder Trainingseinheit fünf Minuten mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit von acht Kilometer pro Stunde auf dem Laufband (*HP Cosmos Saturn*) einlaufen. Direkt danach folgte das lokale Aufwärmen, welches die Umverteilung des Blutes in die Arbeitsmuskulatur zum Zweck hatte. Durch diese Mobilisierung des Blutes, zumeist aus den Blutreserven des Magen-Darm-Traktes heraus, kommt es zu einer Mehrdurchblutung der arbeitenden Muskulatur, welche in weiterer Folge eine erhöhte Sauerstoff- und Energieversorgung sowie eine segmentale Steigerung der Körpertemperatur bewirkt. Das lokale Aufwärmen fungiert demnach nicht nur als eine rein koordinative Sensibilisierung, sondern bereitet darüber hinaus die arbeitende Muskulatur durch metabolische Anpassungen auf nachfolgende Belastungsreize vor. (Weineck, 2010)

Zur lokalen Vorbereitung der Schultermuskulatur der Teilnehmer und Teilnehmerinnen wurde auf das aktive Aufwärmprogramm von Edelman (2010) zurückgegriffen. Dieses bestand aus fünf aneinander gereihten Bewegungsaufgaben, welche in zwei Sätzen zu je 15 Wiederholungen ausgeführt wurden.

- Übung 1: Außen- und Innenrotation der Oberarme mit angelegten Ellbogen sowie 90° Flexion im Ellbogengelenk
- Übung 2: Zusammenführen und Lösen der Schulterblätter mit am unteren Rücken abgelegten Handrücken
- Übung 3: Außen- und Innenrotation der Oberarme mit 90° Abduktion im Schulter- sowie 90° Flexion im Ellbogengelenk

- Übung 4: Zusammenführen und Lösen der Schulterblätter mit 90° Flexion im Schulter- sowie 90° Flexion im Ellbogengelenk
- Übung 5: Hochführen und Strecken der Arme über Kopf sowie Senken der Ellbogen bis auf Höhe des Schulterblattes.

Zum Abschluss des lokalen Aufwärmens erfolgte eine kurze Familiarisierungphase am Zugergometer (*WEBA Sport*), um die Versuchspersonen gezielt an die nachstehende Trainingsbelastung vorzubereiten. Die gesamte Dauer des lokalen Aufwärmens umfasste zusammengefasst einen Zeitraum von ca. fünf Minuten. Im Hauptteil jeder Trainingseinheit mussten die Probanden und Probandinnen ein 4x4-minütiges Intervalltraining am Zugergometer absolvieren. Die Trainingsmethodik selbst folgte einer leicht adaptierten Version von des 4x4 Minuten Intervallprogrammes von Helgerud et al. (2007). So wurde statt der ursprünglichen drei-minütigen Aktivpausenintervalle eine jeweils vier Minuten lange passive Entlastungsperiode gewählt. Die zu bewältigende Trainingsintensität (durchschnittliche Wattanzahl) betrug 90% der im Rahmen der Pretests individuell errechneten Critical Power (CP). Bezüglich des Trainingswiderstandes deuten frühere Untersuchungen mit Schwimmern und Schwimmerinnen unterschiedlichsten Leistungsniveaus darauf hin, dass die optimale Zugfrequenz der Schwimmzyklen im Kraulstil zwischen 51 bis 60 Schlägen pro Minute liegt (Maglischo, 2003; Swaine & Reilly 1983). Aus diesem Grund wurde die Zugfrequenz aller Probanden und Probandinnen während sämtlicher Trainingseinheiten überwacht und bei Bedarf den Empfehlungen der angeführten Literatur angepasst.

5 Statistische Datenanalyse und Ergebnisse

Kapitel 5 umfasst die statistische Analyse der erhobenen Datensätze sowie deren anschließende Interpretation. Die Auswertung jener erhobenen Daten erfolgte unter Zuhilfenahme der quantitativen, empirischen Forschungsmethode. Die Daten aller Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen wurden anonymisiert und zugleich in digitaler als auch analoger Ausführung für dritte Personen unzugänglich aufbewahrt. Die deskriptiv-statistische und inferenz-statistische Überprüfung erfolgte durch die Anwendung des Datenverarbeitungsprogramms *IBM SPSS Statistics 24*. Ebenso wurden sämtliche graphische Repräsentationen (Tabellen, Abbildungen) dieses Abschnitts unter Verwendung des zuvor genannten Softwareprogrammes generiert. Nach Überprüfung der Normalverteilung (Shaprio-Wilk-Test, $p < .05$) sowie der Varianzhomogenität (Levene-Test, $p < .05$) hinsichtlich der abhängigen Variablen wurde für die inferenz-statistische Auswertung von Unterschieden zwischen den einzelnen Gruppen eine gemischte, zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt (Testzeitpunkt x Gruppe). Variablen, welche die Anwendungsvoraussetzungen dieser Testmethode nicht oder unzureichend erfüllten, wurden mittels nicht-parametrischer Verfahren berechnet. Unterschiede innerhalb der Versuchsgruppen wurden mittels eines t-Tests für abhängige Stichproben bei zweiseitiger Verteilung analysiert. Erfolgte hierbei eine Verletzung der Anwendungsannahme bzgl. der Normalverteilung der abhängigen Variablen, so wurde wiederum ein nicht-parametrisches Alternativverfahren angewandt. Um jedoch eine möglichst gleichmäßige Anwendung parametrischer Analysemethoden gewährleisten zu können, wurden für einige Variablen (*Schwimmzeit über 300-Meter; durchschnittliche Wattleistung über 100-Meter; Critical Power*) eine Logarithmustransformation durchgeführt. Zudem wurden Datensätze, die keine Normalverteilung bezüglich der abhängigen Variablen aufwiesen (Shapiro-Wilk-Test, $p < .05$), wohl aber Homogenität der Fehlervarianzen beobachtet werden konnte (Levene-Test, $p > .05$), anhand einer statistischen Berechnung durch parametrische Analyseverfahren (hier Varianzanalyse) bearbeitet. Diesbezüglich schreibt Bortz (2005), dass das Testverfahren der Varianzanalyse zuweilen äußerst robust gegen eine Verletzung der Normalverteilung der untersuchten Daten reagiere, falls die Größe der jeweiligen Stichprobenanzahl jeder Gruppe mindestens zehn Subjekte aufweist und jede der zu testenden Populationen in etwa gleich großer Anzahl repräsentiert wird. Da beide der hier untersuchten Testgruppen die nach Bortz (2005) beschriebenen Eigenschaften

erfüllten, wurde dadurch weiterhin auf parametrische Verfahren (hier Varianzanalyse) zurückgegriffen. Inferenz-statistische Überprüfungen von möglichen Zusammenhängen (Korrelationen) wurden auf Grund der intervallskalierten Variablen anhand des Korrelationstests nach Pearson analysiert. Zur Interpretation der Testergebnisse wurde das Signifikanzniveau Alpha auf fünf Prozent festgesetzt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit beim Verwerfen der Nullhypothese (H0) wird daraus ableitend folgendermaßen definiert:

- $p \geq 0{,}05$ (5%); H0 wird beibehalten
- $p < 0{,}05$ (5%); H0 wird verworfen und H1 (Alternativhypothese) wird angenommen

Effektstärken bezüglich inferenz-statistischer Tests von Unterschieden wurden nach dem Maß des partielles Eta-Quadrats (partielles η^2) und des Eta-Quadrat berechnet. Aus Gründen der Einheitlichkeit erfolgte außerhalb der Varianzanalyse eine generalisierte Umrechnung zu Gunsten der Effektstärke des Eta-Quadrats nach Cohen (1988), Rosenthal (1994) bzw. Borenstein, Hedges, Higgins, und Rothstein (2009). Cohen (1988) empfiehlt hierbei für die Interpretation der Effektstärke mittels partiellem Eta-Quadrats bzw. Eta-Quadrats folgende Richtwerte:

- partielles $\eta^2 = .01$ entspricht einem kleinen Effekt
- partielles $\eta^2 = .06$ entspricht einem mittleren Effekt
- partielles $\eta^2 = .14$ entspricht einem großen Effekt

Als Maß der Effektstärke bezüglich inferenz-statistischer Tests von Zusammenhängen wurde der Korrelationskoeffizient *r* verwendet. Nach Cohen (1988) wird dieser folgendermaßen interpretiert:

- $r = .10$ entspricht einer schwachen Korrelation / einem geringen Effekt
- $r = .30$ entspricht einer moderaten Korrelation / einem mittleren Effekt
- $r = .50$ entspricht einer starken Korrelation / einem großen Effekt

5.1 Analyse und Resultate der Schwimmleistungen

Schwimmleistung über 100-Meter Kraulstil

Die mittlere Schwimmzeit über 100 Meter differenzierte vor Beginn der Intervention statistisch signifikant zwischen den Gruppen, $F (1, 22) = 6{,}49$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .23$. Es konnte keine statistisch signifikante Interaktion zwischen den Testzeitpunkten und den Untersuchungsgruppen festgestellt werden, $F (1, 22) = 1{,}15$, $p = .29$, partielles $\eta^2 = .05$. Es trat ein signifikanter Haupteffekt in Bezug auf die Testzeitpunkte (Pre-/ Posttest) auf, $F (1, 22) = 15{,}17$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .41$. Zudem wurde ein signifikanter Haupteffekt der Gruppe beobachtet, wodurch sich beide Testgruppen statistisch signifikant voneinander unterscheiden, $F (1, 22) = 7{,}76$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .26$. Tab. 10 veranschaulicht die deskriptiven Statistiken bezüglich der Schwimmleistung über 100-Meter im Kraulstil für alle Gruppen und Testzeitpunkte.

Tab. 10: Deskriptive Statistiken der Schwimmleistung über 100-Meter Kraulstil

	Gruppe	**Mittelwert**	**Std.-Abweichung**	**N**
Schwimmzeit (s) 100m (Pre)	Interventionsgrp.	94,9	14,8	14
	Kontrollgrp.	108,9	10,5	10
Schwimmzeit (s) 100m (Post)	Interventionsgrp.	89,6	13,6	14
	Kontrollegrp.	105,9	13,2	10

Die Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben ergaben eine signifikante Reduktion der 100-Meter-Zeiten zugunsten der Interventionsgruppe, $t (13) = 5{,}62$, $p < .001$, $\eta^2 = .03$. Die Interventionsgruppe verbesserte sich folgemäßig im Durchschnitt um 5,6%. Demgegenüber konnte in der Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied zwischen den Pre- und Posttestergebnissen bezüglich der Schwimmleistung über 100 Meter ermittelt werden, $t (9) = 1{,}39$, $p = .198$, $\eta^2 = .02$. Dies entspricht einer allgemeinen Steigerung der 100-Meter-Schwimmleistung um 2,8%. Abb. 4 zeigt zur visuellen Repräsentation sämtliche Ergebnisse in einem Balkendiagramm.

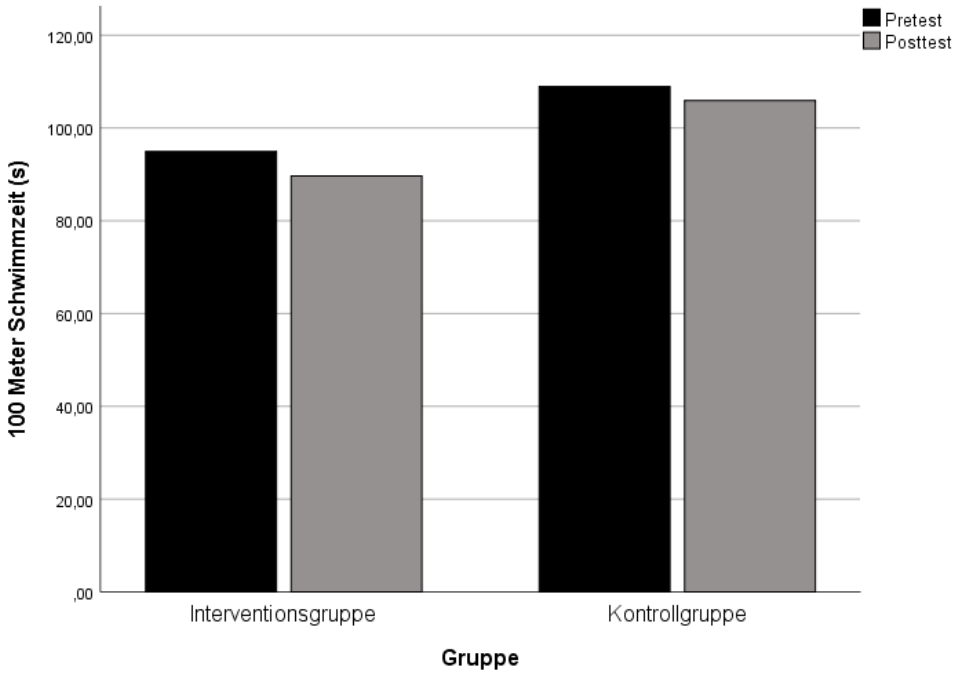

Abb. 4: Graphische Repräsentation der 100-Meter Schwimmzeiten

Schwimmleistung über 300-Meter Kraulstil

Vor Beginn der eigentlichen Trainingsintervention unterschieden sich die Schwimmzeiten der beiden Testgruppen bereits signifikant voneinander, Welch-Test $F(1, 20{,}14) = 7{,}56$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .27$. Auch nach Beendigung der Studie blieb ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe erhalten, Welch-Test $F(1, 21{,}74) = 6{,}47$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .23$. Tab. 11 veranschaulicht zur Übersicht die deskriptiven Statistiken der Schwimmleistung über 300-Meter Kraulstil.

Tab. 11: Deskriptive Statistiken der Schwimmleitung über 300-Meter Kraulstil

	Gruppe	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
Schwimmzeit (s) 300m (Pre)	Interventionsgrp.	374,1	71,9	14
	Kontrollgrp.	436,4	44,7	10
Schwimmzeit (s) 300m (Post)	Interventionsgrp.	357	73,4	14
	Kontrollgrp.	420,7	58,2	10

Ähnlich zu den zuvor erwähnten 100-Meter-Schwimmleistungen, zeigte sich eine statistisch signifikante Verbesserung der Schwimmzeiten über 300 Meter lediglich innerhalb der Interventionsgruppe, $t(13) = 17{,}14$, $p < .001$, $\eta^2 = .01$. Es gab somit keinen signifikanten Unterschied zwischen den 300-Meter-Schwimmleisten der Kontrollgruppe, $t(9) = 15{,}70$, $p = .116$, $\eta^2 = .02$. Die Interventionsgruppe reduzierte ihre Schwimmzeit demzufolge um 4,6%, während die Kontrollgruppe eine durchschnittliche Reduktion der Schwimmzeit von 3,6% erreichte. Aus Abb. 5 können alle mittleren Messwerte der 300-Meter-Schwimmleistung zu den einzelnen Testzeitpunkten für jede der beiden Gruppen entnommen werden.

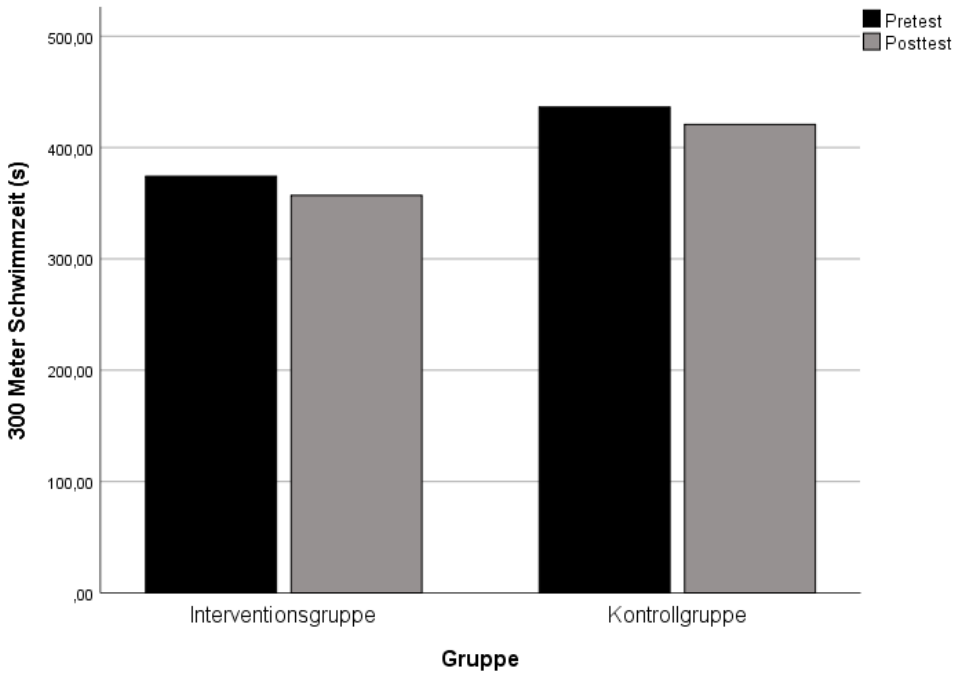

Abb. 5: Graphische Repräsentation der 300-Meter Schwimmzeiten

5.2 Analyse und Resultate der durchschnittlichen Wattleistungen

Durchschnittliche Wattleistung über 100 Meter

Bei beiden Gruppen konnten nach den Pretests keine statistisch signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Wattleistungen der 100-Meter-Zeiten dokumentiert werden, $F(1, 22) = 1{,}42$, $p = .246$, partielles $\eta^2 = .06$. Die Endresultate zeigten hingegen eine statistisch signifikante Interaktion zwischen den Testzeitpunkten (Pre-/ und Posttest) und den untersuchten Gruppen, $F(1, 22) = 12{,}54$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .36$. Es trat zudem ein signifikanter Haupteffekt in Bezug auf die Testpunkte auf, $F(1, 22) = 26{,}12$, $p < .001$, partielles $\eta^2 = .54$, jedoch konnte vorerst kein signifikanter Haupteffekt zwischen den Gruppen beobachtet werden, $F(1, 22) = 3{,}33$, $p > .05$, partielles $\eta^2 = .13$. Ein anschließender Vergleich der Posttestwerte anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse stellte demgegenüber einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den durchschnittlichen Wattleistungen über 100 Meter der beiden Versuchsgruppen fest, $F(1, 22) = 5{,}47$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .20$. Aus Tab. 12 können sämtliche Mittelwerte der Durchschnittswattleistung auf 100 Meter für beide Testzeitpunkte und in gruppenspezifischer Darstellung herausgelesen werden.

Tab. 12: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Wattleistung über 100 Meter

	Gruppe	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
Wattleistung (W/kg) 100m (Pre)	Interventionsgrp.	0,95	0,32	14
	Kontrollgrp.	0,80	0,23	10
Wattleistung (W/kg) 100m (Post)	Interventionsgrp.	1,20	0,43	14
	Kontrollgrp.	0,84	0,26	10

Es konnte eine signifikante Steigerung der durchschnittlichen Wattleistung über 100 Meter hinsichtlich der Interventionsgruppe dokumentiert werden, $t(13) = -.22$, $p < .001$, $\eta^2 = .10$. Die Interventionsgruppe verbesserte sich somit im Allgemeinen um insgesamt 26,4%. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den 100-Meter-Wattleistungen innerhalb der Kontrollgruppe nach Beendigung der Studie, $t(9) = -.04$, $p = .355$, $\eta^2 = .006$. Die Kontrollgruppe konnte daher lediglich eine Verbesserung von durchschnittlich 4,8% verzeichnen. Aus Abb. 6 können zusätzlich sämtliche Messwerte in gruppen- und zeitspezifischer Ausführung graphisch entnommen werden.

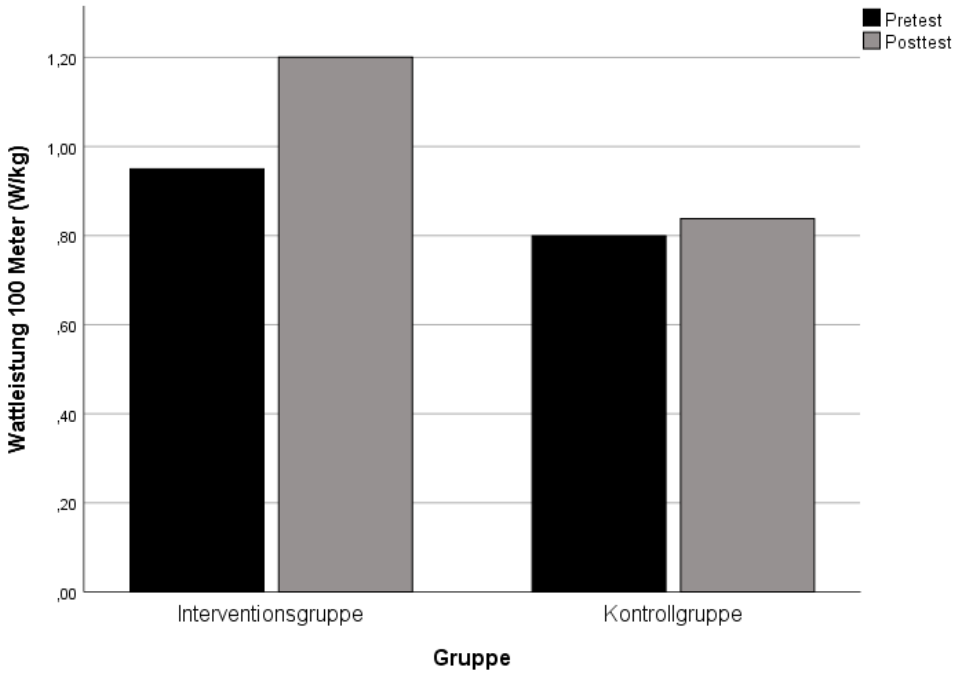

Abb. 6: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Wattleistung über 100 Meter

Durchschnittliche Wattleistung über 300 Meter

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den durchschnittlichen 300-Meter-Wattleistungen sowohl in den Pre- ($U = 47$, $Z = 1.32$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$) als auch in den Posttests ($U = 18$, $Z = 3.02$, $p < .001$, $\eta^2 = .39$). Aus Tab. 13 können zusätzlich die gesammelten Ergebnisse beider Testzeitpunkte gruppenspezifisch entnommen werden.

Tab. 13: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Wattleistung über 300 Meter

	Gruppe	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
Wattleistung (W/kg) 300m (Pre)	Interventionsgrp.	0,50	0,15	14
	Kontrollgrp.	0,38	0,05	10
Wattleistung (W/kg) 300m (Post)	Interventionsgrp.	0,73	0,24	14
	Kontrollgrp.	0,42	0,08	10

Die entnommenen Resultate gruppeninterner Veränderungen der 300-Wattleistungen über den Zeitraum der Studie wiesen auf eine statistisch signifikante Steigerung der durchschnittlichen Wattleistung über 300 Meter zu Gunsten der Interventionsgruppe hin ($W = 0$, $Z = -$

3,3, $p < .05$, $\eta^2 = 12{,}4$). Aufseiten der Kontrollgruppe konnte jedoch keine signifikante Verbesserung der untersuchten Variable beobachtet werden (W = 4,5, Z = -1.9, $p > .05$, $\eta^2 = 11{,}2$). Insgesamt betrachtet zeigte sich somit eine Zunahme der durchschnittlichen 300-Meter-Wattleistung um 48% für die Interventionsgruppe sowie eine elfprozentige Leistungssteigerung für die Kontrollgruppe. Über Abb. 7 können die durchschnittlichen Wattleistungen der 300-Meter-Zeiten beider Testgruppen graphisch entnommen werden.

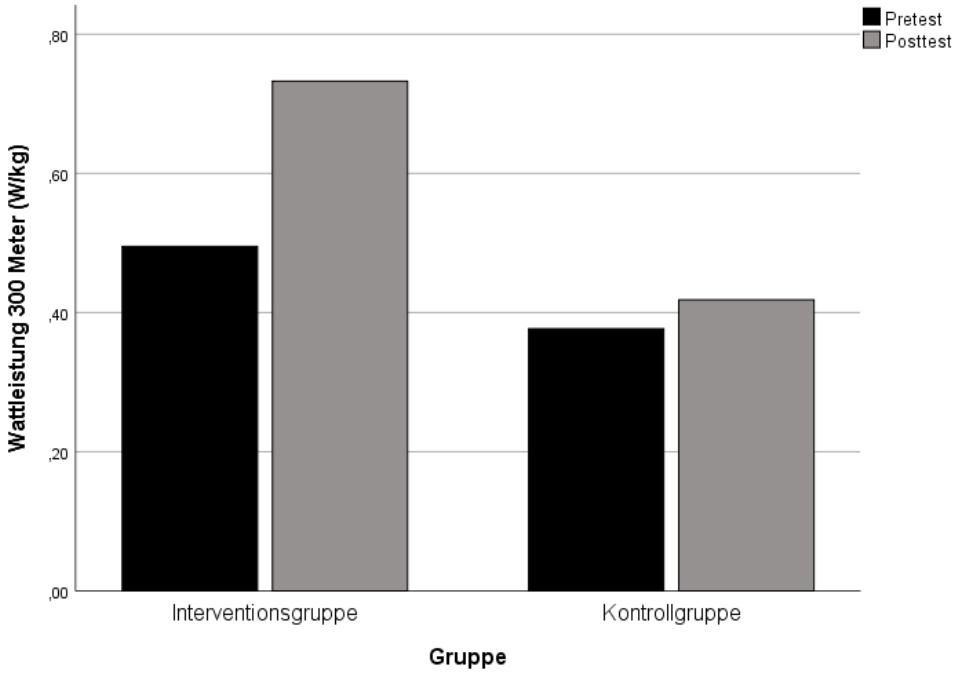

Abb. 7: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Wattleistung über 300 Meter

5.3 Analyse und Resultate der durchschnittlichen Zugfrequenzen

Durchschnittliche Zugfrequenz über 100 Meter

Aus den analysierten Gesamtdaten lässt sich erkennen, dass beide Gruppen sowohl bei den Pretests (U = 51, Z = 1,1, $p = .285$, $\eta^2 = .05$) als auch bei den Posttests (U = 39, Z = 1,9, $p = .074$, $\eta^2 = .14$) keine statistisch signifikanten Differenzen bezüglich der durchschnittlichen Zugfrequenz über die 100-Meter-Zeit aufweisen. Tab. 14 veranschaulicht zur Übersicht die Mittelwerte und Standardabweichungen der durchschnittlichen Zugfrequenz über 100 Meter für beide Testzeitpunkte und Versuchsgruppen.

Tab. 14: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Zugfrequenz über 100 Meter

	Gruppe	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
Zugfrequenz (SPM) 100m (Pre)	Interventionsgrp.	103,7	21,3	14
	Kontrollgrp.	93,1	17,1	10
Zugfrequenz (SPM) 100m (Post)	Interventionsgrp.	104,1	16,0	14
	Kontrollgrp.	90,7	18,0	10

In Bezug auf die Unterschiede innerhalb der Gruppen über den Zeitverlauf der Trainingsintervention zeigten sich weder in der Kontrollgruppe (W = 24, Z = -0.36, p = .721, η^2 = 7,7) noch in der Interventionsgruppe (W = 35, Z = -0.31, p = .754, η^2 = 7,5) statistisch signifikante Veränderungen in den durchschnittlichen Zugfrequenzen der 100-Meter-Zeiten. Abb. 8 repräsentiert sämtliche Mittelwerte der beobachteten Variablen gruppen- und zeitspezifisch sowie in graphischer Form.

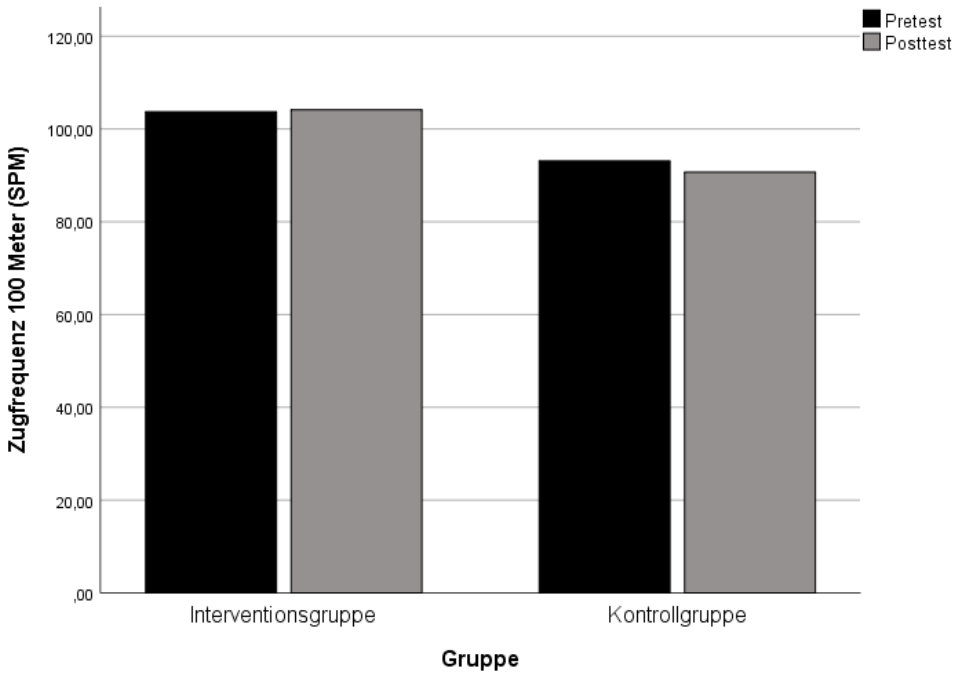

Abb. 8: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Zugfrequenz über 100 Meter

Durchschnittliche Zugfrequenz über 300 Meter

Die durchschnittlichen Zugfrequenzen über die 300-Meter-Zeit beider Testgruppen unterschieden sich sowohl vor, $F (1, 22) = 10{,}7$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .33$, als auch nach der vierwöchigen Trainingsintervention, $F (1, 22) = 9{,}8$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .31$, statistisch signifikant voneinander. Es konnte keine statistisch signifikante Interaktion zwischen den Testzeitpunkten und den Untersuchungsgruppen festgestellt werden, $F (1, 22) = .047$, $p = .83$, partielles $\eta^2 = .002$. Es konnte ein signifikanter Haupteffekt in Bezug auf die Testzeitpunkte (Pre-/ Posttest) beobachtet werden, $F (1, 22) = 9{,}21$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .295$. Zusätzlich wurde ein signifikanter Haupteffekt der Gruppe festgestellt. Beide Testgruppen unterschieden sich hierbei statistisch signifikant voneinander, $F (1, 22) = 15{,}21$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .41$. Aus Tab. 15 können zur Übersicht die deskriptiven Statistiken der durchschnittlichen Zugfrequenz über die 300-Meter-Zeiten entnommen werden.

Tab. 15: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Zugfrequenz über 300 Meter

	Gruppe	**Mittelwert**	**Std.-Abweichung**	**N**
Zugfrequenz (SPM) 300m (Pre)	Interventionsgrp.	75,8	12,5	14
	Kontrollgrp.	61,0	8,1	10
Zugfrequenz (SPM) 300m (Post)	Interventiongrp.	84,8	12,8	14
	Kontrollgrp.	68,8	11,6	10

Die Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben bezüglich gruppenspezifischer Unterschiede ergaben eine signifikante Steigerung der durchschnittlichen 300-Meter-Zugfrequenz zugunsten der Interventionsgruppe, $t (13) = -9{,}0$, $p = < .05$, $\eta^2 = .11$. Demgegenüber zeigte die Kontrollgruppe keine signifikante Veränderung der durchschnittlichen Zugfrequenz über 300 Meter, $t (9) = -7{,}8$, $p > .05$, $\eta^2 = .13$. Umgerechnet steigerte die Interventionsgruppe ihre durchschnittliche Zugfrequenz über die 300-Meter-Zeit folglich um 11,9%, während die Kontrollgruppe (trotz nicht signifikanter Veränderung) sogar eine 12,8-prozentige Steigerung für sich verzeichnen konnte. Abb. 9 zeigt zur visuellen Übersicht sämtliche Ergebnisse beider Testungen in gruppenspezifischer Formation.

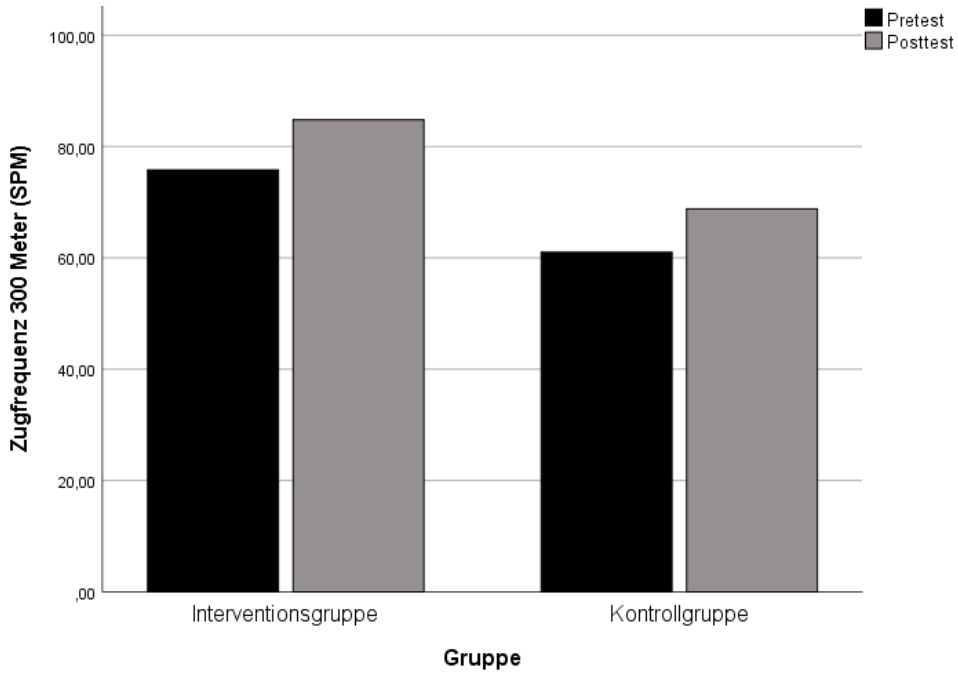

Abb. 9: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Zugfrequenz über 300 Meter

5.4 Analyse und Resultate der Critical Power und W‘

Critical Power (CP)

Zu Beginn der Studie zeigte sich eine statistisch signifikante Differenz bezüglich der Critical Power-Werte der beiden Testgruppen, Welch-Test $F (1, 20{,}56) = 7{,}57$, $p < .05$, partielles $\eta^2 = .27$. Ebenso wurde nach Beendigung der Trainingsintervention ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsgruppen entdeckt, Welch $F (1, 19{,}51) = 31{,}94$, $p < .001$, partielles $\eta^2 = .62$. Tab. 16 veranschaulicht die Mittelwerte und Standardabweichungen der jeweiligen Testzeitpunkte für beide Gruppen im Detail.

Tab. 16: Deskriptive Statistiken der Critical Power-Werte

	Gruppe	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
CP (W) (Pre)	Interventionsgrp.	23	9,2	14
	Kontrollgrp.	16	2,9	10
CP (W) (Post)	Interventionsgrp.	40	16,6	14
	Kontrollgrp.	19	3,8	10

Die Resultate bezüglich der Unterschiede der Critical Power-Werte innerhalb der einzelnen Gruppen deuten eine statistisch signifikante Steigerung der Critical Power sowohl auf Seiten der Interventionsgruppe, $t(13) = -.52$, $p < .001$, $\eta^2 = .29$, als auch auf Seiten der Kontrollgruppe, $t(9) = -.148$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$. Im Bereich der prozentualen Zunahme überlagen die Testwerte der Interventionsgruppe jedoch um das Vierfache im Vergleich zu denen der Kontrollgruppe. Exakt formuliert, erreichte die Interventionsgruppe letztlich eine Steigerung der Critical Power-Werte um 70,7%, wohingegen die Kontrollgruppe lediglich eine 16-prozentige Verbesserung aufweisen konnte. Abb. 10 verdeutlicht die erhobenen Ergebnisse beider Testzeitpunkte nochmals in graphischer Ausführung.

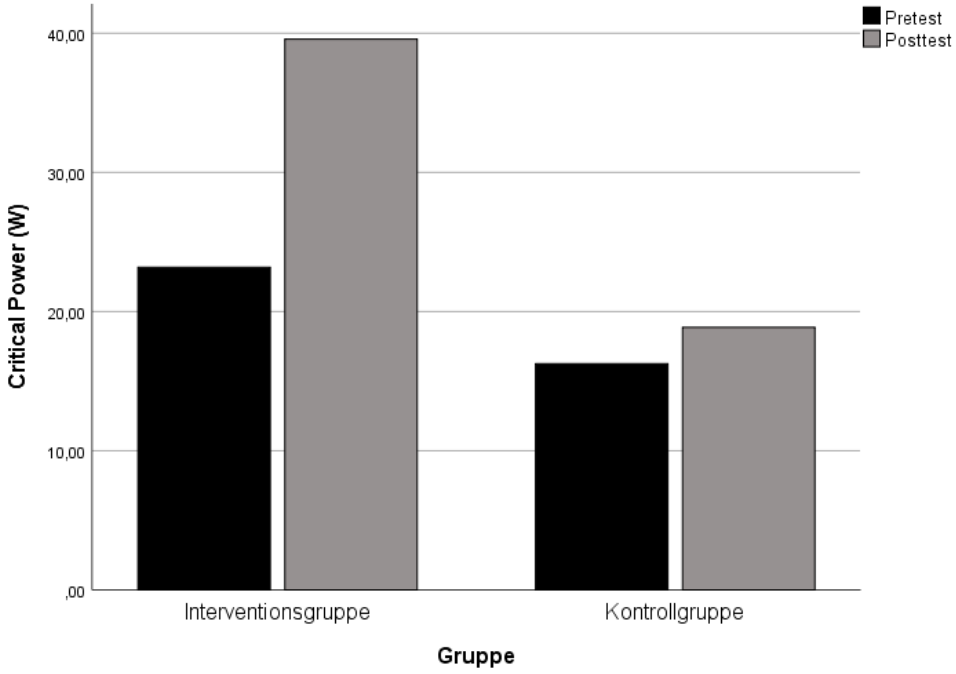

Abb. 10: Graphische Repräsentation der Critical Power-Werte

Work accomplished above Critical Power (W‘)

Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Testgruppen vor Beginn der eigentlichen Trainingsintervention gefunden, Welch-Test F (1, 19,2) = .128, p = .724, partielles η^2 = .001. Es konnte keine statistisch signifikante Interaktion zwischen den Testzeitpunkten und den Untersuchungsgruppen festgestellt werden, F (1, 22) = .47, p = .499, partielles η^2 = .021. Es wurde ein kein signifikanter Haupteffekt in Bezug auf die Testzeitpunkte (Pre-/ Posttest) beobachtet, F (1, 22) = .24, p = .629, partielles η^2 = .011. Ebenso wurde kein statistisch signifikanter Haupteffekt der Gruppe festgestellt, F (1, 22) = .039, p = .845, partielles η^2 = .002. Aus Tab. 17 können zur Übersicht die deskriptiven Statistiken der W‘-Werte graphisch entnommen werden.

Tab. 17: Deskriptive Statistiken der W‘-Werte

	Gruppe	**Mittelwert**	**Std.-Abweichung**	**N**
W‘ (J) (Pre)	Interventionsgrp.	3833,3	1613,1	14
	Kontrollgrp.	4076,2	1658,3	10
W‘ (J) (Post)	Interventiongrp.	4003,5	1936,1	14
	Kontrollgrp.	4047,8	1937,7	10

Die Ergebnisse bezüglich der gruppenbezogenen Veränderungen der W‘-Werte über den Zeitraum der Studie zeigen, dass beide Gruppen keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten aufweisen. Die Interventionsgruppe steigerte sich durchschnittlich um 4,4% (W = 37, Z = -0,6, p = .55, η^2 = 7,9), innerhalb der Kontrollgruppe kam es dagegen zu einem 0,7-prozentigen Abfall der W‘-Werte (W = 22, Z = -0,06, p = .95, $\eta 2$ = 7,2). Abb. 11 veranschaulicht zur Übersicht die errechneten Resultate in graphischer Form.

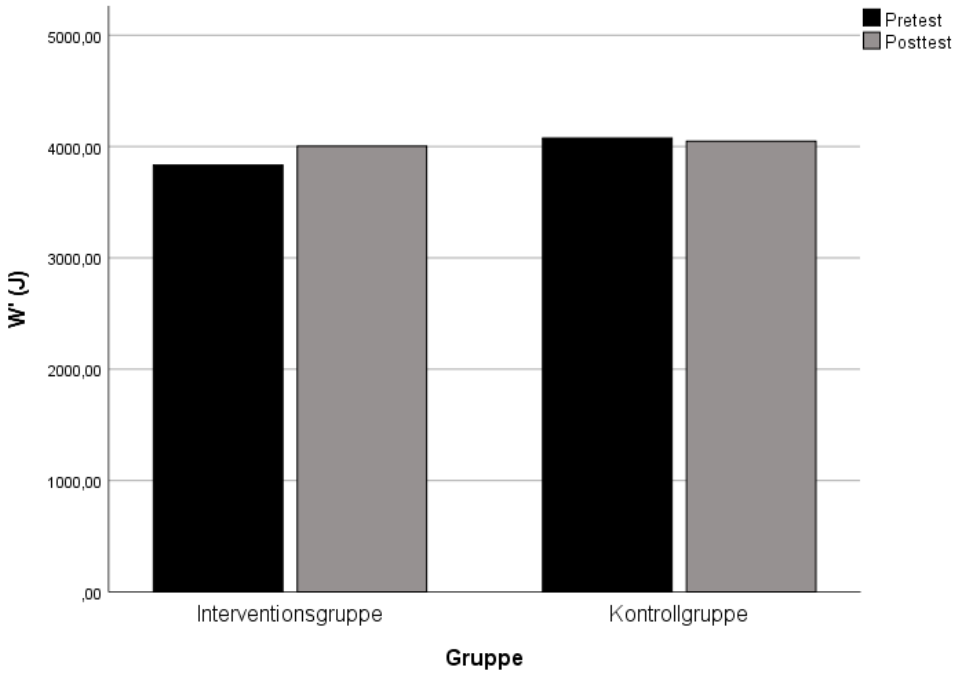

Abb. 11: Graphische Repräsentation der W'-Werte

5.5 Korrelationen zwischen den Schwimm- und Wattleistungen

100-Meter Pretest

Die Resultate der Pretests zeigten, dass die Schwimmzeit über 100 Meter im Kraulstil und die durchschnittliche Wattleistung der 100-Meter-Zeit aller Probanden und Probandinnen stark negativ miteinander korrelierten, $r = -.678$, $p < .001$. Abb. 12 zeigt die graphische Repräsentation der Korrelation zwischen den Schwimmzeiten und den Wattleistungen über 100 Meter des Pretests in einem Streudiagramm.

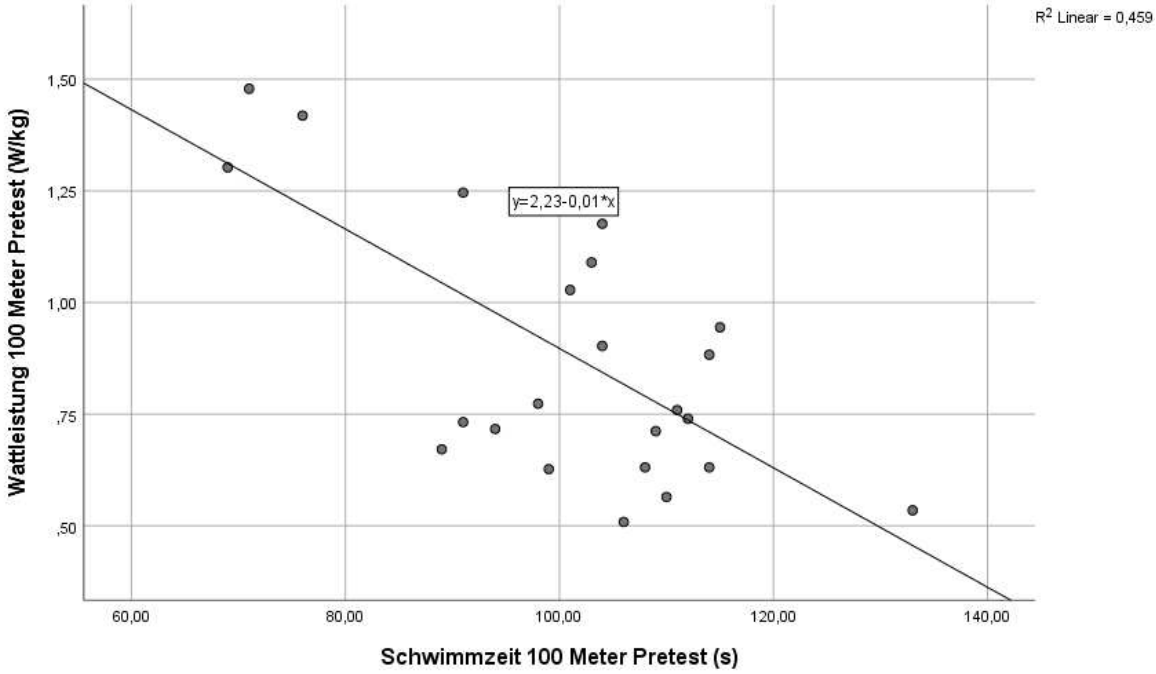

Abb. 12: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 100 Meter (Pretest)

100-Meter Posttest

Die Schwimmzeit über 100 Meter im Kraulstil sowie die durchschnittliche Wattleistung der 100-Meter-Zeit sämtlicher Teilnehmer und Teilnehmerinnen korrelierte auch im Zuge der Posttest stark negativ miteinander, $r = -.53$, $p < .05$. Abb. 13 veranschaulicht die graphische Repräsentation der Korrelation zwischen den Schwimmzeiten und den Wattleistungen über 100 Meter des Posttests in einem Streudiagramm.

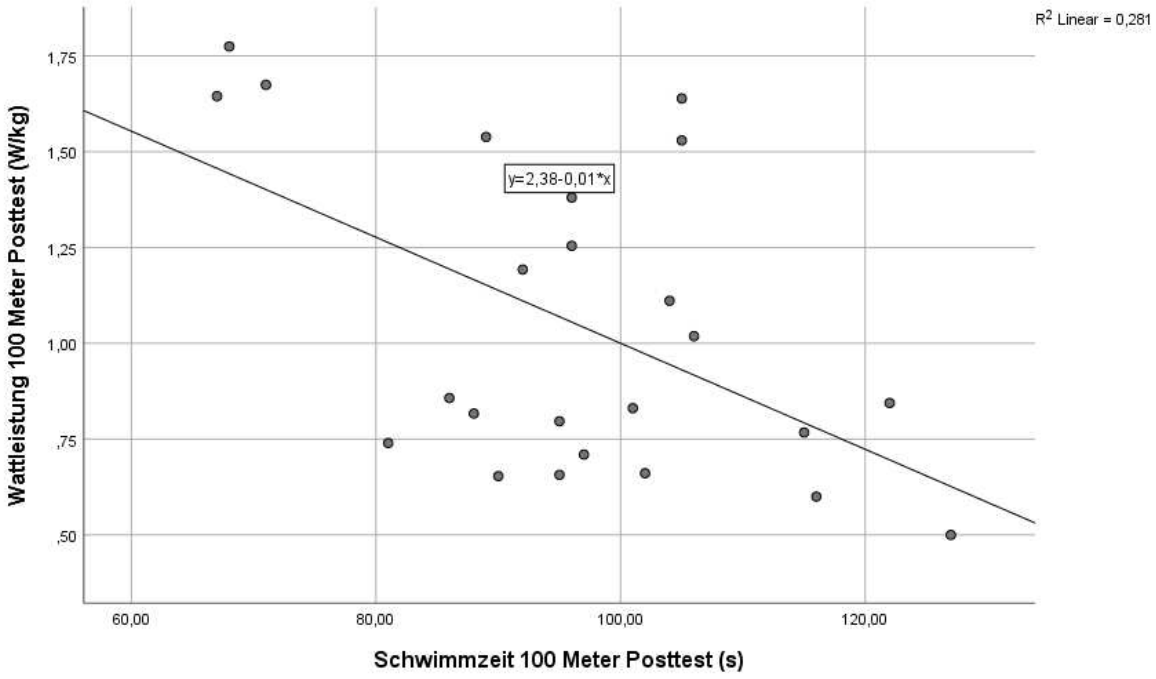

Abb. 13: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 100 Meter (Posttest)

300 Meter Pretest

Die Schwimmzeit über 300 Meter im Kraulstil und die durchschnittliche Wattleistung der 300-Meter-Zeit aller Probanden und Probandinnen korrelierte zu Beginn der Studie stark negativ miteinander, $r = -.54$, $p < .05$. Abb. 14 zeigt die graphische Repräsentation der Korrelation zwischen den Schwimmzeiten und den Wattleistungen über 300 Meter des Pretests in einem Streudiagramm.

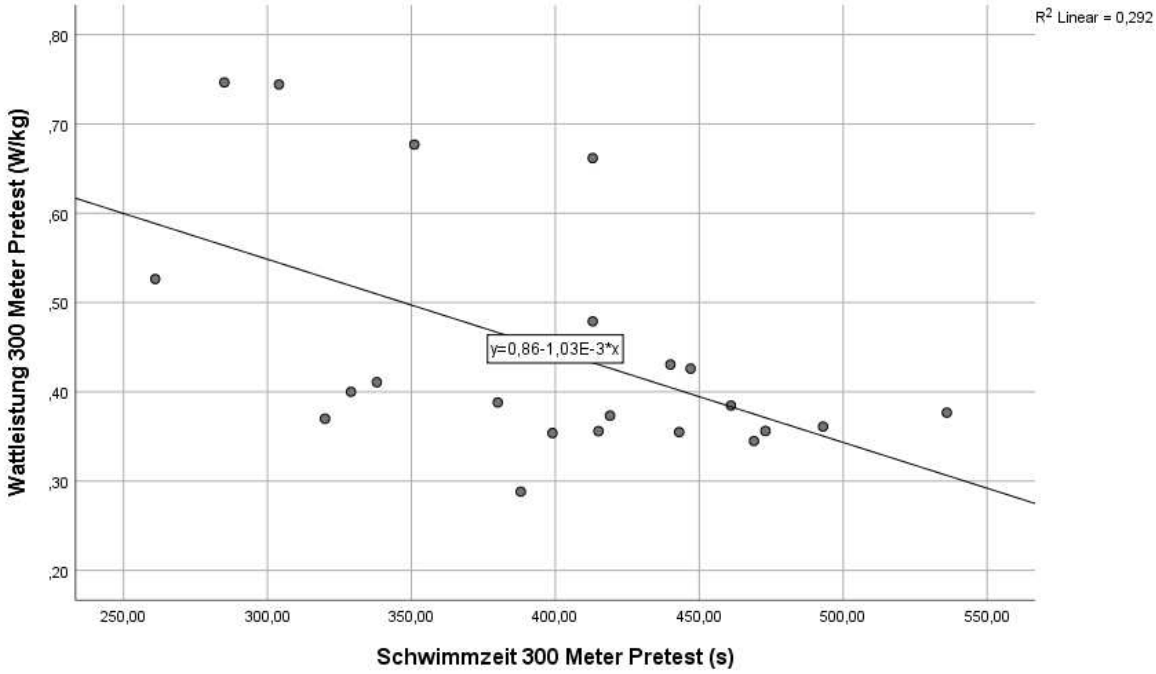

Abb. 14: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 300 Meter (Pretest)

300 Meter Posttest

Im Zuge der Posttests korrelierten die Schwimmzeit über 300 Meter im Kraulstil sowie die durchschnittliche Wattleistung der 300-Meter-Zeit sämtlicher Teilnehmer und Teilnehmerinnen moderat negativ miteinander, $r = -.448$, $p < .05$. Abb. 18 veranschaulicht die graphische Repräsentation der Korrelation zwischen den Schwimmzeiten und den Wattleistungen über 300 Meter des Posttests in einem Streudiagramm.

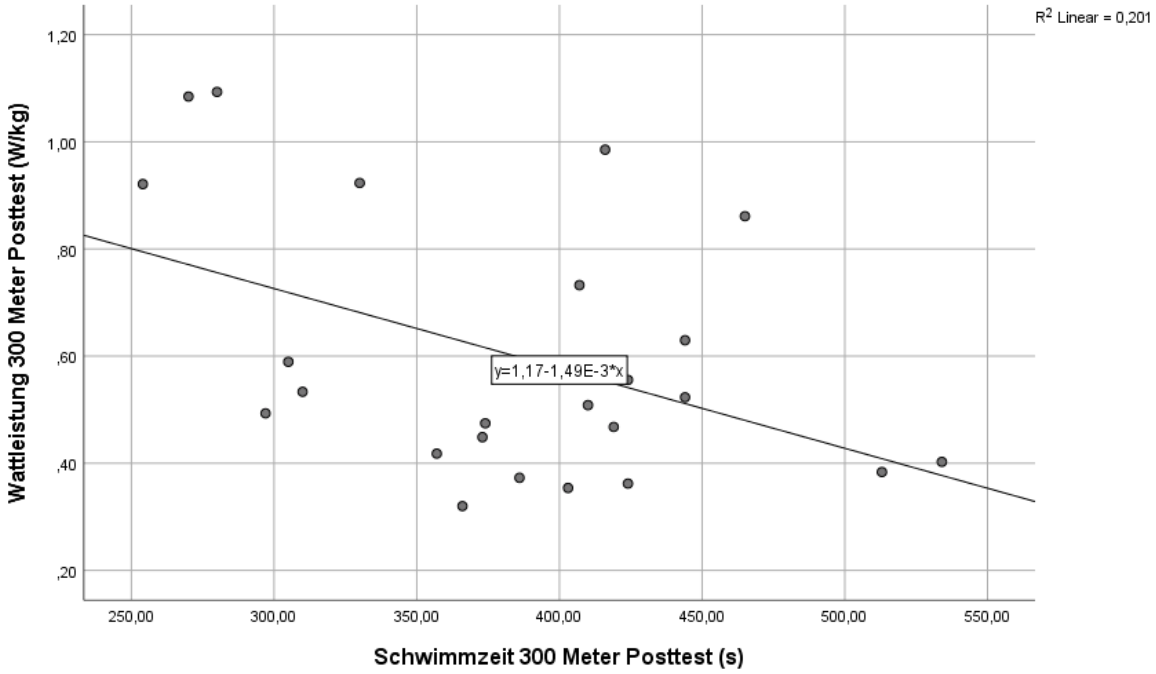

Abb. 18: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 300 Meter (Posttest)

6 Diskussion und Fazit

Ziel der dieser Studie war es, die Auswirkungen eines vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Trainings am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung von Freizeitathleten und Freizeitathletinnen zu untersuchen. Die Resultate der Untersuchung lassen auf folgende Erkenntnisse zurückschließen: (1) Ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer führt bei Freizeitsportlern und Freizeitsportlerinnen zu keiner signifikanten Verbesserung der Schwimmleistung über 100- und 300 Meter. (2) Es konnten keine signifikanten Veränderungen bezüglich der durchschnittlichen Zugfrequenz über sämtliche Testdistanzen zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe festgestellt werden. (3) Es wurde eine signifikante Steigerung der durchschnittlichen Wattleistungen zu Gunsten der Interventionsgruppe beobachtet. (4) Beide Versuchsgruppen zeigten einen signifikanten Anstieg der Critical Power, wobei die Interventionsgruppe eine deutlich höhere Steigerung (+70,7%) verzeichnen konnte als die Kontrollgruppe (+16%). (5) Keine signifikanten Differenzen wurden zwischen den W‘-Werten beider Gruppen festgestellt. (6) Semispezifisches Training am Schwimmergometer hat einen negativen Einfluss auf die Reliabilität leistungsdiagnostischer Testverfahren, die eine Anwendung der selbigen Materialien voraussetzen.

6.1 Schwimmleistungen über 100- und 300-Meter

Semispezifische Trainingsformen und Methoden sind regulärer Bestandteil vieler Trainingsprogramme im leistungsorientierten Schwimmsport. Durchschnittlich verbringt ein Großteil nationaler wie internationaler Athleten und Athletinnen etwa drei bis sechs Stunden pro Woche mit der Durchführung semispezifischer Trainingseinheiten außerhalb des Wassers (Anderson et al. 2008; Krabak et al. 2013). Überwiegendes Interesse gilt dabei zumeist der Ausprägung der Maximal- und Schnellkraftfähigkeit der oberen Extremitäten. Als besonders effektiv erwiesen sich diesbezüglich vor allem jene Trainingskonzeptionen mit niedrigen Umfängen bei gleichzeitig hoher Belastungsintensität sowie schneller konzentrischer Bewegungsausführung (Crowley et al. 2017). Alternativ zum klassischen Widerstandstraining können Schwimmsportler und Schwimmsportlerinnen heutzutage jedoch auch auf spezielle Schwimmergometer zurückgreifen. Diese ermöglichen es den Athleten und Athletinnen, im

Vergleich zu herkömmlichen Kräftigungsübungen, die für das Schwimmen leitungsentscheidende Muskulatur der oberen Extremitäten in einem, der Zieltechnik gleichenden, Bewegungsmuster isoliert zu beanspruchen. Konträr zu den vielversprechenden Qualitäten moderner Schwimmergometer allerdings, deuten die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie auf eine äußerst begrenzte Effektivität jener Trainingsapparate hin. Nach vier Wochen semispezifischen Trainings am Schwimmergometer konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmleistungen über 100- und 300-Meter der Interventions- und der Kontrollgruppe beobachtet werden. Konkret verbesserten sich die Schwimmzeiten der Interventionsgruppe um durchschnittlich 5,3 Sekunden über die 100-Meter-Distanz sowie 17,1 Sekunden über die 300-Meter-Distanz. Die Kontrollgruppe verzeichnete ergänzend dazu eine drei-sekündige Reduktion der Schwimmzeiten über die Kurzdistanz und eine 15,7-sekündige Verbesserung über die Mitteldistanz. Beide Gruppen verbesserten sich somit in Bezugnahme auf die Schwimmleistung über sämtliche Testlängen im beinahe identen Ausmaß.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen demnach im Einklang zu den Resultaten bisheriger Untersuchungen von Roberts et al. (1991) sowie Sadowski et al. (2012). Roberts et al. (1991) untersuchten hierzu in einer Studie mit 16 Leistungsschwimmern (im Alter von durchschnittlich 19,1 Jahren) die Auswirkungen eines semispezifischen Intervalltrainings am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung im Kraulstil über 100 Yard. Die Probanden der Interventionsgruppe absolvierten hierbei drei Mal pro Woche ein spezielles Trainingsprogramm am Schwimmergometer, das aus vier zehn-sekündigen Kurzintervallen mit drei zehn-sekündigen Erholungsphasen bestand. Beide Testgruppen führten, ähnlich wie in der vorliegenden Studie, zusätzlich ein reguläres Schwimmtraining durch. Auch Roberts et al. (1991) konnten jedoch nach Beendigung der Trainingsintervention in beiden Gruppen jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmleistungen über 100 Yard feststellen. Roberts et al. (1991) schlussfolgerten daraus, dass ein zusätzlich ausgeführtes, biokinetisches Training am Zugergometer keine Leistungssteigerung für Wettkampfschwimmer verspricht und von einer Anwendung in der Vorbereitungsphase letztlich abgesehen werden kann. Zu selbigen Erkenntnis gelangte eine nachfolgende Studie von Sadowski et al. (2012), die den Effekt eines semispezifischen Intervalltrainings auf die Schwimmleistung von jugendlichen Nachwuchsschwimmern untersuchte. Die Forscher rekrutierten hierbei 26 männliche Schwimmer im Durchschnittsalter von ca. 14 Jahren und verteilten diese auf zwei randomisierte Gruppen. Beide dieser Gruppen absolvierten wiede-

rum als Basistraining ein dominant aerob gehaltenes Schwimmtraining im Kraulstil. Ergänzend zu den Trainingseinheiten im Wasser mussten die Teilnehmer der Experimentalgruppe ein sechswöchiges Intervalltraining auf einem speziell designten (hydroisokinetischen) Ergometer bewältigen. Die Trainingseinheiten selbst setzten sich wiederum aus einem zehnminütigen Aufwärmprogramm zusammen, gefolgt von sechs 50-sekündigen Belastungsintervallen mit jeweils zehn Sekunden Pause dazwischen. Insgesamt mussten alle Probanden der Interventionsgruppe drei Trainingseinheiten pro Woche (je montags, mittwochs und freitags) über einen Zeitraum von sechs Wochen realisieren. Nach Abschluss des Interventionsprogrammes stellten auch Sadowski et al. (2012) nichtsdestotrotz keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmleistungen beider Testgruppen fest.

Unter Miteinbeziehung sämtlicher bisheriger Forschungsresultate also kann davon ausgegangen werden, dass ein semspezifisches Training am Schwimmergometer keine wesentlichen Verbesserungen der Schwimmleistung mit sich bringt. Die Erkenntnisse stehen somit im starken Kontrast zur derzeitig vorherrschenden Meinung, wonach die Schwimmleistung im direkten Zusammenhang mit dem am Schwimmergometer gemessenen Leistungsvermögen steht (Aspenes et al. 2012; Hawley & Williams 1991; Sharp et al. 1982). Wie allerdings die hier vorliegende Studie zeigt, wirkt sich ein Training am Schwimmergometer zwar durchaus positiv auf semispezifische Leistungsparameter wie die etwa die durchschnittliche Wattanzahl aus, eine signifikante Reduktion der Schwimmzeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe konnte hingegen nicht beobachtet werden. Folglich lassen sich nach Aspenes et al. (2012) die Schwimm- und Wattleistung zwar dementsprechend miteinander assoziieren, ein Kausalzusammenhang zwischen den beiden würde dennoch nicht bestehen. Als weiteren Hauptfaktor für das Ausbleiben einer Verbesserung der Schwimmleistung sei nach Crowley et al. (2017) zudem die primär fehlende Spezifität zur eigentlichen Schwimmbewegung zu nennen. Vor allem die Ausführung der Zielbewegung auf einer stationären Unterlage wie dem Ergometer führe demnach zu einer erhöhten Stabilität im Ausübungsprozess, die jedoch in keiner Weise der umgebungsspezifischen Instabilität des Schwimmens im Wasser entspreche (Crowley et al. 2017). Ebenso sei die Generierung von Vortriebskräften im Wasser nicht auf einem mechanischen Apparat an Land replizierbar, da zum einen die zurückgelegte Zuglänge der Hände am Schwimmergometer größer ist als im Wasser, zum anderen soll sich die Aufteilung der Zugkräfte in den Gelenken deutlich von der im Wasser gemessenen Kraftverteilung unterscheiden (Crowley 2017). Zuletzt werden laut Aspenes et al. (2012) zudem weitere wesentliche Faktoren wie etwa die im Schwimmsport notwendige Kontrolle des

Atemrhythmus sowie vorherrschende hydrostatische Druckbedingungen und Antigravitationseffekte des Wassers im Zuge einer Bewegungssimulation am Schwimmergometer vollständig außer Acht gelassen.

Eine alternative Erklärungsmöglichkeit für das Ausbleiben eines leistungsfördernden Effektes des Schwimmergometer-Trainings auf die Schwimmleistung könnte die explizit isolierte Beanspruchung der oberen Extremitäten darstellen. Auch hierbei repräsentieren die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung die Resultate vorausgegangener Publikationen wie etwa von Konstantaki et al. (2008). Die Studie der besagten Autoren und Autorinnen untersuchte diesbezüglich die Auswirkungen eines zusätzlich ausgeführten, isolierten Schwimmtrainings der oberen Extremitäten auf die Schwimmleistung von 15 Schwimmern der Nationalliga. Dazu ersetzten die Forscher und Forscherinnen im Zuge einer sechswöchigen Intervention rund 20% des regulären Schwimmtrainings durch diverse Übungen zur isolierten Beanspruchung der Arm- und Schultermuskulatur. Trotz signifikanter Verbesserungen im Bereich der Bewegungsökonomie, der Schwimmleistung ohne Einsatz der Arme sowie der muskulären Ausdauer der trainierten Körpersegmente, konnten Konstantaki et al. (2008) keine aussagekräftige Steigerung der Schwimmleistung dokumentieren. Als Ursache dafür sehen Crowley et al. (2017) vor allem die deutliche Vernachlässigung koordinativer Teilaspekte der Schwimmbewegung, die im Zuge einer isolierten Bewegungsausführung zwangsläufig auftreten würde. Eine Abgrenzung der Schwimmbewegung auf die oberen Extremitäten hin bezogen, führe demnach zu einem zusätzlichen externen Drehmoment entlang der Longitudinalachse des Oberkörpers, das aus einer Veränderung der Stabilität bzw. der Wasserlage resultiert (Crowley et al. 2017).

6.2 Leistungen am Schwimmergometer

Konträr zu den Ergebnissen der Schwimmleistung über 100- und 300-Meter erwiesen sich die signifikanten Steigerungen der durchschnittlichen Wattanzahl über beide Testdistanzen innerhalb der Interventionsgruppe als wenig überraschend. Allgemein verbesserte sich die durchschnittliche Wattleistung der Interventionsgruppe über die Kurzdistanz um 26,4% sowie um 48% über die Mitteldistanz nach Abschluss der vierwöchigen Trainingsintervention. Im Gegensatz dazu konnten die Teilnehmer und Teilnehmerinnen der Kontrollgruppe lediglich eine fünfprozentige Steigerung der durchschnittlichen Wattanzahl über die 100-Meter

und eine elfprozentige Erhöhung über die 300-Meter für sich verzeichnen. Die erhobenen Daten entsprechen somit den Ergebnissen früherer Untersuchungen wie beispielsweise jenen von Aspenes et al. (2009), Girold et al. (2007; 2012), Tanaka et al. (1993) und Sadowski et al. (2012). Auch hier erzielten die Probanden und Probandinnen der Experimentalgruppen nach Beendigung der jeweiligen Trainingsintervention semispezifischer Art stets signifikant höhere Leistungswerte am (hydro-)isokinetischen Ergometer als jene Teilnehmer und Teilnehmerinnen der Kontrollgruppe. Entscheidend für den erfolgreichen Transfer dieser semispezifischen Leistungszuwächse auf die Schwimmgeschwindigkeit dürfte dabei jedoch die jeweilige Trainingsmodalität sein. Positiv verlaufende Studien wie jene von Aspenes et al. (2009) oder Girold et al. (2007; 2012) charakterisieren sich beispielsweise durch Trainingsmethodiken, die eine niedrige Wiederholungszahl (eins bis maximal sechs Wiederholungen) bei gleichzeitig niedriger Gesamtsatzzahl sowie eine hohe konzentrische Bewegungsgeschwindigkeit aufweisen. Dies führe nach Coyle et al. (1981) sowie Crowley et al. (2017) einerseits zu einer deutlich stärkeren Rekrutierung und Adaption der Typ-II-Muskelfasern, anderseits kommt es durch das verminderte Trainingsvolumen zu einer geringeren Gesamtauslastung des neuromuskulären Systems. Trainingsinterventionen wie von Tanaka et al. (1993) zeichnen sich dagegen im Allgemeinen durch den Einsatz höherer Belastungsumfänge bei gleichzeitig niedrigeren Intensitäten aus. Eine Erhöhung des Belastungsvolumens führe laut Crowley et al. (2017) aber simultan zu einer Steigerung der neuromuskulären Erschöpfung, wodurch zum einen das individuelle Erholungsvermögen, zum anderen jedoch auch die Kraftentwicklung von Athleten und Athletinnen gehemmt werden würden. Zudem würden höhere Belastungsumfänge eine Vergrößerung des Muskelquerschnittes zur Folge haben, die sich wiederum negativ auf das Kraft-Masse-Verhältnis auswirkt und dadurch in einer Hemmung der Schwimmleistung resultieren (Crowley et al. 2017).

Neuromuskuläre Erschöpfung könnte auch ein Schlüsselfaktor bezüglich der ausgebliebenen Leistungssteigerung in den Interventionsstudien von Roberts et al. (1991) und Sadowski et al. (2012) gewesen sein. Beide Untersuchungen ergänzten die jeweiligen Trainingseinheiten der Testgruppen durch ein semispezifisches, hochintensives Intervalltraining am Schwimmergometer, ohne dabei jedoch die Gesamttrainingsbelastung auszugleichen bzw. zu reduzieren. Die Interventionsgruppe von Roberts et al. (1991) beispielsweise absolvierte sechs Trainingseinheiten pro Woche im Wasser (drei Einzeleinheiten und drei Doppeleinheiten) bei einer durchschnittlich zurückgelegten Schwimmdistanz von 5500 bis 9000 Yards über

einen Studienzeitraum von insgesamt zehn Wochen. Ähnliche Trainingsumfänge dokumentierten auch Sadowski et al. (2012), deren Probanden im Durchschnitt umgerechnet 4635 Meter pro Einheit für sechs Tage die Woche und über einen Beobachtungszeitraum von sechs Wochen zurücklegten. Zusätzlich dazu führten die Teilnehmer der Experimentalgruppe bei beiden Studien dreimal pro Woche ein semispezifisches Intervalltraining unter Anwendung eines isokinetischen Ergometers durch. Eine simple Erhöhung des Trainingsvolumens, wie hier in den beiden genannten Studien z.B. dargestellt, bedingt bei hochtrainierten Sportlern und Sportlerinnen allerdings kaum eine Steigerung physiologischer Parameter (Costill et al. 1991). So zeigte eine Untersuchung von Costill et al. (1988) an zwölf männlichen Leistungsschwimmern beispielsweise, dass sogar eine Verdoppelung des Trainingsumfangs (von 4266 auf 8979 Meter/Trainingstag) bei gleichbleibender Trainingsintensität über einen Zeitraum von zehn Tagen keine Veränderungen bezüglich der Schwimmleistung sowie der aeroben Kapazität mit sich bringt. Ebenso birgt eine Zunahme des Trainingsvolumens nach Ansicht vieler Autoren und Autorinnen die Gefahr einer gesteigerten Inzidenzrate übertrainingsbedingter Symptome, die wiederum eine Minderung der Leistungsfähig zur Folge hätten (Hooper et al. 1993; Raglin et al. 2000). Ob neuromuskuläre Erschöpfung jedoch auch im Kontext der vorliegenden Studie einen Einfluss auf die Schwimmleistung der Interventionsgruppe gehabt haben könnte, bleibt angesichts des niedrig gehaltenen Gesamttrainingsvolumens eher zweifelhaft zu betrachten. Der fehlende leistungssteigernde Effekt auf die Schwimmzeiten kann daher auf die häufig zitierte Schwierigkeit der Transferierbarkeit semispezifischer Trainingsmethoden zurückgeführt werden (Aspenes et al. 2012; Crowley et al. 2017; Tanaka et al. 1993).

Trotz des Ausbleibens eines leistungssteigernden Effekts auf die Schwimmleistung belegen die vorliegenden Daten dennoch auf eindeutige Weise die Effizienz und Effektivität hochintensiven Trainings auf die Leistungsfähigkeit im Kurz- sowie Mittelzeitausdauerbereich. So konnte mittels einer nur vierwöchigen Intervention durch High-Intensity Training am Schwimmergometer die durchschnittliche Wattleistung um 26,4% über die Kurzdistanz sowie um 48% über die Mitteldistanz gesteigert werden. Im Vergleich dazu steigerte sich die Kontrollgruppe, trotz regulärem Schwimmtraining, um nur 4,8% über die kurze und 10,9% über die mittlere Testlänge. Die höheren Leistungszuwächse bezüglich der 300-Meter-Distanz innerhalb der Experimentalgruppe können dabei unter Miteinbeziehung der verwendeten Trainingsmodalität geklärt werden. So lag die Durchschnittszeit innerhalb Interventionsgruppe über 300 Meter bei ca. sechs Minuten (374,1 ± 71,9 Sekunden), was in etwa der

vierminütigen Belastungsphase des Intervalltrainings dieser Studie entsprechen würde. Beide Belastungszeiträume könnten damit dem Bereich der Mittelzeitausdauer zugeschrieben werden, der sich im Allgemeinen über eine Dauer von zwei bis zehn Minuten erstreckt (Hottenrott & Neumann 2016; Schnabel et al. 2011; Weineck 2010). Die leichten, aber dennoch nicht signifikanten, Leistungszuwächse der Kontrollgruppe in Bezug auf die durchschnittliche Wattanzahl könnten hingegen auf zwei mögliche Erklärungsansätze hindeuten. Zum einen könnte der wiederholte Einsatz der Testmethode zu einer technischen Familarisierung innerhalb der Kontrollgruppe geführt haben, zum anderen könnte der minimale Leistungsgewinn aber auch als direkte Auswirkung des Schwimmtrainings betrachtet werden.

Während die Effektivität isokinetischer Ergometer auf die Schwimmperformance aufgrund der mangelnden Studienlage sowie den daraus abgeleiteten Forschungsergebnissen eher begrenzt erscheint, versprechen sportartspezifische Interventionen unterschiedlichster Natur hingegen größtenteils eindeutige Erfolgschancen. Vor allem schwimmspezifisches High-Intensity Training könnte angesichts des derzeitigen Forschungsstandes dabei eine effiziente Alternative für Hobbysportler und Hobbysportlerinnen darstellen (Kame 1990; Pugliese et al. 2015; Sperlich et al. 2010; Termin & Pendergast 2000). Ebenso hat sich der Einsatz schwimmspezifischer Widerstandsmethoden wie etwa die Anwendung resistierender bzw. elastischer Zugsysteme zur Verbesserung der Schwimmleistung über Kurz- als auch Langdistanzen in einer Reihe unterschiedlichster Interventionsstudien zunehmend bewährt (Girold et al. 2006; Juárez Santos-García et al. 2013; Mavridis et al. 2006; Toussaint & Vervoorn 1990). Obgleich die aktuellen Belege für die Auswirkungen schwimmspezifischer Trainingsmaßnahmen sowie High-Intensity Trainings auf die Schwimmleistung zunächst vielversprechend wirken, bleibt es dennoch schwierig, genaue Schlussfolgerungen daraus zu ziehen, bis weitere Forschungen diesbezüglich durchgeführt wurden.

6.3 Durchschnittliche Zugfrequenz über 100- und 300-Meter

Die Zugfrequenz gilt neben der Zuglänge als eine der beiden einflussreichsten biomechanischen Parameter der Schwimmleistung. Vor allem auf kürzere Distanzen sowie zur Erhaltung einer hohen Schwimmgeschwindigkeit scheint die Zugfrequenz eine wesentliche Rolle beizutragen (Craig, Skehan, Pawelczyk & Boomer 1985; Girold et al. 2007; Wakayoshi, D'Acquisto, Cappaert & Troup 1995). Unter Zunahme der Wettkampfdistanz allerdings zeigt sich ein simultaner Anstieg der Zugfrequenz, der wiederum aus einer ermüdungsbedingten Verkürzung der Zuglänge hervorgeht (Alberty, Sidney, Pelayo & Toussaint 2009; Laffite et al. 2004). Folglich nimmt die Zugfrequenz über längere Schwimmdistanzen lediglich eine kompensatorische Position ein, wodurch die Aufrechterhaltung einer optimalen Zuglänge im Vordergrund stehen sollte (Craig et al. 1985; Laffite et al. 2004). Wie aus den Daten der vorliegenden Untersuchung abzulesen ist, hat sich die durchschnittliche Zugfrequenz beider Gruppen sowohl auf die kurze wie auch die mittlere Testdistanz nicht signifikant verändert. Die Ergebnisse stehen damit wiederum im Einklang zu früheren Resultaten von Aspenes et al. (2009) sowie Roberts et al. (1991). Da der Parameter Zugfrequenz innerhalb der hier vorliegenden Studie jedoch nur im Rahmen der semispezifischen Leistungsuntersuchung am Schwimmergometer gemessen wurden, sind weiterführende Aussagen natürlich dementsprechend eingeschränkt. Wie Aspenes et al. (2009) allerdings ebenso andeuten, könnte der fehlende Anstieg bezüglich der Schwimmleistungen konsequenterweise auch durch die mangelnde Verbesserung der Zugfrequenz interpretiert werden. Im Kontrast dazu konnten Girold et al. (2006) belegen, dass ein hochintensives Sprintintervalltraining (6x30 Sekunden) unter Verwendung eines entgegenwirkenden Zugseiles im Wasser nicht nur die Zugfrequenz von Schwimmsportlern und Schwimmsportlerinnen signifikant steigert, sondern auch deren Schwimmleistung über 100-Meter essenziell verbessert. Ein erfolgreicher Transfer semispezifischer Leistungsfähigkeiten gelinge daher nur, wenn parallel auch technikorientierte Übungseinheiten im Trainingsprozess berücksichtigt werden würden (Aspenes et al. 2009). Zukünftige Forschungen über kombinierte Interventionsmöglichkeiten bewegungstechnischer und semispezifischer Trainingsformen müssen diesbezüglich also durchgeführt werden.

6.4 Critical Power und W‘-Werte

Die Critical-Power-Methode stellt eine nichtinvasive und gleichzeitig aussagekräftige Möglichkeit zur Bestimmung der individuellen Ausbelastungsdauer von Athleten und Athletinnen, wobei sie nicht nur Analyse der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit verwendet werden kann, sondern sich gleichzeitig zur Messung anaerob-laktaziden Leistungspotenzials bestens eignet (Jones et al. 2010; Poole et al. 2016; Vanhatalo et al. 2011). Dabei wird die Critical Power selbst als die höchstmögliche Arbeitsleistung eines Muskels bzw. einer Muskelgruppe definiert, die über einen längeren Zeitraum ohne Leistungsabbruch aufrechterhalten werden kann (Heck & Schulz 2002; Monod & Scherer 1965). Rein physiologisch betrachtet, entspricht die Critical Power folglich in etwa dem metabolischen Zustand des maximalen Laktat-Steady-State (MLSS), einem Stoffwechselverhältnis, dessen Energiebereitstellung gerade noch über rein oxidative Prozesse sichergestellt werden kann und dementsprechend keine Akkumulation des Blutlaktats aufweisen lässt (Jones et al. 2010; Poole et al. 2016; Vanhatalo et al. 2011). Mathematisch betrachtet, wird die Critical Power wiederum als eine empirische Messgröße verstanden, die in enger Relation zwischen der Belastungsintensität sowie der jeweiligen Ausbelastungsdauer steht (Jones et al. 2010; Poole et al. 2016; Vanhatalo et al. 2011).

Vorausgehende Untersuchungen belegten, dass die Critical Power wie auch die W‘ durch trainingsinduzierte Reize und Belastungsformen beeinflusst werden können. So zeigte sich beispielsweise, dass vor allem die Critical Power bereits im Rahmen kurzer Trainingsperioden (vier bis sechs Wochen) kontinuierlichen oder auch intermittierenden Ausdauertrainings einer signifikanten Steigerung unterziehbar ist (Gaesser & Wilson 1988; Jenkins & Quigley 1992; Poole, Ward & Whipp 1990; Vanhatalo, Doust & Burnley 2008). Eine Verbesserung der Critical Power führt im Gegenzug allerdings simultan oftmals zu einer Reduktion der W‘ (Jenkins & Quigley 1992). Auch im Verlauf der hier vorliegenden Studie konnte innerhalb der Interventionsgruppe eine signifikante Steigerung der Critical Power bei gleichzeitig unwesentlicher Veränderung der W‘-Werte beobachtet werden. Wie aus den analysierten Resultaten gut zu erkennen ist, steigerte sich die Interventionsgruppe in Bezug auf die Critical Power mit durchschnittlich 70,7% stark signifikant im Vergleich zu Kontrollgruppe, deren Teilnehmer und Teilnehmerinnen im Allgemeinen lediglich eine Steigerung von 16% für sich verzeichnen konnten. Im Gegenzug dazu deuten die W‘-Werte beider Gruppen auf

keine wesentlichen Veränderungen hin. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen somit zugleich die derzeit vorherrschende Theorie, dass trainingsbedingte Steigerungen der Critical Power gleichzeitig auch eine Minderung der anaeroben Kapazität nach sich ziehen können. Um hingegen eine Verbesserung der W‘ bzw. der anaeroben Kapazität zu erzielen, empfiehlt sich nach Jenkins und Quigley (1993) primär die Anwendung intensiven Schnellkraft- oder Sprinttrainings. Da die jeweiligen Belastungsintervalle dieser Studie mit einer Dauer von vier Minuten jedoch weder dem Schnellkraft- noch dem Sprinttraining zugerechnet werden können, überrascht das Ausbleiben eines leistungssteigernden Effekts auf die anaerobe Kapazität der Teilnehmenden nicht besonders.

6.5 Korrelation zwischen Schwimm- und Wattleistung

Zu Beginn der Pretests zeigten die erhobenen Daten, dass die Schwimmzeit über 100 Meter im Kraulstil und die durchschnittliche Wattleistung der 100-Meter-Zeit aller Probanden und Probandinnen stark negativ miteinander korrelierten, $r = -.678$, $p < .001$. Die Schwimmleistungen über die kurze Distanz schien somit im direkten Verhältnis mit den gemessenen Zugleistungen am Schwimmergometer zu stehen. Auch im Rahmen der Posttest konnte die beschriebene Relation über die Kurzdistanz noch beobachtet werden. Die Schwimmzeit über 100 Meter im Kraulstil sowie die durchschnittliche Wattleistung der 100-Meter-Zeit sämtlicher Teilnehmer und Teilnehmerinnen korrelierte dabei auch hier, trotz leichtem Abfall, weiterhin stark negativ miteinander, $r = -.53$, $p < .05$. Konträr dazu korrelierten die Schwimmzeiten über 300 Meter und die durchschnittliche Wattleistung der 300-Meter-Zeit aller Probanden und Probandinnen lediglich zu Beginn der Studie stark negativ miteinander, $r = -.54$, $p < .05$. Im Zuge der Posttests wurde jedoch eine deutlich geringere Korrelation ($r = -.448$, $p < .05$) zwischen den Schwimmzeiten über 300 Meter im Kraulstil sowie den durchschnittlichen Wattleistungen der 300-Meter-Zeit sämtlicher Teilnehmer und Teilnehmerinnen schlussendlich festgestellt. Daraus folgend lässt sich vermuten, dass semispezifische Trainingsprozesse einen negativen Einfluss auf die Reliabilität semispezifischer Leistungsanalyseverfahren auszuüben vermögen, wenn Trainings- und Messapparatur identer Natur sind.

6.6 Limitationen

Wie bei sämtlichen empirischen Untersuchungen üblich müssen auch im Rahmen der vorliegenden Studie aufgetretene Limitationen bzw. Kritikpunkte in Betracht gezogen werden. Eine wesentliche Einschränkung stellte vor allem die bislang begrenzte Forschungslage bezüglich der Thematik semispezifischen Trainings am Schwimmergometer dar. Vorhergehende Publikationen im Bereich semispezifischer Trainingsmethoden fokussierten sich primär auf klassisches Kraft- bzw. Widerstandstraining unter Einsatz gängiger Kräftigungsübungen (Kniebeugen, Klimmzüge, etc.). Die Anwendung isokinetischer Ergometer beschränkte sich in diesen Untersuchungen dabei meist auf leistungsdiagnostische Zwecke. Eine Verwendung des Schwimmergometers als eigenständiges Trainingsgerät hingegen wurde bis dato in nur wenigen Publikationen erwähnt. Eine weitere Limitation der vorliegenden Untersuchung bildeten zum einen die Stichprobengröße und zum anderen das Leistungsniveau der Probanden und Probandinnen. Beinahe ein Viertel der Testsubjekte beendete vorzeitig die Teilnahme an der Studie. Gleichzeitig wiesen einige Probanden und Probandinnen am Beginn der Untersuchungen konditionelle wie technische Defizite auf. So konnte die Schwimmdistanz über 300 Meter beispielsweise von manchen Teilnehmenden nicht oder nur intervallartig absolviert werden, wodurch diese Personen nicht in die statistische Datenanalyse miteinbezogen wurden und somit schon im Vorfeld aus der Studie ausschieden. Zukünftige Forschungen auf dem Gebiet des semispezifischen Trainings unter Anwendung isokinetischer Ergometer sollten sich daher auf erfahrenere Schwimmsportler und Schwimmsportlerinnen konzentrieren, deren konditionelle und technische Kapazitäten bereits weitläufig ausgebildet wurden.

6.7 Fazit

Unter Berücksichtigung sowohl vorhergehender Publikationen als auch der vorliegenden Studie kann behauptet werden, dass ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer für Freizeitsportler und Freizeitsportlerinnen keinen relevanten Zuwachs auf die Schwimmleistung bietet. Hobbyathleten und Hobbyathletinnen sollten daher im Rahmen einer Leistungsoptimierung auch weiterhin auf schwimmspezifische Trainingsformen mit niedrigem zeitökonomischen Aufwand, wie etwa sportartspezifisches

High-Intensity Training oder einzelne Formen des schwimmspezifischen Widerstandstrainings, zurückgreifen.

Literaturverzeichnis

Alberty, M., Sidney, M., Pelayo, P., & Toussaint, H. M. (2009). Stroking characteristics during time to exhaustion tests. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 41* (3), 637-644.

Anderson, M., Hopkins, W., Roberts, A., & Pyne, D. (2008). Ability of test measures to predict competitive performance in elite swimmers. *Journal of Sports Science*, *26* (2), 123-30.

Aspenes, S., Kjendlie, P-L., Hoff, J., & Helgerud, J. (2009). Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine, 8* (3), 357-365.

Aspenes, S. & Karlsen, T. (2012). Exercise-Training Intervention Studies in Competitive Swimming. *Sports Medicine, 42* (6), 527-543.

Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., Jurancich, M., Lewis, R., McCarthy, K., & Trost, E. (2011). Adaptations to high-intensity training are independent of gender. *European Journal of Applied Physiology, 111* (7), 1279-1286.

Azuma, K. & Matsumoto, H. (2017). Potential Universal Application of High-intensity Interval Training from Athletes and Sports Lovers to Patients. *The Keio Journal of Medicine, 66* (2), 19-24.

Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport, 13* (2), 262-269.

Bartlett, J. D., Close, G. L., MacLaren, D. P., Gregson, W., Drust, B., & Morton, J. P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *Journal of Sports Sciences, 29* (6), 547-553.

Bishop, D., Jenkins, D. G., & Mackinnon, L. T. (1998). The effect of stage duration on the calculation of peak V̇O2 during cycle ergometry. *Journal of Science and Medicine in Sport, 1* (3), 171-178.

Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009*). Introduction to Meta-Analysis, Chapter 7: Converting Among Effect Sizes*. Chichester: Wiley.

Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Aufl.). Heidelberg: Springer.

Bradshaw, A. & Hoyle, J. (1993). Correlation between sprinting and dry land power. The *Journal of Swimming Research*, *1993* (9), 15-18.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.

Costa, M. J., Bragada, J. A., Marinho, D. A., Silva, A. J., & Barbosa, T. M. (2012). Longitudinal interventions in elite swimming: a systematic review based on energetics, biomechanics, and performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 26* (7), 2006-2016.

Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Houmard, J. A., Mitchell, J. B., Thomas, & R.; Han Park, S. (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 20* (3), 249-254.

Costill, D. L., Thomas, R., Robergs, R. A., Pascoe, D., Lambert, C., Barr, S., & Fink, W. J. (1991). Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (3), 371-377.

Coyle, E. F., Feiring, D. C., Rotkis, T. C., Cote, R. W., Roby, F. B., Lee, W., & Wilmore, J. H. (1981). Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *Journal of Applied Physiology, 51* (6), 1437-1442.

Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 17* (6), 625-634.

Creer, A. R., Ricard, M. D., Conlee, R. K., Hoyt, G. L., & Parcell, A. C. (2004). Neural, Metabolic, and Performance Adaptations to Four Weeks of High Intensity Sprint-Interval Training in Trained Cyclists. *International Journal of Sports Medicine, 25* (2), 92-98.

Crowley, E., Harrison, A. J., & Lyons, M. (2017). The Impact of Resistance Training on Swimming Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, *47* (11), 2285-2307.

Deschodt, V. J., Arsac, L. M., & Rouard, A. H. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25m sprint front-crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 80* (3), 192-199.

Dragunas, A. J., Dickey, J. P., & Nolte, V. W. (2012). The effect of drag suit training on 50-m freestyle performance. *Journal of Strength and Conditioning Research, 26* (4), 989-994.

Eddy, D. O., Sparks, K. L., & Adelizi, D. A. (1977). The effects of continuous and interval training in women and men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 37* (2), 83-92.

Edelman, G. T. (2010). Stability ist the Key. Warm-Ups and Stretches for Competitive Swimmers. *Swimmer*, *2010* (1), 23-27.

Esteve-Lanao, J., San Juan, A. F., Earnest, C. P., Foster, C., & Lucia, A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 37* (3), 496-504.

Faude, O., Meyer, T., Scharhag, J., Weins, F., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2008). Volume vs. Intensity in the Training of Competitive Swimmers. *International Journal of Sports Medicine, 29* (11), 906-912.

Foster, C., Farland, C. V., Guidotti, F., Harbin, M., Roberts, B., Schuette, J., Tuuri, A., Doberstein, S. T., & Porcari, J. P. (2015). The Effects of High Intensity Interval Training vs Steady State Training on Aerobic and Anaerobic Capacity. *Journal of Sports Science and Medicine, 14* (4), 747-755.

Friedmann-Bette, B. (2011). Die Spiroergometrie in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 62* (1), 10-15.

Gaesser, G. A. & Wilson, L. A. (1988) Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine, 9* (6), 417-421.

García-Pinillos, F., Soto-Hermoso, V. M., & Latorre-Román, P. A. (2017). How does high intensity intermittent training affect recreational endurance runners? Acute and chronic adaptations: A systematic review. *Journal of Sport and Health Science, 6* (1), 54-67.

Gibala, M. J., Little, J. P., Van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., Raha, S., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology, 575* (3), 901-911.

Girold, S., Calmels, P., Maurin, D., Milhau, N., & Chatard, J-C. (2006). Assisted and resisted sprint training in swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research, 20* (3), 547-554.

Girold, S., Maurin, D., Dugue, B., Chatard, J-C., & Millet, G. (2007). Effects of dry-land vs. resisted-and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. *Journal of Strength and Conditioning Research, 21* (2), 599-605.

Girold, S., Jalab, C., Bernard, O., Carette, P., Kemoun, G., & Degue, B. (2012). Dry-land strength training vs. electrical stimulation in sprint swimming performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*; *26* (2), 497-505.

Gourgoulis, V., Boli, A.; Aggeloussis, N., Toubekis, A.; Antoniou, P., Kasimatis, P., Vezos, N., Michalopoulou, M., Kambas, A.; & Mavromatis, G. (2013). The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences, 32* (3), 278-289.

Haber, P. & Tomasits, J. (2016). *Leistungsphysiologie. Lehrbuch für Sport- und Physiotherapeuten und Trainer* (5. Aufl.). Heidelberg: Springer-Verlag.

Hawley, J. A., & Williams, M. M. (1991). Relationship between upper body anaerobic power and freestyle swimming performance. *International Journal of Sports Medicine, 12* (1), 1-5.

Heck, H & Schulz, H. (2002). Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 53* (7+8), 202-212.

Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33* (11), 1925-31.

Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO2max more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 39* (4), 665-671.

Hill, D. W. (1993). The critical power concept. A review. *Sports Medicine, 16* (4), 237-254.

Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter M. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaften* (5. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert Verlag GmbH.

Hollmann, W., & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin: Grundlagen von körperlicher Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer.

Hooper, S. L., MacKinnon, L. T., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1993). Hormonal responses of elite swimmers to overtraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 25* (6), 741-747.

Hottenrott, K, & Neumann, G. (2016). *Trainingswissenschaft: Ein Lehrbuch in 14 Lektionen. Band 7* (3. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.

Houston, M. E., Wilson, D. M., Green, H. J., Thomson, J. A., & Ranney, D. A. (1981). Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *European Journal of Applied Physiology, 46* (3), 283-291.

Jacobs, I., Bleue, S., & Goodman, J. (1997). Creatine ingestion increases anaerobic capacity and maximum accumulated oxygen deficit. *Canadian Journal of Applied Physiology, 22* (3), 231-243.

Jenkins, D. G. & Quigley, B. M. (1992). Endurance training enhances critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 24* (11), 1283-1289.

Jenkins, D. G. & Quigley, B. M. (1993). The influence of high-intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 25* (2), 275-282.

Johnson, R. E., Sharp, R. L., & Hedrick, C. E. (1993). Relations of swimming power and dryland power to sprint freestyle performance: A multiple regression approach. *Journal of Swimming Research, 1993* (9), 10-14.

Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., & Poole, D. C. (2010). Critical Power: Implications for Determination of VO_{2max} and Exercise Tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 42* (10), 1876-1890.

Jones, A. M., Vanhatalo, A., Doust, J. H. (2009) Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: tests, procedures and data. In R. Eston & T. Reilly (Hrsg.), *Exercise Physiology, Vol 2*.(S. 271-306). London: Taylor & Francis.

Jones, A. M., Wilkerson, D. P., DiMenna, F., Fulford, J., & Poole, D. C. (2008). Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using 31P-MRS. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 294* (2), 585-593.

Juárez Santos-García, D., González-Ravé, J. M., Legaz Arrese, A., Portillo Yábar, L. J., Clemente Suárez, V. J., & Newton, R. U. (2013). Acute effects of two resisted exercises on 25 m swimming performance. *Isokinetics and Exercise Science, 21* (1), 29-35.

Kame, V. D., Pendergast, D. R., & Termin, B. (1990). Physiologic responses to high intensity training in competitive university swimmers. *The Journal of Swimming Research, 6* (4), 5-8.

Kappenstein, J. & Ferrauti, A. (2015). Intervallsprinttraining verbessert die aerobe Ausdauer im Grundschulalter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 66*(5), 128-133.

Keul, J., Löhmann, N., & Adolph, P. (1970). Die Veränderungen der Herzfrequenz und der arteriellen Glucose- und Lactatspiegel bei zwei- und vierminütigen Intervallläufen. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, *29* (1), 55-64.

Kindermann, W. (2004). Anaerobe Schwelle. Standards der Sportmedizin. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 55* (6), 161-162.

Kong, Z., Fan, X., Sun, S., Song, L., Shi, Q., & Nie, J. (2016). Comparison of High-Intensity Interval Training and Moderate-to-Vigorous Continuous Training for Cardiometabolic Health and Exercise Enjoyment in Obese Young Women: A Randomized Controlled Trial. *Public Library of Science (PLOS ONE), 11* (7), DOI: 10.1371/journal.pone.0158589.

Konstantaki, M., Winter, E., & Swaine, I. (2008). Effects of arms-only swimming training on performance, movement economy, and aerobic power. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 3* (3), 294-304.

Krabak, B. J., Hancock, K. J., & Drake, S. (2013). Comparison of Dry-Land Training Programs Between Age Groups of Swimmers. *PM&R, 2013* (5), 303-309.

Krogh, A. & Lindhard, J. (1920). The changes in respiration at the transition from work to rest. *The Journal of Physiology, 53* (6), 431-439.

Kuipers, H., Rietjens, G., Verstappen, F., Schoenmakers, H., & Hofman G. (2003). Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *International Journal of Sports Medicine, 24* (7), 486-491.

Laffite, L. P., Vilas-Boas, J. P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R., & Billat, V. L. (2004). Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology, 29* (Suppl. 1), 17-31.

Laursen, P. B. & Jenkins, D. G. (2002). The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training. Optimising Training Programmes and Maximising Performance in Highly Trained Endurance Athletes. *Sports Medicine, 32* (1), 53-73.

Laursen, P. B., Blanchard, M. A., & Jenkins, D. G. (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Canadian Journal of Applied Physiology, 27* (4), 336-348.

Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 20* (2), 1-10.

Logan, G. R. M., Harris, N., Duncan, S., & Schofield, G. (2014). A Review of Adolescent High-Intensity Interval Training. *Sports Medicine, 44* (8), 1071-1085.

Londeree, B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 29* (6), 837-843.

Madsen, P. H., Bak, K., Jensen, S., & Welter, U. (2011). Training induces scapular dyskinesis in pain-free competitive swimmers: a reliability and observational study. *Clinical Journal of Sport Medicine, 21* (2), 109-113.

Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest. The essential references on technique, training and program design*. Champaign: Human Kinetics Inc.

Manning, J. M., Dooly-Manning, C. R., Terrell, D. T., & Salas, E. (1986). Effects of a power circuit weight training program on power production and performance. *Journal of Swimming Research*, *1986* (1), 24-29.

Mavridis, G., Kabitsis, C., Gourgoulis, V., & Toubekis, A. (2006). Swimming velocity improved by specific resistance training in age-group swimmers. *Portuguese Journal of Sport Sciences, 6* (Suppl. 2), 304-306.

Medbø, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O2 deficit. *Journal of Applied Physiology, 64* (1), 50-60.

Medbø, J. I. & Tabata, I. (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30s to 3 min of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology, 75* (4), 1654-1660.

Milanovic, Z., Sporis, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO2max Improvements: A

Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine, 45* (10), 1469-1481.

Monod, H. & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics, 8* (3), 329-338.

Neumann, G. (1983). Metabole Regulation bei Langzeitausdauerleistungen. *Medizin und Sport, 23* (6), 169-175.

Noordhof, D. A., de Koning, J. J., & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method: a valid and reliable measure of anaerobic capacity? *Sports Medicine, 40* (4), 285-302.

Nugent, F. J., Comyns, T. M., & Warrington, G. D. (2017a). Quality Versus Quantity Debate in Swimming: Perceptions and Training Practices of Expert Swimming Coaches. *Journal of Human Kinetics, 57* (1), 147-158.

Nugent, F. J., Comyns, T. M., & Warrington, G. D. (2017b). Effects of Low Volume, High-Intensity Training on Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 31* (3), 837-847.

Pendergast, D. R. & Lundgren, C. E. (2009). The underwater environment: cardiopulmonary, thermal, and energetic demands. *Journal of Applied Physiology, 106* (1), 276-283.

Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 48* (11), 2320-2334.

Poole, D. C., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1990). The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology, 59* (6), 421-429.

Pugliese, L., Porcelli, S., Bonato, M., Pavei, G., La Torre, A., Maggioni, M. A., Bellistri, G., & Marzorati, M. (2015). Effects of manipulating volume and intensity training in masters swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 10* (7), 907-912.

Raglin, J., Sawamura, S., Alexiou, S., Hassmén, P., & Kenttä, G. (2000). Training Practices and Staleness in 13–18-Year-Old Swimmers: A Cross-Cultural Study. *Human Kinetics Journals, 12* (1), 61-70.

Ramos Veliz, R., Requena, B., Suarez-Arrones, L, Newton, R. U., & Sáez de Villarreal, E. (2014). Effects of 18-week in-season heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 28* (4), 1007-1014.

Reindell, H., Roskamm, H., & Gerschler, W. (1962). *Das Intervalltraining*. München: J. A. Barth.

Ribeiro, J., Figueiredo, P., Sousa, A., Monteiro, J., Pelarigo, J., Vilas-Boas, J. P., Toussaint, H. M., & Fernandes, R. F. (2015). VO_2 kinetics and metabolic contributions during full and upper body extreme swimming intensity. *European Journal of Applied Physiology, 115* (5), 1117-1124.

Roberts, A. J, Termin, B., Reilly, M. F., & Pendergast, D. R. (1991). Effectiveness of biokinetic training on swimming performance in collegiate swimmers. *Journal of Swimming Research, 7* (3), 5-11.

Rodríguez, F. A., Lätt, E., Jürimäe, J., Maestu, J., Purge, P., Rämson, R., Haljaste, K., Keskinen, K. L., & Jürimäe, T. (2016). VO2 Kinetics in All-out Arm Stroke, Leg Kick and Whole Stroke Front Crawl 100-m Swimming. *International Journal of Sports Medicine, 37* (3), 191-196.

Roffey, D. M., Byrne, N. M., & Hills, A. P. (2007). Effect of stage duration on physiological variables commonly used to determine maximum aerobic performance during cycle ergometry. *Journal of Sports Sciences, 25* (12), 1325-1335.

Rosenthal, R. (1994). Parametric measures of effect size. In H. Cooper & L. V. Hedges (Hrsg.), *The Handbook of Research Synthesis* (S. 231-244). New York: Sage.

Sadowski, J., Mastalerz, A., Gromisz, W., & Niźnikowski, T. (2012). Effectiveness of the Power Dry-Land Training Programmes in Youth Swimmers. *Journal of Human Kinetics, 2012*(32), 77-86.

Sáez De Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ramos Veliz, R. (2015). Enhancing performance in professional water polo players: dryland training, in-water training, and combined training. *Journal of Strength and Conditioning Research, 29* (4), 1089-1097.

Saltin, B. (1973). Metabolic fundamentals in exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 5* (3), 137-146.

Schabel, G., Harre, D., & Krug, J. (2011). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft. Leistung. Training. Wettkampf.* (2. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.

Scharhag-Rosenberger, F., Meyer, T., Walitzek, S., & Kindermann, W. (2009). Time Course of Changes in Endurance Capacity: A 1-yr Training Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise, .41* (5), 1130-1137.

Scharhag-Rosenberger, F. (2010). Spiroergometrie zur Ausdauerleistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 61* (6), 146-147.

Seiler, S. & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an ‘‘optimal’’ distribution? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 16* (1), 49-56.

Seiler, S. & Tonnessen, E. (2009). Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. *Sportscience, 13*, 32-54.

Sein, M. L., Walton, J., Linklater, J., Appleyard, R., Kirkbride, B., Kuah, D., & Murrell, G. A. (2010). Shoulder pain in elite swimmers: primarily due to swim-volume-induced supraspinatus tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine, 44* (2), 105-113.

Sharp, R. L., Troup, J. P., & Costill, D. L. (1982). Relationship between power and sprint freestyle swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *14* (1), 53-56.

Shimonagata, S., Taguchi, M., & Miura, M. (2003). Effect of swimming power, swimming power endurance and dry-land power on 100 m freestyle performance. In: J-C., Chatard (Hrsg.). *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. Saint Etienne: University of Saint-Etienne, 391-396.

Simpson, L. P. & Kordi, M. (2017). Comparison of Critical Power and W' Derived From 2 or 3 Maximal Tests. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12* (6), 825-830.

Smith, T. P., McNaughton, L. R., & Marshall, K. J. (1999). Effects of 4-wk training using Vmax/Tmax on VO2max and performance in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 31* (6), 892-896.

Song H-S., Park D-H., & Jung, D-S. (2009). The effect of periodized strength training application on the Korea national team. *International Journal of Applied Sports Sciences, 21* (2), 122-145.

Spencer, M. R., & Gastin, P. B. (2001). Energy system contribution during 200 to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33* (1), 157-162.

Sperlich, B., Zinner, C., Heilemann, I., Kjendlie, P. L., Holmberg, H. C., & Mester, J. (2010). High-intensity interval training improves VO2peak, maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9-11-year-old swimmers. *European Journal of Applied Physiology, 110* (5), 1029-1036.

Steinhöfer, D. (1993). Zur Terminologie und Abgrenzung der Trainingsmethoden. *Leistungssport, 23* (6), 44-50.

Stepto, N. K., Hawley, J. A., Dennis, S. C., & Hopkins, W. G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 31* (5), 736-741.

Strass, D. (1986). Effects of maximal strength training on sprint performance of competitive swimmers. In: Ungerechts B. E., Wilke K., & Reischle K. (Hrsg.). *Vth International Symposium of Biomechanics and Medicine in Swimming*. Bielefeld: Human Kinetics Books, 149-156.

Swain, D.P. & Franklin B.A. (2002). VO2 reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 34* (1), 152-157.

Swaine, I. & Reilly, T. (1983). The freely-chosen swimming stroke rate in a maximal swim and on a biokinetic swim bench. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 15* (5), 370-375.

Tanaka, H., Costill, D. L., Thomas, R., Fink, W. J., & Widrick, J. J. (1993). Dry-land resistance training for competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 25* (8), 952-959.

Termin, B. & Pendergast, D. R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *The Journal of Swimming Research, 14* (1), 9-17.

Thum, J. S., Parsons, G., Whittle, T., & Astorino, T. A. (2017). High-Intensity Interval Training Elicits Higher Enjoyment than Moderate Intensity Continuous Exercise. *Public Library of Science (PLOS ONE), 12* (1), DOI: 10.1371/journal.pone.0166299.

Toussaint, H. M., Vervoorn, K. (1990). Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine, 11* (3), 228-233.

Toussaint, H. M. (2011). Biomechanics of drag and propulsion in front crawl swimming. In D. Chollet & L. Seifert (Hrsg.), *World Book of Swimming: From Science to Performance* (S. 3-20). New York: Nova Science Publishers.

Triska, C., Karsten, B., Beedie, C., Koller-Zeisler, B., Nimmerichter, A., & Tschan, H. (2018). Different durations within the method of best practice affect the parameters of the speed-duration relationship. *European Journal of Sport Science*, DOI: 10.1080/17461391.2017.1418025.

Triska, C., Karsten, B., Heidegger, B., Koller-Zeisler, B., Prinz, Nimmerichter, A., & Tschan, H. (2017). Reliability of the parameters of the power-duration relationship using maximal effort time-trials under laboratory conditions. *PLoS ONE, 12*(12), e0189776. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189776.

Vanhatalo, A., Doust, J. H., & Burnley, M. (2008). A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 40* (9), 1693-1699.

Vanhatalo, A., Jones, A. M., & Burnley, M. (2011). Application of Critical Power in Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 6* (1), 128-136.

Wahl, P., Hägele, M., Zinner, C.; Bloch, W., & Mester, J. (2010a). High Intensity Training (HIT) für die Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Normalpersonen und im Präventions- & Rehabilitationsbereich. *Wiener Medizinische Wochenschrift, 160* (23), 627-636.

Wahl, P., Hägele, M., Zinner, C., Bloch, W., & Mester, J. (2010b). High Intensity Training (HIT) für die Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Leistungssport. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 58* (4), 125-133.

Wakayoshi, K., D'Acquisto, L. J., Cappaert, J. M., & Troup, J. P. (1995). Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine, 16* (1),19-23.

Wayman, K. & Pintar, J. (2016). Evaluation and Treatment of the Swimming Athlete. In T. L. Miller (Hrsg.), *Endurance Sports Medicine. A Clinical Guide* (S. 229-282). Cham: Springer International Publishing.

Weber, C. L. & Schneider, D.A. (2001). Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33* (6), 1056-1059.

Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (16. Aufl.). Balingen: Spitta.

Weston, M., Taylor, K. L., Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2014). Effects of Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIT) on Fitness in Adults: A Meta-Analysis of Controlled and Non-Controlled Trials. *Sports Medicine, 44* (7), 1005-1017.

Whitehurst, M. (2012). High-Intensity Interval Training: An Alternative for Older Adults. *American Journal of Lifestyle Medicine, 6* (5), 382-386.

Zintl, F., & Eisenhut, A. (2013). *Ausdauertraining - Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung.* (8. Aufl.) München: BVL.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Symptome der Ermüdung (modifiziert nach Hohmann et al. 2010, S. 51)

Tab. 2: Klassifizierungsoptionen der Ausdauerfähigkeit (mod. n. Hottenrott & Neumann, 2016, S. 123)

Tab. 3: Einteilung der Ausdauertrainingsmethoden, dargestellt am Beispiel des leichtathletischen Laufes (mod. n. Weineck, 2010, S. 269)

Tab. 4: Varianten der Intervallmethode (mod. n. Zintl & Eisenhut, 2013, S. 121)

Tab. 5: Interventionsstudien mit High-Intensity Training im Schwimmsport

Tab. 6: Interventionsstudien mit semispezifischem Widerstandtraining

Tab. 7: Interventionsstudien mit semispezifischem Training am Schwimmergometer

Tab. 8: Interventionsstudien mit schwimmspezifischem Widerstandtraining

Tab. 9: Deskriptive Statistiken der Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen

Tab. 10: Deskriptive Statistiken der Schwimmleistung über 100-Meter Kraulstil

Tab. 11: Deskriptive Statistiken der Schwimmleitung über 300-Meter Kraulstil

Tab. 12: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Wattleistung über 100 Meter

Tab. 13: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Wattleistung über 300 Meter

Tab. 14: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Zugfrequenz über 100 Meter

Tab. 15: Deskriptive Statistiken der durchschnittlichen Zugfrequenz über 300 Meter

Tab. 16: Deskriptive Statistiken der Critical Power-Werte

Tab. 17: Deskriptive Statistiken der W‘-Werte

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Prinzip der Wiederholungsmethode (mod. n. Weineck, 2010, S. 285)

Abb. 2: Schematische Darstellung des aerob-anaeroben Übergangs (Kindermann, 2004, S. 161)

Abb. 3: Graphische Repräsentation des Armzuges am Schwimmergometer (Swaine, 2000, S. 1289)

Abb. 4: Seitenansicht der Probanden und Probandinnen während der Übungssituation (Girold et al., 2006, S. 548)

Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Datenerhebung

Abb. 6: Standardisierter Verlauf der Trainingseinheiten am Zugergometer

Abb. 7: Graphische Repräsentation der 100-Meter Schwimmzeiten

Abb. 8: Graphische Repräsentation der 300-Meter Schwimmzeiten

Abb. 9: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Wattleistung über 100 Meter

Abb. 10: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Wattleistung über 300 Meter

Abb. 11: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Zugfrequenz über 100 Meter

Abb. 12: Graphische Repräsentation der durchschnittlichen Zugfrequenz über 300 Meter

Abb. 13: Graphische Repräsentation der Critical Power-Werte

Abb. 14: Graphische Repräsentation der W'-Werte

Abb. 15: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 100 Meter (Pretest)

Abb. 16: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 100 Meter (Posttest)

Abb. 17: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 300 Meter (Pretest)

Abb. 18: Graphische Repräsentation der Korrelation zwischen Schwimmzeit und Wattleistung über 300 Meter (Posttest)

Anhang

Information für Studienteilnehmende und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie

Auswirkung eines vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,

wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen. (Optional: Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.)

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit, ohne Angabe von Gründen, Ihre Bereitschaft zur Teilnahme ablehnen oder auch im Verlauf der Studie zurückziehen. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Sie.

Diese Art von Studien ist notwendig, um verlässliche neue wissenschaftliche Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung von Studien ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text (optional: als Ergänzung zum Informationsgespräch) sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer/in an dieser Studie im Klaren sind.

1. Was ist der Zweck der Studie?

Das Thema High-Intensity Training (hochintensives Intervalltraining) hat eine große breiten- und leistungssportliche Relevanz. Studien zeigen, dass High-Intensity Training vergleichbare bzw. größere Erfolge und Anpassungen mit geringerer Trainingszeit erzeugt als das bisher verwendete klassische kontinuierliche Ausdauertraining. Vor allem aus Gründen der Zeitersparnis also könnte ein semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer für Breiten- und FreizeitsportlerInnen äußerst relevant sein.

Der Zweck dieser Studie ist es, zu überprüfen, welche Auswirkungen ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer auf die Schwimmleistung hat.

2. Wie läuft die Studie ab?

Diese Studie wird an der Universität Wien gemeinsam mit dem Österreichischen Institut für Sportmedizin (ÖISM) durchgeführt und es werden insgesamt 20 Personen daran teilnehmen. Sie werden entweder an der Interventionsgruppe (Trainingsintervention mit High Intensity Training) oder bei der Kontrollgruppe teilnehmen. An vier Tagen finden die Hauptuntersuchungen statt, welche eine Prüfbelastung umfasst, welche sowohl im Wasser, als auch am Schwimmergometer durchgeführt wird. Die Prüfbelastung im Wasser umfasst ein standardisiertes Aufwärmen, die Durchführung des Zeitschwimmens auf 100 m (Kurzbahn), eine

30-minütige passive Regenerationsphase sowie die Durchführung des Zeitschwimmens auf 300 m (Kurzbahn). Die Prüfbelastung am Schwimmergometer umfasst ein standardisiertes Aufwärmen, die Durchführung von Schwimmzügen am Schwimmergometer für die jeweilige Schwimmzeit auf 100 m, eine 30-minütige passive Regenerationsphase sowie die Durchführung der Schwimmzüge am Schwimmergometer für die jeweilige Schwimmzeit auf 300 m.

Die Teilnehmenden der Interventionsgruppe erfahren zwischen den Prüfbelastungen ein vierwöchiges semispezifisches High-Intensity Training am Schwimmergometer, welches aus insgesamt acht Trainingseinheiten (zwei/Woche) besteht. Die Trainingseinheiten für die Interventionsgruppe beinhalten ein standardisiertes Aufwärmen, ein standardisiertes 4x4 minütiges High-Intensity Training am Schwimmergometer sowie eine kurze Cool-Down-Phase. Die Studie wird voraussichtlich ca. vier Wochen dauern, wobei ihre Teilnahme an der Studie an 12 Tagen mit einer erwarteten Gesamtdauer von ca. 12 h erfolgt.

<u>In der Testgruppe werden folgende Maßnahmen ausschließlich aus Studiengründen durchgeführt:</u>

Tag 1: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung im Wasser statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen schwimmen Sie 5 Min. ein. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Zeitschwimmen der 100m im Kraulstil.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Zeitschwimmen der 300m im Kraulstil.

Tag 2: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung am Schwimmergometer statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen laufen Sie 5 Min. am Laufband bei niedriger Intensität. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Schwimmergometertestung der 100m-Kraulstil-Zeit.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Schwimmergometertestung der 300m-Kraulstil-Zeit.

Tag 3-10: Es findet die Durchführung der High-Intensity Trainingseinheiten am Schwimmergometer statt. Pro Woche führen Sie 2 angeleitete Trainingseinheiten aus. Zwischen den Trainingseinheiten sollten ca. 48 Stunden zur Regeneration liegen. Die Trainingseinheiten werden individuell vereinbart.

Tag 11: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung im Wasser statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen schwimmen Sie 5 Min. im ein. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Zeitschwimmen der 100m im Kraulstil.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Zeitschwimmen der 300m im Kraulstil.

Tag 12: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung am Schwimmergometer statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen laufen Sie 5 Min. am Laufband bei niedriger Intensität. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Schwimmergometertestung der 100m-Kraulstil-Zeit.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Schwimmergometertestung der 300m-Kraulstil-Zeit.

In der Kontrollgruppe werden folgende Maßnahmen ausschließlich aus Studiengründen durchgeführt:

Tag 1: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung im Wasser statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen schwimmen Sie 5 Min. ein. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Zeitschwimmen der 100m im Kraulstil.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Zeitschwimmen der 300m im Kraulstil.

Tag 2: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung am Schwimmergometer statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen laufen Sie 5 Min. am Laufband bei niedriger Intensität. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Schwimmergometertestung der 100m-Kraulstil-Zeit.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Schwimmergometertestung der 300m-Kraulstil-Zeit.

Tag 3: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung im Wasser statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen schwimmen Sie 5 Min. im ein. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Zeitschwimmen der 100m im Kraulstil.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Zeitschwimmen der 300m im Kraulstil.

Tag 4: Es findet die Durchführung der 1. Untersuchung am Schwimmergometer statt.

Aufwärmen: Zum Aufwärmen laufen Sie 5 Min. am Laufband bei niedriger Intensität. Danach mobilisieren Sie kurz mit einigen vorgezeigten Übungen Ihre zu belastenden Gelenke durch.

Schwimmergometertestung der 100m-Kraulstil-Zeit.

Anschließend haben Sie eine 30-minütige passive Erholungsphase Sie bekommen Wasser zu trinken. Danach beginnen Sie wieder mit dem Aufwärmen.

Schwimmergometertestung der 300m-Kraulstil-Zeit.

Wir ersuchen Sie, an Ihren Terminen für die Dauer der Tests zur Verfügung zu stehen. Die Einhaltung der Anweisungen der Studienleitung ist von entscheidender Bedeutung für den Erfolg dieser Studie.

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist nicht zu erwarten, dass Sie aus Ihrer Teilnahme an dieser Studie gesundheitlichen Nutzen ziehen werden. Die Teilnahme an der Studie sowie alle Testverfahren sind für Sie selbstverständlich kostenlos. Sie erhalten eine Zusammenfassung der Studienergebnisse nach Abschluss der Studie.

4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?

Es sind keine zusätzlichen Risiken zu erwarten, die nicht auch während Ihrer üblichen Sportausübung auftreten könnten. Die im Rahmen der Studie durchgeführten Belastungstests können als intensive sportliche Tätigkeit betrachtet werden. Die damit verbundene Erschöpfung kann einige Stunden andauern. Die im Rahmen der Studie angewandten Untersuchungsmethoden werden in Österreich regelmäßig eingesetzt. Aufgrund des Intervalltrainings kann in den Tagen danach ein Muskelkater auftreten.

5. Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Zwei Tage vor der Untersuchung dürfen sportliche Aktivitäten mit leichter Intensität durchgeführt werden. Einen Tag vor der Untersuchung darf kein Training stattfinden, um die Tests in ermüdungsfreiem Zustand absolvieren zu können. Vor den Hauptuntersuchungen dürfen Sie 3 h vorher keine koffeinhaltigen Getränke zu sich nehmen.

6. Was ist zu tun beim Auftreten von Beschwerdesymptomen, unerwünschten Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?

Sollten im Verlauf der Studie irgendwelche Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese dem Studienleiter oder Versuchsleiter mitteilen (Kontaktdaten siehe Punkt 10). Der Versuchsleiter wird sich vor jedem Testungszeitpunkt selbst über mögliche Verletzungen oder Erkrankungen erkundigen, um Sie gegebenenfalls von den Tests auszuschließen

7. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Die Teilnahme an der Studie kann jederzeit auch ohne Angabe von Gründen von Ihnen beendet werden, auch wenn die Tests bereits begonnen haben. Der Abbruch der Studie oder das Nicht-Teilnehmen kann per E-Mail, telefonisch oder vor Ort bei den Testungen/Trainingseinheiten schriftlich oder mündlich passieren (Kontaktdaten siehe Punkt 10). Durch das Beenden oder Nicht-Teilnehmen an der Studie entsteht für Sie keinerlei Nachteil.

Zudem kann der Studienleiter/Versuchsleiter entscheiden, die Teilnahme einer Person zu beenden. Mögliche Gründe hierfür könnten sein, dass Sie den Bedingungen der Studie aus gesundheitlichen Gründen nicht entsprechen oder der Studienleiter/Versuchsleiter den Eindruck hat, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht gut für Ihre Gesundheit ist.

8. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Die Namen der Schüler/innen sind ausschließlich dem Studienleiter und Versuchsleiter bekannt und werden nur auf der Einverständniserklärung vermerkt. Der Studienleiter und Versuchsleiter sind dabei verpflichtet keinerlei Auskunft über persönliche Daten und Ergebnisse zu geben. Der Name der Teilnehmer/innen wird in der Auswertung durch eine Ziffer ersetzt um die Anonymität der Teilnehmer/innen zu bewahren. Die aufgenommenen Daten werden gesammelt und ausgewertet. Sie können jederzeit die Löschung der eigenen Daten beim Studienleiter und/oder Versuchsleiter beantragen. Die Kontaktdaten dafür finden Sie unter Punkt 10. Die Daten der Ergebnisse werden getrennt von den Informationsblättern mit den Einverständniserklärungen gespeichert und in verschließbaren Kästen gelagert.

Nur das an der Studie mitwirkende Personal hat Zugang zu den Daten hat und ist zudem zur Verschwiegenheit verpflichtet ist.

Es ist Ihnen zudem möglich, die Gesamtergebnisse jederzeit einzusehen, jedoch keine weiteren gesonderten Daten. Dazu können Sie persönlich vorsprechen (Sprechstunde oder terminliche Vereinbarung) Einblick in die Daten erhalten. Wenden Sie sich diesbezüglich an den Studienleiter und/oder Versuchsleiter (Kontaktdaten siehe Punkt 10). Ebenso können Sie vom Studienleiter und/oder Versuchsleiter die Löschung Ihrer Daten beantragen (Kontaktdaten siehe Punkt 10).

9. Entstehen für die Teilnehmer/Innen Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Durch Ihre Teilnahme an der Studie entstehen Ihnen keine Kosten.

10. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie stehen Ihnen der Studienleiter und sein Versuchsleiter gerne zur Verfügung. Auch Fragen, die Ihre Rechte als Teilnehmer/Teilnehmerin an dieser Studie betreffen, werden Ihnen gerne beantwortet.

Studienleiter	Name: emer. o. Univ.-Prof. Dr. med. Norbert Bachl E-Mail: norbert.bachl@univie.ac.at Tel.: +431427728701
Versuchsleiter	Name: Mathias Schmollmüller E-Mail: mathias.schmollmueller@gmx.at Tel.: +43 650 4200990

Einwilligungserklärung

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben: .....

Geb. Datum: .....

Ich erkläre mich bereit, an der Studie „Auswirkung eines vierwöchigen semispezifischen High-Intensity Training am Schwimmerergometer auf die Schwimmleistung" teilzunehmen.

Ich bin von Herrn Mathias Schmollmüller ausführlich und verständlich über mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Zielsetzung und Durchführung der Studie, sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser TeilnehmerInnenaufklärung und Einwilligungserklärung, die insgesamt 6 Seiten umfasst gelesen, sowie den Fragebogen zu meinem Gesundheitszustand nach bestem Wissen beantwortet. Aufgetretene Fragen wurden mir von Herrn Mathias Schmollmüller verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den Anordnungen, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie ermittelten Daten in anonymisierter Form aufgezeichnet werden. Die Daten verbleiben bis zur Vernichtung auf einem passwortgeschützen Rechner des Versuchsleiters und werden nicht auf tragbaren Geräten (z.B. USB-Stick) oder in einer "Cloud" (online Speicher) gespeichert. Diese Daten sind ausschließlich den an dem Projekt beteiligten Personen zugänglich. Daten, die Rückschlüsse auf einzelne Teilnehmende ermöglichen würden, werden nach Abschluss der Studie vernichtet. Die anonymisierten Daten werden nach den Richtlinien des Australian Code for the Responsible Conduct of Research 5 Jahre nach der Publikation vernichtet.

Es ist mir möglich, die Gesamtergebnisse einzusehen, jedoch keine weiteren gesonderten Daten. Dazu kann ich persönlich vorsprechen (Sprechstunde oder terminliche Vereinbarung) um Einblick in die Daten erhalten. Als Kontaktpersonen stehen mir der Studienleiter sowie Herr Mathias Schmollmüller zur Verfügung.

Ich kann jederzeit und unbefristet beim Studienleiter die Löschung ihrer Daten mündlich oder schriftlich verlangen ohne dass mir dadurch irgendein Nachteil entsteht.

Die Ergebnisse dieser Studie können in Arbeiten einfließen, die öffentlich aufliegen müssen (Diplomarbeiten oder Dissertationen).

Eine Kopie dieser Information zur Studienteilnahme und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Studienleiter.

.....

(Datum und Unterschrift des/der Probanden/Probandin

.....

(Datum, Name und Unterschrift des Versuchsleiters)

(Der/Die Proband/Probandin erhält eine unterschriebene Kopie der Information zur Studienteilnahme und Einwilligungserklärung, das Original verbleibt im Studienordner des Studienleiters.)

Curriculum Vitae

Persönliche Daten

- Vorname: Mathias
- Zuname: Schmollmüller
- Geburtsdatum: 01.11.1990
- Adresse: Wachtberg 70, 4441 Behamberg
- Tel.: 0650 / 4200990
- E-Mail: mathias.schmollmueller@gmx.at

Schulausbildung

10/1997 - 07/2001 Volksschule Haidershofen

10/2001 - 07/2005 Bundesgymnasium Steyr

10/2005 - 06/2009 Bundesoberstufenrealgymnasium Linz unter besonderer Berücksichtigung der sportlichen Ausbildung: Abschluss (Matura)

Studienverlauf

03/2011 - 03/2012 Bachelorstudium Geographie; Lehramtsstudium UF Psychologie und Philosophie; UF Geographie und Wirtschaftskunde

ab 03/2012 Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport; UF Psychologie und Philosophie

Unterbrechung zwischen Schul- und Studienzeit

07/2009 - 02/2010 Berufliche Tätigkeit (Filmtechniker Cityplexxx Steyr)

02/2010 - 06/2010 Präsenzdienst (Jägerbataillon 12 Amstetten)

08/2010 - 02/2011 Berufliche Tätigkeit (Filmtechniker Cityplexxx Steyr)

Weiter Qualifikationen

09/2008	Ausbildung zum Lehrwart für allgemeine Körperausbildung
08/2016	Berufsausbildung - Lehrgang für Massage
07/2017	Ausbildung zum Sportmasseur

Berufliche Tätigkeiten

06/2012 - 12/2015	Fitness- und Personaltrainer im Athletik und Fitnessstudio Steyr
Seit 12/2014	Freiberuflicher Fitness- und Personaltrainer
Seit 12/2014	Kursleiter „Gesunde Gemeinde Behamberg“
12/2016 - 04/2017	Sportmasseur Supervolley Enns
Seit 08/2017	Freiberuflicher Sportmasseur

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Mathias Schmollmüller, erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z.B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z.B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.

Wien, 2018 (Schmollmüller Mathias)