Vergleichende Untersuchungen von Leistungs- und Stoffwechselparametern im ergometrischen Test an Land und im Wasser

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. phil.
im Fach Sportwissenschaft

eingereicht an der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam

Juni 2010

von

Brita Karnahl

geboren am 14.11.1965 in Berlin

Gutachter:

1. apl. Prof. Dr. Ditmar Wick
2. Prof. Dr. habil. Rer. nat. Frank Bittmann

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
URL http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2010/4952/
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-49523
http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus-49523

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 3

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN 6

2.1 ZIELBEREICHE AQUALER BEWEGUNGSFORMEN 6

2.2 PHYSIKALISCHE UND PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER IMMERSION UND WIRKUNG AUF DEN MENSCHLICHEN ORGANISMUS 11

2.2.1 Physikalisches Prinzip der Immersion 11

2.2.2 Physiologische Wirkung der Immersion auf den Organismus 13

2.3 LEISTUNGSDIAGNOSTIK 23

2.3.1 Leistungsdiagnostik an Land 23

2.3.1.1 Ergometrie 25

2.3.1.2 Atmungsbasierende Schwellenkonzepte 32

2.3.1.3 Laktabasierende Schwellenkonzepte 34

2.3.2 Leistungsdiagnostik im Wasser 36

2.3.2.1 Aquale Geräte für ergometrischen Test im Wasser 39

2.3.2.2 Vergleichende Untersuchungen Wasser vs. Land 42

3 AUFGABE- UND FRAGESTELLUNG, HYPOTHESE 49

4 TESTENTWICKLUNG 50

5 METHODE UND MATERIAL 58

Ethikkommission 58

5.1 PROBANDEN 58

5.1.1 Einschlusskriterien 58

5.1.2 Ausschlusskriterien 58

5.2 UNTERSUCHUNGSABLAUF 59

5.2.1 Vorbereitung 59

5.2.2 Untersuchungsdesign 59

5.2.2.1 Abschnitt 1 60

5.2.2.2 Abschnitt 2 61

5.2.2.3 Abschnitt 3 61

5.2.2.4 Test Land 62

5.2.2.5 Test Wasser 63

5.3 UNTERSUCHUNGSPARAMETER 64

5.3.1 Spiroergometrie 64

5.3.2 Blutparameter 65

5.3.3 Parameter des Herz-Kreislauf-Sytems 65

5.3.4 Individuelle anaerobe Schwelle 66

5.3.5 Elektromyographie (EMG) 66

5.4 STATISTISCHE METHODEN 69

6 ERGEBNISSE 70
6.1 LEISTUNGSPARAMETER 70
6.2 STOFFWECHSELPARAMETER 74
6.3 ENDOKRINE PARAMETER 78
6.4 ELEKTROMYOGRAPHIE (EMG) 83
7 DISKUSSION 84
8 ZUSAMMENFASSUNG 97
SCHLUSSFOLGERUNG 98
AUSBLICK 99
9 LITERATUR 101
10 ANHANG 126
ABBILDUNGSVERZEICHNIS 126
TABELLENVERZEICHNIS 128
DANKSAGUNG 146
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG 148

1 Einleitung

Die Anwendung von Bädern zur Gesunderhaltung und zur Therapie bei Erkrankungen war bereits seit mehr als zweitausend Jahren in Ägypten, China, Griechenland und Rom gebräuchlich. In früheren Jahrhunderten erkannte man schon, dass der Aufenthalt in einem Bade auch zu einer Entwässerung des Patienten führte, was für den kranken Kreislauf eine Entlastung bedeutete. „Diese Beobachtung ist schon bei dem römischen Schriftsteller Livius beschrieben. Die Schnorcheltaucher der römischen Flotte, die man heute als Kampfschwimmer bezeichnen würde, wurden *urinatores* genannt“ (Kirsch und Ginga 2008).

Die Auswirkungen des Bades auf den menschlichen Körper wurden aber erst in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wissenschaftlich untersucht (Bacett et al. 1924), von einigen bäderheilkundlichen Studien aus dem späten 19. und frühen 20. Jahrhundert abgesehen (Amelung 1986).

In der modernen Balneologie benutzt man Bäder, um über das Medium Wasser dem Körper Temperaturreize und mechanische Reize zu vermitteln.

Auch die bemannte Raumfahrt beschäftigte sich mit dem Einfluss der physikalischen Eigenschaften des Wassers auf den Organismus. In der Weltraummedizin wird seit Anfang der sechziger Jahre das Eintauchen des Körpers ins Wasser (Immersion) zur Simulation der Anpassungsmechanismen, die im Weltraum bei Astronauten beobachtet werden, verwendet. Die Wirkung des Auftriebes auf den Menschen sowie die beim Badenden auftretende Diurese (Harnausscheidung) sind in der Gravitationsphysiologie von besonderer Bedeutung (Beckmann et al. 1961, Graveline et al.1962).

Seit etwa drei bis vier Jahrzehnten ist die Bewegungstherapie im Wasser ein wesentlicher Bestandteil von modernen indikationsbezogenen Behandlungskonzepten in Kliniken und Rehabilitationseinrichtungen. Zahlreiche Studien beweisen, dass „aktive“ Maßnahmen im Wasser für den Genesungsprozess nach Verletzungen oder Operationen im Stütz- und Bewegungsapparat von großer Bedeutung sind (Danneskiold-Samsøe et al. 2007, Levin 1991).

Moderne Rehabilitationsprogramme, auch für Sportler, beginnen heutzutage schon früh im Wasser (Huey et al. 1997). Bei fortschreitendem Heilungsprozess unterstützen diese Programme erwiesenermaßen einen schnelleren Aufbau verletzter Strukturen. Die

Behandlung von Sportverletzungen im Wasser entwickelte sich zu einer differenzierten Wissenschaft (Huey et al.1997).

Die Ausprägung aqualer Bewegungsformen für unterschiedliche Alters- und Leistungsstufen im Breiten- und Leistungssport sowie in der Rehabilitation und Prävention hat sich in den letzten 20 Jahren rasant entwickelt. Die Teilnehmer von Trainings- und Therapieprogrammen im Wasser (Wassergymnastik, Aqua-Fitness, Aqua-Jogging) sind in ihrer Umgebung anderen physikalischen und physiologischen Bedingungen ausgesetzt als Personen, die sich an Land bewegen.

Um bewusst definierbare Trainings- und Therapieziele für die verschiedenen Zielbereiche planen und steuern zu können, ist es daher dringend notwendig, Kenntnisse über die Wirkung des Aufenthalts und der Bewegung im Wasser zu haben. Vorliegende empirische Daten verdeutlichen, dass in der Fachwelt weitestgehend Einigkeit über die Wirkung des Mediums Wasser auf den Organismus in Ruhe besteht, aber differente Aussagen bei Immersion und Bewegung (Kapitel 2.2.2) getroffen werden.

Eine wichtige Aufgabe stellt damit die Beschreibung des Einflusses von Belastungen im Wasser auf die akute belastungsinduzierte Reaktion des Herz-Kreislauf-Systems, der Atmung und des Stoffwechsel dar. Seit den 60er Jahren werden aquale Laufbandbänder und Fahrräder für vergleichende Untersuchungen eingesetzt. Mechanische Belastungen, wie sie vom Gerätetraining an Land bekannt sind, können bisher nur auf Laufbändern im Wasser simuliert werden. Eine Modellierung der Leistung auf einem aqualen Fahrrad konnte bisher nur in Ansätzen wie an Land realisiert werden.

Deshalb werden heute noch ergometrische Ergebnisse vom Land im Leistungssportbereich (Tauchen, Wasserballspiel usw.) und im Breitensport- und Präventionsbereich (z. B. Tauchtauglichkeitsuntersuchung, allgemeiner Gesundheitsscheck, klinische Leistungsdiagnostik) auf das Leistungsverhalten im Wasser übertragen. Ein sportartspezifischer Test für den Tauchsport ist nach wie vor noch nicht entwickelt worden.

Im Schwimmsport bediente man sich bis Anfang der 80er Jahre der leistungsdiagnostischen Untersuchung an Land über die Fahrradergometrie. Diese Ergebnisse erlaubten meistens nur eine allgemeine Aussage über den Zustand des kardiopulmonalen Systems (Pansold et al. 1991, Bachl et al. 1994) und produzierten praktisch keine zuverlässige Information über die schwimmspezifische Konditionierung

dieses Schwimmers. Heute umfasst die sportartspezifische Leistungsdiagnostik die schwimmart- und streckenspezifische Analyse und Bewertung des trainingsabhängigen Leistungsniveaus mit Hilfe von spirometrischen und biochemischen Parametern (z. B. Laktat).
Eine Analyse von Studien zu ergometrischen Belastungsuntersuchungen zum Vergleich von Aqua-Jogging oder Laufbandlaufen im Wasser vs. Laufbandlaufen an Land zeigt, dass die angewendeten Untersuchungsmethoden divergierend sind.
Die Vielzahl interner und externer Beeinflussungsfaktoren im Wasser sowie die Komplexität der Leistungsdiagnostik erschweren die Kontrolle und die Standardisierung biochemischer und kardiovaskulärer Parameter (Soliman 2007). Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Ergebnisse leistungsdiagnostischer Untersuchungen Wasser vs. Land kontrovers in der Literatur beschrieben werden. Die Fachwelt hält sich dementsprechend auch zurück, mit Hilfe von hämodynamischen und metabolischen Parametern Empfehlungen für ein vertikales Training im Wasser (z. B. Aqua-Jogging) entsprechend definierter Zielstellungen im Ausdauerbereich zu formulieren. In der Literatur findet man keine konkreten Belastungsempfehlungen für differenzierte Trainingsziele mittels Leistungs- und Stoffwechselparameter für aquale vertikale Bewegungsformen (z. B. Aqua-Jogging, Aqua-Fitness). So stellt sich die Frage: ***Gelten die allgemeingültigen Empfehlungen an Land zur Steuerung erwünschter Trainings- bzw. Belastungseffekte auch für aquale Bewegungs- und Trainingsformen?***

Ausgehend von der Komplexität der verschiedenen Wirkmechanismen der physikalischen Eigenschaften des Wassers (mechanisch, chemisch und thermisch) auf den Menschen findet man in der Literatur bisher noch keine allgemeingültigen Aussagen über die daraus resultierende metabolische, hämodynamische und neurohumorale Antwortreaktion des Organismus bei Immersion mit Belastung. Des Weiteren scheint die allgemeine und im Besonderen die sportartspezifische Untersuchungsmethodik im Medium Wasser eine Herausforderung darzustellen.
Es bedarf daher dringend einer theoretischen Auseinandersetzung mit den bisher durchgeführten Untersuchungsmethoden und deren Ergebnissen.

Die vorgelegte Arbeit soll zur weiteren Klärung der Komplexität der Wirkmechanismen bei Immersion ohne und vor allem mit Bewegung beitragen.

Zu diesem Zweck wird ein aqualer ergometrischer Test entwickelt, um die körperliche Beanspruchung im Wasser mit der körperlichen Beanspruchung an Land vergleichen zu können.

Ausgehend von der Zielstellung wird zunächst in dieser Arbeit die Vielseitigkeit der Zielbereiche von aqualen Bewegungen im Wasser dargestellt, um die Aktualität des dargestellten Forschungsinteresses zu verdeutlichen.
Es folgen Erläuterungen zu grundsätzlichen physikalischen Gesetzen des Wassers sowie deren physiologischen Auswirkungen auf den Organismus. Im Anschluss wird die Leistungsdiagnostik mit ihren gängigen Verfahren näher dargestellt und ein Vergleich zur Anwendung im Wasser beschrieben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Zielbereiche aqualer Bewegungsformen

Aus der Geschichte heraus ist der therapeutische Ansatz der Wasseranwendung der älteste Bereich. Wie schon erwähnt, wurden entsprechend der Erkenntnis, dass Bewegungen im Wasser besonders nach Verletzungen eine positive Wirkung auf den Heilungsprozess (Gewichtsentlastung, Förderung des Herz-Kreislauf-Systems, Kräftigung der Muskulatur usw.) haben, auch Konzepte für andere Zielgruppen im Wasser entwickelt. Wie umfangreich der Einsatz von Trainings- und Therapieprogrammen ist, wird im Folgenden dargestellt. Daraus geht hervor, dass das Wissen und Verständnis von der Wirkungsweise des Wassers auf den menschlichen Organismus Grundlage für jeden Therapeuten oder Trainer sein muss, um differenziert und zielgruppenspezifisch ein Programm zu entwickeln.

Tab. 1: Einsatzbereiche aqualer Bewegungsformen und deren Zielstellungen

Einsatzbereiche	*Zielstellungen*
Im Freizeit- und Breitensport	• als Training zur Gesunderhaltung • als Training zur Unterstützung bei gewünschter Gewichtsabnahme • als Training mit dem Vorteil der Entlastung des Halte - und Stützapparates • als Training zur Verbesserung des Allgemeinbefindens • als Möglichkeit, neue soziale Kontakte zu knüpfen
In der Prävention	• zur Reduzierung von Übergewicht • als Mittel zur Ökonomisierung der Herz- und Kreislauf-Funktion • zur gezielten Kräftigung der Muskulatur • zur Schulung von koordinativen Fähigkeiten
In der Rehabilitation (Birkner/Roschinsky 1989)	• nach Verletzungen • bei künstlichem Gelenkersatz • bei degenerativen oder rheumatischen Gelenkerkrankungen • bei orthopädischen Behinderungen • bei neurologischen Störungen • bei Venenleiden • bei Diabetes • bei Übergewicht und Adipositas • bei Muskelatrophien • bei Atemwegserkrankungen (Asthma)
Im Schwimmunterricht	• zur Wassergewöhnung/Wasserbewältigung • zur Schulung der Körperwahrnehmung im Wasser • zur Nutzung von Auftriebshilfen als Hilfe zur Technikschulung im Schwimmunterricht • als Abwechslung zu dem herkömmlichen Schwimmunterricht
Im sportartspezifischen Training	• als Abwechslung im Training (Motivation) • zur Technikschulung im Wasser unter den veränderten Bedingungen • als Training in der Übergangsperiode im Leistungssport • als Rehabilitationstraining während einer Verletzung, wenn das Training an Land nicht möglich ist • als Training abgeschwächter Muskulatur

Entsprechend der dargestellten Einsatzbereiche und deren Zielstellungen haben sich verschieden Kursangebote im Wasser entwickelt. Einige Kursbezeichnungen weisen auf das eingesetzte Gerät (z. B. Aqua-Step, Aqua-Cycling) bzw. die Zielgruppe hin (Wassergymnastik = Senioren, Aqua for two = Aqua-Fitness für Schwangere).

Andere Kursbezeichnungen orientieren sich an bekannten Bewegungsformen an Land (Aqua-Jogging, Aqua-Walking). Allerdings differiert der Bewegungsablauf bekannter Grundformen (Gehen, Joggen) Wasser vs. Land. Zum Beispiel ist das Joggen im Flach- oder Tiefwasser nicht mit der Technik an Land zu vergleichen. Ein entscheidender Aspekt, da einige Autoren (Ritchie und Hopkins 1991, Svedenhag 1996, Peyré-Tartaruga et al. 2006, Frangolias et al. 1996) das Joggen im Wasser mit dem

Laufbandlaufen an Land unter leistungsdiagnostischen Gesichtspunkten untersucht und verglichen haben, was im späteren Verlauf dieser Arbeit ausführlicher beschrieben und diskutiert wird.

In Tabelle 2 erfolgt ein Überblick über Kursangebote entsprechend der Zielbereiche.

Tab. 2: Zielbereiche und deren spezifische Kursangebote

Zielbereich	*Kursangebote*
Prävention und Rehabilitation	➢ Aqua-Therapie - therapeutische Wassergymnastik (Einzel, Gruppe) ➢ Aqua-Kur ➢ Aqua-Medical ➢ Aqua-Rücken-Fit ➢ Aqua-Fit & Osteoporose ➢ Aqua-Fit & Multiple Sklerose ➢ Aqua-Fit & Parkinson ➢ Aqua-Cardio-Fit ➢ Rheumagymnastik im Warmwasser ➢ Herzsport/Asthmasport im Wasser ➢ Wassergymnastik in der Krebsnachsorge
Fitnesstraining und Leistungssport	➢ Aqua-Fitness ➢ Aqua-Jogging ➢ Aqua-Walking ➢ Aqua-Nordic-Walking ➢ Aqua-Cycling ➢ Aqua-Gym Geräte ➢ Aqua-Step ➢ Aqua-Power ➢ Aqua-Kick-Punch
Wellness und Entspannung	➢ Watsu ➢ Aqua-Balancing ➢ Aqua-Relax ➢ Ai-Chi ➢ Aqua-Motion ➢ Aqua-Stretch

Am gebräuchlichsten wird in Deutschland der Begriff „Aqua-Fitness" (z. B. Schweiz: Aqua-Fit, USA: Aquatic-Fitness) in der Praxis verwendet. Die herkömmliche Wassergymnastik entsprang dem therapeutischen Ansatz der Wasseranwendung und

wird begrifflich nur noch selten genutzt. Auf Grundlage gymnastischer Bewegungen und bekannter Bewegungsformen von Land (Gehen, Laufen) haben sich in den letzten Jahren „wasserspezifische" Basisbewegungen entwickelt, die nachfolgend zum besseren Verständnis für weitere Ausführungen erläutert werden. In Abhängigkeit von der Wassertiefe (Flach- oder Tiefwasser) variieren die Bewegungsformen im Wasser. Grundsätzlich kann zwischen „landähnlichen" und „wasserspezifischen" Basisbewegungen unterschieden werden.

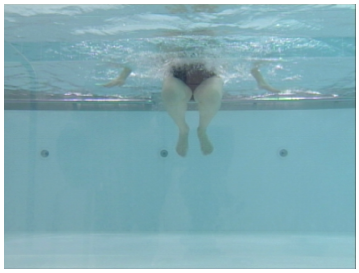
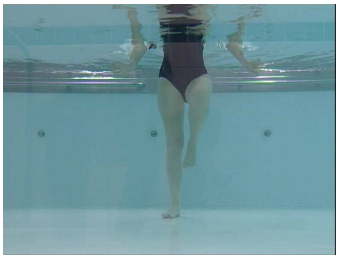
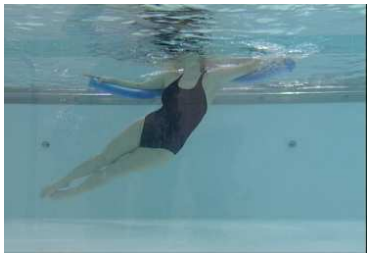
Landähnliche Bewegungen	Wasserspezifische Bewegungen
Hüpfen  Abspringen und Landen beidbeinig	**Pendeln** Kleine schnelle Drehbewegungen aus der Hüfte ausführen
Joggen im Flachwasser  Dynamischer Kniehub, dabei den ganzen Fuß aufsetzen, wechselseitige Armführung	**Umsetzen**  Beine nach links und rechts umsetzen
Joggen im Tiefwasser Dynamischer Kniehub, Strecken des Beines nach unten mit wechselseitiger Armführung	**Schere im Tiefwasser** Wechselseitiges Scheren der gestreckten Beine

Abb. 1: Auswahl von Basisbewegungen im aqualen Bewegungsbereich (z.B. Aqua-Fitness, Aqua-Jogging, Wassergymnastik)

Weltweit trainieren viele Menschen im Wasser unter präventionsspezifischen (Senkung der Inzidenz und Prävalenz von bestimmten Erkrankungen) und unspezifischen (Förderung des Herz-Kreislauf-Systems, Kräftigung der Muskulatur) Zielstellungen, die beispielhaft in Abb. 2 dargestellt werden.

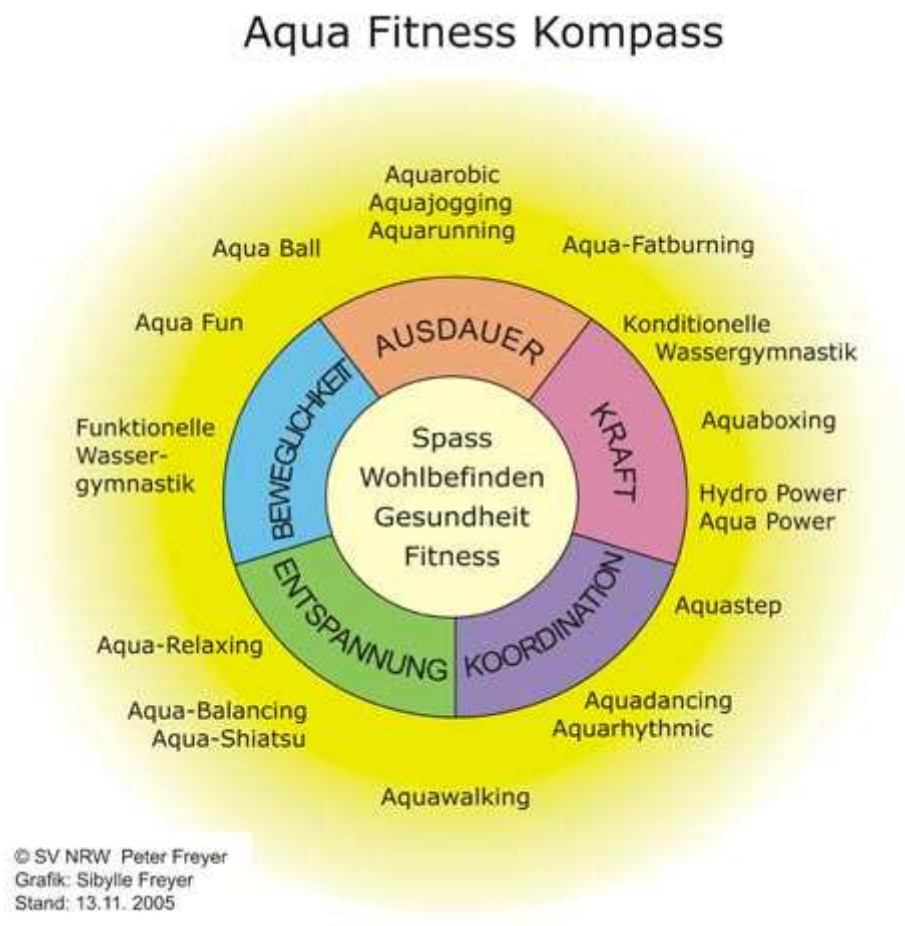


Abb. 2: Aqua-Fitness-Kompass (www.swimmpool.de)

Mit Hilfe dieser Darstellung wird versucht, die verschiedenen Kursbezeichnungen für das Training und die Bewegung im Wasser entsprechend der Hauptzielstellung einzuteilen. Hierbei wird deutlich, dass teilweise eine eindeutige Zuweisung nicht möglich ist. Der „Aqua-Fitness-Kompass“ dient zur Orientierung für Trainings- und Bewegungsangebote im Wasser.

2.2 Physikalische und physiologische Grundlagen der Immersion und Wirkung auf den menschlichen Organismus

Die mechanischen, chemischen und thermischen Eigenschaften des Wassers wirken vielfältig auf den menschlichen Organismus. Sie beeinflussen hämodynamische, endokrine und neuro-muskuläre Parameter sowie die Lungen- und Nierenfunktion. Im Hinblick auf die Zielstellung und die damit verbundene Entwicklung eines ergometrischen Testverfahrens im Wasser ist es daher notwendig, über Kenntnisse dieser komplexen Zusammenhänge zu verfügen. Ausgehend von den physikalischen Eigenschaften des Wassers wird in den folgenden Abschnitten daher detaillierter auf die physiologische Wirkung des Aufenthalts im Wasser ohne und mit Bewegung eingegangen.

2.2.1 Physikalisches Prinzip der Immersion

Unter Immersion versteht man im Allgemeinen das Eintauchen des Körpers ins Wasser. Unterschieden wird die Immersion nach der Eintauchtiefe (head-out water immersion: bis zum Hals oder Total/Sub-Immersion: Tauchen) und nach der Körperlage (vertikal oder horizontal). Je nach Art der Immersion, Eintauchtiefe und Körperlage wirken die physikalischen Eigenschaften des Wassers wie Dichte, Auftrieb, Widerstand, Viskosität, und hydrostatischer Druck.

Dichte

Die Dichte des Wassers ist im Vergleich zur Luft 790-1000[1] mal höher (Jeschke et al. 1998*)*. Die Dichte von Wasser ist nicht nur vom Druck und von der Temperatur abhängig, sondern hängt auch von der exakten chemischen und physikalischen Zusammensetzung des Wassers ab.

Auftrieb

Es wird in der Literatur zwischen dem statischen Auftrieb und dynamischen Auftrieb unterschieden.

Der statische Auftrieb ist gleich dem spezifischen Gewicht der vom Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge = Archimedisches Prinzip (Wick 2005). Die Angriffsfläche des statischen Auftriebes ist der Volumenmittelpunkt des eingetauchten Körpers.

1 hängt von der Temperatur und dem Salzgehalt ab

Der dynamische Auftrieb wirkt senkrecht zur Anströmung (Wick 2005).
Der Auftrieb (aufwärtsgerichtete Kraft) bewirkt je nach Eintauchtiefe und Körperlage (horizontal oder vertikal) eine Gewichtsreduktion des Körpergewichtes und trägt damit zur Entlastung des Stütz- und Bewegungsapparat bei.

Widerstand

Der Wasserwiderstand ist den Antriebsbewegungen des Menschen im Wasser entgegen gerichtet. Er hemmt den Körper in seiner Vorwärtsbewegung. Der Wasserwiderstand verhält sich proportional zum Quadrat der Bewegungsgeschwindigkeit.
Der Wasserwiderstand setzt sich bei Bewegung aus verschiedenen Einzelwiderständen zusammen.

1. Frontalwiderstand

Der Frontalwiderstand richtet sich gegen die Vorwärtsbewegung. Er wird durch das Wasser verursacht, das sich unmittelbar vor dem Körper befindet.
Der Widerstand ist abhängig von der Geschwindigkeit, mit der sich der Körper im Wasser bewegt, dem sogenannten Formbeiwert des Körpers (C_w-Wert), der Stirnfläche des Körpers und der Dichte des Wassers. Es gilt folgender Zusammenhang:
$F_W = 1/2 * A * C_w * r * v^2$
Wasserwiderstand = 1/2 Stirnfläche x Formbeiwert x Wasserdichte x Geschwindigkeit^2

2. Viskosität

Wasser besitzt eine innere Reibung (Viskosität), welche dazu führt, dass die Bewegung (der Impuls) eines Flüssigkeitspaketes auf seine Umgebung übertragen wird.

3. Wirbelwiderstand

Der Wirbelwiderstand entsteht durch das Wasser, das sich nicht auf der Rückseite der stromlinienförmig ungünstigen Körperteile einfüllen kann, so dass der Körper eine bestimmte Zahl von Wassermolekülen mit sich ziehen muss (Counsilman 1973).

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt, welche Wärmemenge pro Entfernung, Zeit und Temperaturunterschied transportiert wird.

Der Temperaturübergang ist im Wasser 25mal intensiver als in der Luft. Hinsichtlich Thermoneutralität und Thermoindifferenz entsprechen 34,5 °C Wassertemperatur einer Lufttemperatur von 23-28 °C Lufttemperatur. Letzteres abhängig von Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung (Hartmann 2008).

Hydrostatischer Druck

In Abhängigkeit von der Eintauchtiefe nimmt linear der hydrostatische Druck zu:

$P = P_{atm} + g \cdot p \cdot h$

P = Wasserdruck, P_{atm} = atmosphärischer Druck (Standard Seewasser 1013 hPA),

G = Gravitation (9,81 m/sec^2), p = Wasserdichte (1000 kg/m^3), h = Eintauchtiefe (m)

2.2.2 Physiologische Wirkung der Immersion auf den Organismus

Der Begriff Immersion bezieht sich in den folgenden Ausführungen auf die head-out water immersion (vertikal, Eintauchen des Körpers bis zum Brustbein oder Hals). Auf Grund des Untersuchungsdesigns der vorliegenden Studie ist diese Körperposition relevant für weitere Betrachtungen zur Wirksamkeit von Immersion auf den Organismus.

Beim Eintauchen des Körpers ins Wasser erfolgt eine immersionsbedingte zentrale Hypervolumämie[2] (ca. 600–1000 ml), die zur Blutverschiebung aus den peripheren und abdominellen Venenpools in den Thorax-Bereich (Arborelius et al. 1972, Lin 1984) und zu einer vermehrten Herzleistung ohne ansteigende Energieaufwendung führt (Wilcock et al. 2006). Durch die zunehmende Füllung der Herzvorhöfe (Vorlasterhöhung) kommt es auch zu einer Zunahme der Füllung der Herzkammern und somit zu einer Erhöhung des Schlagvolumens (Frank-Starling-Mechanismus) (Risch et al. 1978). Der venöse Rückstrom ist abhängig von der Körperlage, der Aktivität der Muskelpumpe und natürlich auch vom Füllungszustand des Kreislaufs (vom Blut- und Plasmavolumen). Auf diese Weise hängen renales Elektrolyt- und Wasser-Handling und Kreislaufregulation zusammen (Weiß et al. 2003).

Im Folgenden werden zusammenfassend immersionsbedingte kardiale und zentral hämodynamische Konsequenzen für den Organismus in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe dargestellt.

2 Erhöhung des Volumens des zirkulierenden Blutes

Halstiefe Immersion

Während halstiefer Immersion bewirkt eine Wassersäule von 100 cm einen Druck von 76 mmHg auf die Körperoberfläche (Meyer und Bücking 2005).

Es wurde eine Zunahme des zentralen Blutvolumens von bis zu 700 ml beobachtet (Abb. 3). Zwischen 180 und 240 ml dieses Volumens gehen zu Lasten des Herzens, was eine Vergrößerung beider Vorhöfe und Ventrikel bewirkt (Lange et al. 1974, Risch et al. 1978). Es erfolgt eine Zunahme des Herzvolumens während der Diastole von 30 % innerhalb von 6 Sekunden (Risch et al. 1978). Das Schlagvolumen erhöht sich um 28-95 % (Wilcock et al. 2006).

Immersion auf Höhe des Xiphoids[3]

Bei dieser Eintauchtiefe bewirken der Auftrieb und der externale hydrostatische Druck eine Blutvolumenverschiebung, die

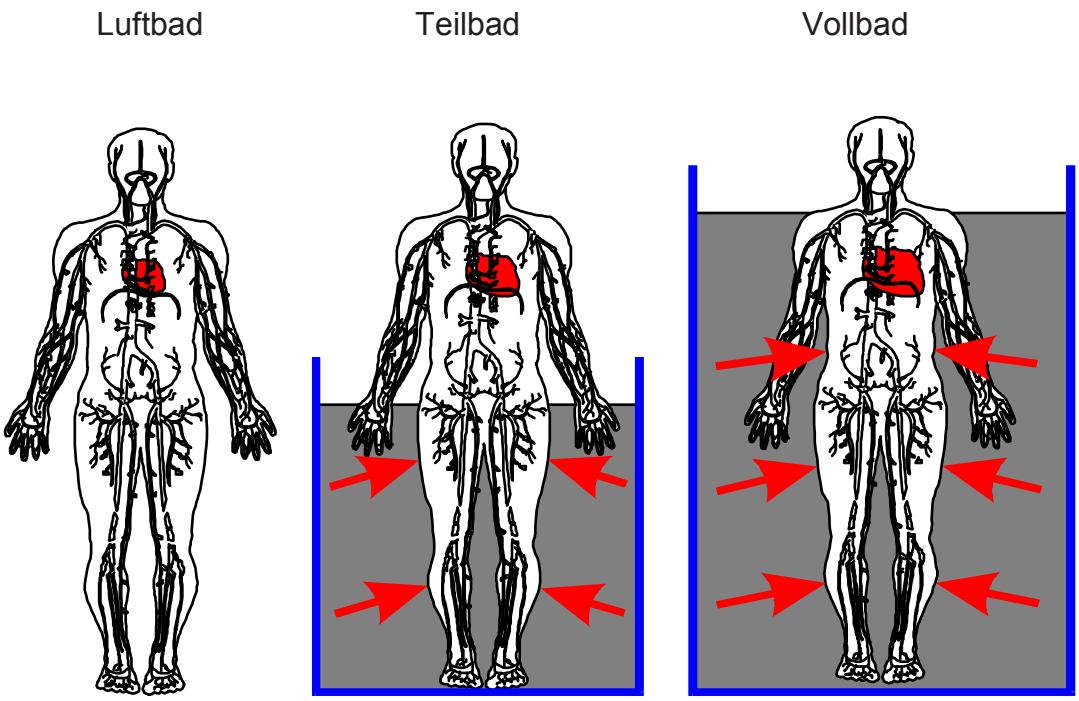
a) bis zu 85 % der gesamten Blutvolumenverschiebung während halstiefer Immersion und

b) einer Blutvolumenverschiebung wie beim Wechsel von aufrechter in liegende Körperposition außerhalb des Wassers entspricht (Risch et al. 1978). Es erfolgt eine Vorlasterhöhung, die zur Steigerung des Schlagvolumens um 38 bis 67 % führt (Wilcock et al. 2006).

Bei Immersion bis zur Hüfte wurde keine signifikante Blutvolumenverschiebung beobachtet. Das Schlagvolumen erhöht sich um 12 bis 37 % (Wilcock et al. 2006).

3 knöchern-knorpeliger Schwertfortsatz, der das untere Ende des Brustbeins bildet

Der Immersionseffekt



Unter Wasserimmersion werden innerhalb von etwa drei Sekunden ungefähr 700 ml Blut von dem extrathorakalen Bereich in den intrathorakalen Bereich verschoben

Abb. 3: Immersionseffekt (modifiziert nach Hartmann 2008)

Der Aufenthalt im Medium Wasser ohne oder mit Bewegung erfordert die Beachtung regulatorischer Konsequenzen für den Organismus im Vergleich zum Land. Das Eintauchen des Körpers (head-out water immersion) ins Wasser führt, wie beschrieben, teilweise zu veränderten Ausgangsvoraussetzungen für sportliche Aktivitäten gegenüber denen an Land.

Die Wirkung der Wasserimmersion ohne Bewegung wird vorrangig von den physikalischen Eigenschaften des Wassers bestimmt.

Die Bewegung im Wasser ist immer an die Immersion selbst und an die Wirkung der durchgeführten Bewegungsaktivität gebunden. Diese beiden Faktoren können unterschiedlich im Vordergrund stehen. Bei ruhigerer Bewegung im Wasser dominieren vorrangig die Immersionseffekte. Bei zunehmender körperlicher bzw. motorischer Tätigkeit kommt es zu Kombinationen und Überlagerungen der Komponenten. Bei hohen Belastungsintensitäten stehen die arbeits- und sportphysiologischen Effekte im Vordergrund (Schnizer 2001).

Im Hinblick dessen findet man in der Literatur vermehrt Forderungen nach Untersuchungen zum Beweis der Effizienz sportlicher Betätigung im Wasser unter verschiedenen Bedingungen (Wassertemperatur, Wassertiefe, Wasserzusammensetzung usw.), um generelle Empfehlungen aussprechen zu können. Einen Schwerpunkt in der Forschung stellt daher die kontrollierte Steigerung der Aktivität im Wasser dar. Um effektive Trainingsmaßnahmen im Wasser für verschiedene Zielbereiche (z. B. Sportler, Adipöse, Therapie von Herzkreislauf- und Stoffwechselerkrankungen, Senioren) planen und durchführen zu können, muss die Wirkung der physikalischen Eigenschaften auf den Organismus bei Belastung komplex (Wirkung auf das Herz-Kreislauf-System sowie auf metabolische und endokrine Parameter) betrachtet werden.

Wirkung der Immersion ohne und mit Bewegung auf hämodynamische, metabolische und neurohumorale Parameter

Die regionale Blutumverteilung beim Aufenthalt im Wasser führt zur Aktivierung kardialer Mechanorezeptoren, wodurch eine Reihe von hormonellen und neuronalen Reflexen aktiviert wird, die unterschiedlichste Wirkungen auf den Organismus haben. Die Komplexität dieser Wirkmechanismen bei Immersion ohne und mit Bewegung wird im Folgenden zusammenfassend dargestellt. Vorab erfolgt eine Begriffserläuterung von neurohumoralen Parametern, die u. a. Zielkriterien der vorliegenden Studie sind.

Atrial natriuretisches Peptid (ANP)

ANP wird auf den Dehnungsreiz (z. B. durch Immersion) in den Herzvorhöfen sezerniert (de Bold et al. 1981, Flynn et al. 1983). Natriuretische Peptide wirken über gewebespezifische Rezeptoren. Diese Rezeptoren befinden sich in einer Vielzahl von Organen, unter anderem: Niere, Gefäßsystem, Herz, Lunge, Nebennieren, Gehirn, Fettgewebe, Auge, Gastrointestinaltrakt, Knochen, schwangerer Uterus und Plazenta (Burnett et al. 1986, Nakao et al. 1992, Itoh et al. 1994).

Die physiologische Funktion des ANP liegt vor allem in der Regulation des Volumen- und Wasserhaushaltes (Levin et al. 1998).

Das ANP stellt als einer der wichtigsten endogenen Gegenspieler zum Angiotensin II einen Faktor in der Regelung des Volumenhaushaltes dar. Es wirkt vasodilatierend auf Herzmuskelzellen und hemmt die Wirkung von Angiotensin II auf die Nebennierenrinde, was eine Blutdrucksenkung zur Folge hat (Calderone 2003, Weiß et al. 2003, Kurtz et

al. 1986). Hinzu kommt eine starke renal stimulierende Wirkung mit Steigerung der Salz- und Wasserausscheidung (Suttner 2004).
Sengenès et al. (2000) und Birkenfeld et al. (2005) wiesen den lipolythischen Effekt von natriuretischen Peptiden nach. Birkenfeld et al. (2005) konnten in ihren Untersuchungen neben einer erhöhten Mobilisation von freien Fettsäuren aus dem Fettgewebe auch eine gesteigerte Verbrennung der Fettsäuren in der Muskulatur nachweisen, die auf die Wirkung von ANP auf den Stoffwechsel zurückzuführen ist. ***Der Einfluss von ANP auf den Fettstoffwechsel während der Belastung wurde bisher noch nicht untersucht.***

Anti diuretisches Hormon (ADH)
ADH hemmt die Natrium- und Wasserausscheidung, wirkt vasokonstriktorisch und somit Blutdruck steigernd. Die bereits beschriebene intrathorakale Blutvolumenzunahme bei Immersion stimuliert die Dehnungsrezeptoren im Herzen, was zu einer Suppression (Unterdrückung) der Ausschüttung von ADH aus dem Hypophysenhinterlappen führt (Epstein et al. 1975, Epstein 1989). Daraufhin wird in der Niere weniger Wasser zurückgehalten und infolgedessen ausgeschieden (Gauer-Henry-Reflex).

Sympathikus - Plasmakatecholamine Adrenalin und Noradrenalin
Der Sympathikus ist neben dem Parasympathikus ein Teil des vegetativen Nervensystems. In Stresssituationen (z. B. körperliche Aktivität, Angst) wird Adrenalin und Noradrenalin im Nebennierenmark vermehrt gebildet. Sie steigern die Herzfrequenz, den Blutdruck und erweitern die Bronchien. Ferner vermitteln beide Hormone eine schnelle Bereitstellung von Energiereserven durch Fettabbau (Lipolyse) sowie die Freisetzung und Biosynthese von Glucose.
Durch das zentrale Pooling kommt es im Wasser zur Hemmung des Sympathikus (Krishna et al. 1983, Mano et al. 1991, Seps et al. 2002).

Zahlreiche Autoren haben unter verschiedenen Evaluationskriterien die vielfältige physiologische Wirkung des Mediums Wasser auf den Organismus in Ruhe untersucht. Nachfolgend werden eine Zusammenfassung von Studienergebnissen zur Wirkung von Immersion in Ruhe und der direkte Vergleich zur Immersion mit Belastung gegeben.

Wirkung der Immersion ohne Bewegung auf hämodynamische, metabolische und neurohumorale Parameter

- Zunahme von Schlagvolumen und Herzzeitvolumen (Wilcock et al. 2006, Risch et al. 1974, Park et al. 1999) bei tendenziell geringer Herzfrequenz (Schnizer et al. 2006, Bücking 1997, Völker et al. 1983); bei unveränderter oder tendenziell höherer Herzfrequenz (Gabrielsen et al. 2000, Johansen et al. 1998, Shin et al. 2003, Wilcock et al. 2006)
- Widersprüchliche Aussagen zum Blutdruck (sinkt: Kaiser et al. 1963, Skiba et al. 1976, Gauer 1978, Guyton 1977; bleibt unverändert oder steigt leicht an: Epstein 1978, Park et al. 1999, Meuche 2009, Norsk et al. 1993, Gabrielsen et al. 1993, Schmidt und Thews 1997, Watenpaugh et al. 2000)
- Abnahme der peripheren Gefäßwiderstände (Park et al. 1999, Nakamitsu et al. 1994)
- Suppression des Renin-Angiotensin-Aldosteron-Systems (Buemi et al. 2000, Epstein et al. 1977, Nakamitsu et al. 1994)
- Supression des Anti diuretischen Hormons ADH (Epstein et al. 1975, Norsk et al. 1993, Ameln et al. 1985, Gauer 1978)
- Erhöhung des Atrial natriuretischen Peptids ANP (Epstein et al. 1987, Nakamitsu et al. 1994)
- Abfall der Plasmakatecholamine Adrenalin und Noradrenalin sowie des Kortisols (Krishna et al. 1983, Grossmann et al. 1992, Mano et al. 1991, Seps et al. 2002)
- signifikant erhöhte Diurese und Natriurese (Gauer 1978, Beckmann et al. 1961, Watenpaugh et al. 2000)
- Stimulation der Prostaglandinbildung[4] (Epstein et al. 1979, Lifschitz et al. 1985)
- Abfall von Aldosteron (Epstein und Satura 1971, Epstein et al. 1975)

Als relativ gesichert ist der Einfluss der head–out immersion in Ruhe auf endokrine Parameter (ANP, Renin, Aldosteron) sowie auf die Diurese und Natriurese (erhöht). Die Fachwelt trifft in Abhängigkeit von der Wassertiefe und der Wassertemperatur diesbezüglich eine einheitliche Aussage.

Kontrovers sind die Ergebnisse hinsichtlich des Herzfrequenz- und Blutdruckverhaltens bei Immersion ohne Bewegung (Kapitel 7). Arborelius et al. (1972) und Hahn et al. (2003) stellten fest, dass bei einer bestimmten Wassertemperatur die Herzfrequenz in

4 Gewebshormone

Ruhe ähnlich ist wie an Land. Sie sprechen in diesem Zusammenhang von einer thermoneutralen Temperatur des Wassers zwischen 34–35 °C. Diese Wassertemperatur kann über Stunden bis hin zu Tagen toleriert werden, ohne Thermoregulationsmechanismen wie Schwitzen oder Muskelzittern auszulösen (Meuche 2009). Wilcock et al. (2006) hingegen beschreiben bei dieser Wassertemperatur eine Herzfrequenzsenkung um 4–18 % entsprechend der Eintauchtiefe (Hüfte 4-6 %, Sternum 11-18 %, Hals 3-15 %).

Die durch head-out water Immersion induzierten physiologischen Veränderungen werden durch Bewegung modifiziert.

Wirkung der Immersion mit Bewegung auf hämodynamische, metabolische und neurohumorale Parameter

- Hydrostatische Kompression–Steigerung des venösen Poolings **ist geringer ausgeprägt** (Krasney et al. 1989)
- Zunahme des Plasmavolumens **ist geringer ausgeprägt** (Little 1981)
- Steigerung des Schlagvolumens **ist geringer ausgeprägt, aber bei vergleichender Belastung an Land noch deutlich größer** (Mc Ardele et al. 1976, Park et al. 1999)
- Verminderung des peripheren Widerstandes **ist gleich** (Park et al. 1999, Gabrielsen et al. 1993, Meyer et al. 2005)
- ADH **steigt** (Melin et al. 1980, Convertino et al. 1981)
- ANP **steigt mehr unter Belastung im Wasser** (Weiß et al. 2003)
- Aldosteron **unverändert** (Epstein und Satura 1971, Epstein et al. 1975)
- Hemmung des Sympathikus **ist geringer ausgeprägt** unter Belastung (Krishna et al. 1983)
- Herzfrequenz ist **tendenziell geringer** bei vergleichender Belastung Land vs. Wasser (Schnizer et al. 2006, Mougios et al. 1993, Mc Ardele et al. 1976); **Herzfrequenz ist höher** bei vergleichender Belastung Land vs. Wasser (Miyashita et al. 1993, Denison 1972); **Herzfrequenzverhalten ist von der Wassertemperatur abhängig** (Hall et al. 1998, Christie et al. 1990, Shimizu et al. 1998, Mc Ardele et al. 1976, Fujishima et al. 2003, Svendenhag und Seger 1992)

- **Differente Aussagen** über maximale Sauerstoffaufnahme bei vergleichender Belastung Land vs. Wasser (keinen Unterschied: Christie et al. 1990, Connelly et al. 1990, Sheldahl et al. 1992, Fujishijma und Shimizu 2000; geringer: Svedenhag und Seger 1992, Frangolias und Rhodes 1995; höher: Darby und Yaekle 2000)
- **Differente Aussagen** über Laktatkonzentration bei vergleichender Belastung Land vs. Wasser (niedriger: Town et al. 1991; höher: Svedenhag und Seger 1992)
- **Kein Unterschied im Blutdruckverhalten** bei maximaler Ausbelastung (Christie et al. 1990)

Grundsätzlich steigen unter Belastung intensitätsabhängig die Plasmakatecholamine sowie die Plasmaspiegel von Aldosteron, ADH und ANP an. Durch den Immersionseffekt werden diese Reaktionen überlagert bzw. modifiziert (Weiß et al. 2003). Beim Vergleich Belastungen im Wasser vs. Land fällt die Plasma-Renin-Aktivierung geringer aus, die Anstiege von Aldosteron und ADH können partiell blockiert werden, ANP wird durch die Vorhofdilatation in Folge der Kreislaufzentralisierung verstärkt ausgeschüttet (Weiß et al. 2003). Die beschriebene vermehrte Orthostasedysregulationsneigung bei Aktivität im Wasser hat Einfluss auf das Blutdruckverhalten. In der Fachwelt werden geringere Blutdruckanstiege beim Vergleich von Belastungen im Wasser vs. Land diskutiert. Die Messmethode (z. B. per Ultraschall-Doppler-System, mittels Mikrofon und Druckmesswandler von pneumatischer Manschette -oscillometrische Methode[5] - und mittels Druckmesswandler von der Manschette) zum Blutdruck bei Immersion mit Bewegung stellt auch heute noch eine Herausforderung dar. Das könnte die Ursache dafür sein, warum es nur wenige wissenschaftlichen Arbeiten (z. B. Christie et al. 1990, Park et al. 1999) zum Blutdruckverhalten des Menschen bei vertikaler Aktivität im Wasser gibt.
Diskrepanz besteht über das Laktatverhalten im Wasser vs. Land. Nicht zu vernachlässigen ist hierbei der Einfluss des Trainingszustandes (Weiß et al. 2003) bzw. der Wassertemperatur (Mougios et al. 1993).
Different stellen sich auch in der Literatur die Ergebnisse bezüglich der VO_{2max} dar. Neben potentiellen Einflussfaktoren (aktivierte Muskelmasse, Trainingszustand, Auftrieb

5 Bei der Oszillometrie zur Messung des Blutdruckes werden die Schwingungen des Blutflusses in den Arterien gemessen.

im Wasser, Viskosität des Wassers, hydrostatischer Druck, Art der Referenzbelastung an Land) scheinen auch die aqualen thermischen Bedingungen einen Einfluss auf die VO_{2max} zu haben (Pirnay et al. 1977: Abnahme VO_{2max} zwischen 35 °C und 20 °C um 7,8 %; Moore 1970: Reduktion zwischen 30 °C und 16 °C um 7,6 %; Holmer 1972: Unterschiede bei Schwimmversuche zwischen 34 °C und 18 °C um 3,3 %; Dressendorfer et al. 1976: zwischen 35 °C und 25 °C keine auffälligen Änderungen).

Ebenfalls divergierend sind die Aussagen bezüglich der Herzfrequenzanpassung an die Belastung im Wasser. Die bisher beschriebenen Ansätze in unterschiedlichen aqualen Sport- und Bewegungsfeldern decken sich einerseits in der Forderung, eine Reduktion der Herzfrequenz zu berücksichtigen (Hartmann 2008, Weber-Witt 1993), andererseits wird dieses Phänomen unterschiedlich interpretiert (Tauchreflex, Hypervolämie, Wassertemperatur, Eintauchtiefe usw.) bzw. teilweise widersprechen sich die Deutungen (Wilcock et al. 2006, Brücking 1997, Völker et al. 1983).

Im Folgenden wird die Vielseitigkeit der Einflussfaktoren bei Immersion ohne und vor allem mit Bewegung auf den Organismus zusammenfassend dargestellt. Anhand dieser Grafik wird deutlich, dass neben der bisher fehlenden Möglichkeit, unter standardisierten Bedingungen die mechanische Leistung im Wasser zu messen, auch die Komplexität der Wirkmechanismen auf den Organismus selbst bei Belastung eine Herausforderung darstellt.

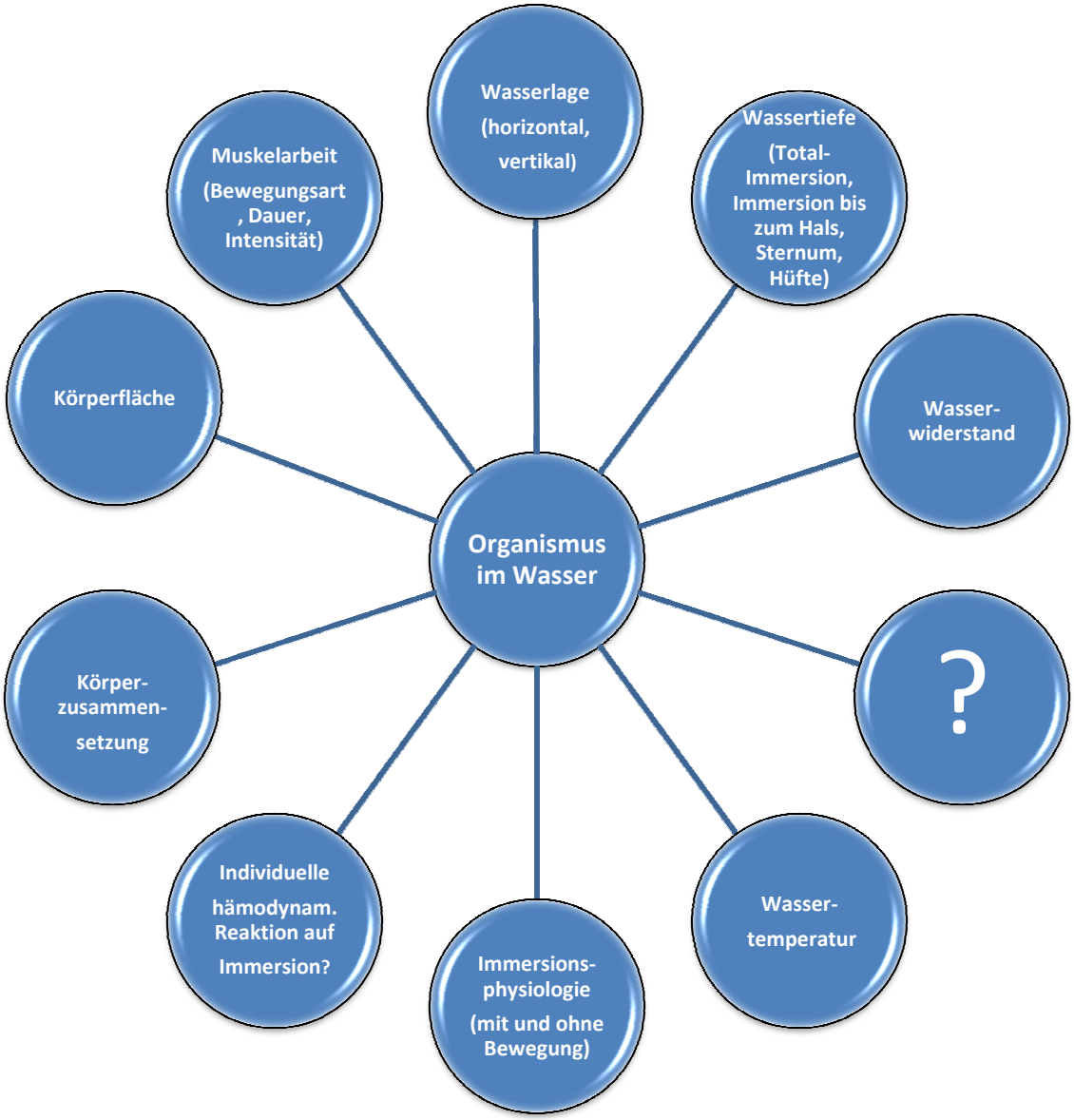


Abb. 4: Einflussfaktoren auf Organismus im Wasser (eigene Darstellung)

Trotz umfangreicher Recherche zur Wirksamkeit der physikalischen Eigenschaften des Wassers auf den Organismus in Ruhe und während der Belastung konnten folgende Fragen nicht hinreichend geklärt werden: **Unterscheidet sich die physiologische Antwortreaktion des Organismus bei Belastung im Wasser von der an Land? Können die beschriebenen Studienergebnisse leistungsdiagnostischer Untersuchungen Wasser vs. Land (Kapitel 2.3.2.2) auf aquale Bewegungsformen (Wassergymnastik, Aqua-Fitness) übertragen werden?**

Mit der vorliegenden Arbeit kann keine abschließende Beantwortung der aufgeworfenen Fragen erfolgen. Es wird jedoch angestrebt, über die Entwicklung und Durchführung eines standardisierten ergometrischen Tests im Wasser zur weiteren Klärung der

Komplexität der Wirkmechanismen bei Immersion ohne und vor allem mit Bewegung beizutragen. Entsprechend dieser Zielstellung erfolgt im nächsten Kapitel die Darstellung der Leistungsdiagnostik an Land und im Wasser. In Hinblick auf die offenen Fragen erfolgt eine Analyse der bisher beschriebenen leistungsdiagnostischen Untersuchungsmethoden zum Vergleich physischer Beanspruchungen Wasser vs. Land.

2.3 Leistungsdiagnostik

Die Leistungsdiagnostik ist ein bewährtes Verfahren zur „Erfassung und Beurteilung der sportlichen Leistungen und der aktuellen Leistungsfähigkeit -des erreichten Leistungsstandes- auf der Grundlage von Kennwerten, Kennlinien und Merkmalen des Leistungsvollzuges sowie von Kennwerten der wesentlichen personalen Leistungsvoraussetzungen. Darin einbezogen sind die Relationen der ermittelten Daten, d.h. die Struktur des Leistungssystems“ (Schnabel 1997).
de Marées (2002) definiert in diesem Kontext die körperliche Leistungsfähigkeit des Menschen als die „Summe willentlich erbrachter motorischer Aktionen in Abhängigkeit von psychophysischen Faktoren und der Umwelt“.
Die Leistungsfähigkeit ist als ein individuelles Persönlichkeitsmerkmal anzusehen. Mit einem Leistungstest kann man die aufgabenspezifische (z.B. ergometrische) Leistungsfähigkeit des Einzelnen erfassen (Ulmer 1997). Die körperliche Leistungsfähigkeit hängt von verschiedenen biomechanischen, physiologischen, soziologischen und psychologischen Faktoren ab und kann maßgeblich vom Alter, dem Geschlecht, von Umwelteinflüssen (z. B. Ernährung, Trainer, finanzielle Mittel) sowie von Erbanlagen (z. B. Habitus, Willensstäre, Intelligenz) beeinflussen werden (Jörgensen und Rieder 1972).

2.3.1 Leistungsdiagnostik an Land

Die Leistungsdiagnostik an Land ist seit Jahrzehnten praxiserprobt. Erste Untersuchungen an körperlich aktiven Probanden fanden schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts statt. Pettenkofer und Voit führten im Jahr 1866 Untersuchungen zur CO_2-Ausscheidung während Drehkurbelarbeiten durch. 1883 entwickelte Speck ein Drehkugelergometer und untersuchte den Gasstoffwechsel bei Belastung. Zuntz und seine Mitarbeiter konstruierten 1889 das erste Laufband der Geschichte in Berlin, wo

August Smith zwei Jahre später mit systematischen Untersuchungen von Sportlern begann (Keul et al. 1999).
Leistungsdiagnostische Verfahren standen früher ausschließlich dem Leistungs- und Spitzensport zur Verfügung. Mittlerweile nutzen aber auch andere Zielbereiche wie der Freizeit- und Breitensport und der Rehabilitationsbereich leistungsdiagnostische Untersuchungen.

Im ***Leistungssportbereich*** wird eine detaillierte und möglichst exakte Leistungsdiagnose erstellt, um den Trainingszustand festzustellen und somit zur Optimierung der Steuerung und Regelung eines Trainings beizutragen. Der Einsatz der Leistungsdiagnostik soll dem Sportler eine zielgerichtete Leistungsentwicklung ermöglichen, Fehler im Einsatz von Trainingsinhalten erkennbar machen und eine sichere Korrektur falscher Trainingsplanung und Gestaltung gewährleisten. Nach Hohmann et al. (2002) hat die Leistungsdiagnostik in der Praxis zwei Hauptaufgaben. Zum einen die Stärken und Schwächen durch einen Ist-Soll-Wert (Statusdiagnostik) zu identifizieren, zum anderen die Trainingserfolge durch den laufenden Ist-Soll-Wert-Vergleich (Prozessdiagnostik) zu kontrollieren.
Mit Hilfe der diagnostischen Erfassung der Leistungsfähigkeit im ***Freizeitbereich*** soll der allgemeine Gesundheitszustand abgeklärt sowie das Leistungsvermögen und die Sporttauglichkeit überprüft werden, und zwar auch in höherem Alter, um kardiovaskuläre Erkrankungen auszuschließen. Weiterhin kann man mit der Diagnostik u. a. Empfehlungen für eine gewünschte Gewichtsreduktion oder zur Verbesserung des körperlichen Leistungsvermögens geben.
Die ***klinische Leistungsdiagnostik*** dient zur klinischen Beurteilung und Definition der Krankheitsschwere und wird zur Risikostratifizierung (Abschätzung des Risikos einer Erkrankung) herangezogen.

Mit Hilfe standardisierter Schemata und Konzepten zur Messung der Leistungsfähigkeit ist es möglich, variable physiologische Prozesse während der Belastung darzustellen. In Abhängigkeit des zu untersuchenden Merkmals stehen verschiedene Leistungstest zur Verfügung.
Ein in der klinischen Diagnostik oft verwendeter Ausdauertest zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit eines Patienten unterhalb der anaeroben Schwelle ist der

6-Minuten-Gehtest. Mit ihm wird die Gehstrecke ermittelt, die der Patient in sechs Minuten zurücklegen kann.
Im Freizeit- und Breitensportbereich kommt häufiger der Cooper- oder Conconitest zur Ermittlung der allgemeinen Ausdauer zum Einsatz. Beim Cooper-Test handelt sich um einen Lauf von 12 Minuten Dauer, bei dem die in dieser Zeit maximal zurückgelegte Strecke ermittelt wird. Conconi beschrieb 1982 einen Test, bei dem die Geschwindigkeit bei ansteigender Laufbelastung mit der Herzfrequenz in Beziehung gebracht wird. Beim Conconi-Test läuft der Sportler mit einem Herzfrequenzmessgerät, welches die Pulswerte speichert, auf einer 400m-Rundbahn mit einer genau vorgegebenen Geschwindigkeit. Regelmäßig wird diese Geschwindigkeit bis zur maximalen Ausbelastung erhöht.
In den folgenden Jahren wurde dieser Test auch bei Sportarten wie Radfahren, Gehen, Rudern, Kanu oder Schwimmen angewandt (Hollmann und Hettinger 2000).
Neben diesen sogenannten Feldtests[6] (Cooper- oder Conconitest), kommen im sportmedizinischen und sportwissenschaftlichen Bereich vor allem Labortests mit Ergometern zur Anwendung (Rost 2001). Sie erlauben unter standardisierten Bedingungen nicht nur individuelle Vergleiche sondern auch die Gegenüberstellung mit anderen Personen.

Entsprechend dem Thema dieser Arbeit soll nun folgend auf ergometrische Verfahren zur Leistungsdiagnostik eingegangenen werden.

2.3.1.1 Ergometrie

Das angewandte Verfahren der Ergometrie ist eine Methode, um mechanische Leistungen exakt zu dosieren und jederzeit präzise zu reproduzieren. Mit dieser diagnostischen Methode lassen sich qualitativ und quantitativ die Reaktionen von Herz, Kreislauf, Stoffwechsel und muskulärer Arbeit beurteilen (Hollmann und Hettinger 2000).

Bei allen Verfahren der Ergometrie ist zwischen einer physikalischen und biologischen Leistung zu unterscheiden (Hollmann et al. 2006). Um eine gegebene physikalische Leistung in Bezug auf eine bestimmte körperliche Bewegungsform zu erreichen, können unterschiedliche biologische Leistungen erforderlich sein, weil der Wirkungsgrad der

6 Feldtests werden unter echten Feldbedingungen sportnahe durchgeführt.

biologischen Leistung (Wirkungsgrad des Muskels) von den mechanischen Verhältnissen des Ergometers (z. B. Drehzahl, Kurbelhöhe und -länge) sowie von endogenen und exogenen Faktoren (Übungszustand, Alter, Körperposition) bestimmt wird (Hollmann et al. 2006).

Ulmer (1997) definiert den Begriff „*Belastung*“ als vorgegebene, fremd- oder selbstbestimmte Anforderung, die als solche wertefrei ist und wesentlich vom Willen des Menschen, seiner Motivation und seiner Fähigkeit abhängt. Das Ergebnis einer Aktivität zur Erfüllung einer Anforderung selbst- oder fremdbestimmter Art wird als *Leistung* bezeichnet (Ulmer 1997). Die körperliche *Beanspruchung* ist als eine individuelle Reaktion des Organismus beim Erbringen einer Leistung, erkennbar an Veränderungen verschiedener physiologischer Kenngrößen (z. B. Herzfrequenz, Blutdruck). Die Beanspruchung. „Da das Ausmaß einer Beanspruchung wesentlich von der Leistungsfähigkeit des Leistenden bestimmt wird ist die Beanspruchung bei gleicher Leistung interindividuell sehr unterschiedlich“ (Ulmer 1997). (Abb. 5)

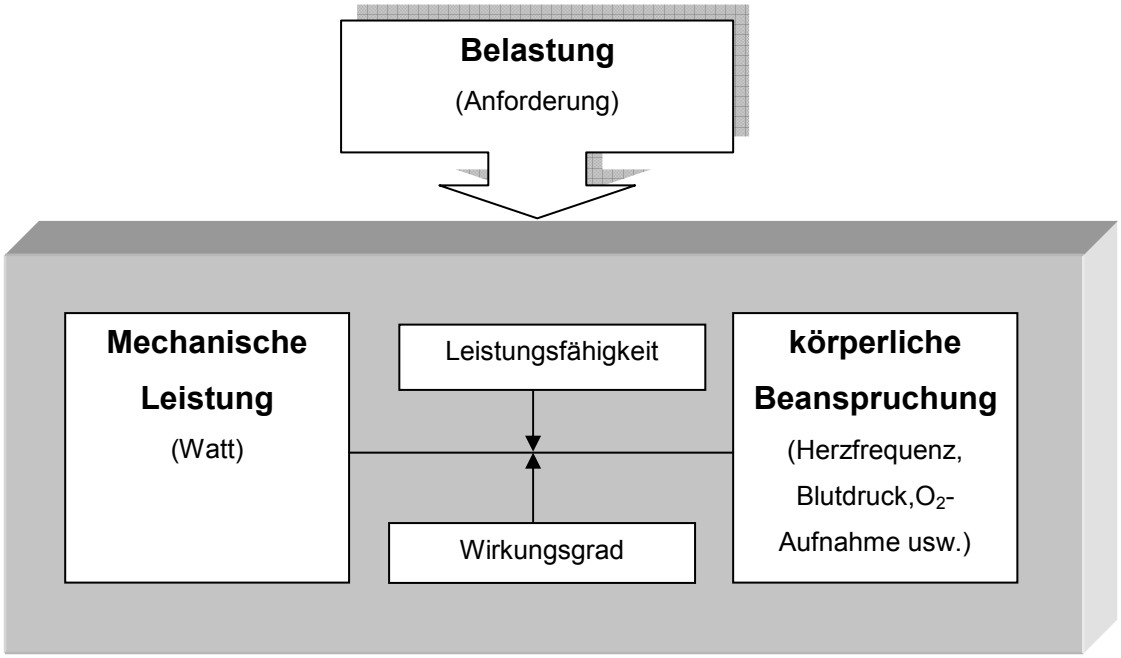


Abb.5: Schema zum Belastungs-Beanspruchungskonzept (modifiziert nach Ulmer 1997)

Ergometriearten

Die Wahl des Ergometers richtet sich häufig nach der Art der leistungsdiagnostischen Untersuchung. Im Freizeit- und Breitensport sowie im klinischen Bereich wird vorrangig das Fahrrad- oder Laufbandergometer eingesetzt. Bei der Fahrradergometrie wird zwischen dem mechanischen und elektrisch gebremsten Ergometer unterschieden. In

der Praxis kommt das elektrisch gebremste Ergometer überwiegend zum Einsatz, welches drehzahlunabhängig arbeitet. Mit Hilfe eines elektronischen Reglers wird die Bremskraft bei steigender Drehzahl entsprechend reduziert bzw. vergrößert, so dass das Produkt aus beiden Größen und somit die mechanische Leistung konstant bleibt (Hollmann und Hettinger 2000). Der Vorteil des Fahrradergometers besteht in der guten Abstufbarkeit und Reproduzierbarkeit der Belastung. Bei unterschiedlich geübten Personen kommt der Koordination keine große Bedeutung zu (Hollmann et al. 2006).

Bei der Laufbandergometrie entsprechen die Bewegungen des Gehens bzw. Laufens weitestgehend den Alltagsbedingungen des Lebens. Das ist zum Beispiel bei Patienten mit kardiopulmonalen oder peripheren arteriellen Erkrankungen von Bedeutung. Darüber hinaus kann die reale maximale Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems ermittelt werden. Die bei Laufbelastungen maximal erreichten Werte sind im Mittel um 10 % höher als beim Radfahren (Hollmann und Hettinger 2000).

Ferner sind laufbanddiagnostische Untersuchungen dann vorzuziehen, wenn eine sportartspezifische Leistungsdiagnostik, wie zum Beispiel bei Läufern, durchgeführt werden soll (Hollmann et al. 2006). Auch der Ruder,- Kanu- und Skisport bedient sich sportartspezifischer Ergometer, deren Handhabung an dieser Stelle nicht näher erläutert werden soll.

Ergometrische Testverfahren

Um ergometrische Testverfahren vergleichbar bzw. reproduzierbar zu gestalten, sollten standardisierte Rahmenbedingungen geschaffen werden. Der Testablauf muss einem strikten, vorher festgelegten Schema folgen und den klassischen Hauptgütekriterien (Objektivität, Zuverlässigkeit, Gültigkeit) genügen.

Das Belastungsverfahren zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit beschreibt den zeitlichen Verlauf der Belastung und wird bestimmt durch:

den Belastungsmodus, die Belastungssteigerung, die Anfangsbelastung, die Belastungsabstufung sowie die Stufendauer und die Pausen (de Marées 2002).

Dementsprechend werden in der Leistungsdiagnostik verschiedene Belastungsverfahren angewendet, die in der folgenden Abbildung dargestellt werden.

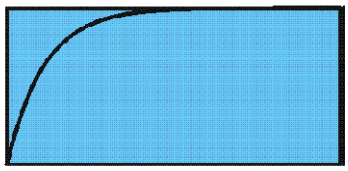
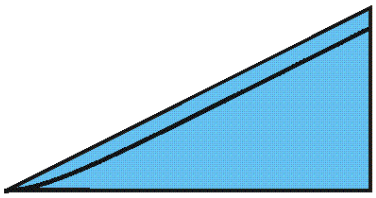
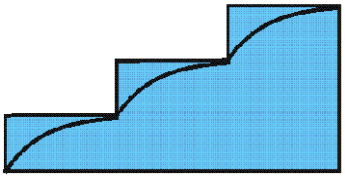
Belastungsverfahren	Erläuterung
Dauermethode 	• alle Ergometerformen sind möglich • zur Überprüfung von Rehabilitationsmaßnahmen und Medikamenteneinstellungen • zur Festlegung des „max. Laktat steady state“ (max. LASS) in der Leistungsdiagnostik
Rampentest 	• auf dem Fahrradergometer oder dem Laufband • zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. der maximalen Laktatmobilisation • Steigerung der Leistung z.B. mit 1Watt/Sek. bis zur subjektiven Erschöpfung
Stufentest 	• Fahrradergometer, Laufband, Ruderergometer • Stufenförmiger Anstieg der Belastung zur Ermittlung der körperlichen Leistungsfähigkeit • zu Diagnosezwecken unter EKG-Kontrolle

Abb. 6: Belastungsverfahren (modifiziert nach de Marées 2002)

Üblicherweise werden stufenförmige Testschemata verwendet (Knechtle 2002). Der Stufentest dient zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (VO_{2max}). Er kann bis zur Ausbelastung des Probanden durchgeführt werden, um die anaerobe Leistungsfähigkeit einzuschätzen. Je nach Zuordnung des Stufentests zu einer trainingsmethodischen Kategorie (z. B. Kurzzeitausdauer, Mittelzeitausdauer) hat sich eine Stufendauer von 1Min. bis 15 Min. bewährt.

Es gibt sehr viele verschiedene Belastungsprotokolle (Howley et al. 1995) mit dem Ziel, das „levelling-off“ der Sauerstoffaufnahme (konstant bleibende Sauerstoffaufnahme trotz zunehmender körperlicher Belastung) zu erreichen und damit die VO_{2max} eindeutig bestimmen zu können.

In der Literatur werden dazu verschiedene Modelle (Tab. 3) zur Gestaltung des Stufentestes beschrieben. Der Testablauf wird meistens nur durch kurze Pausen zur Bestimmung metabolischer und hormoneller Parameter unterbrochen.

Tab. 3: Modelle zur Gestaltung von Stufentests (Huber 2001); (KG= Körpergewicht)

	Weltgesundheits-organisation (WHO)	**Bundesausschuss Leistungssport (BAL)**	**Hollmann-Venrath-Schema**	**Empfehlung für Kinder (nach Rost)**
Eingangsstufe (Watt)	25	50 (100)	30 (70)	Halbes Körpergewicht
Anstieg pro Stufe (Watt)	25	50	40	0,5/kg
Stufendauer (min)	2	3-5	3	2
Pausendauer (min)	0	0	0	0
Drehzahl (U/min)	60-80	80-100	60-80	60-80
Zielgruppe	•Kinder ab 40 kg KG •ältere und leistungsschwache Menschen, •Herzpatienten	•Leistungssportler	•Breitensportler, •„normal“ leistungs-fähige Personen	•Kinder bis 40 kg KG

Um Aussagen über den aeroben Stoffwechsel machen zu können, sollte die Anfangsbelastung nicht zu hoch gewählt werden. Eine zu niedrige Anfangsbelastung kann unökonomische Muskelarbeit zur Folge haben. Ebenso spielt die Schnelligkeit des Belastungsanstiegs eine Rolle. Wird innerhalb eines Zeitraums < ½-1 Minute bis zur maximalen Leistung gesteigert, sind die sauerstofftransportierenden Systeme des Körpers noch nicht optimal aktiviert und die Belastung muss auf Grund früh einsetzender anaerober Prozesse rasch abgebrochen werden (Knechtle 2002). Ist die Zeit pro Stufe zu kurz oder die Höhe der Stufe zu groß, wird die O_2-Aufnahme bei einem erschöpfungsbedingten Abbruch als zu niedrig gemessen. Die O_2–Aufnahmekapazität ist zu langsam, um sich adäquat während der Stufen anpassen zu können (Knechtle 2002).

Nach Dickhuth (2000) sollten folgende Kriterien beim Stufentest erfüllt werden:

Leistung (Watt)	mindestens > 75 % der Sollleistung
	möglichst > 90 % der Sollleistung
Herzfrequenz	> 200–Lebensalter (mindestens)
	> 220–Lebensalter (sicher)
Blutlaktat	5 mmol/l (mindestens)
	9 mmol/l (sicher)

Die Spiroergometrie

In Hinblick auf die Entwicklung einer spiroergometrischen Testung Wasser vs. Land mit dem Ziel die körperliche Beanspruchung des Organismus Wasser vs. Land vergleichen zu können, wird das spiroergometrische Messverfahren näher erläutert.

Die Spiroergometrie ist ein Verfahren, mit dem sich qualitativ und quantitativ Reaktionen von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel während muskulärer Arbeit sowie die kardiopulmonale Belastbarkeit beurteilen lassen. Über die kontinuierliche Messung von Atemstromstärke, Sauerstoffaufnahme, Kohlendioxidabgabe und Herzfrequenz lassen sich die Limits der Leistungsfähigkeit und eine Differenzierung leistungslimitierender Systeme erarbeiten (Wonisch et al. 2003).

Die ***Sauerstoffaufnahme*** (VO_2 gemessen in $l \cdot min^{-1}$) errechnet sich als Produkt aus dem Atemminutenvolumen, dem prozentualen Sauerstoffverbrauch und einem luftdruckabhängigen Faktor. Sie ist bei der physiologischen Bewertung durch Bezug zu anderen Parametern von Bedeutung.

Die ***maximale Sauerstoffaufnahme*** (VO_{2max}) ist ein Bruttokriterium der körperlichen Gesamtleistungsfähigkeit und als Integral der einzelnen Organsysteme wie zum Beispiel Atmung, Kreislauf und Blut zu sehen (Nöcker 1980). Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist u. a. an die Größe der Sauerstoffmenge gebunden, die pro Zeiteinheit dem Organismus über Atmung, Herz und Kreislauf zugeführt wird (Hollmann und Hettinger 2000). Hierbei unterscheidet man je nach Art der gewählten Belastung in:

a) absolute maximale Sauerstoffaufnahme (Liter pro Minute) und

b) relative maximale Sauerstoffaufnahme (bezogen auf das Gewicht ml/min/kg)

Je nach wissenschaftlicher Fragestellung bzw. Testergebnis wird in VO_{2max} (VO_2 nicht weiter gesteigert, Plateaubildung obwohl Belastung noch ansteigen kann) und Peak VO_2 (maximal erreichte Sauerstoffaufnahme) unterschieden. In der vorliegenden Studie wurden die maximal erreichten Sauerstoffaufnahmen (VO_{2peak}) gemessen und als relatives Maß pro Kilogramm Körpergewicht wiedergegeben.

Neben der Erfassung der maximalen Sauerstoffaufnahme stehen noch weitere Möglichkeiten zur Interpretation der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit zur Verfügung.

Das Verhältnis des maximalen Atemzugvolumens zur inspiratorischen Kapazität und Vitalkapazität wird als ***Atemzugvolumen*** (AV) bezeichnet. Die ***Atemfrequenz*** (AF) ist Rate der Atemzüge pro Zeiteinheit und ist u. a. vom Alter abhängig. Aus dem Produkt von ***Atemzugvolume****n* (AV) und ***Atemfrequenz*** (AF) ergibt sich das ***Atemzeitvolumen*** (V) (Hollmann et al. 2000).

Das ***Atemäquivalent*** (AÄ) beschreibt den Quotienten aus Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme (ml/min). Je größer das Atemäquivalent, desto geringer ist die noch vorhandene Leistungsreserve (Pschyrembel 2002).

Unter ***Sauerstoffpuls*** (O_2-Puls) versteht man diejenige Menge Sauerstoff, die in der Zeit einer ganzen Herzaktion (Systole und Diastole) aufgenommen wird. Der Sauerstoffpuls (O_2-Puls) beschreibt den „Quotienten aus Sauerstoffaufnahme in ml/min und Pulsfrequenz. Je größer der Wert auf einer gegebenen Belastungsstufe ausfällt, desto größer ist die kardiale Leistungsfähigkeit des Probanden“ (Pschyrembel 2002).

Die Oxidationen der Nährstoffe Glucose, Fettsäuren und Aminosäuren haben aufgrund unterschiedlicher chemischer Bestandteile verschiedene Anteile am Sauerstoffverbrauch (VO_2) und an der Kohlendioxidabgabe (VCO_2). Das Verhältnis von Kohlendioxidabgabe und Sauerstoffaufnahme ergibt den ***Respiratorischen Quotienten*** (Schmidt und Thews 1997).

Der Respiratorische Quotient (RQ) errechnet sich aus der Stöchiometrie[7] der Oxidationsgleichungen der oben genannten Nährstoffe im energieliefernden Schritt. An der Menge des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidabgabe ist ersichtlich, welcher Nährstoff hauptsächlich oxidiert wird (Bartels et al. 1973).

Der Umfang und die Art der spirometrischen Untersuchungen sind vom Zielgruppenbereich und der Zielstellung abhängig. Je nach Fragestellung und

7 Mit Hilfe der Stöchiometrie werden aus der qualitativen Kenntnis der Edukte und Produkte einer Reaktion die tatsächlichen Mengenverhältnisse und Stoffmengen berechnet.

Zielsetzung können neben der Sauerstoffaufnahme oder der Ventilation zusätzlich Daten zur Laktatkonzentration im Blut erhoben werden[8]. Mit Hilfe von Laktat- oder ventilatorischen Schwellenkonzepten kann die aerobe und anaerobe Ausdauerkapazität bestimmt werden. Die Interpretation der Ergebnisse unterstützt im Leistungssportbereich vor allem die Steuerung und Planung des Trainings und der Trainingsinhalte.

2.3.1.2 Atmungsbasierende Schwellenkonzepte

Die ersten diagnostischen Verfahren basierten auf der Messung respiratorischer Parameter. Noch bis in die 1960er Jahre wurde zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit und des Energiestoffwechsels die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme herangezogen (Heck 1990). Erst später wurde die Messung der Blutlaktatkonzentration als maßgebliches Kriterium herangezogen.

Wasserman et al. (1973) entwickelten das Konzept der „ventilatorischen anaeroben Schwelle“ (VAT = Ventilatory anaerobic Thresold).
Die bei höheren Intensitäten entstehende Milchsäure wird über Bikarbonat abgepuffert. Das daraufhin überproportional anfallende CO_2 führt zu einem nichtlinearen Anstieg der Ventilation und des Respiratorischen Quotienten. Dieser Punkt, des ersten nichtlinearen Anstiegs der Ventilation, wird definitionsgemäß als ventilatorische Schwelle (VT) bezeichnet (McLellan 1987, Wonisch et al. 2003) und wird historisch bedingt mit der anaeroben Schwelle (AT = Anaerobic Thresold) synonym verwandt.
Kann bei zunehmender Intensität das anfallende Laktat nicht mehr abgepuffert werden, fällt der pH-Wert. Die Atmung wird zusätzlich stimuliert und die Ventilation steigt stärker überproportional an. Dieser zweite Anstieg wird als Respiratorischer Kompensationspunkt bezeichnet (Simon et al. 1986, Beaver et al. 1986).

Nach Wasserman et al. (1973) und Beaver et al. (1986) kann die AT (Anaerobic Thresold) unter Berücksichtigung der endexspiratorischen Gaskonzentrationen, der daraus berechneten VCO_2 und VO_2 („V-Slope“-Methode), der Atemäquivalente und des Respiratorischen Quotienten (RQ = VCO_2/VO_2) ermittelt werden. Die „V-Slope“-Methode (Beaver et al. 1986) hat sich in der Praxis für die Bestimmung der

8 Weitere erhobene Daten sind z. B. Blutdruck und Herzfrequenz.

ventilatorischen anaeroben Schwelle (AT) als Standard bewährt (Kroidl et al. 2007). Diese beruht auf der an AT beginnenden überproportionalen Zunahme von VCO_2 gegenüber VO_2 unter körperlicher Belastung. Die Anaerobic Threshold (AT) kennzeichnet einen Zustand im Muskel (Mitochondrium), an welchem vom aeroben auf den anaeroben Stoffwechsel umgeschalten wird (Kroidl et al. 2007). Wird VCO_2 graphisch gegen VO_2 aufgetragen, kann der Punkt, an dem die Steigerung der VCO_2 in Relation zur VO_2 überproportional zunimmt, als AT identifiziert werden. Der bei der graphischen Darstellung sichtbare Knick kann für die Bestimmung der anaeroben Schwelle (AT) herangezogen werden. Mathematisch gesehen entspricht sie dem Schnittpunkt zweier Regressionsgraden (Abb. 7), die den Anstieg der jeweiligen Kurvenabschnitte markieren (Beaver et al. 1986).
Nach Löllgen (1995) liegt die Schwelle etwa bei 60-85 % der maximalen O_2-Aufnahme in Abhängigkeit vom Trainingszustand des Untersuchten. Kroidl et al. (2007) geben mit 40-60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme niedrigere Schwellenwerte an.

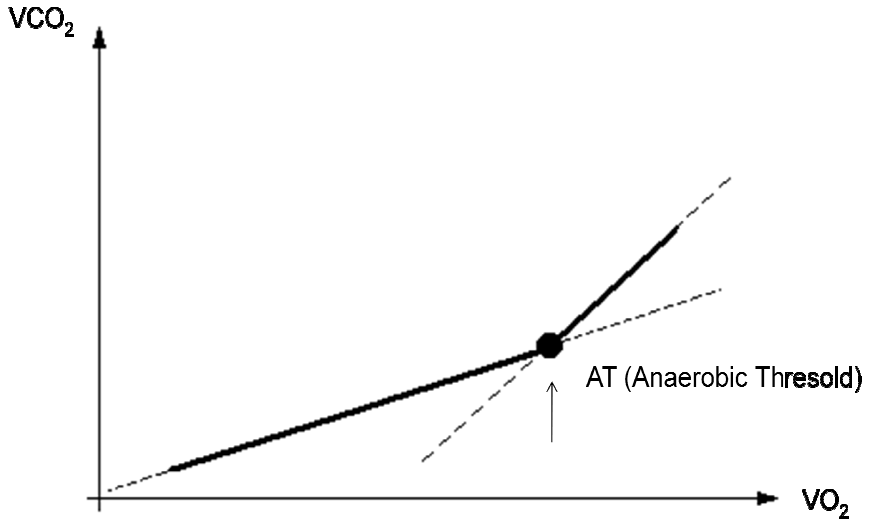


Abb. 7: Ventilatorische anaerobe Schwelle (AT) nach Beaver et al. (1986)

Die „V-Slope“-Methode von Beaver et al. (1986) wurde in der vorliegenden Studie zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) angewendet.

2.3.1.3 Laktabasierende Schwellenkonzepte

Von Mader et al. wurde 1974 erstmals die Blutlaktatkonzentration unabhängig von den respiratorischen Parametern zur Leistungsdiagnostik verwendet (Mader et al. 1976). Die Autoren definierten den Übergang zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben, laktaziden muskulären Energiestoffwechselleistung als „aerob–anaerobe Schwelle“ der Arbeitsmuskulatur.

Kindermann et al. (1978) trennen auf Grund ihrer Untersuchungen den Schwellenbereich in „aerob“ (2 mmol/l Laktat) und „anaerob“ (4 mmol/l Laktat). Der Bereich zwischen diesen Schwellen wurde von den Autoren als „aerob–anaerober Übergang“ bezeichnet.

Diese Schwellenkonzepte können in der Praxis für viele SportlerInnen zutreffend und zweckmäßig sein, stimmen jedoch oft nicht mit der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) überein. Über die Bestimmung der IAS mit Hilfe eines Stufentestes können die Trainingsintensitäten entsprechend der metabolischen Verhältnisse zielgerichtet geplant und durchgeführt werden. Aufgrund leistungsdiagnostischer Untersuchung ist eine entsprechende Zuordnung der Leistung und Herzfrequenz zur Laktatkonzentration möglich.

In der Literatur werden verschiedene Schwellenkonzepte beschrieben, die zusammenfassend in Tabelle 4 dargestellt sind.

Tab. 4: Übersicht über verschiedene Schwellenkonzepte und die Terminologie; verändert nach Gerwien et al. (2010)

Bezeichnung	*Konzept*	*Anmerkung*
Anaerobic (Lactate) treshold (LT)	Basiskonzept nach Wasserman; erster messbarer Anstieg der Blutlaktatkonzentration (etwa 1-2 mmol) bei körperlicher Belastung, gleichzeitig erster Anstieg der nicht metabolischen CO_2-Produktion; entspricht in der Regel der spiroergometrisch bestimmten ventilatorischen anaeroben Schwelle (VAT 1) mit definitivem Anstieg des Atemäquivalents	anhand der Blutlaktat-Konzentration methodisch schwer messbar; vergleichsweise geringe Reliabilität bezüglich der Leistung
Maximaler Laktat-Steady-State (MaxLass)	höchste Leistung mit noch stabiler Laktatkonzentration über eine Dauer von z. B. 30 Minuten	keine physiologisch eindeutige Definition; prognostische Bedeutung für die tatsächliche Leistungsfähigkeit unklar
Anaerobe Schwelle (Laktat 4mmol/l) (AT, AAS)	Leistung bei einer fix vorgegebenen Blutlaktatkonzentration (i. d. R. 4 mmol/l); entspricht in der Regel dem Respiratorischen Kompensationspunkt (RCP) mit Anstieg des Ventilationsäquivalents in der Spiroergometrie	methodisch robust, allerdings geringerer prognostischer Wert für die tatsächliche Ausdauerleistungsfähigkeit unklar
Individuelle anaerobe Schwelle (Laktat 3-6 mmol/l) (IAS/IAT)	Berücksichtigung der Laktat-Metabolisation nach Belastungsabbruch	Laktatspiegelmessung nach Belastung notwendig
Individuelle anaerobe Schwelle (Laktat 3-6 mmol/l) (IAS nach Dickhuth)	Nettoanstieg der Laktatkonzentration um eine Konstante (z. B. 1,5 mmol/l)	robustes Verfahren, viele Vergleichsdaten

Mit Entwicklung der Laktatmethode zur Darstellung der Leistungsfähigkeit erfolgte in sportmedizinischen Untersuchungszentren eine Abkehr von der Spiroergometrie als Routinemessmethode (Keul et al. 1979, Heck et al. 1985). Die Messung respiratorischer Parameter weist einen großen zeitlichen und messmethodischen Aufwand auf. Allerdings ist die Beurteilung der Stoffwechsellage bei der Spiroergometrie online, also über einen längeren Zeitraum möglich, und nicht nur zu einem bestimmten Zeitpunkt wie bei der Laktatbestimmung.
Auf Grundlage der anerkannten und über einen längeren Zeitraum schon bewährten Leistungsdiagnostik an Land wird im nächsten Abschnitt die Leistungsdiagnostik im Wasser beschrieben.

2.3.2 Leistungsdiagnostik im Wasser

Auf Grund des relativ jungen Forschungsinteresses an der Wirksamkeit der physikalischen Eigenschaften des Wassers auf den Organismus bei Belastung und der daraus resultierenden Frage bezüglich der Effektivität von Training im Wassers vs. an Land ist die aquale Leistungsdiagnostik noch nicht so praxiserprobt wie die an Land.
Im Schwimm- und Tauchsport ist man bemüht, eine sportartspezifische Leistungsdiagnostik durchzuführen. Neben dem Einfluss der physikalischen Eigenschaften muss eine Vielzahl von qualitativ und quantitativ unterschiedlichen Leistungen, die in verschiedenen Situationen erbracht werden müssen, berücksichtigt werden. Die wesentliche Leistung im Wasser ist die Fortbewegung.
Beim Tauchen wie auch beim Schwimmen wird immer wieder versucht, die Belastung quantitativ über die Geschwindigkeit zu definieren. Die Fahrrad- oder Laufbandergometrie an Land sind relativ sicher zu beschreibende Verfahren. Hier können Kraftvektoren, zurückgelegte Wegstrecken und benötigte Zeiten gemessen werden, aus denen sich dann die mechanische Leistung berechnen lässt (Jahns 2000). Bei Bewegungen im Wasser treten jedoch keine isolierten mechanischen Einzelkräfte auf. Vielmehr ist die Vortriebskraft (Druckwiderstand) eine Resultierende aus einer Summe von Einzelkräften in Schwimmrichtung, da die Vortriebs- und Widerstandskräfte ausschließlich dynamische Kräfte sind, welche aus der Bewegung als Folge von Strömungswiderständen entstehen. Sie sind daher in Betrag und Richtung nicht direkt messbar (Jahns 2000).
Seit einigen Jahren werden bei Schwimmern immer häufiger wissenschaftlich nachweisbare Verfahren zur Belastungssteuerung und Diagnostik angewendet. In

zahlreichen Studien wurden u. a. der Metabolismus (Obert et al.1992, Obert et al. 1996) sowie respiratorische Parameter (Obert et al. 1992, Shono et al. 1993) während der horizontalen Belastung untersucht. Die Leistungsdiagnostik erfolgt entweder über verschiedene Laktatstufentests (Pansold et al. 1994, Simon 1994) oder mit Hilfe der spirometrischen Messung im Wasser.

Laktatstufentest

Zur Ermittlung der Laktat-Leistungskurve wird in Deutschland vorrangig der Stufentest nach Pansold und Zinner (1994) durchgeführt (Tab. 5).

Tab.5: Testprotokoll streckenspezifische Stufentests über 100 m Pansold et al. (1994)

Stufe	Zahl der Strecken	Laktat (mmol/l)	Aktuelle Bestzeit %	Pause (min)	Serien-Pause (min)	Abnahme (min)
1	3	2-3	80	1	3	innerhalb der Serienpause
2	2	3-4	85	1	3	innerhalb der Serienpause
3	1	4-5	90		5	2:30-3:30
4	1	5-7	95		20-40	2:30-3:30
5	1	Max.	100			3.,5.,7.,10. (12. und 15.)

Olbrecht (2000) merkt in diesem Kontext an, dass die Laktatleistungsdiagnostik disziplinspezifisch entsprechend der individuellen Schwimmtechnik durchgeführt werden sollte, um entsprechend des Laktattestspiegels eine Optimierung für das Training im Kraul-, Rücken-, Brust- oder Schmetterlingstraining zu erreichen. Oftmals werden allerdings in der Praxis leistungsdiagnostische Befunde eines Stufentests in einer Schwimmtechnik unreflektiert auf andere Schwimmtechniken übertragen (Olbrecht 2000).

Spirometrische Messung

Die spirometrische Messung wird mit Hilfe handlicher Spirometriegeräte (Toussaint et al. 1987, Dal Monte et al. 1994) durchgeführt. Es erfolgt eine Online-Registrierung der respiratorischen Parameter während des Schwimmens oder auf einer definierten Stelle (Gegenstromanlage mit Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit). Treffene (1979) und Troup (1984) favorisieren schwimmspezifische Tests in einem 50m- Schwimmbecken. Die Parameter Laktat, Herzfrequenz und maximale Sauerstoffaufnahme müssen während maximaler oder submaximaler Belastung erfasst werden. Nur unter diesem Spezifitätsprinzip ist ihrer Meinung nach die Leistungsdiagnostik im Schwimmen zuverlässig und genau.

Die spirometrische Leistungsdiagnostik im Strömungskanal ermöglicht durch die Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs auf gleichen Belastungsstufen eine Einschätzung der Bewegungsökonomie und damit technischer Fertigkeiten (Reer et al. 2001). Allerdings ist diese Methode bezüglich ihrer Verwendung in großen Kohorten limitiert (Roberts 1991).

Die individuelle disziplinspezifische Leistungsdiagnostik im Schwimmen und deren Ableitungen für die Trainingspraxis stellt auch in der Gegenwart noch eine Herausforderung dar (Soliman 2007).

Madsen (1994) analysierte verschiedene Tauglichkeitstests und kam zu dem Schluss, für Taucher eine Art Schwimmtest als leistungsdiagnostisches Verfahren zu fordern. Die Schwimmbewegung kommt der Bewegung beim Tauchen am nächsten, so dass die bei der Leistungsdiagnostik erhobenen Werte am ehesten auf das Tauchen übertragen werden können. Baumgartl (1987) stellte in diesem Zusammenhang fest, dass Tauchen für eine Leistungsmessung ungeeignet ist, da keine zyklischen Bewegungen ausgeführt werden.

Im Aqua-Fitness-Bereich worden unter leistungsphysiologischen und sportmedizinischen Fragestellungen das Laufen im Tief- oder Flachwasser mit dem ergometrischen Laufbandlaufen an Land sowie das Radfahren im Wasser mit dem ergometrischen Fahrradfahren an Land verglichen.

Um grundsätzlich die Effektivität vom Training im Wasser mit dem Training an Land vergleichen zu können, bedient man sich aqualer Geräte, die nachfolgend beschrieben werden.

2.3.2.1 Aquale Geräte für ergometrischen Test im Wasser

Im Medium Wasser werden für vergleichende Untersuchungen Wassser vs. Land aquale Laufbäder oder Fahrräder eingesetzt.

Das aquale Laufband wird ausschließlich für Studienzwecke oder zur Rehabilitation verwendet. Ausgehend von spiroergometrischen Untersuchungen auf dem Fahrrad im Wasser entwickelte sich in den letzten 15 Jahren ein trendiges Gruppentraining auf diesem Gerät. Überwiegend in Heil- und Sportbädern werden Kurse auf Unterwasserstandrädern in Form von „Aquabiking“ angeboten (Hartmann 2008). Italien ist Protagonist dieser Art des Gerätetrainings. Weltweit sind bisher 21 unterschiedliche Unterwasserräder und 14 Unterwasserlaufbänder bekannt. Vier Unterwasserlaufbänder sind angetriebene mit Geschwindigkeitseinstellung, der Rest ist nicht angetrieben, also „passiv“ (Hartmann 2008).

Abb. 8: Fahrrad „Evolution“ der Firma nemcomed®

Es besteht aus hochwertigem Edelstahl (1.4401) und wiegt ca. 22 kg. Das Fahrradergometer ist CE 93/42 geprüft (Europäische Richtlinien für Medizinprodukte). Es ist höhenverstellbar für die Wassertiefen 110-150 cm. In der horizontalen Ebene kann der Sattel sowie der Lenker verstellt werden. Es können unterschiedliche „Bremsstufen“ eingestellt werden. Die Möglichkeit der stufenlosen Einstellung erreicht man über die Justierung der Becher an den jeweiligen Positionen (Loch 1-5) der Lochstange. Je drehpunktnaher die Becher, desto geringer der Widerstand.

Abb. 9: Aquabike „PROFESSIONAL“

Beim Aquabike „PROFESSIONAL“ kann der Widerstand in 3 Stufen reguliert werden: leicht, mittel und intensiv. Zusätzliche Wasserwiderstandserhöhungen sind durch höhere Trittfrequenzen realisierbar. Sattel und Lenker lassen sich zur individuellen Benutzeranpassung vertikal und horizontal verstellen. Maße (LxBxH) 130 x 60 x 140 cm, Gewicht ca. 22,5 kg.

Abb.10: „SharkeBike“ der Firma BECO

Geprüftes Medizinprodukt zum Einsatz in Therapie, Fitness und Leistungssport

- Ideale Einsatztiefe: 1,20-1,70 cm
- Belastbarkeit bis 150 Kilo
- Vertikale und horizontale Lenkerverstellung
- Nummerierung der 13-fach verstellbaren Sitzhöhe
- Nummerierung der 10-fach verstellbaren Lenkerhöhe
- Schaufelsystem ermöglicht in 5 Widerstandsstufen einen runden Tritt
- Schlaufensystem der Pedale ermöglicht ergonomische Beinführung und festen Halt

Abb. 11: Unterwasserlaufband „Hydroworx 1100“

Beschreibung: Die bestehende Bodenoberfläche lässt sich bis auf 3 m senken. Das Laufband kann als geschwindigkeitsvariables, wiederverwendbares Laufband, mit einer Geschwindigkeitsskala von einem langsamen Tempo bis 16 km/h, genutzt werden. Das HydroWorx ist aus rostfreiem Stahl.

Abb. 12 und 13: Unterwasser-Laufband der Fa. SimpCo

Beschreibung :
Das Unterwasserlaufband ist individuell anpassbar je nach Becken- und Raumhöhe. Es wiegt ca. 180 kg. Die nutzbaren Laufbandmaße betragen: ca. L = 1,7 m x 0,7 m. Die Laufbandgeschwindigkeit kann von 0–10 km/h stufenlos über ein Bedienpult reversierbar reguliert werden.

Im nächsten Abschnitt werden vergleichende Untersuchungen Wasser vs. Land unter leistungsphysiologischen Aspekten mit den beschriebenen aqualen Geräten vorgestellt. Auch wenn bisher noch kein Unterwasserfahrrad existiert, mit dem die bei körperlicher Beanspruchung erbrachte Leistung (wie beim Fahrradergometer an Land) gemessen und angezeigt werden kann, wird der Begriff Fahrradergometer im Wasser (auch häufig in der Literatur zu finden) verwendet.

2.3.2.2 Vergleichende Untersuchungen Wasser vs. Land

Auf Grund der problematischen Handhabung einer tätigkeitsspezifischen Leistungsdiagnostik im Wasser werden in der Literatur Studien beschrieben, deren Untersuchungsmethoden teilweise gravierend differieren. Demzufolge müssen die Ergebnisse kritisch betrachtet werden. Die nachfolgende Zusammenfassung von Studien über vergleichende Untersuchungen Wasser vs. Land umfasst den:

- Vergleich von sportartspezifischen Bewegungen im Wasser mit ergometrischen Untersuchungen an Land (Tab. 6)
- Vergleich spiroergometrischer Untersuchungen im Wasser vs. an Land (Tab. 7/1 und 7/2)
- Vergleich von Aqua-Jogging (Tiefwasser)/Aqua-Fitness mit Ergometrie oder Bewegungen an Land (Tab. 8)

Tab. 6: Studienübersicht Vergleich von sportartspezifischer Bewegung im Wasser mit ergometrischen Untersuchungen an Land

Autor	*Methode*	*Ergebnis*
Mc Ardle et al. (1971)	Vgl. O_2-Verbrauch und Herzfrequenz beim freien Schwimmen und beim Laufen auf dem Laufband an Land	- maximale Herzfrequenz war beim Laufen höher als beim Schwimmen - Herzfrequenz und O_2-Verbrauch sind bei beiden Disziplinen linear voneinander abhängig sind
Holmer (1972) und Magel (1971)	Schwimmen im Vergleich zum Radfahren oder zum Laufen an Land	signifikant niedrigere Herzfrequenz und maximale Sauerstoffaufnahme beim Schwimmen
Simon und Thiesemann (1986)	Vgl. stufenweiser bis maximaler aufsteigender Fahrradergometrie an Land vs. stufenweiser bis maximaler aufsteigender Schwimmbelastung	im Schwimmen geringere Herzfrequenzen– und Laktatkonzentrationen

Tab. 7/1: Studienübersicht Vergleich spiroergometrische Untersuchungen im Wasser vs. Land

Autor	*Methode*	*Ergebnis*
Dwyer und Pilmanis (1978)	Vergleich Fahrradergometrie an Land mit Tauchergometrie in unterschiedlichen Tiefen bis 30 m bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten	Herzfrequenz war abhängig von der Belastung und nicht von der Tiefe
Perini et al. (1998)	Vergleich Fahrradergometrie Wasser vs. Land; Eintauchtiefe im Wasser: Kinnhöhe; 30 °C; n = 7	-Herzfrequenz nahm geradlinig mit dem Sauerstoff-Auffassungsvermögen zu -kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der maximalen Sauerstoffaufnahme
Sheldahl et al. (1992)	Vergleich Fahrradergometrie im Wasser vs. Land bei 40, 60 %, 80 % und 100% von VO_{2peak}	-kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der maximalen Sauerstoffaufnahme -ANP war im Wasser bei 40% von VO_{2peak} höher als an Land
Connelly et al. (1990)	Vergleich Fahrradergometrie im Wasser vs. Land bei 40 %, 60 %, 80 % und 100 % der VO_{2peak}	-kein signifikanter Unterschied hinsichtlich VO_{2peak} im Wasser und an Land -im submaximalen Bereich war Adrenalin und Laktat an Land und im Wasser signifikant gleich, bei maximaler Ausbelastung im Wasser beide signifikant reduziert -Herzfrequenz war bei 60 %, 80 % und 100 % der maximalen Sauerstoffaufnahme im Wasser signifikant niedriger als an Land -RQ war während der Belastung im Wasser geringer als an Land

Tab. 7/2: Studienübersicht Vergleich spiroergometrische Untersuchungen im Wasser vs. Land

Autor	*Methode*	*Ergebnis*
Christie et al. (1990)	Vergleich Fahrradergometrie im Wasser vs. Land bei 40 %, 60 %, 80 % und 100 % der VO_{2max}	-kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der maximalen Sauerstoffaufnahme und im Blutdruckverhalten im Wasser und an Land -Herzfrequenz war bei 40 % und 60 % der VO_{2max} gleich; bei 80 % und 100 % der VO_{2max} im Wasser signifikant niedriger als an Land
Frangolias und Rhodes (1995)	Vgl. Laufband Wasser vs. Land	bei gleichem Laktatmaximalwert Wasser vs. Land niedrigerer Sauerstoffverbrauch im Wasser
Darby und Yaekle (2000)	Vgl. Laufband Wasser vs. Laufband Land	im Wasser höhere VO_2 als an Land (bei gleicher Intensität 20,13 vs. 16,27 ml/min/kg)

Tab. 8: Vergleich von Aqua-Jogging (Tiefwasser)/Aqua-Fitness mit Ergometrie oder Bewegungen an Land

Autor	*Methode*	*Ergebnis*
Navia (1986), Ritchie und Hopkins (1991), Schlumberger et al. (1997), Eckerson und Anderson (1992), Völker (1993)	Vgl. Laufbandlaufen an Land mit Aqua-Jogging	Herzfrequenz bei Belastungen im Wasser ist niedriger als bei Belastungen an Land
Svendenhag und Seger (1992), Brown et al. (1996), Dowzer et al. (1999), Frangolias et al. (2000), Town und Bradley (1991)	Vgl. Laufbandlaufen an Land mit Aqua-Jogging	im Wasser geringere VO_{2max} als an Land
Strength et al. (2007)	Vgl. von „Schaukel" an Land, Immersion bis zur Hüfte, Immersion bis zur Brust (Belastung: 6 min)	-RPE signifikant bei Immersion bis zur Hüfte höher als Übung an Land und Immersion bis zur Brust -max. Herzfrequenz war bei Immersion bis zur Brust signifikant geringer als bei Immersion bis zur Hüfte und an Land -Energieumsatz war signifikant an Land höher als im Wasser
Wilber et al. (1995)	Wie reagieren an Land trainierte Teilnehmer, die kein Training im Wasser kannten, physiologisch auf das Laufbandlaufen im Vergleich zum Tiefwasserlaufen? Beide Gruppen wurden 60 Minuten lang bei 70-75 % der VO_{2max} getestet. Die Tiefwasserläufer trugen Auftriebsgürtel, und die Landläufer wurden auf einem Laufband getestet.	-bei gleicher VO_{2max} war die Herzfrequenz um 14 % bei den Tiefwasserläufern geringer als bei der Laufbandgruppe -die Laktatwerte waren beim Training im Wasser um 31 % höher

Die in der Literatur aufgeführten Untersuchungsergebnisse zur Wirksamkeit der physikalischen Eigenschaften auf den Organismus bei Belastung im Wasser sind

teilweise kontrovers, da die mechanische Leistung im Wasser nicht ohne weiteres messbar und die Gewinnung von Daten kardiopulmonaler und metabolischer Art unter Wasser erschwert ist.

Kritisch müssen die Studienergebnisse hinsichtlich eines Vergleiches von Aqua-Jogging vs. Laufbandlaufen an Land betrachtet werden. An Land bewegt der Trainierende seinen Körper gegen den Luftwiderstand. Im Wasser muss der Teilnehmer einen Widerstand überwinden (Dichte im Wasser ist 700 bis 1000-mal höher gegenüber Land), der sich mit der Geschwindigkeit der Bewegung potenziert. Evans et al. (1978) fanden heraus, dass beim Joggen im hüfttiefen Wasser aufgrund der Muskelkraft die nötig ist um durch das Wasser zu laufen, ungefähr die Hälfte bis ein Drittel des Tempos, das man an Land für diese Art der Fortbewegung schafft, im Wasser den gleichen Grad an Energieverbrauch nach sich zieht. Costill (1971) stellte fest, dass die Trainingsintensitäten im Wasser proportional zur Widerstandsfläche steigen und dass das Tempo dieser Bewegung vom Grad der Muskelkraft abhängt. Die Laufleistung an Land wird vorrangig durch die kardio-pulmonale Situation beeinflusst. Um eine Bewegung intensiver im Sinne der Erhöhung der Geschwindigkeit durchzuführen, muss der Teilnehmer einen höheren Kraftaufwand betreiben. Verfügt der Teilnehmer nicht über die nötige Stabilität (Wassertiefe, Muskulatur), wird er kaum in der Lage sein, seine vorhandene Kraft in Geschwindigkeit umzusetzen.
Zudem werden beim Laufen an Land und beim Wasser-Jogging verschiedene Muskeln beansprucht (Svedenhag et al. 1992).

Zu hinterfragen ist ferner, ob das Laufen auf einem Unterwasserlaufband im Wasser mit dem Laufbandlaufen an Land unter standardisierten Bedingungen vergleichbar ist. In der Literatur werden vorrangig Studien beschrieben, die diese Bewegungsform Wasser vs. Land im ergometrischen Test miteinander vergleichen (z. B. Hall et al. 1998, Darby und Yaekle 2000, Frangolias und Rhodes 1995, Shono et al. 2000, Shimizu et al. 2003, Wilber et al. 1995, Michaud et al. 1995, DeMaere et al. 1997, Silvers et al. 2007).
In Abhängigkeit von der Wassertiefe variiert die Lauftechnik. Im brusttiefen Wasser mit Bodenkontakt gehen die Forscher von einer auftriebsbedingten „Flugphase“ aus, die im hüfttiefen Wasser fehlt. Je nach Körper-Typ wird die Zeit der Flugphase beim Laufen im flachen Wasser verschieden sein (Napoletan und Hicks 1997).

Brown et al. (1997) verglichen die physiologischen Reaktionen von Männern und Frauen beim Laufbandlaufen im Wasser mit dem Laufbandlaufen an Land. Es wurde das gleiche Tempo vorgegeben. Die physiologische Antwort der Probanden war im Wasser bedeutsam größer als an Land. Die Autoren schließen daraus, dass bei gleichem Rhythmus im Wasser ein wesentlich höherer Energieaufwand als an Land notwendig wurde. Shono et al. (2000) beschreiben bei vergleichbaren Energieverbrauch im Wasser ein um die Hälfte bis zu einem Drittel geringes Tempo als an Land.
Frangolias et al. (1996) und Michaud et al. (1995) gehen zudem davon aus, dass der Übungsgrad der Lauftechnik im Wasser eine wesentliche Rolle auf die VO_{2max} hat. Technisch Versierte erreichten im Wasser 93 % der VO_{2max} (Land) und weniger Geübte erreichten im Wasser 84 % der VO_{2max} (Land).
Aussagen über eine Standardisierung der Schrittamplitude Wasser vs. Land bei vorgegebener Laufgeschwindigkeit konnten in der Literatur nicht gefunden werden.

Bisher wurden nur wenige Studien zu vergleichenden Untersuchungen Wasser vs. Land im fahrradergometrischen Test (Christie et al. 1990, Perini et al. 1998, Sheldahl et al.1992, Mc Ardele 1976, Connelly et al. 1990) veröffentlicht. Fenzl et al. (2005) stellten in ihrer Literaturrecherche fest, dass im Wasser identische und sehr ähnliche Testgeräte verwendet wurden (modifiziertes Monark-Fahrrad nach Morlock und Dressendorfer 1974). Die Analyse der Studien ergab eine identische Körperposition (Kinnhöhe) im Wasser sowie eine hohe Übereinstimmung in den Bewegungsmustern (z.B. Lokalisation und Umfang der Muskelgruppen, Bewegungskoordination). Die beschriebenen biomechanischen Voraussetzungen für die Bewegungsabläufe dürften nach Fenzl et al. (2005) den wesentlichen Grund dafür ausmachen, dass die Literaturauswertung im Durchschnitt nur einen sehr geringen VO_{2max}-Unterschied im Wasser/Land-Vergleich ergab. Die Autoren vertreten die Auffassung, dass kardiopulmonale und hämodynamische Besonderheiten für eventuelle VO_{2max}-Differenzen (Wasser: 3,19 ± 0,35 l/min; Land: 3,24 ± 0,36 l/min) zwischen Belastungen im Wasser und an Land kaum eine Rolle spielen und somit die im Referenztest ermittelte VO_{2max} an Land auf die Verhältnisse im Wasser übertragen werden können.

Die erheblich variierenden Ergebnisse bezüglich der Herzfrequenzanpassung bei Immersion ohne und mit Belastung (vgl. Kapitel 2.2.2) deuten darauf hin, dass diese scheinbar individuell (Hartmann 2008) und komplex (Hahn et al. 2009, Meuche 2009)

im Wasser geregelt wird. Nicht zu vernachlässigen ist in diesem Zusammenhang der Einfluss der thermischen Reize des Wassers sowie die Regulationsmechanismen des Organismus auf den immersionsinduzierten erhöhten venösen Rückstrom (Kapitel 7).

In der Praxis wird zur Evaluation und Kontrolle der körperlichen Beanspruchung im Wasser primär auf den Verlauf der Herzschlagfrequenz zurückgegriffen (Hahn et al. 2003). Eine allgemein gültige Belastungsempfehlung für das Training im Wasser kann bis jetzt noch nicht gegeben werden.
Unter Berücksichtigung dessen findet man in der Literatur vermehrt Forderungen nach der Entwicklung eines aqualen standardisierten leistungsdiagnostischen Testinstruments, um Belastungen im Wasser und an Land und damit die körperliche Beanspruchung miteinander vergleichen zu können.
Die Komplexität der Leistungsdiagnostik im Wasser und die Vielzahl der internen (Energiestoffwechsel und muskuläre Beanspruchung: Konstantaki und Swaine 1999) und externen Beeinflussungsfaktoren (Wassertemperatur: Mougios und Deligiannis 1993; Wassertiefe: Brooks et al. 1992, Quintana et al. 1997; Ernährung: Balsom et al. 1993, Volker et al. 1996, Maughan 1995, Johnson et al. 2002, Fujieda et al. 2002) erschwert die Standardisierung und die Kontrolle biochemischer und kardiovaskulärer Parameter. Zudem spielen die individuellen Unterschiede hinsichtlich der Körperzusammensetzung, Hebelverhältnisse und Körperfläche im Wasser bei leistungsdiagnostischen Untersuchungen eine größere Rolle als an Land.

3 Aufgabe- und Fragestellung, Hypothese

Anhand der vorangegangen Ausführungen wurde deutlich, dass Unsicherheit in der Fachwelt hinsichtlich der physiologischen Antwortreaktion unter Belastung im Wasser besteht.

Ein erstes Ziel der vorliegenden Arbeit bestand in der Entwicklung eines aqualen ergometrischen Tests.
Mit Hilfe des entwickelten Testinstruments sollen die Reaktionen des Organismus auf ansteigende Belastungen im Wasser mit entsprechenden Belastungen an Land untersucht und verglichen werden.
Ein besonderes Interesse dieser Studie bestand in der Klärung des Einflusses des Atrial natriuretischen Peptids (ANP) auf die Lipolyse und auf die Lipidoxidation bei Immersion mit Belastung.

Aus dem Ziel der vorliegenden Arbeit leitet sich folgende zentrale Fragestellung ab, die näher untersucht und beantwortet werden soll:

Wie unterscheidet sich die körperliche Beanspruchung an Land und im Wasser?

Ausgehend von der allgemeinen Fragestellung lassen sich für die vorliegende Problemstellung spezielle Fragen ableiten. Für einige dieser Fragestellungen werden Hypothesen generiert.

1. Unterscheiden sich die Leistungsparameter Blutdruck und Herzfrequenz?

Hypothese 1:
Da der Blutdruck (RR) in Ruhe bei Immersion geringer ist als an Land (Kaiser et al. 1963, Skipka et al. 1976, Gauer 1978, Guyton 1977), wird angenommen, dass auch mit steigender Belastung die RR-Werte im Wasser geringer sind als an Land.

Hypothese 2:
Es wird ein Unterschied zwischen dem Herzfrequenzverhalten an Land und im Wasser bei vergleichbarer Belastung vermutet.

2. Unterscheiden sich die Stoffwechselparameter Glukose, freie Fettsäuren, Laktat und Respiratorischer Quotient?

3. Unterscheiden sich die neurohumoralen Parameter Adrenalin, Noradrenalin, ANP (Atrial natriuretisches Peptid)?

4. **Hat ANP Einfluss auf die Lipolyse bei Belastung im Wasser?**

Hypothese 3:
Auf Grund des nachgewiesenen lipolytischen Effekts von ANP (Sengenès et al. 2000, Birkenfeld et al. 2005) sowie der erhöhten Freisetzung von ANP bei Immersion (Held et al. 1992, Ogihara et al. 2002) wird bei vergleichbarer Belastung Wasser vs. Land eine gesteigerte Lipidoxidation im Wasser erwartet.

5. Gibt es Hauptunterschiede in der Aktivität der Beinmuskulatur?

4 Testentwicklung

Wie in den vorangegangenen Ausführungen formuliert, fehlt bis zum jetzigen Zeitpunkt ein Verfahren, mit dem die mechanische Leistung im Wasser unter standardisierten Bedingungen gemessen werden kann. Bei der Entwicklung eines Inventars, um die körperliche Beanspruchung im Wasser und an Land bei vergleichbarer Belastung untersuchen zu können, stellten folgende Kriterien eine besondere Herausforderung dar:

1. Anpassung von Bewegungsmustern im Wasser mit denen an Land (laufband- oder fahrradergometrischer Test)
2. Anpassung der Belastungsstufen im Wasser und an Land

1. Anpassung von Bewegungsmustern im Wasser vergleichbar mit denen an Land

Entscheidung Testinstrument :

Auf Grund der Literaturrecherche (Kapitel 2.3.2.2) und des Untersuchungsdesigns der vorliegenden Studie (z. B. Eintauchtiefe bis zum Xiphoid)[9] entschied sich das Forschungsteam für das aquale Fahrrad (Beschreibung Kapitel 2.3.2.1).

2. Anpassung der Belastungsstufen im Wasser und an Land

Insgesamt erfolgten 7 Testserien (im folgenden Pilotstudie genannt) mit 6 Probanden, die im Folgenden näher beschrieben werden. Es wurden zahlreiche Zielkriterien (hämodynamisch, metabolisch, hormonell) erhoben, die über eine übliche leistungsdiagnostische Untersuchung hinausgehen.

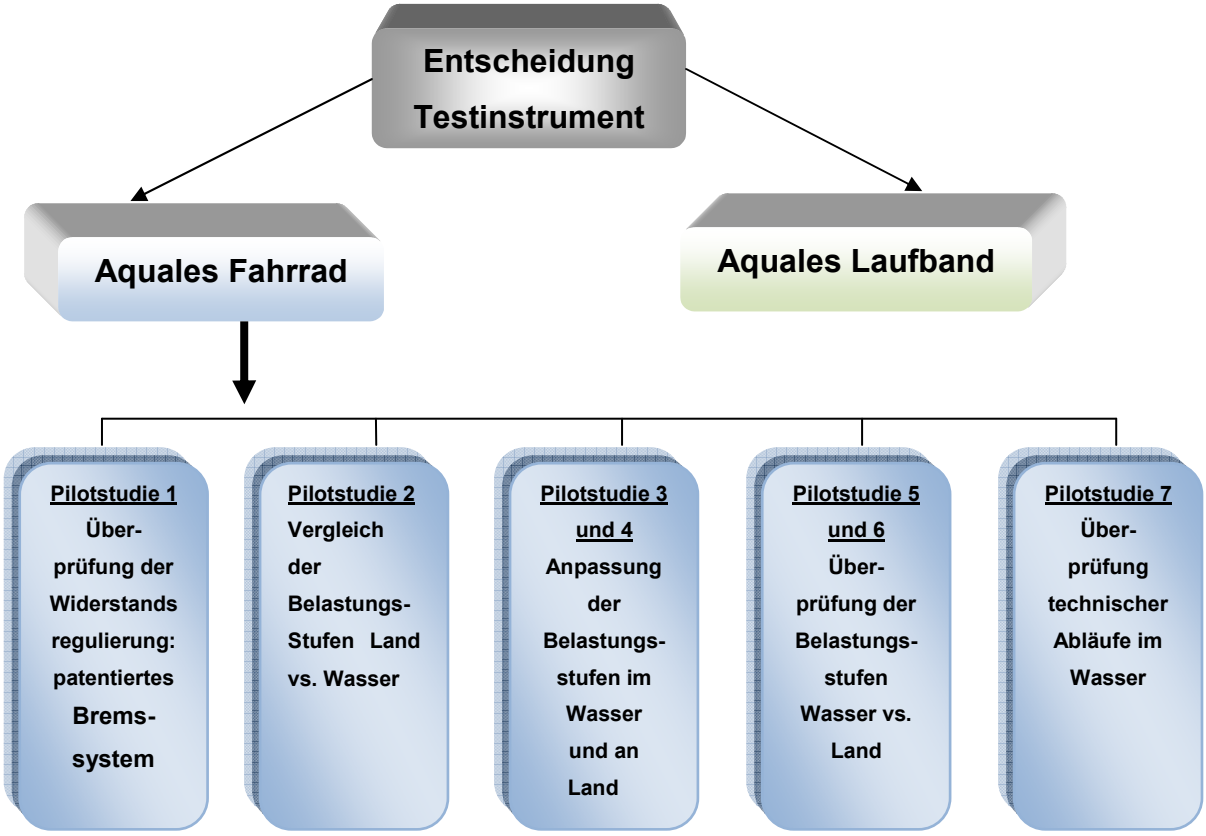


Abb.14: Übersicht Testentwicklung (eigene Darstellung)

9 Eintauchtiefe bis zum Xiphoid - da in dieser Eintauchtiefe in der Literatur relevante Veränderungen bei Leistungs- und Stoffwechselparametern beschrieben werden.

Pilotstudie 1 (Wasser)

Ziel:

Überprüfung der Widerstandsregulierung - patentiertes Bremssystem (Becherpositionen) bei einer Umdrehungszahl von 60 pro Minute[10].

Zielkriterien Test 1-6 (in Ruhe, während der Belastung und nach der Belastung):

- ANP, Glucose, freie Fettsäuren (FFS), Glyzerol, Laktat
- Blutdruck (RR)
- Herzfrequenz (HF)
- Atemgase (O_2-Aufnahme, CO_2-Abgabe, Respiratorischer Quotient = RQ, Atemzeitvolumen = AZV, Atemfrequenz = AF)

Probanden Test 1–2:

zwei gesunde, normalgewichtige Frauen (34 und 39 Jahre)

Erläuterung:

Laut Hersteller ist es möglich, die Becher an den 3 Flügeln der Bremse (pro Flügel 5 Abstandpunkte) so zu positionieren, dass eine Einstellung von 50 bis 225 Watt möglich ist.

Das Team berechnete nach eigenen Aussagen aufwendig den Bremswiderstand (besondere Becherform als Bremswiderstand) und kam zu dem Entschluss, über die kinetische Energie die Menge der verdrängten Wasserteilchen zu finden.

Daraus ergibt sich folgende Formel für die kinetische Energie, die in beschleunigten Wasserteilchen steckt:

Kinetische Energie

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

Wasserwiderstand:

$$F_W = 1/2 * A * Cw * r * v^2$$

Daraus leitet sich folgende Empfehlung zur Einstellung der Widerstände mit einem Becher/bzw. 2 Bechern und bei gleicher Umdrehungszahl (60 Umdrehungen pro Minute) ab:

10 Empfehlung des Herstellers

Position 1	(Loch 1)	entsprechen	50 Watt an Land
Position 2	(Loch 2)	entsprechen	100 Watt an Land
Position 3	(Loch 3)	entsprechen	150 Watt an Land
Position 4	(Loch 4)	entsprechen	200 Watt an Land
Position 5	(Loch 5)	entsprechen	200 Watt an Land
Position 6	(Loch 3 und 5)	entsprechen	225 Watt an Land

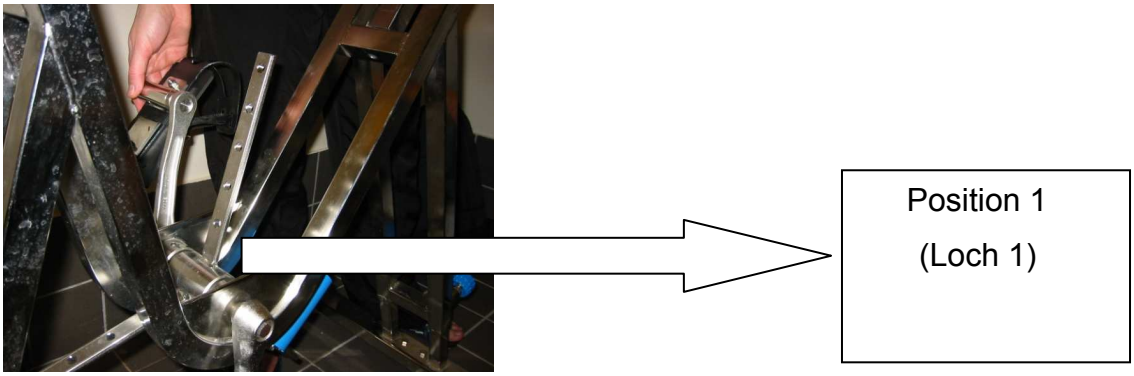


Abb. 15: Flügel mit 5 verschiedenen Abstandpunkten (Positionen = Loch)

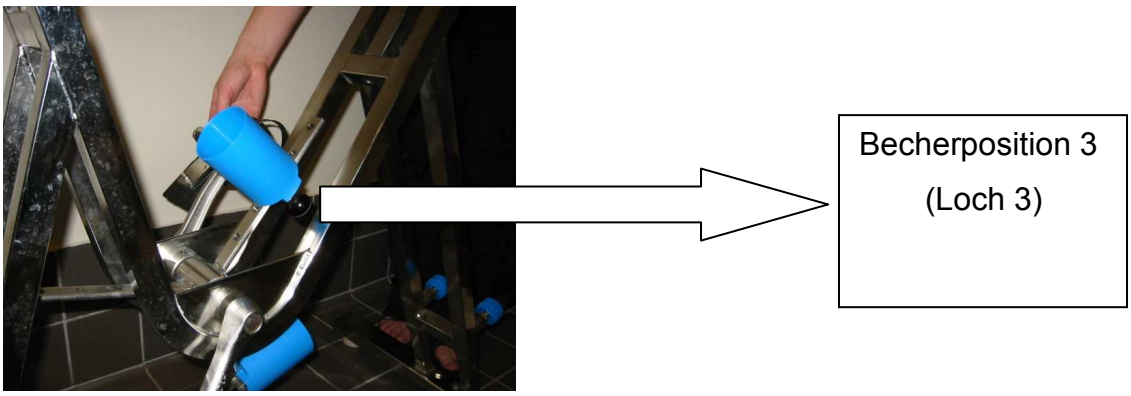


Abb. 16: Justierung des Bremswiderstandes (Becher) in Position 3 (Loch 3)

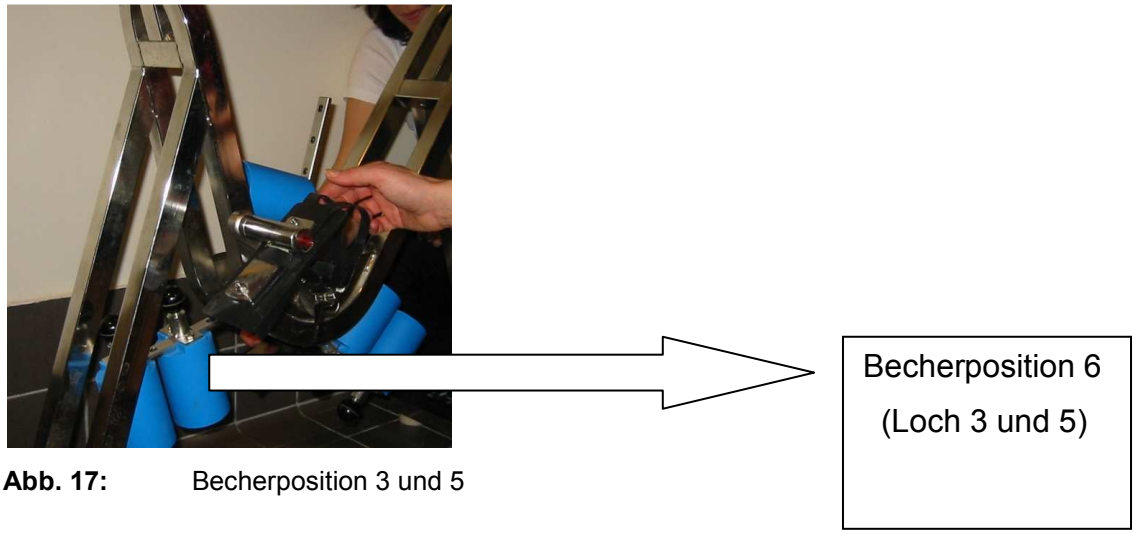


Abb. 17: Becherposition 3 und 5

Ablauf:

Die zwei weiblichen Probanden fuhren insgesamt 6 Stufen à 7 min (Stufe 1-5 = Becherposition 1-5; Stufe 6 = Becherposition 3 und 5) bei gleicher Umdrehungszahl (60 Umdrehungen pro Minute). 30 s vor Ende der Stufe wurden die Zielparameter erhoben.

Als Taktgeber für die Umdrehungszahlen wurde ein Metronom verwendet.

Ergebnis:

Schon im 1. Testdurchlauf konnte anhand der erhobenen Parameter festgestellt werden, dass die Empfehlungen des Herstellers nicht unseren Ergebnissen entsprachen. Bei Veränderung der Becherpositionen (und somit des Widerstandes) bei gleicher Umdrehungszahl (60 Umdrehungen pro min) erfolgte keine physiologische Antwort des Organismus hinsichtlich RQ, Laktat, HF und RR bei Becherposition 1-3. Laut Angabe des Herstellers des aqualen Ergometers wird bei dieser Einstellung eine vergleichbare mechanische Leistung wie an Land von 50-150 Watt erreicht. Auf Grund der Diskrepanz zwischen unseren Untersuchungsergebnissen und der Belastungsempfehlungen des Herstellers wurde im 2. Pilottest die Geschwindigkeit beim Test im Wasser erhöht und variiert. Dressendorf und Morlock (1976) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass bei gleicher Umdrehungszahl und verschiedenen Widerständen (vergleichbar mit Veränderung der Becherpositionen bzw. -anzahl) die Geschwindigkeit einen höheren Einfluss auf die physiologische Antwort des Organismus hat. Sie fanden eine hohe Korrelation zwischen der Sauerstoffaufnahme (l/min) und der Trittfrequenz pro Minute.

Pilotstudie 2 (Land/Wasser)

Ziel:

Vergleich der Belastungsstufen an Land (Wattzahl und Umdrehungszahl) mit Belastungsstufen im Wasser (Becherposition und Umdrehungszahl)

Ablauf Test Land:

5 Stufen à 5 Minuten (50-250 Watt), Umdrehungszahl 70-90 pro Minute, eine Minute Pause (30 s vor Stufenende Messung der Zielkriterien)

Erläuterung:

Die Anfangsstufe mit 50 Watt sowie die Belastungszeit von 5 min wurden an die in der Literatur beschriebene Belastungsmethodik (Perini et al. 1998, Sheldahl et al. 1992) angepasst (Vergleichbarkeit der Ergebnisse).

Ablauf Test Wasser:

5 Stufen à 5 Minuten (Becherposition 1-5), Umdrehungszahl 70-90 pro Minute, eine Minute Pause (30 s vor Stufenende Messung der Zielkriterien)

Es erfolgten mehrere Testreihen über einen Zeitraum von einem Monat. Die Belastungsnormative worden bei der Testung im Wasser hinsichtlich der Becherpositionen und/oder der Umdrehungszahlen variiert und mit den Werten an Land verglichen.

Abb. 18: Testperson 34 Jahre

Ergebnis:

Auf Grundlage der bisher in der Literatur beschriebenen Studienergebnisse (Christie et al. 1990, Sheldahl et al. 1984, Perini et al. 1998 – kein Unterschied in der Sauerstoffaufnahme beim Vergleich Fahrradfahren im Wasser vs. Land) entschied sich das Team der vorliegenden Studie die Belastungsstufen im Wasser und an Land entsprechend des jeweiligen Sauerstoffverbrauchs anzugleichen (biologische Kalibrierung). Fenzl et al. (2005) gehen nach ausführlicher Literaturrecherche (Wasserfahrrad vs. Fahrradfahren an Land) davon aus, dass sich die an Land gewonnenen VO_{2max}-Werte direkt auf die Wassersituation übertragen lassen.

In Hinblick auf die Auswahl der Probanden für die Durchführung eines spiroergometrischen Stufentests Wasser vs. Land wurden 2 männliche Testpersonen rekrutiert, die den Einschlusskriterien der vorliegenden Studie entsprachen.

Pilotstudie 3 und 4 (Wasser/Land)

Ziel:

Anpassung der Belastungsstufen im Wasser und an Land anhand der gemessenen Sauerstoffaufnahme

Probanden:

zwei gesunde, normalgewichtige Männer (28 und 30 Jahre)

Ablauf:

Entsprechend derselben Sauerstoffaufnahme (biologische Eichung) Land vs. Wasser wurde die Einstellung der Belastungsstufen an Land (Wattzahl und Umdrehungszahl) und im Wasser (Becherpositionen und Umdrehungszahl) vorgenommen.

Ergebnis:

Bei folgenden Abstufungen konnte ein vergleichbarer Sauerstoffverbrauch im Wasser und an Land festgestellt werden:

Tab. 9: Festlegung der Belastungsstufen Wasser/Land

Stufe	VO_2 ml/min/kg (MW ± SD)	Wasser	Land
1	12,91 ± 2,36	1 Becher Loch 1 70 UDZ/min	50 Watt 70 UDZ/min
2	19,75 ± 2,78	1 Becher Loch 3 80 UDZ/min	100 Watt 80 UDZ/min
3	27,45 ± 1,99	1 Becher Loch 5 80 UDZ/min	150 Watt 80 UDZ/min
4	33,92 ± 2,11	2 Becher Loch 3 und 5 80 UDZ/min	200 Watt 80 UDZ/min
5	41,49 ± 2,86	2 Becher Loch 3 und 5 90 UDZ/min	250 Watt 90 UDZ/min

Pilotstudie 5 und 6 (Wasser/Land)

Ziel:

Überprüfung der Belastungsstufen Wasser vs. Land

Probanden:

zwei gesunde, normalgewichtige Männer (27 und 32 Jahre)

Abb. 19: Testperson SE im Wasser 27 Jahre

Abb. 20: Testperson SE an Land 27 Jahre

Pilotstudie 7 (Wasser)

Ziel:

Überprüfung technischer Ablauf im Wasser

Probanden:

eine gesunde, normalgewichtige Frau (36 Jahre); ein gesunder, normalgewichtiger Mann (31 Jahre)

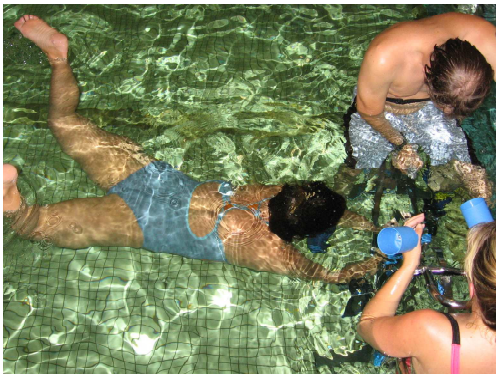


Abb. 21: Veränderung der Becherpositionen (Widerstand) während der Pause (1 min)

Nach Abschluss der Testentwicklung erfolgte die Rekrutierung der Probanden.

5 Methode und Material

Die Probanden absolvierten in randomisierter Reihenfolge einen spiroergometrischen Stufentest an Land und im Wasser. Die vorliegende Studie ist Bestandteil einer Pilotstudie des Franz-Volhard Centrums für Klinische Forschung (Charité in Berlin-Buch), in der der Einfluss der physikalischen Eigenschaften auf den sich bewegenden Körper und damit auf den Organismus im Wasser untersucht wurde.

Ethikkommission

Das Studiendesign wurde der Ethikkommission der Charité Berlin vorgelegt und am 01.06.2005 von ihr bestätigt.

5.1 Probanden

An der vorliegenden Studie nahmen 17 normalgewichtige Männer (BMI = Body Mass Index 24 ± 1,7 kg/m^2, Körperfettanteil 17 ± 6,7 %, Alter 31 ± 3,6) teil. Die Probanden waren in ihrer Freizeit moderat körperlich aktiv (1-2 h die Woche Training).
Für die Teilnahme an der Studie war Vorbedingung, dass alle Teilnehmer in der Lage waren, einen Ausbelastungstest absolvieren zu können.

5.1.1 Einschlusskriterien

Einschlusskriterien:

- Männer
- Alter ≥ 20 und ≤ 40 Jahre
- Body Mass Index ≤ 27 kg/m^2
- keine chronische Medikamenteneinnahme
- Einwilligungserklärung

5.1.2 Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien:

- Krankheiten oder Funktionsstörungen, die nach Meinung des Prüfarztes eine Teilnahme an einer klinischen Prüfung ausschließen
- sämtliche behandlungsbedürftige chronische Erkrankungen
- postoperative Phasen
- akute und chronische Infektionen
- Geschäftsunfähigkeit oder sonstige Umstände, die es dem Probanden nicht ermöglichen, Wesen, Bedeutung und Tragweite dieser klinischen Prüfung vollständig zu verstehen
- bekannter Medikamenten-, Drogen- oder Alkoholabusus
- Teilnahme an einer klinischen Prüfung in den letzten 4 Wochen

5.2 Untersuchungsablauf

Es folgen Ausführungen zur allgemeinen Vorbereitung und Durchführung der fahrradergometrischen Testung an Land und im Wasser.
Die Vorbereitung sowie die Durchführung an Land und im Wasser bestanden aus 3 Abschnitten und fanden unter standardisierten Bedingungen statt.

5.2.1 Vorbereitung

Zwischen den beiden Untersuchungen (Test Wasser/Test Land) lag ein Abstand von mindestens 3 und höchstens 10 Tagen.
Um Standardbedingungen zu gewährleisten, wurden die Teilnehmer angewiesen, 48 Stunden vor Testbeginn keine sportlichen Betätigungen durchzuführen und auf den Genuss von Alkohol und Koffein enthaltende Getränke sowie auf das Rauchen zu verzichten.
Am Test-Tag nahmen die Probanden 4 Stunden vor Beginn der Belastung eine standardisierte Mahlzeit zu sich (75 g Kohlenhydrate = 2 Brötchen mit Marmelade).

5.2.2 Untersuchungsdesign

Die Belastungsuntersuchungen an Land und im Wasser bestanden aus drei Abschnitten. In einer Vorphase wurde der Proband mit dem Untersuchungsablauf bekannt gemacht und für die Untersuchung vorbereitet. Daran schloss sich der eigentliche Belastungstest an. In einer Nachphase kam der Proband wieder zur Ruhe.

5.2.2.1 Abschnitt 1

In der Vorphase wurde eine Elektrokardiographie (EKG) im Liegen durchgeführt und ein venöser Katheter in eine geeignete große contralateral antecubital Vene am Unterarm (Abb. 23) für die Blutprobenerhebung gelegt. In Brusthöhe wurde ein Gurt für die Messung der Herzfrequenz angebracht.

Abb. 22: Proband mit EKG

Abb. 23: Legen eines venösen Katheters

In einer Untergruppe von 7 Probanden wurden zusätzlich Elektroden für das EMG befestigt.

Abb. 24: Testperson mit EMG

Im Anschluss an die Vorphase setze sich der Teilnehmer der Studie auf das Fahrrad. Es erfolgte das Anlegen einer Atemmaske für die ergometrischen Messungen mit Spirometrie sowie einer Blutdruckmanschette für die Blutdruckmessungen.

5.2.2.2 Abschnitt 2

Der Proband saß zu Beginn des Stufentests 15 Minuten in Ruhe auf dem Fahrrad (sowohl bei der Testung an Land als auch bei der Testung im Wasser). Hintergrund dieser relativ langen Ruhephase war der gewollte Immersionseffekt im Wasser (vgl. Kapitel 7) auf den Organismus. 2 Minuten vor Beginn wurde dem Probanden in sitzender Position auf dem Fahrradergometer (Ruhe) am hyperämisierten Ohrläppchen Kapillarblut in einer kalibrierte Mikropipette abgenommen und der Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen. Ferner erfolgte die intravenöse Blutabnahme. Vor Beginn der Belastungsuntersuchung wurde der Proband gebeten, sich während des Tests maximal auszubelasten. Abgebrochen werden durfte der Test vom Probanden erst nach Erreichung seiner subjektiven physiologischen Leistungsgrenze, sofern keine anderen Abbruchkriterien (vorgegebene Umdrehungen pro Minute nicht mehr erreicht, Angina Pectoris, Dyspnoe) erfüllt waren. Um die maximale Leistungsfähigkeit beurteilen zu können, muss eine kardiopulmonale Ausbelastung erreicht werden (Platen 2001). Die erforderlichen Parameter (Herzfrequenz, Blutdruck, Blutprobe intravenös und kapillär-arteriell am hyperämisierten Ohrläppchen zur Laktatwertbestimmung) wurden 30 s vor Ende der jeweiligen Belastungsstufe erhoben. Es erfolgte im gesamten Belastungszeitraum die spirometrische Messung.
Nach Beendigung der 5. Stufe oder Abbruch der Belastung (durch Proband oder Arzt) schloss sich eine 10-minütige Nachphase an.

5.2.2.3 Abschnitt 3

Am Ende der Minuten +1, +3 und +10 wurden die Herzfrequenz und der Blutdruck des Probanden nach Riva-Rocci gemessen. In Minute +10 nach Testende erfolgte zudem die Abnahme von Kapillarblut aus dem Ohrläppchen zur Bestimmung des Laktatwerts. Auf einem separaten Dokumentationsbogen wurde die Art der Belastung, Anfangsbelastung, Stufendauer, Abbruchzeit und -grund dokumentiert. Zu jeder Stufe wurden Herzfrequenz und gemessene Blutdruckwerte eingetragen. Die Blutlaktatkonzentration wurde unmittelbar nach Testende aus den gewonnenen Blutproben bestimmt und notiert. Des Weiteren wurde die Luft- und/oder Wassertemperatur protokollarisch erfasst.

5.2.2.4 Test Land

Der spiroergometrische Stufentest an Land fand im Labor des Instituts für Sportwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin, Abteilung Sportmedizin, statt. Die Lufttemperatur betrug 21 °C.

Der Proband absolvierte die Belastungsuntersuchung an Land in bequemer Radkleidung und Turnschuhen.

Die Anfangsbelastung betrug 50 Watt, die Stufendauer 5 Minuten. Nach einer Minute Pause steigerte sich die Belastungsintensität automatisch (programmiert) um 50 Watt. Es musste die erforderliche Umdrehungszahl (siehe Tab. 10) gefahren werden.

Abb. 25: Proband bei Fahrrad-Spiroergometrie Land

Tab. 10: Belastungsschema Land

Stufe	Land
1	50 Watt - 70 UDZ/min
2	100 Watt - 80 UDZ/min
3	150 Watt - 80 UDZ/min
4	200 Watt - 80 UDZ/min
5	250 Watt - 90 UDZ/min

Der Stufentest an Land wurde auf dem Fahrradergometer „Ergoselect 100“ (Firma Ergoline GmbH, 72475 Bitz, Deutschland) durchgeführt.

Es handelt sich hierbei um ein drehzahlunabhängiges Fahrradergometer gemäß DIN VDE 0750-238. Es verfügt über eine computergesteuerte Wirbelstrombremse. Die Belastung ist von 6-999 Watt und auf einen Drehzahlbereich von 30-130 Umdrehungen pro Minute (U/min) einstellbar.

5.2.2.5 Test Wasser

Die Testungen im Wasser wurden im Strömungskanal des Olympiastützpunktes Berlin durchgeführt. Die Wassertemperatur betrug 28 °C und die Lufttemperatur 30 °C.

Entsprechend der zu erwartenden immersionsbedingten Veränderungen im Stoffwechsel und in der Hämodynamik wurde die in der Literatur empfohlene (Green et al. 1974, Gabrielsen et al. 2000, Wilcock et al. 2006) Eintauchtiefe bis zum Processus xiphoideus bei jedem Probanden durch entsprechende Höhenverstellung des Sattels und des Lenkers realisiert.

Die stufenförmige Erhöhung der Trittfrequenz im Wasser erfolgte mit Hilfe eines Metronoms. Die stufenweise Erhöhung des Widerstandes wurde in der Pause (1 min) durch Veränderung der Becherpositionen und/oder -anzahl durch einen Taucher realisiert (Abb. 21).

Das Spirometriegerät stand während der gesamten Testdauer auf einer fahrbaren Brücke über dem Strömungskanal.

Im Wasser wurden neben der Badehose noch spezielle aquale Schuhe getragen.

Abb. 26: Proband bei Fahrrad-Spiroergometrie im Wasser

Tab. 11: Belastungsschema Wasser

Stufe	Wasser
1	1 Becher/Loch 1 - 70 UDZ/min
2	1 Becher/Loch 3 - 80 UDZ/min
3	1 Becher/Loch 5 - 80 UDZ/min
4	2 Becher/Loch 3 und 5 - 80 UDZ/min
5	2 Becher/Loch 3 und 5 - 90 UDZ/min

Der Belastungstest im Wasser wurde auf dem aqualen Fahrrad „Ergoline“ (Fa. nemcomed). Es besteht aus hochwertigem Edelstahl (1.4401) und wiegt ca. 22 kg. Es ist höhenverstellbar für die Wassertiefen 110-150 cm. In der horizontalen Ebene können der Sattel sowie der Lenker verstellt werden. Es verfügt über ein patentiertes Bremssystem (Beschreibung Kapitel 2.3.2.1).

5.3 Untersuchungsparameter

5.3.1 Spiroergometrie

Die Tests an Land und im Wasser erfolgten mit kontinuierlicher Spiroergometrie. Es wurde das System MetaMax I (Cortex Biophysik, Leipzig, Deutschland) verwendet. Die Probanden atmeten durch eine Hans-Rudolph-Gesichtsmaske. Auf diese war ein Mundstück mit einem Triple-V-Volumensensor zur Messung des Ausatemvolumens aufgesetzt. In einer Mischkammer (30 ml) wurde die Expirationsluft gesammelt sowie alle 10 Sekunden die Konzentrationen von Sauerstoff (Zirkoniumzelle) und Kohlendioxid (Infrarotmethode) gemessen. Gleichzeitig erfolgte die Bestimmung der Temperatur- und Luftdruckverhältnisse, um die gewonnenen Werte für VO_2 und VCO_2 auf standardisierte Normwerte umzurechnen. Anhand der Differenz zu den vor dem Test gemessenen Umgebungsluftkonzentrationen der beiden Gase sowie des Ventilationsvolumens konnten die VO_2 und VCO_2 sowie der RQ errechnet werden.

Es erfolgte eine regelmäßige Eichung des Systems nach Angaben des Herstellers mit Hilfe eines Kontrollgases (20,93 % für Sauerstoff und 0,04 % für Kohlendioxid). Die Kalibrierung des Volumensensors erfolgte mit einer 2 l-Pumpe.

Die Daten wurden im Logger des Geräts gespeichert und konnten sowohl „Online“ dargestellt als auch zu einem späteren Zeitpunkt mit der zugehörigen Software ausgewertet werden.

5.3.2 Blutparameter

Die Blutproben der Probanden wurden während des Testablaufes bis zur Zentrifugierung (Sigma, Deutschland) auf Eis gelegt.

Abb. 27: Blutproben auf Eis

Abb. 28: Zentrifuge

Die Bestimmung der ANP-Konzentration erfolgte mittels der Radioimmunoassay (RIA) unter Verwendung eines ANP-Antikörpers (Halbinsel-Laboratorien, San Carlos, CA, USA). Die freien Fettsäuren wurden mit einer enzymatischen Methode (Wako kit, Firma Unipath, Köln, Deutschland) geprüft. Plasma-Adrenalin und Plasma-Noradrenalin wurden durch die Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie mit einer elektrochemischen Detektion erfasst.

Die Messung der kapillaren Laktatkonzentration erfolgte mit einem Laktat-Phonometer (DP 100, Diaglobal, Berlin, Deutschland).

Mit Hilfe der Radioimmunoassay (RIA) wurde die venöse Insulinkonzentration ermittelt. Die Analyse der Proteinkonzentration im Blut erfolgte im Labor der Franz-Volhard-Klinik (Charité Berlin) mittels Elektrophorese. Auf Grund der in der Literatur beschriebenen Blutverdünnung (Vergrößerung des Plasmavolumens) beim Aufenthalt im Wasser wurden die Werte im Wasser auf Protein adjustiert.

5.3.3 Parameter des Herz-Kreislauf-Sytems

Zur Messung der Herzfrequenz und des arteriellen Blutdrucks wurde eine oszillometrische (Messung der Schwingungen des Blutflusses in den Arterien) Armmanschette (Dinamap, Critikon, Tampa, USA) verwendet.

5.3.4 Individuelle anaerobe Schwelle

Die Schwellenbestimmung erfolgte mit Hilfe der „V-Slope“[11]-Methode (Kapitel 2.3.1.2) Die Sauerstoffaufnahme wurde gegen die Kohlendioxidabgabe aufgetragen. Mit dem Tabellenkalkulationsprogramm von Microsoft Excel® wurde jeweils eine Regressionsgerade durch die „Punktwolken“ gelegt.
Bei Erreichen der anaeroben Schwelle verlässt die Gerade aufgrund verstärkter Kohlendioxidabatmung ihren seitherigen Verlauf nahe der Winkelhalbierenden und knickt nach oben ab. Der Schnittpunkt der beiden Geraden wurde über Gleichsetzung der beiden Geradengleichungen[12] errechnet.

Das „V-Slope“-Verfahren unterscheidet sich demnach von vielen anderen Berechnungsmethoden, da die Individuelle Schwelle (IAS = AT) unter Verwendung eines mathematischen Verfahrens berechnet wird und somit nicht allein auf dem „Augenmaß“ des Auswertenden beruht (Koidl et al. 2007).

5.3.5 Elektromyographie (EMG)

Zur Prüfung der Koordination der Beinmuskulatur in beiden Untersuchungsbedingungen wurde in einer Subgruppe von 7 Probanden zusätzlich ein EMG am linken Bein appliziert. Die Auswahl der einzelnen Muskelgruppen zur Beschreibung der Bewegung des getesteten Beins während der Fahrradergometrie erfolgte unter zwei Gesichtspunkten. Auf der einen Seite kamen nur oberflächlich ableitbare Muskeln in Frage und auf der anderen Seite war die Anzahl der Muskeln durch die Zahl der zur Verfügung stehenden Übertragungskanäle (BIOTEL 88, Glonner, Planegg, Deutschland) auf acht beschränkt. Gleichzeitig mussten die Muskeln ein möglichst umfassendes Bild der Muskelaktivitäten des Beins während des Tritts in die Pedale liefern. Aus den anatomischen und funktionellen Aspekten erfolgte die Auswahl folgender acht Muskeln:

---

11 Der Begriff V-Slope wurde gewählt, weil die beiden Volumina (VO_2 und VCO_2) gegeneinander aufgetragen werden und ein „V“ bilden (Kroidl et al. 2007).

12 Es wird eine Regressionsgerade durch die VCO_2-VO_2-Kurve gelegt. Man summiert dann die positiven und negativen Abstände der einzelnen Messpunkte von dieser Geraden. Die Summenfunktion schwankt somit um Null, bis die VT erreicht ist.

1. m. quadriceps vastus lateralis (vl)
2. m. quadriceps rectus femoris (rf)
3. m. quadriceps vastus medialis (vm)
4. m. biceps femoris (bf)
5. m. semimembranosus (sm)
6. m. tibialis anterior (ta)
7. m. gastrocnemius medialis (gm) und
8. m. gastrocnemius lateralis (gl)

Die Haut war rasiert, aufgeraut und mit Ethanol gereinigt, um den Hautwiderstand zu senken und eine genauere Aufnahme der elektrischen Aktivität Muskels zu erreichen. Am Fibulaköpfchen (caput fibulae) erfolgte die Befestigung einer Referenzelektrode. Für die bipolare Ableitung der ausgewählten Muskeln wurden wiederverwendbare Silber/Silberchlorid basierte Elektroden der Firma Marquette Hellige benutzt.
Es wurde der Ursprung und der Ansatz des zu testenden Muskels ertastet und an der dicksten Stelle des Muskelbauches (parallel zum Muskelfaserverlauf) die Elektroden appliziert. Der Abstand zwischen den Elektroden lag bei 5 mm, daraus ergab sich ein Elektrodenmittelpunktabstand von 40 mm (Protokoll im Anhang).
Die Entfernung des Mittelpunktes der beiden Elektroden zum Muskelursprung wurde protokolliert, da keine Markierung auf der Haut vorgenommen worden ist. Somit konnte eine gleiche Applikation zwischen den Elektroden beim Vergleich Wasser vs. Land realisiert werden.
Als Leitmedium zwischen Haut und Elektroden wurde eine auf Natrium-Chlorid-Basis aufbauende Leitpaste verwendet. Die Verwendung der Leitpaste diente zur Vermeidung eines direkten Kontakts der Elektroden mit der Haut und zur Verringerung des Kontaktwiderstands zwischen der Haut und den Elektroden. Die Elektrodenränder wurden mit einem 2,5 cm breiten Leukotape® abgeklebt, um ein Unterspülen der Elektroden durch den Wasserstrom zu verhindern.

Die Kabel, die von den Elektroden zur Elektrodenbox führten, waren

a) zur Minimierung von Artefakten und
b) wegen der Gefahr des Hochhebelns oder sogar Lösens der Elektroden während dynamischer Arbeit

unter einem eng anliegenden „Netzstrumpf“ am Probanden fixiert worden.

Abb. 29: Proband mit angelegten Hautelektroden und Netzstrumpf im Wasser

Die Länge der verwendeten Kabel beträgt 5 m. Sie sind gegen elektrische und magnetische Störungen abgeschirmt. Der Widerstand der Kabel beträgt 0,7 Ohm. Die Elektroden sind mit den Kabeln fest verbunden und an der Eintrittsstelle der Elektrode wasserdicht isoliert. Die Elektrodenbox ist die Schnittstelle zwischen Verstärkerkarte und Signalquelle (Muskel). An der Box befinden sich die Eingänge für die Elektrodenkabel sowie für zwei zusätzliche Trigger. Der Verstärker und der Sender sind in dem Gerät mit der Typenbezeichnung „BioTel 88“ der Firma Glonner untergebracht. In Abbildung 30/31 wird beispielhaft die Muskelaktivität von Proband SE Land vs. Wasser dargestellt.

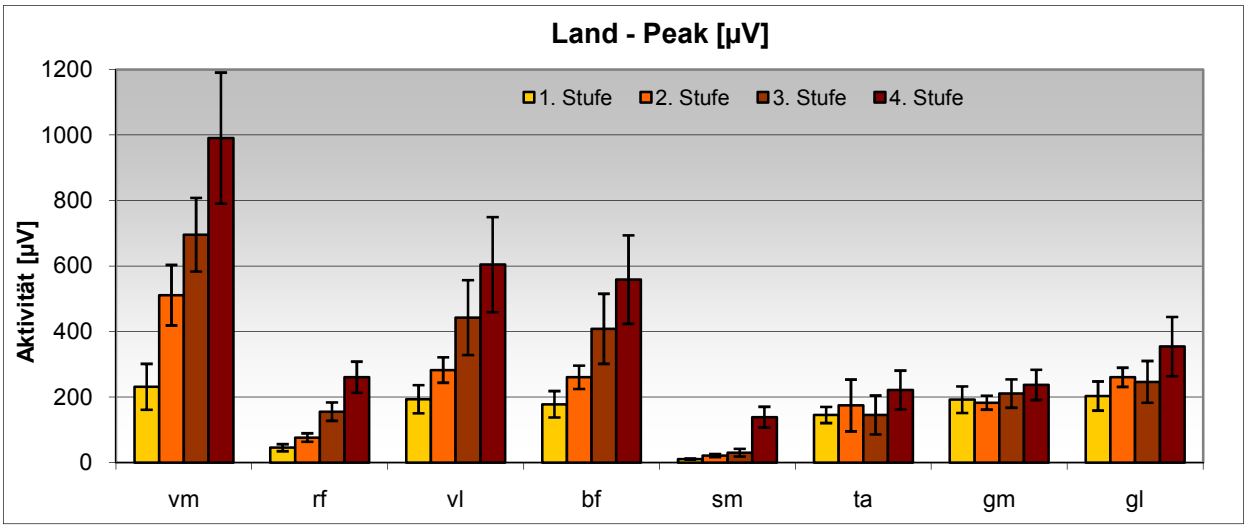


Abb. 30: Muskelaktivitaten Ergometrie Land von Proband SE (Stufe 1-4)

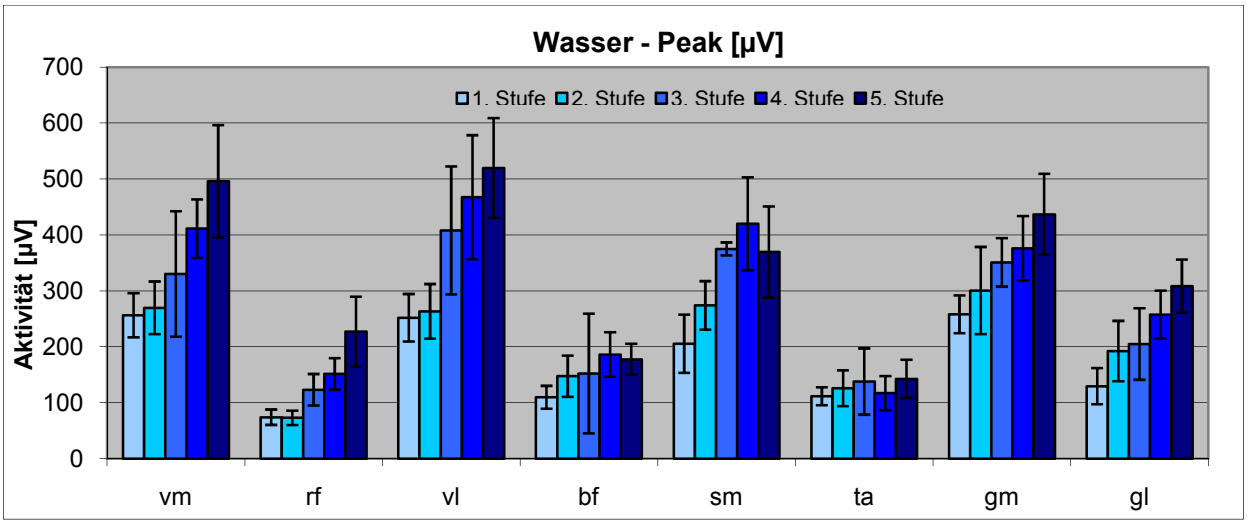


Abb. 31: Muskelaktivitäten Ergometrie Wasser von Proband SE (Stufe 1-5)

Ausgewertet wurden die letzten 10 Sekunden jeder einzelnen Stufe. Aufnahme und Datenanalyse wurden mit dem Softwareprogramm „MyoResearch 98“ (Noraxon, Scottsdale, USA) ausgeführt. Es wurde die mittlere Muskelaktivität bewertet.

5.4 Statistische Methoden

Alle Daten wurden auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Die Analyse der Unterschiede zwischen der Belastung an Land und im Wasser erfolgte über einen T-Test für gepaarte Stichproben. Zur Untersuchung der Veränderung der gemessenen Parameter an Land und im Wasser über die Zeit (Ruhe/anaerobe Schwelle/ Ausbelastung) sowie zwischen den Gruppen (Gruppenunterschied) als auch die Wechselwirkung (Interaktion [Zeit x Gruppenunterschied]) wurde eine Varianzanalyse nach Anova für Daten mit Messwiederholung durchgeführt, um signifikante Unterschiede Land vs. Wasser aufzudecken.

Zur statistischen Bearbeitung der Daten kam das Programm SPSS® (Version 12.0, München, Deutschland) für Windows® zum Einsatz. Statistische Signifikanz wurde bei einem $p < 0,05$ angenommen. Die Werte im Text sind als Mittelwerte ± Standardabweichung angegeben (Tab. 27).

6 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden an drei Zeitpunkten betrachtet: Ruhe (Baseline = bsl), individuelle anaerobe Schwelle (AS = Ventilatorische Schwelle nach Beaver et al. 1986) und maximale Ausbelastung (VO_{2peak}).

Erläuterung:
Da nicht alle Probanden die gleiche Anzahl von Stufen absolvierten (wie in Abbildung 30/31 beispielhaft zu erkennen) und damit eine paarweise Betrachtung aller Probanden nicht gegeben war, wurden die gemessenen Parameter nicht für die einzelnen Belastungsstufen dargestellt.

6.1 Leistungsparameter

Herzfrequenz
Der belastungsinduzierte Anstieg der Herzfrequenz war bei beiden Tests signifikant ($p < 0.0001$). Die Mittelwerte unterschieden sich für die drei Belastungsstufen marginal. In Ruhe war die Herzfrequenz im Wasser um 2 Schläge pro Minute niedriger als an Land. An der anaeroben Schwelle war die Herzfrequenz im Wasser um 7 Schläge pro Minute (142,35 ± 18,82 Schläge/min) geringer als an Land (149,28 ± 18,34 Schläge/min). Diese Unterschiede erreichten aber keine Signifikanz.

Tab. 12: Maximale und minimale Herzfrequenz (Schläge pro Minute) an Land und im Wasser an allen 3 Messpunkten (n = 17)

	Ruhe	*Anaerobe Schwelle*	*Ausbelastung*
Land maximal	93	179	202
Land minimal	61	120	161
Wasser maximal	94	168	204
Wasser minimal	56	102	146

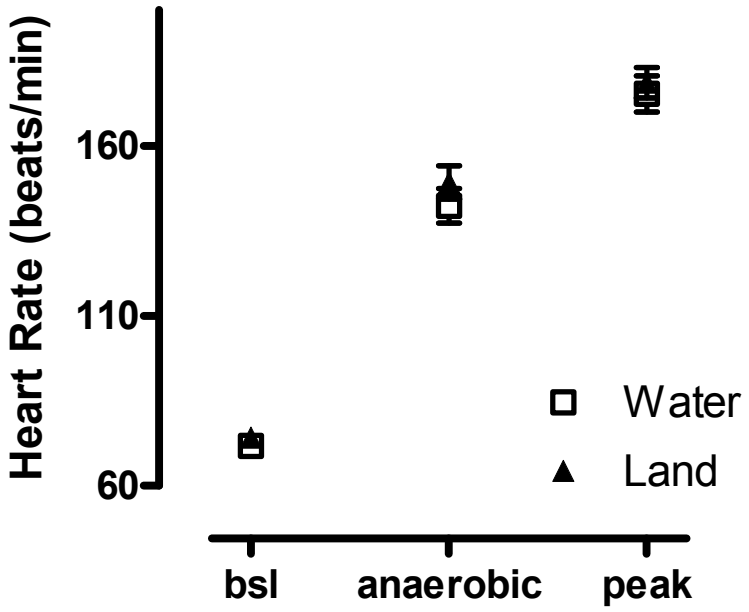


Abb. 32: Herzfrequenz in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 13: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	0,04	0,8584
Unterschied Wasser-Land	0,21	0,2385
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	88,33	< 0.0001

Sauerstoffaufnahme

Mit steigender Belastung nahm die Sauerstoffaufnahme an Land und im Wasser signifikant in vergleichbarer Weise zu ($p < 0.0001$). Die Unterschiede an Land und im Wasser in Ruhe, an der anaeroben Schwelle sowie in der Ausbelastung waren statistisch nicht signifikant.

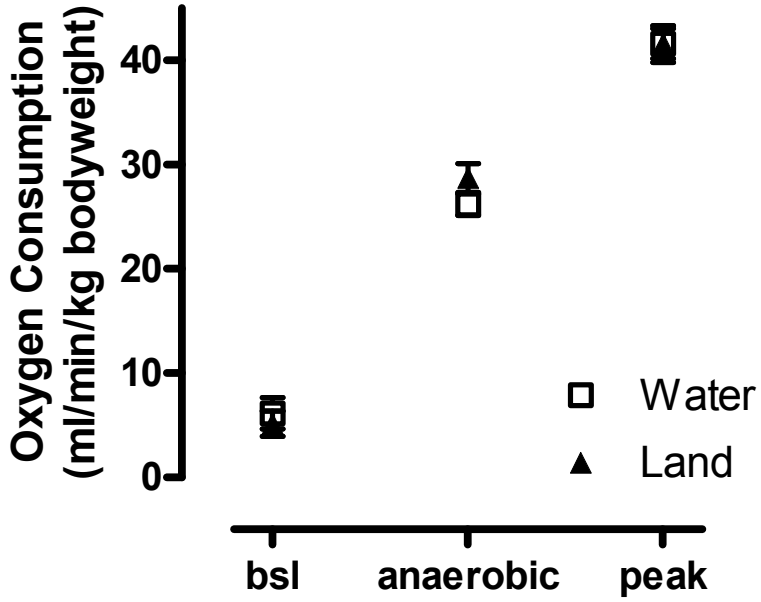


Abb. 33: Sauerstoffaufnahme in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 14: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	0,53	0,3742
Unterschied Wasser-Land	0,50	0,3865
anaerobe Schwelle/Ausbelastung	64,66	< 0.0001

Blutdruck

An Land und im Wasser nahm der systolische Blutdruck im Verlauf der Belastung in vergleichbarer Weise zu. Sowohl der Anstieg zwischen dem Ruhewert und der anaeroben Schwelle als auch der Anstieg zwischen der anaeroben Schwelle und der maximalen Ausbelastung erhöhte sich für beide Gruppen signifikant ($p < 0.0001$). Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren auf keiner Stufe signifikant. Der höchste systolische Blutdruckanstieg wurde an Land bei 202 mmHg und im Wasser bei 195 mmHg gemessen.

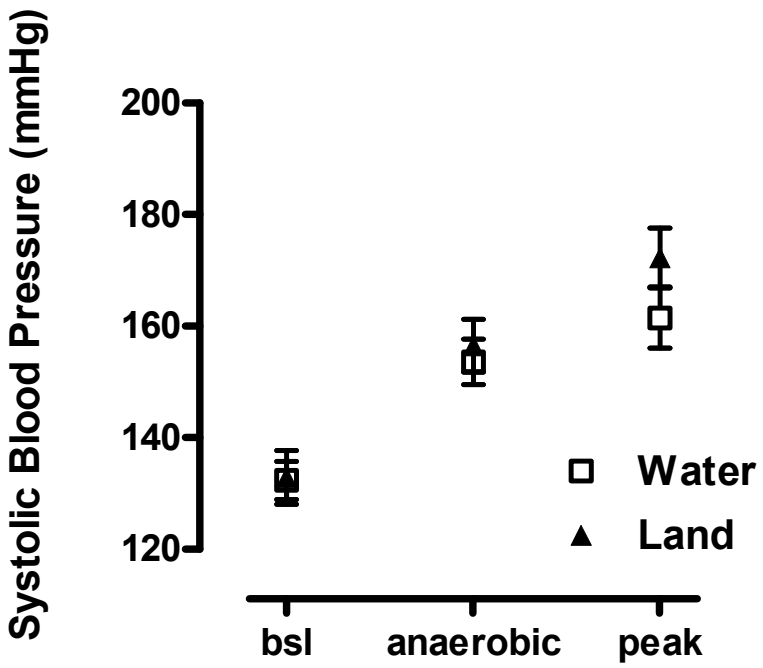


Abb. 34: Systolischer Blutdruck in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 15: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p -Wert*
Interaktion	0,98	0,5162
Unterschied Wasser-Land	1,14	0,2174
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	40,49	< 0.0001

6.2 Stoffwechselparameter

Laktatkonzentration

In beiden Gruppen nahm im Verlauf der Aktivität die Laktatkonzentration im Blut in vergleichbarer Weise zu. Der Anstieg zwischen dem Ruhewert und der anaeroben Schwelle als auch der Anstieg zwischen der anaeroben Schwelle und der maximalen Ausbelastung war für beide Gruppen signifikant ($p < 0.0001$).

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Laktatkonzentration im Wasser an der anaeroben Schwelle sowie im maximalen Ausbelastungsbereich signifikant niedriger als an Land war ($p = 0{,}015$). Die maximale Laktatkonzentration betrug an Land 18,0 mmol/l und im Wasser 14,9 mmol/l.

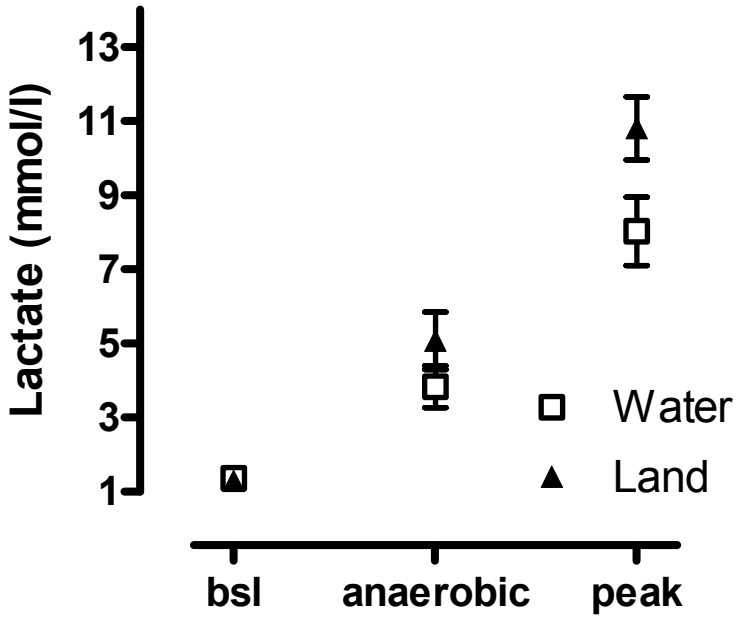


Abb. 35: Laktat in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 16: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	1,95	0,0967
Unterschied Wasser-Land	2,50	0,0151
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	63,97	< 0.0001

Glukosekonzentration

Während der Belastung nahm die Glukosekonzentration an Land und im Wasser signifikant in ähnlicher Form zu (p = 0,002). Die Glukosekonzentration war in Ruhe und an der anaeroben Schwelle signifikant nicht unterschiedlich. Von der anaeroben Schwelle zur Ausbelastung ist ein größerer Anstieg der Glukosekonzentration bei Belastung an Land zu verzeichnen, welcher sich in einer signifikant höherer Glukosekonzentration bei der Ausbelastung an Land wiederspiegelt (p = 0,025).

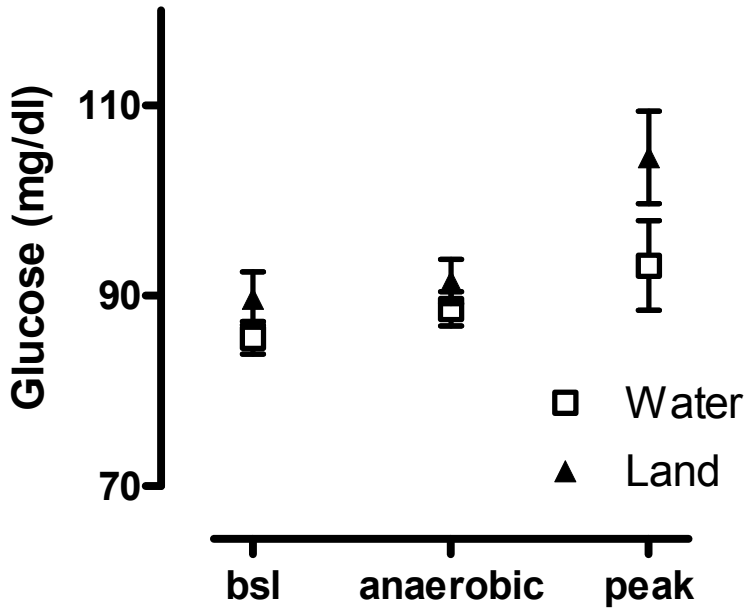


Abb. 36: Glucose in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 17: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	1,98	0,3837
Unterschied Wasser-Land	5,28	0,0256
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	13,10	0,0026

Konzentration der freien Fettsäuren

In beiden Gruppen nahm die freie Fettsäurekonzentration mit Erhöhung der Belastung an Land und im Wasser signifikant ab (p = 0,028).

Im Vergleich zum Land war die venöse freie Fettsäurekonzentration im Wasser in Ruhe, an der anaeroben Schwelle als auch während der maximalen Ausbelastung signifikant höher (p = 0,012).

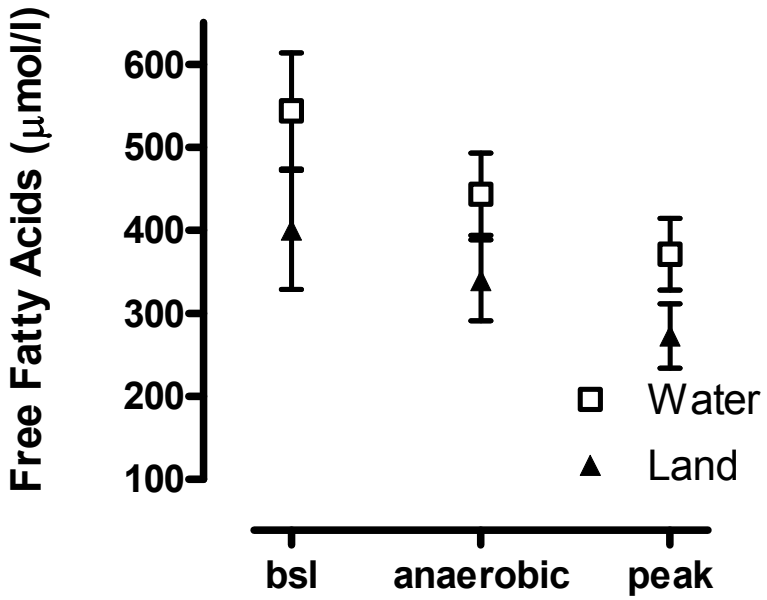


Abb. 37: Freie Fettsäuren in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 18: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	0,21	0,9063
Unterschied Wasser-Land	7,10	0,0125
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	8,05	0,0289

Respiratorischer Quotient (RQ)

In beiden Gruppen nahm im Verlauf der Aktivität der RQ in vergleichbarer Weise zu. Sowohl der Anstieg zwischen dem Ruhewert und der anaeroben Schwelle als auch der Anstieg zwischen der anaeroben Schwelle und der maximalen Ausbelastung war für beide Gruppen signifikant ($p < 0.0001$).

An allen drei Messpunkten war der RQ im Wasser signifikant geringer als an Land ($p = 0{,}020$).

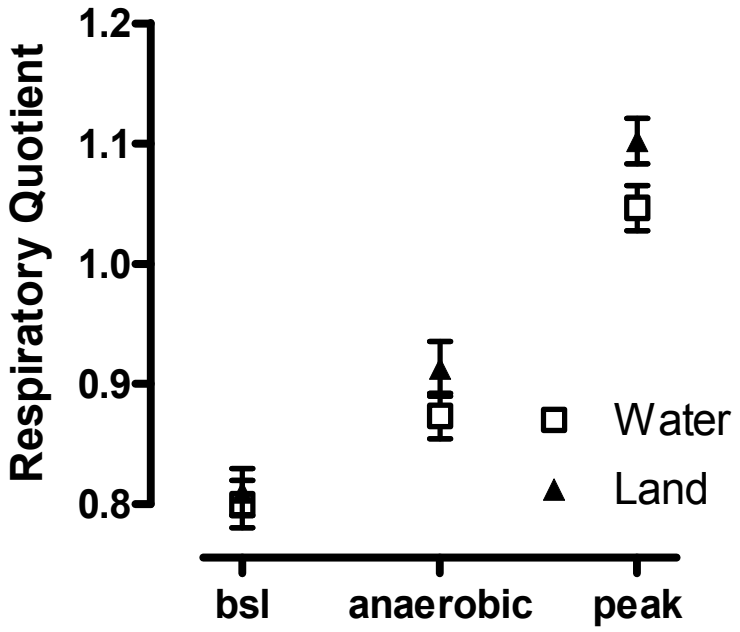


Abb. 38: Respiratorischer Quotient in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 19: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	0,11	0,6795
Unterschied Wasser-Land	3,72	0,0200
anaerobe Schwelle/Ausbelastung	54,33	< 0.0001

6.3 Endokrine Parameter

Venöse Insulinkonzentration

Trotz verschiedener Ausgangswerte gab es keinen Unterschied in der venösen Insulin-Konzentration an der anaeroben Schwelle und während der maximalen Ausbelastung (nicht signifikant).

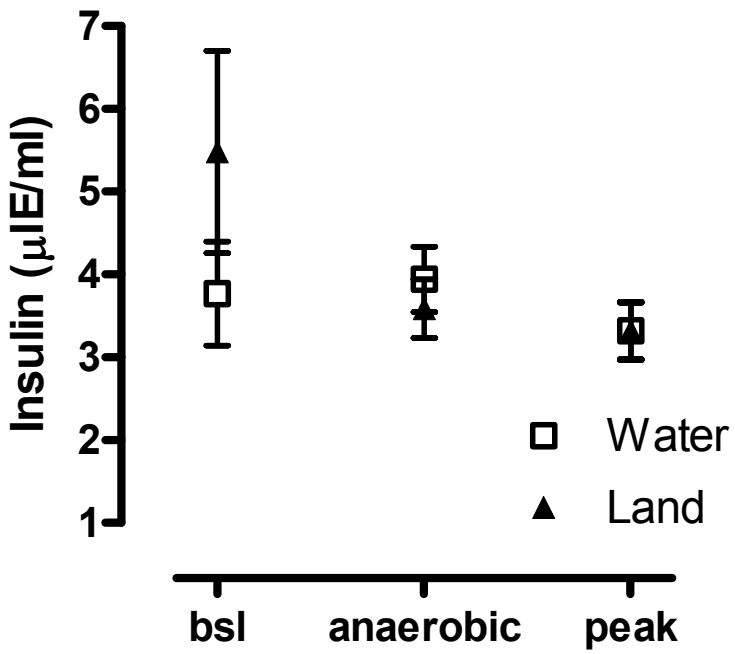


Abb. 39: Insulinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 20: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	3,52	0,2253
Unterschied Wasser-Land	0,89	0,3836
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	5,10	0,1180

Adrenalin- und Noradrenalinproduktion

Wie in den Abbildungen 40/41 zu erkennen, stieg die Adrenalin- und Noradrenalinproduktion durch die Wasserimmersion bei ungefähr gleicher Ausgangskonzentration geringer an als bei der Landbelastung. Die Noradrenalinkonzentration war bei der Ausbelastung im Wasser signifikant geringer als an Land (p = 0,005).

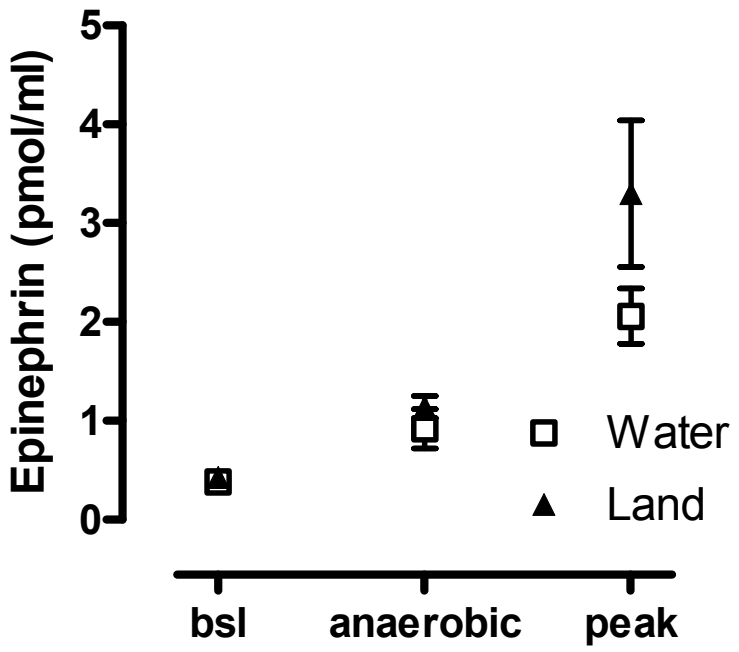


Abb. 40: Adrenalinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 21: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	2,83	0,1736
Unterschied Wasser-Land	2,60	0,0738
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	37,77	< 0.0001

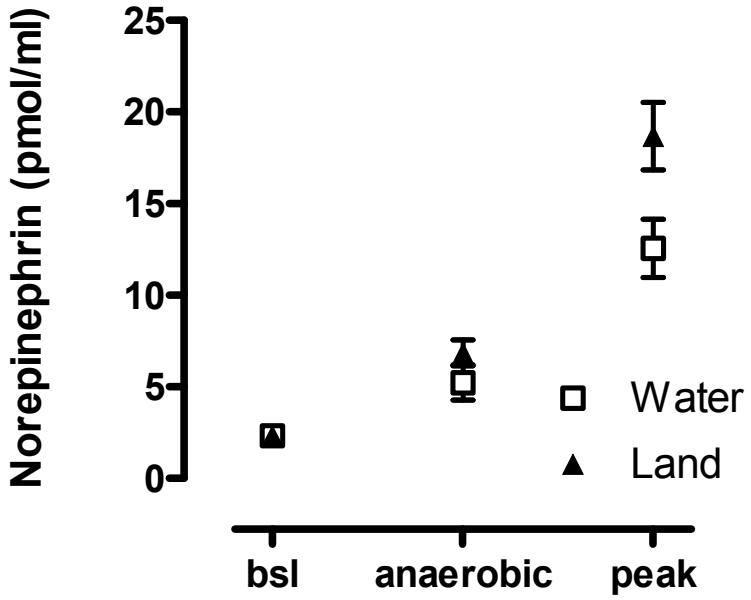


Abb. 41: Noradrenalinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 22: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	3,40	0,0209
Unterschied Wasser-Land	3,36	0,0059
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	63,26	< 0.0001

Plasmaspiegel von ANP

Bei gleichen Ruhewerten nahm in beiden Gruppen mit ansteigender Belastung der Plasmaspiegel von ANP im Wasser und an Land signifikant zu (p = 0,005).

Über den gesamten Messzeitpunktverlauf war ein Trend zu einer höheren ANP-Konzentration im Wasser gegenüber dem Land erkennbar. Auffällig ist die hohe Standardabweichung im Wasser an der anaeroben Schwelle sowie in der Ausbelastung (Wasser anaerobe Schwelle: 56,19 ± 36,82 pg/ml; Wasser Ausbelastung: 68,68 ± 64,12 pg/ml).

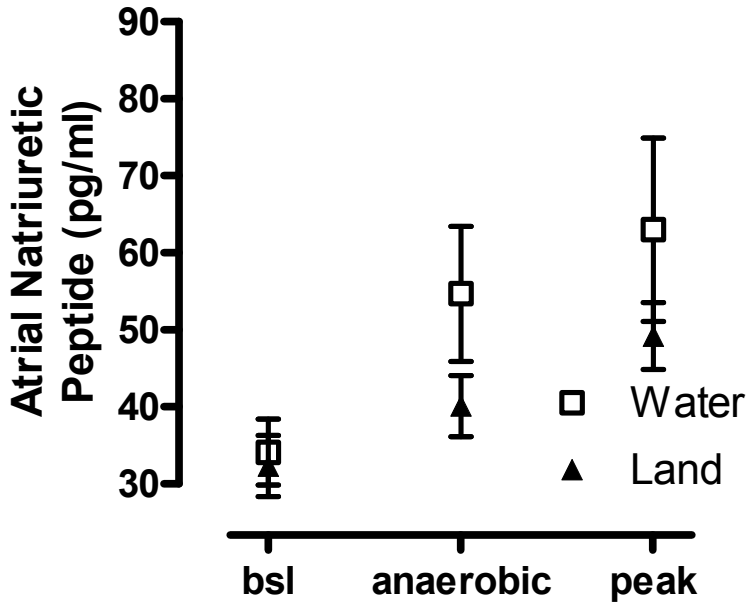


Abb. 42: ANP in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 23: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	0,96	0,5887
Unterschied Wasser-Land	2,84	0,0786
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	10,00	0,0051

Proteinkonzentration

In beiden Gruppen nahm im Verlauf der ansteigenden Belastung die Proteinkonzentration in vergleichbarer Weise zu. Sowohl der Anstieg zwischen dem Ruhewert und der anaeroben Schwelle als auch der Anstieg zwischen der anaeroben Schwelle und der maximalen Ausbelastung war für beide Gruppen signifikant ($p < 0.0001$).

Über alle 3 Messzeitpunkte war die Proteinkonzentration im Wasser signifikant geringer als an Land ($p = 0{,}022$).

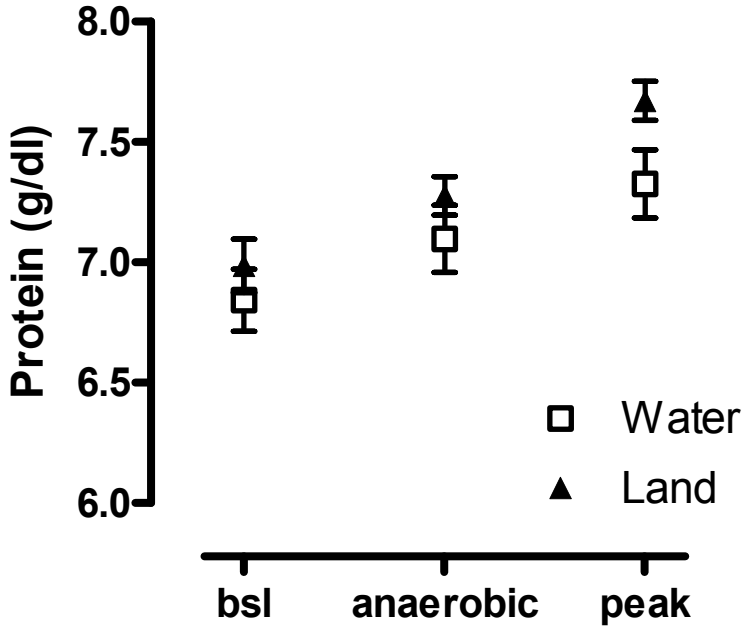


Abb. 43: Proteinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser

Tab. 24: Ergebnisse der Varianzanalyse

	Varianz in %	*p-Wert*
Interaktion	0,78	0,6532
Unterschied Wasser-Land	4,97	0,0222
Ruhe/anaerobe Schwelle/Ausbelastung	22,99	< 0.0001

6.4 Elektromyographie (EMG)

Mit der Belastungserhöhung nahmen erwartungsgemäß die Muskelaktivitäten an Land und im Wasser bei den Extensoren und Flexoren in ähnlicher Form zu. Auffällig sind die geringere Aktivität der Flexoren im Wasser im Vergleich zum Land sowie der größere Anstieg der Muskelaktivität der Flexoren an Land zur Ausbelastung (VO_{2peak}) hin, welcher eine Signifikanz im Vergleich zur Untersuchung im Wasser aufweist.

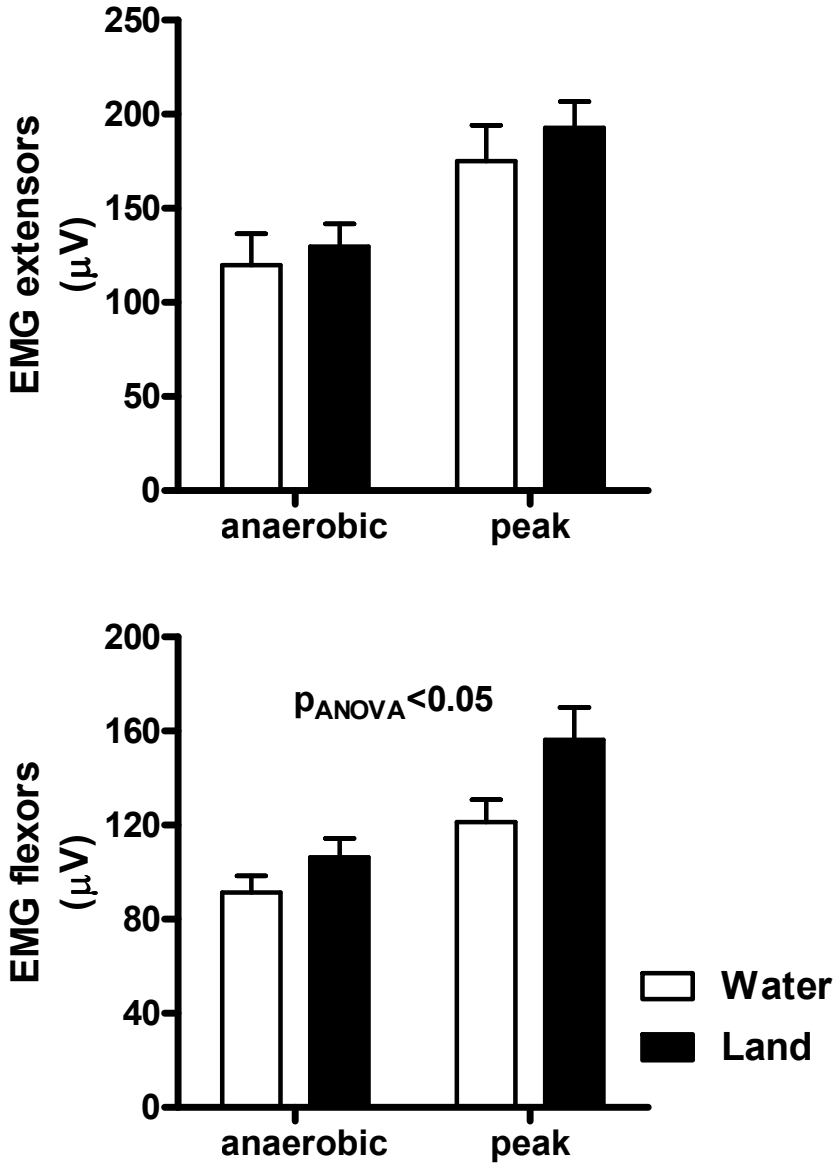


Abb. 44: EMG-Flexoren und-Extensoren des linken Beines im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser in einer Untergruppe von sieben Probanden

7 Diskussion

In der abschließenden Diskussion sollen die Ergebnisse anhand der wissenschaftlichen Fragestellungen besprochen werden. Als Bezug zu den vorliegenden Ergebnissen (anaerobe Schwelle und maximale Ausbelastung) werden ausschließlich Studien herangezogen, die das Fahrradfahren im Wasser mit dem Fahrradfahren an Land verglichen haben. Ergebnisse aus vergleichenden Laufbanduntersuchungen Wasser vs. Land sowie Aqua-Jogging vs. Laufbandlaufen Land werden wie schon in Kapitel 2.3.2.2 kritisch betrachtet und entsprechen zudem nicht dem vorliegenden Untersuchungsdesign.

Nach intensiver Recherche wurden weltweit insgesamt 5 Studien (Christie et al. 1990, Perini et al. 1998, Sheldahl et al. 1992, Mc Ardele 1976, Connelly et al. 1990) in der Literatur zu vergleichenden Untersuchungen Fahrradergometrie Wasser vs. Land gefunden, die sowohl der Methode (head out- immersion, Stufentest, subneutrale Wassertemperatur 28-33 °C) als auch den Einschlusskriterien (Alter, Geschlecht) der vorliegenden Studie entsprachen.

Unterscheiden sich die Leistungsparameter: RR, HF?

<u>Blutdruck</u>

In der vorliegenden Studie wurden unerwartet keine Unterschiede zwischen den Ruhewerten an Land (132,85 ± 18,10 mmHg) und im Wasser (132,35 ± 12,79 mmHg) gemessen. Ähnliche Ergebnisse werden von Epstein (1978), Meuche (2009), Norsk et al. (1993), Gabrielsen et al. (1993) und Watenpaugh et al. (2000) beschrieben, die entweder keine Veränderung oder einen leichten Anstieg des RR bei Immersion beobachteten. Allerdings fanden die Untersuchungen in thermoneutraler Wassertemperatur statt.

Nach Bazett (1924) sind Blutdruckänderungen an Temperaturbedingungen gekoppelt. Die Wärmeleitung ist im Wasser 25mal größer als an der Luft. Ein schneller, massiver Wärmeverlust wird durch eine sofort wirkende Vasokonstriktion der Hautgefäße verhindert. Somit wird gewährleistet, dass bei längerem Aufenthalt im kalten Wasser die Körperkerntemperatur nicht sinkt. Zu diskutieren ist, ob die 15-minütige Immersion der Probanden in der vorliegenden Studie bei 28 °C Wassertemperatur zu einer

reflektorischen Vasokonstriktion führte. Durch die Steuerung des Sympathikus aufgrund der Kältesignale der Hautrezeptoren kann es laut Shimizu et al. (1998) zu einer Blutdrucksteigerung kommen. Park et al. (1999) kamen zu ähnliche Ergebnisse bei einer Wassertemperatur von 30 °C. Die Autoren gehen davon aus, dass eine periphere Vosokonstriktion bei subneutraler Wassertemperatur zu einer zusätzlichen Zunahme in der Herzvorlast führt und demzufolge sich das Schlagvolumen weiterhin erhöht.

Wiederum war die 15-minütige Immersion offenbar zeitlich nicht ausreichend, um eine maximale ANP-Produktion zu erreichen. In früheren Studien wurde die höchste ANP-Konzentration nach 30-120 Minuten Wasserimmersion beobachtet (Ogihara et al. 1986, Epstein et al. 1989). ANP senkt bewiesenermaßen den Blutdruck (Calderone 2003, Weiß et al. 2003). In der vorliegenden Studie differiert die venöse ANP-Konzentration in Ruhe im Wasser (38,32 ± 16,37 pg/ml) nur gering zum Land (36,37 ± 14,63 pg/ml).

Zur maximalen Stimulierung der ANP-Produktion wird in der Literatur (Wilcock et al. 2006) eine Eintauchtiefe bis zum Processus xiphoideus beschrieben. Die ANP-Werte erhöhen sich bei Immersion um das Doppelte (Epstein 1984, Buemi 2000, Chudeck 1997).

Die Probanden der vorliegenden Studie wurden bis zum Processus xiphoideus immergiert. Allerdings saßen die Testpersonen in gebeugter Haltung auf dem Fahrrad. Es ist anzunehmen, dass sich die Höhe der Wasserdrucksäule zwischen stehend oder sitzend und vorgebeugt sitzend unterscheidet und somit der venöse Rückstrom variiert. Norsk et al. (1993) beobachteten einen proportionalen Zusammenhang zwischen dem Anstieg des systolischen Blutdruckes und der Immersionstiefe.

In der Fachwelt wird zudem diskutiert, ob die Stimulierung des Niederdruck-Barorezeptorensystems kompensatorisch vom Frank-Starling-Mechanismus aufgehoben wird. Die Barorezeptoren messen den Grad der Füllung und verhindern die Erhöhung der Pulsfrequenz. Beim Frank-Starling-Mechanismus kommt es aufgrund einer erhöhten enddiastolischen Füllung im linken Ventrikel über ein erhöhtes Schlagvolumen zu einer reflektorischen Erhöhung des Herzminutenvolumens. Der systolische Druck steigt infolge der stärkeren Dehnung des Windkessels durch das größere Schlagvolumen an (Schmidt et al. 1997). Die Arbeitsgruppe um Park et al. (1999) beschreiben einen Abfall des totalen peripheren Widerstandes um 32 %, was ein Absinken des Blutdruckes nach sich ziehen müsste. Sie postulierten, dass eine erhöhte Auswurffraktion des Herzens das Absinken des totalen peripheren

Widerstandes kompensiert, um den arteriellen systolischen Blutdruck aufrechtzuerhalten (Meuche 2009).

An Hand der veröffentlichten Publikationen sowie der vorliegenden Studienergebnisse ist zu erkennen, dass die Regulationsmechanismen des Organismus zur Kompensation eines erhöhten venösen Rückstroms bei Immersion sowie der Einfluss der Wassertemperatur immer noch nicht geklärt sind.

Während ansteigender Belastung (AS = anaerobe Schwelle) gab es keinen Unterschied in der Höhe der Blutdruckwerte Land vs. Wasser. In der Ausbelastung war der Blutdruck im Wasser niedriger (161,4 ± 20,29 mmHg) als an Land (172,2 ± 19,87 mmHg). Diese Ergebnisse (nicht signifikant) stimmen nicht mit denen von Christie et al. (1990) überein, die keinen signifikanten Unterschied während der maximalen Ausbelastung festgestellt haben. Park et al. (1999) beschreiben eine Steigerung des Schlagvolumens sowie eine Zunahme des Herzminutenvolumens (Schlagvolumen x Herzfrequenz) im Wasser bei vergleichender Belastung zum Land. Die Autoren gehen davon aus, dass eine Erhöhung des Cardiac outputs (Herzzeitvolumen) einen „angemessen“ arteriellen Blutdruck angesichts des reduzierten Gefäßwiderstands aufrecht erhält.
Auch bei Belastung scheint die Wassertemperatur einen Einfluss auf den Blutdruck zu haben. Bei subneutralen Temperaturen wurden höhere Werte bei vergleichbarer Belastung gemessen als bei thermoneutraler Wassertemperatur (Park et al. 1999).
Zu hinterfragen ist, warum trotz höherer ANP-Konzentration (ANP senkt den Blutdruck-Calderone 2003, Weiß et al. 2003) im Wasser (Wasser: 56,19 ± 36,82 pg/ml, Land: 42,67 ± 15,73 pg/ml) an der AS kein Unterschied in der Höhe der Blutdruckwerte Wasser vs. Land erfolgte.
Laut Löllgen et al. (2010) zeigt die maximale ANP-Konzentration bei Ausbelastung keinen korrelativen Zusammenhang zwischen der maximalen Herzfrequenz, dem Blutdruck und der maximalen Leistungsfähigkeit.

Herzfrequenz

In der vorliegenden Studie gab es keinen Unterschied zwischen der Ruheherzfrequenz im Wasser und an Land (nicht signifikant).

Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Bonde-Petersen et al. (1992), Wilcock et al. (2006), Gabrielsen et al. (2000) und Hahn et al. (2009) überein.

Auch während der Belastung gab es in der vorliegenden Studie keinen Unterschied zwischen der Herzfrequenz an Land und im Wasser (nicht signifikant). Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Connelly et al. (1990) und Sheldahl et al. (1984) überein.

Christie et al. (1990) beschreiben im submaximalen Bereich ebenfalls keinen Unterschied im Herzfrequenzverhalten Wasser vs. Land. In der maximalen Ausbelastung ist die Herzfrequenz allerdings im Wasser signifikant niedriger als an Land (Christie et al. 1990). Denison et al. (1972) beschreiben im Wasser höhere Herzfrequenzen als an Land bei gleichem Sauerstoffverbrauch.

Die Fachwelt versucht über die physiologischen Mechanismen (Bainbridge-Reflex[13], Frank-Starling-Mechanismus u. a.) die Wirkung von Immersion auf die physiologische Antwortreaktion des Organismus zu erklären.

Die unterschiedlichen Beobachtungen hinsichtlich der Veränderung der Herzfrequenz (und des Blutdrucks) in Ruhe und während der Belastung bei Immersion könnten in einer Inkonstanz der physiologischen Mechanismen begründet liegen.

Die bei dieser Problematik interessierenden physiologischen Mechanismen (Bainbridge-Reflex, Frank-Starling-Mechanismus u. a.) können nach Aussage von Hahn et al. (2009) allerdings nur im Zusammenhang mit „blood shift“ (Blutumverteilung) und der vertikalen Immersion unter Ruhebedingungen in Betracht gezogen werden.

Diskutiert wird ferner der Einfluss von thermischen Reizen auf die Herzfrequenz bei Immersion mit Bewegung.

Laut Mc Ardele et al. (1976) und Evans et al. (1978) gibt es bei einer Wassertemperatur von 30-35 °C keinen Unterschied in der Herzfrequenz im Vergleich Belastung Wasser vs. Land. Andere Autoren beobachteten unterhalb der thermoneutralen Wassertemperatur (weniger 34 °C) bei vergleichbarer Belastung Wasser vs. Land niedrigere Herzfrequenzen im Wasser (Schnizer et al. 2006). Weber-Witt (1993) beschreibt bei einer Wassertemperatur von 24-28 °C bei Maximalbelastung Wasser vs.

13 Durch Vergrößerung des Blutvolumens ist ein Anstieg der Herzfrequenz zu beobachten.

Land eine um 10 % geringere Herzfrequenz im Wasser. Park et al. (1999) verglichen das Fahrradfahren in thermoneutraler und subneutraler (30 °C) Wassertemperatur. Sie beschreiben eine erhöhte periphere Vosokonstriktion bei Belastung im kalten Wasser, was zu einer zusätzlichen Zunahme der Herzvorlast und damit zu einer weiteren Zunahme des Schlagvolumes im Vergleich zur Belastung in thermoneutraler Wassertemperatur führte.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sowie die in der Literatur kontrovers dargestellten Werte zeigen, dass das Herzfrequenzverhalten unter Immersion mit und ohne Belastung einer Komplexität von Wirkmechanismen unterliegt. Überwiegend wird die Steuerung der Herzfrequenz im eindimensionalen Zusammenhang, d.h. als Kausalitätsprinzip interpretiert (Hahn et al. 2009).

Der Einfluss von externen (Eintauchtiefe, Körperlage, Wassertemperatur) und internen (hormonellen, hämodynamischen) Parametern führt anscheinend zu einer individuellen Herzfrequenzadaptation (Reduktion, Erhaltung aber auch Steigerung der Herzfrequenz) bei Immersion ohne und mit Bewegung, was in weiteren Studien aber noch näher untersucht werden muss.

Nicht zu vernachlässigen ist weiterhin der neurohumorale Einfluss auf das Herzfrequenzverhalten (z. B. Katecholamine, ANP?) bei Immersion ohne und mit Bewegung sowie die Eintauchtiefe, die Körperlage und der Trainingszustand.

Auch die Akklimatisation an das Medium „Wasser“ hat nach Yamaji et al. (1990) Meinung Einfluss auf das Herzfrequenzverhalten. Die Autoren bewiesen, je besser die Gewöhnung der Probanden an die Belastung im Wasser, desto niedriger die gemessenen Herzfrequenzen. Die Probanden der vorliegenden Studie haben zum ersten Mal einen fahrradergometrischen Test im Wasser durchgeführt. Es ist nicht auszuschließen, dass die Psyche sowie die nahezu geringen Erfahrungswerte (Yamaji et al. 1990) das Herzfrequenzverhalten im Wasser beeinflusst haben.

Der nicht signifikante Unterschied der Herzfrequenz zwischen Wasser und Land in Ruhe (Wasser: 71,78 ± 10,88 Schläge/min; Land: 74,14 ± 10,36 Schläge/min) an der anaeroben Schwelle (Wasser: 142,35 ± 18,82 Schläge/min; Land: 149,28 ± 18,34 Schläge/min) sowie während der Ausbelastung (Wasser: 175,28 ± 19,81 Schläge/min; Land: 178,64 ± 16,62 Schläge/min) kann in der geringen Probandenzahl sowie in der großen Varianz zwischen den Probanden begründet werden. Anhand der vorliegenden Studienergebnisse fällt auf, dass im

anaeroben Bereich eine Tendenz zu einer niedrigeren Herzfrequenz im Wasser vs. Land zu verzeichnen ist.

Die Messung der Herzfrequenz wird in der Praxis (Aqua-Fitness, Bewegungstherapie) selten zur Belastungssteuerung genutzt. Ein Grund dafür könnte der materielle Aufwand, aber auch die kontrovers beschriebenen Studienergebnisse zum Herzfrequenzverhalten in der Literatur sein. In der Praxis wird vorrangig über die RPE-Skala[14] das Training bzw. die Bewegungstherapie gesteuert.

Im Koronarsport reicht die Belastungssteuerung über die RPE-Skala anscheinend nicht aus. Bei Patienten mit mäßig schwerem und schwerem Myokardinfarkt führte halstiefe Immersion in aufrechter Körperposition zu pathologischen mittleren Pulmonalarteriendrucken (PAPm) und mittleren Pulmonalkapillardrucken[15] (PCPm). Im Vergleich dazu wurden beim langsamen Schwimmen (20-25 m/min) vs. Liegend-Fahrradergometrie mit einer Belastung von 100 Watt im Wasser höhere PAPm- und PCPm-Werte gemessen als an Land (Meyer und Bücking 2005).
Die Autoren beschreiben dabei ein Sichwohlfühlen der Patienten während der Immersion trotz akuter Verschlechterung der zentral-hämodynamischen Messwerte (Abnahme bzw. ausbleibende Steigerung des Schlagvolumens, was auf eine linksventrikuläre Volumenüberlastung hinweist).
Das alleinige Erfragen des individuellen Befindens bei den vorliegenden Erkrankungen reicht demnach nicht aus, um eine Wassertherapie zu rechtfertigen (Meyer und Bücking 2005).

Unterscheiden sich die Stoffwechselparameter: Glukose, freie Fettsäuren, Laktat und Respiratorischer Quotient (RQ)?

Glukose/Insulin

Die Glukosekonzentration nahm während der ansteigenden Belastung Wasser vs. Land statistisch signifikant zu.

14 Skala der selbstempfundenen Belastung

15 arterieller Blutdruck in der Pulmonalarterie und in der Pulmonalkapillare; Blutdruck im Lungenkreislauf

In Ruhe sowie an der anaeroben Schwelle war im Wasser und an Land die Glukosekonzentration signifikant nicht unterschiedlich. Unter Immersionsbedingungen war im maximalen Ausbelastungsbereich die Glukosekonzentration im Wasser auffallend geringer als Land (statistisch signifikant).
Die geringeren Glukosewerte im Wasser (93,17 ± 17,59 mg/dl) vs. Land (104,55 ± 18,21 mg/dl) während der maximalen Ausbelastung könnten im Zusammenhang mit der niedrigeren Katecholaminkonzentration im Wasser stehen. Katecholamine fördern den Glykogenabbau in der Leber und im Muskel (Hollmann und Hettinger 2000).
Allerdings gehen Kjaer et al. (1993) davon aus, dass weder die Adrenalinkonzentration noch die sympathische Innervation als Hauptstimuli für eine gesteigerte Glukoseproduktion unter Belastung in Frage kommt. Die Autoren sehen viel mehr die Hauptursache in einer sinkenden Insulinkonzentration. Schmidt (1997) sieht keinen vordergründigen Zusammenhang zwischen dem belastungsbedingten Sinken des Insulinspiegels und der Höhe der Glukosekonzentration während körperlicher Belastung. Die beanspruchte Muskelzelle kann während der Belastung auch insulinunabhängig permeabel für Glukose werden (Schmidt 1997).
Bei gleicher Insulinkonzentration im Ausbelastungsbereich Wasser (3,31 ± 1,27 µIE/ml) vs. Land (3,31 ± 1,31 µIE/ml) war bei der vorliegenden Studie die Glukosekonzentration im Wasser bei VO_{2peak} (Ausbelastung) statistisch signifikant geringer als an Land.

Fettstoffwechsel

Bei Immersion ohne und vor allem mit Bewegung war eine höhere freie Fettsäurekonzentration bei nahezu gleichem Sauerstoffverbrauch an der anaeroben Schwelle (Wasser: 26,72 ± 4,53 ml/min/kg; Land: 28,71 ± 5,15 ml/min/kg) und gleichem Sauerstoffverbrauch in der Ausbelastung (Wasser: 41,62 ± 5,43 ml/min/kg; Land: 41,59 ± 6,58 ml/min/kg) statistisch signifikant erkennbar.

Die im Blut vorhandenen freien Fettsäuren stammen einerseits aus den Fettdepots, andererseits vorwiegend aus der Leber als deren Syntheseprodukt (Hollmann und Hettinger 2000). Mobilisierte Fette sind in geringen Mengen verestert (Fettsäuren mit Glyzerin verestert). Unveresterte Lipide werden freie Fettsäuren genannt. Diese können in der Muskulatur zur Energiegewinnung abgebaut werden. Der statistisch signifikant niedrigere Respiratorische Quotient im Wasser (0,87 ± 0,07) im Vergleich zum Land (0,91 ± 0,08) an der anaeroben Schwelle weist darauf hin, dass mindestens ein

Teil des zusätzlichen Fettes, das mit der Belastung im Wasser mobilisiert auch oxidiert wurde. Somit scheint auch die Lipidoxidation im Wasser vs. Land während der Belastung durch ein höheres Angebot an freien Fettsäuren im Plasma verstärkt.

Die Lipolyse findet bei einem niedrigen Insulinspiegel beschleunigt statt (Schmidt 1997). Da sich die Insulinkonzentration im Wasser und an Land an der anaeroben Schwelle sowie in der maximalen Ausbelastung nicht unterschied, kann dieser Aspekt nicht zur Klärung der erhöhten freien Fettsäuren im Wasser vs. Land herangezogen werden.
Zu konferieren wäre in diesem Zusammenhang der Einfluss der Laktatkonzentration auf die freien Fettsäuren im Blutplasma. An Land waren im anaeroben Bereich und während der maximalen Ausbelastung die Laktatwerte höher als im Wasser. Laktat hemmt die Mobilisation von Fettsäuren, indem es im Fettgewebe zur Reveresterung der Fettsäuren führt (Hollmann und Hettinger 2000).
Der Einfluss von ANP auf die Lipidmobilisation wird im späteren Verlauf diskutiert.

Laktat

Die vorliegenden Ergebnisse stimmen mit den Aussagen von Connelly et al. (1990), die eine niedrigere Laktatkonzentration im Wasser bei vergleichbarer Belastung zum Land gemessen haben, überein. Brechat et al. (1999) berichten über einen höheren Laktatwert im Wasser als an Land bei gleichem Sauerstoffverbrauch. Allerdings fuhren die Probanden jeweils 30 min auf dem Fahrrad im Wasser und an Land.
Belastungsbedingte Anstiege der Plasmakatecholamine gehen einher mit einer gesteigerten Laktatproduktion (Hollmann und Hettinger 2000, Tegtbur et al. 2001). Im Wasser war während der ansteigenden Belastung eine geringere Katecholaminkonzentration als an Land zu verzeichnen, was zu einer geringeren Laktatkonzentration im Wasser vs. Land bei vergleichender Belastung führen kann.
Zu überlegen ist, ob das erhöhte Blutplasmavolumen im Wasser vs. Land bei vergleichbarer Belastung Einfluss auf die niedrigere Laktatkonzentration im Wasser vs. Land hat. Das unter Belastung anfallende Laktat verteilt sich von der arbeitenden Muskulatur in die ruhenden Organe (z. B. Herz, Leber, ruhende Skelettmuskulatur). Das Blutplasma wirkt dabei als Transportmedium und Puffer (Löllgen et al. 2010).
Auf Grund der höheren Blutplasmakonzentration im Wasser (Mc Calley 1964, Greenleaf et al. 1983) ist ein schnellerer Abbau von Laktat möglich und würde somit die

niedrigeren Laktatkonzentration im Wasser gegenüber dem Land bei vergleichbarer Belastung erklären.

In weiteren Untersuchungen sollte geklärt werden, warum die Studienergebnisse so different in der Literatur zum Laktatverhalten Wasser vs. Land bei vergleichender Belastung beschrieben werden. Zahlreiche Einflussfaktoren wurden untersucht.
Der Laktatpeak ist nach Nakanishi et al. (1999) unabhängig vom Alter der Probanden. Die Wasserhöhe hat laut Svedenhag et al. (1992) keinen Einfluss auf die Laktatkonzentration im Blut.
Kontrovers wird der Einfluss der Wassertemperatur auf den Laktatanteil im Blut diskutiert (Mougius et al. 1993).

Respiratorischer Quotient

Bei signifikant geringerem Respiratorischen Quotient im Wasser vs. Land an allen drei Messpunkten war die Sauerstoffaufnahme in Ruhe (Wasser: 6,15 ± 1,46 ml/min/kg; Land: 5,14 ± 1,22 ml/min/kg) und an der anaeroben Schwelle nahezu identisch (Wasser: 26,72 ± 4,53 ml/min/kg; Land: 28,71 ± 5,15 ml/min/kg). In der Ausbelastung war die Sauerstoffaufnahme Wasser vs. Land gleich (Wasser: 41,62 ± 5,43 ml/min/kg; Land: 41,595 ± 6,58 ml/min/kg). Allerdings erreichten die Unterschiede hinsichtlich der Sauerstoffaufnahme zwischen Land und Wasser keine Signifikanz.
Der verminderte RQ im Wasser bei gleichem Sauerstoffverbrauch Land vs. Wasser während der maximalen Ausbelastung deutet auf eine geringere metabolische Beanspruchung im Wasser als an Land bei vergleichbarer Belastung hin.

Unterscheiden sich die hormonellen Parameter: ANP, Adrenalin, Noradrenalin?

Wasserimmersion führt über einen vermehrten venösen Rückfluss mit Vorhofdehnung zur Liberation des ANP (Held et al. 1992, Ogihara et al. 2002).
Die ANP-Werte waren unerwartet in Ruhe im Wasser und an Land ähnlich. Die wahrscheinlichste Erklärung besteht darin, dass die metabolischen Zielkriterien in Ruhe schon nach 15 Minuten Immersion erfasst wurden. In vorliegenden Studien werden die höchsten ANP-Werte nach 30-120 Minuten Wasserimmersion beschrieben (Ogihara et al.1986, Epstein 1989).

Zu diskutieren ist in diesem Kontext wiederum der Einfluss der Wassertemperatur auf die ANP-Produktion. Nakamitsu et al. (1994) und Melin et al. (2001) negieren Temperatureinflüsse. Schnizer et al. (2006) stellten allerdings eine Abhängigkeit der Steigerung der ANP-Konzentration von der Wassertemperatur fest. Je höher die Temperatur, desto stärker war die humorale Antwort.
Während der Belastung nahm die venöse ANP-Konzentration an Land und im Wasser deutlich zu. Während ansteigender Aktivität war die ANP-Konzentration tendenziell im Wasser höher als an Land. Diese Studienergebnisse stimmen mit denen von Weiß et al. (2003) überein. Zu Hinterfragen ist die hohe Standardabweichung im Wasser an der anaeroben Schwelle sowie während der Ausbelastung. Trotz intensiver Recherche konnten keine vergleichbaren Studien zum ANP-Verhalten bei vergleichender fahrradergometrischer Belastung Wasser vs. Land gefunden werden. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um die unterschiedlichen Aktivierungsmechanismen von ANP während der Belastung im Wasser zu klären. Als wichtigster Faktor bezüglich der ANP-Sekretion auch während Belastung wird die Vorhofdehnung angesehen (Edwards et al. 1988), weniger die Herzfrequenz (Geny et al. 2001). Weiß et al. (2003) gehen davon aus, dass die Anstiege der Plasmaspiegel von ANP bei Aktivität mehr durch die Intensität als die Dauer bestimmt sind.

Immersion bewirkt durch einen erhöhten venösen Rückstrom eine zunehmende parasympathische und eine abnehmende sympathische Aktivität (Krishna et al. 1983, Mano et al. 1991, Miwa et al. 1996, Seps et al. 2002). Hahn et al. (2009) führten diesen Effekt auf die einhergehende Gelenkentlastung und Muskelentspannung des immergierten Körpers zurück. Bei der vorliegenden Studie war an Land und im Wasser die Katecholaminkonzentration in Ruhe identisch. Diese Ergebnisse stimmen nicht mit denen von Grossmann et al. (1992) überein. In ihrer Studie senkte sich die Plasmakonzentration von Adrenalin und Noradrenalin bei Immersion.
Der Anstieg der Plasma-Katecholamine war in der vorliegenden Studie bei steigender Belastung im Wasser nicht so hoch wie an Land. Gleiche Ergebnisse werden von Connelly et al. (1990) in der Literatur beschrieben.
Weiß et al. (2003) gehen davon aus, dass beim Aufenthalt im Wasser ein offensichtlich anderer (zusätzlicher) Effekt den belastungsinduzierten Katecholamin-Anstieg hemmt.

Erhöht ANP die Lipolyse bei Belastung im Wasser?

Die hormonalen Hauptgangregler der Lipidmobilisation sind Katecholamine und ANP. In der vorliegenden Studie wurde die Verminderung von Adrenalin und Noradrenalin bei Immersion mit Bewegung beobachtet. Wenn die Lipidmobilisation allein durch die Katecholamine geregelt würde, müsste eine Verminderung freier Fettsäuren während der Belastung im Wasser im Vergleich zur Belastung auf dem Land beobachtet werden. Die freie Fettsäurekonzentration war in Ruhe, an der anaeroben Schwelle sowie in der maximalen Ausbelastung höher. ANP, das mit der Wasserimmersion aktiviert wird, scheint ein alternativer Lipid-Mobilisator zu sein.

Gibt es Hauptunterschiede in der Aktivität der Beinmuskulatur?

Die Ergebnisse schließen einen Unterschied in der koordinativen Beanspruchung der Beinmuskulatur zwischen der Fahrradergometrie Land vs. Wasser an der anaeroben Schwelle aus. Allerdings wurde das EMG nur in einer Subgruppe (7 Probanden) kontrolliert.

Auffällig waren die geringere Aktivität der Flexoren im Wasser im Vergleich zum Land sowie der größere Anstieg der Muskelaktivität der Flexoren an Land bei der maximalen Ausbelastung (VO_{2peak}).

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es einen Zusammenhang zwischen der Wirkung des hydrostatischen Drucks auf die Elektroden und somit auf die Muskulatur und der geringeren Muskelaktivität der Flexoren und Extensoren im Wasser gibt.

Nicht zu vernachlässigen ist die Wirkung der Schwerkraft auf die Muskulatur beim Belastungstest an Land, worin die höhere Aktivität der Extensoren an Land im Vergleich zum Wasser begründet sein könnte.

Die Probanden der vorliegenden Studie waren zudem nicht so praxiserprobt in der Radfahrbewegung wie Radfahrprofis. Hoch qualifizierte Fahrer verfügen über eine Trettechnik, die einen runden Tritt ermöglicht. Der runde Tritt hat zur Folge, dass nicht nur bei der abwärtigen Kurbelbewegung Druck auf die Pedale ausgeübt, sondern auch bei der Aufwärtsbewegung der Kurbel, in der sogenannten Zugphase, vortriebswirksame Kräfte erzeugt werden (Henke 1994). Auf Grund der dargestellten Studienergebnisse ist anzunehmen, dass der Tritt der Testpersonen an Land und im Wasser durch einen größeren Kraftaufwand in der Abwärtsbewegung des Pedals gekennzeichnet ist. In der Aufwärtsphase fand scheinbar keine aktive Zugbewegung

statt, was die geringere Muskelaktivität der Flexoren gegenüber den Extensoren im Wasser und an Land erklären könnte.

Diskussion Methodik

Die Anzahl der Probanden lag mit n = 17 höher als bei vergleichbaren Studien, welche zwischen 5 und 13 Probanden untersuchten (Christie et al. 1990, Perini et al. 1998, Sheldahl et al.1994, Mc Ardele 1976, Connelly et al. 1990).

In der vorliegenden Studie wurden nur männliche Teilnehmer ausgewählt, um Einflussgrößen zwischen den Geschlechtern auszuschließen. Sowohl die Größe von 1,81 ± 0,03 m als auch das Gewicht von 76,26 ± 12,16 kg, entsprechen den Angaben in vergleichbaren Studien. Eventuell vorhandene Einflüsse von Größe und Gewicht sowie Alter (31 ± 3,6), BMI (24 ± 1,7 kg/m^2) und Körperfettanteil (17 ± 6,7 %) sind aufgrund der geringen Streuung eher zu vernachlässigen.

Die entwickelte Testmethode auf dem Fahrrad „Evolution“ lieferte brauchbare Daten, die aber nur für dieses Ergometer und unter den beschriebenen Untersuchungsbedingungen (z. B. Eintauchtiefe, Wassertemperatur) sowie für die ausgewählte Population (Probanden) gelten.

Kritisch muss die geringe Probandenzahl (n = 6) in der Testentwicklung betrachtet werden.

Die biologische Kalibrierung über den Sauerstoffverbrauch der Probanden zum Zeitpunkt der Testentwicklung war nach ausführlicher Literaturrecherche und den ersten Ergebnissen während der Testentwicklung die aussichtsreichste Methode, vergleichende Belastungsstufen zwischen Wasser und Land festzulegen. Mögliche Einflussfaktoren auf den Sauerstoffverbrauch, wie z. B. Trainings- und Übungszustand des Probanden, sind allerdings nicht zu vernachlässigen.

In der vorliegenden Studie (n = 17) wurde die maximale Ausbelastung (VO_{2peak}), bis auf einen Probanden (am Ende der 5. Stufe), innerhalb der Stufe 4 oder 5 erreicht. Es ist nicht auszuschließen, dass der beschriebene Proband die maximale Ausbelastung erst in einer weiteren Belastungserhöhung erreicht hätte.

Auf Grund der nahezu gleichen Sauerstoffaufnahme während der ansteigenenden Belastung Wasser vs. Land sowie des relativ gleichen (Land: 27,93 ± 4,93 ml/min/kg; Wasser: 27,30 ± 5,13 ml/min/kg) und zeitnahen (Land: 00:16:46; Wasser: 00:17:50)

Sauererstoffverbrauchs an der individuellen anaeroben Schwelle kann davon ausgegangen werden, dass über die biologische Kalibrierung vergleichbare Belastungsstufen Land vs. Wasser festgelegt worden.

In weiteren Studien sollte zudem der Einfluss der Anthropometrie der Probanden bei Belastung im Wasser überprüft werden. Zusätzlichen Strömungs- und Verwirbelungswiderstände bezogen auf den unterschiedlichen Beinumfang der Probanden wurden während der Belastung im Wasser in der vorliegenden Studie nicht erfasst. Huijing et al. (1988) beschreiben bei Schwimmern eine hohe Korrelation zwischen Beinumfang, Fuß-Querschnittsfläche und Wasserwiderstand. Zu diskutieren ist ferner, welchen Einfluss die amorphe Beschaffenheit der Haut bei Immersion mit Bewegung auf einen zusätzlichen Widerstand hat. Es ist davon auszugehen, dass die unteren Extremitäten einer ständig veränderten An- und Abströmung im Wasser unterliegen (sogenannte „Dellen“ entstehen).

Eine Herausforderung bestand in der „Einhaltung“ der vorgegebenen Umdrehungszahl auf dem Ergometer im Wasser und an Land. Im Wasser wurde die Geschwindigkeit über das akustische Signal eines Metronoms vorgegeben. An Land orientierte sich der Proband visuell am Display des Ergometers. Bei Nichteinhaltung der geforderten Umdrehungszahl wurde der Test durch den Studienleiter abgebrochen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sowohl die unterschiedliche Orientierung (visuell vs. akustisch) der Probanden zur Realsierung der Belastung über die Umdrehungszahl pro Minute als auch die Motivation bis zur Ausbelastung zu fahren einen gewissen Einfluss auf die Testergebnisse hatte.

Auf Grund der geringen Probandenzahl (n = 7) bei der Untersuchung der Muskelaktivität (EMG) während der Belastung an Land und im Wasser kann das Ergebnis nur eine Tendenz der Wirksamkeit koordinativer Muskelarbeit von Flexoren und Extensoren bei einem fahrradspiroergometrischen Test aufzeigen.
Eine Markierung der Applikation der Elektroden auf der Haut fand nicht statt. Auf Grund sommerlicher Temperaturen war die Möglichkeit der Nichterhaltung der Marker sehr hoch. In der vorliegenden Studie wurde der Abstand der Elektroden millimetergenau protokolliert. Es ist davon auszugehen, dass selbst eine Versetzung der applizierten

Elektroden von 1-2 mm keinen entscheidenden Einfluss auf die Größe der gemessenen elektronischen Signale hat.

Eine Beschränkung der Studie besteht darin, dass der Test nicht einer typischen Aqua-Fitness Stunde bzw. einer Bewegungstherapie im Medium Wasser ähnelt. Eine aquale Ergometrie war aber notwendig, um über ein standardisiertes Testverfahren Unterschiede in der körperlichen Beanspruchung Wasser vs. Land aufzuzeigen. Die Ergebnisse können somit als Orientierung für die Wirkung von Immersion mit Belastung für aquale Bewegungsangebote wie Aqua-Fitness oder Aqua-Jogging dienen.

8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein aqualer ergometrischer Test entwickelt, um die körperliche Beanspruchung im Wasser mit der körperlichen Beanspruchung an Land vergleichen sowie die Auswirkung ansteigender Belastungsintensitäten im Wasser auf den Organismus untersuchen und vergleichen zu können.
Die Ergebnisse schließen einen Hauptunterschied in der koordinativen Beanspruchung der Beinmuskulatur zwischen dem ergometrischen Test an Land und im Wasser aus.
Die Resultate deuten darauf hin, dass es **vor allem Unterschiede in der hormonalen und metabolischen Reaktion des Organismus** bei vergleichbarer Belastung Wasser vs. Land gab. Die **verstärkte Mobilisation sowie scheinbare Oxidation von Fetten** während der **Belastung im Wasser** könnte durch die **erhöhte**, sehr wahrscheinlich immersionsbedingte, **Produktion des Atrial natriuretischen Peptids** begründet sein. Belastungsinduzierte Anstiege endokriner Parameter (**Katecholamine) sind im Wasser geringer ausgeprägt als an Land**.
Der geringere Respiratorische Quotient sowie Laktatwert bei Belastung im Wasser vs. Land weisen auf eine **geringere metabolische Beanspruchung im Wasser als an Land bei vergleichbarer Belastung** hin.
Immersions- und Belastungseffekte scheinen **teilweise konträre Reize** zu sein. Immersion ohne und mit Bewegung führt zu regulatorischen Reaktionen, die sich mit den Regelmechanismen der Anpassung des Kreislaufsystems und der Stoffwechselaktivierung teilweise überschneiden (Weiß et al. 2003).

Schlussfolgerung

1.

Ein aqualer fahrradergometrischer Stufentest unter standardisierten Bedingungen, wie in der vorliegenden Studie durchgeführt, wurde für individuelle leistungsdiagnostische Untersuchungen im Wasser bisher nicht kommuniziert. Aquale leistungsdiagnostische Untersuchungen können die Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit von Gesunden, Erkrankten und Verletzten im Medium „Wasser“ aufzeigen.

2.

Bezogen auf die Hypothesen der vorliegenden Studie können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Hypothese 1:

Da der Blutdruck (RR) in Ruhe bei Immersion geringer ist als an Land ***(konnte nicht bestätigt werden)***, wird angenommen, dass auch mit steigender Belastung die RR-Werte im Wasser geringer sind als an Land. ***Kann nur für den Ausbelastungsbereich (VO_{2peak}) bestätigt werden.***

Hypothese 2:

Es wird ein Unterschied zwischen dem Herzfrequenzverhalten an Land und im Wasser bei vergleichbarer Belastung vermutet. ***Konnte nicht bestätigt werden.***

Hypothese 3:

Auf Grund des nachgewiesenen lipolytischen Effekts von ANP sowie der erhöhten Freisetzung von ANP bei Immersion (***konnte in Ruhe nicht bestätigt werden)*** wird bei vergleichbarer Belastung Wasser vs. Land eine gesteigerte Lipidoxidation im Wasser erwartet. ***Wird angenommen.***

3.

Allgemeingültige Empfehlungen von Land zur Steuerung erwünschter Trainings- bzw. Belastungseffekte mit Hilfe von Leistungsparametern können nicht problemlos auf aquale Bewegungs- und Trainingsformen übertragen werden (scheinbar individuelle Herzfrequenzanpassung bei Immersion mit Belastung), obwohl in der vorliegenden

Studie nur geringe Unterschiede in der hämodynamischen Reaktion des Körpers bei vergleichbarer Belastung Land vs. Wasser gemessen worden.
Das beschriebene ergometrische Testverfahren im Wasser gleicht nicht einer typischen aqualen Bewegungstherapie bzw. einer Aqua-Fitness-Stunde. Anhand der erhobenen Daten der vorliegenden Studie lässt sich orientierend die physiologische Antwortreaktion des Organismus bei Belastungen im Wasser einschätzen.
Bedeutender für die Praxis sind die Ergebnisse dabei an der anaeroben Schwelle, da im Freizeit- und Breitensportbereich sowie in der Rehabilitation das Training/die Bewegung vorrangig im submaximalen Bereich und weniger bis zur maximalen Ausbelastung durchgeführt wird.
Eine pauschale Korrektur der Herzfrequenz (Hartmann 2008, Weber-Witt 1993) entsprechend der Wassertemperatur wird nicht unterstützt.

Ausblick

Infolge des vielfältigen Einsatzes von Immersion mit Bewegung (postoperative Therapie im Wasser, Bewegungstherapie, Aqua-Fitness usw.) bedarf es dringend weiterer Untersuchungen, um den komplexen Wirkmechanismus der physikalischen Eigenschaften auf den Organismus zu entschlüsseln. Entscheidend scheint dabei der Einfluss der thermischen Reize auf physiologische Parameter zu sein. Bislang gab es eine Vielzahl differenzierter Untersuchungen zu den Effekten der thermoneutralen head-out water immersion ohne und mit Bewegung. Zahlreiche aquale Bewegungsangebote im Freizeit- und Breitensport finden aber in subneutralen Wassertemperaturen (26-29 °C) statt. Zudem sollten weitere Leistungs- bzw. Stoffwechselparameter (z. B. Laktat) zur Beurteilung der Auswirkung von Immersion (z. B. Bäderanwendung) sowie Immersion mit Bewegung zusätzlich erhoben werden.
Es sind experimentelle Untersuchungen notwendig, um die Regulationsmechanismen des Organismus zur Kompensation eines erhöhten venösen Rückstroms bei Immersion ohne und vor allem mit Bewegung zu klären. Dabei müssen unerwünschte Nebenwirkungen oder sogar Schädigungen durch den Wassereinfluss mit im Fokus stehen (z. B. höhere Herzvorlast bei Belastung im Wasser im Vergleich zum Land- wie in der Diskussion beschrieben).

Neue Materialien und innovative Techniken lassen vermuten, dass durch weitere biometrisch valide kontrollierte Studien dosier- und messbare Trainings- und

Bewegungstherapien (Hartmann 2008) sowie die Möglichkeit einer Leistungsdiagnostik für spezielle Zielgruppen (z. B. Senioren, Rehabilitanden) im Wasser eingeleitet werden können.

Angesichts der geringeren metabolischen Belastung und eines erhöhten Fettstoffwechsels im Wasser ist weiterhin zu klären, welchen Einfluss Immersion ohne und mit Bewegung auf spezifische Krankheitsbilder wie zum Beispiel Adipositas hat.

9 Literatur

Agostonie E.G., Gurtner G., Torril G., Rahn H. (1966): Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. J. Appl. Physiol. 21, 251-258

Ameln H., Laniado M., Röcker L., Kirsch K.A. (1985): Effects of dehydration on thevasopressin response to immersion. J. Appl. Physiol. 58(1), 114-120

Amelung W., Hildebrandt G. (1985/1986): Balneologie und medizinische Klimatologie. Band 1-3, Springer Verlag

Andersson J., Schagatay E. (1998): Effects of lung volume and involuntary breathing movements on the human diving response. Journal of Applied Physiology 77, 19-24

Arborelius M.Jr., Ballidin U.I., Lilja B., Lundgren C.E. (1972): Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. Aerosp. Med. 43, 592-598

Anonymus (1891): The horse race on the stage. Scientific American 25, 263-264

Atlas S.A., Kleinert H.D., Camargo M.J. et al. (1984): Purification, sequencing and synthesis of natriuretic and vasoactive rat atrial peptide. Nature 309, 717-719

Badke G. (1999): Lehrbuch der Sportmedizin. UTB für Wissenschaft, 4. Auflage, Heidelberg

Bachl N., Baron R., Smekal G., Tschan H. (1994): Validität sportartspezifischer Lesitungsdiagnostik. In: Clasing D., Weicker H., Böning D.: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Stuttgart, Jena, New Yotk. Gustav Fischer Verlag, 165-174

Balsom P.D., Ekblom B., Söderlund B., Sjodin B. and Hultman E. (1993): Creatine supplementation and dynamic high intensity intermittent exercise. Scandinavian Journal of Medical Science in Sports 3, 143-149

Bartels H. (1973): Der Gaswechsel (Atmung). In: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie, Keidel, W.D. (ed.) Stuttgart: Thieme

Baumgartl P.(1987): Laktatfeldtest im Leistungssport. Österr. J. f. Sportmed. 17, 1-13

Bazett H.C., Thurlow S., Crowell C., Stewart W. (1924): Studies on the effects of baths on man. Journal of Applied Physiology 70, 412-452

Beaver W.L., Wasserman K., Whipp B.L. (1986): A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. J. Appl. Physiol. 60, 2020–2027

Beckman E.L., Coburn K.R., Chambers R.M., DeForest R.E., Augerson W.S., Benson V.G. (1961): Physiologic changes observed in human subjects during zero G simulation by immersion in water up to neck level. Aerospace Med. 32 (11), 1031-1041

Benefice E., Mercier J., Guerin M.J., Prefaut Ch. (1990): Differences in aerobic and anthropometric characteristics between peripubertal swimmers and non-swimmers. Int. J. Sports Med. 11, 456-460

Birkenfeld A.L., Boschmann M., Moro C., Adams F., Heusser K., Franke G., Berlan M. et al. (2005): Lipid Mobilization with Physiological Atrial Natriuretic Peptide Concentrations in Humans. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism Vol. 90, No.6, 3622-3628

Birkner H.A., Roschinsky J. (1989): Aqua Jogging. Meyer&Meyer Verlag

Bonde-Petersen F., Schultz-Pedersen L., Dragsted N. (1992): Peripheral and central blood flow in man during cold, thermoneutral, and hot water immersion. Aviat Space Environ Med. 63, 346- 23

Borg G.V.A. (1970): Perceired exertion as an indicator of somatic Stress. Scand. J. Rehabil. Med. 2, 92-98

Brauer B.M., Gottschalk K. (1996): Sportmedizin von A-Z. Heidelberg, Leipzig, Barth

Brechat P.H., Wolf J.P., Simon-Rigaud M.L., Brechat N., Kantelip J.P., Berthelay S., Regnard J. (1999): Influence of immersion on respiratory requirements during 30-min cycling exercise. Eur. Respir. J. 13, 860-866

Brown S.P., Jordon J.C., Chitwood L.F., Beason K.R., Alvarez J.G. and Honea K.P. (1998): Relationship of heart rate and oxygen uptake kinetics during deep water running in the adult population — ages 50 to 70 years. Journal of Aging and Physical Activity. 6, 248-255

Brooks G.A., Wolfe E.E., Grove B.M., Bende P.R., Butterfiel G.E., Cymerma A., Mazze R.S., Sutto J.R., Wolf R.R, Reeve J.T. (1992): Muscle accounts forglucose disposal but not blood lactate appearance during exercise after acclimatization to 4,300 m. Journal of Applied Physiology 72, 2435-2445

Brücking B. (1997): Die Vorlasterhöhung des Herzens durch aquale Immersion. Abstract 1, Magdeburger Symposium Hydrotherapie

Buemi M., Corica F., Di Pasquale G. et al. (2000): Water immersion increases urinaryexcretion of aquaporin-2 in healthy humans. Nephron 85, 20-26

Burnett Jr. J.C., Kao P.C., Hu D.C. (1986): Atrial natriuretic peptide elevation in congestive heart failure in the human. Science 231, 1145-1147

Calderone A. (2003): The therapeutic effect of natriuretic peptides in heart failure; differential regulation of endothelial inducible nitric oxide synthase Heart Failure. Reviews 8, 55-70

Christoph C., Held C., Scholze H.J. (1990): Renal, hemodynamic and hormonal effects of repeated water immersion in liver cirrhosis. Gastroenterol J. 50(4), 183-6

Christie J.L., Sheldahl L.M., Tristani F.E., Wann L.S. et al. (1990): Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. Journal of Applied Physiology, Vol. 69, Issue 2, 657-664

Connelly T.P., Sheldahl L.M. et al. (1990): Effects of increased central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise. American Journal of Physiology 69 (2), 651-656

Costill D.L. (1971): Energy requirements during exercise in the water. J. sports med. Phys. Fitness 11 (2), 87-92

Chudeck J., Wiecek A., Kokot F. (1997): Influence of water immersion on plasma erythropoietin concentration in patients with essential hypertension. KidneyBlood Press Res. 20(6), 406-410

Counsilman J.E. (1973): Schwimmen, Technik, Trainingsmethoden, Trainingsorganisation. Limpert-Verlag, Frankfurt am Main

Craig A.B. Jr, Dvorak M. (1975): Expiratory reserve volume and vital capacity oft he lungs during immersion in water. J. Appl. Physiol. 38, 5-9

Dahlbäck G.O., Jonsson E., Liner M.H. (1981): Influence of hydrostatic compression of the chest and intrathoracic blood pooling on static lung mechanics during head-out immersion. Undersea Biomed Res. 5, 71-85

Dal Monte A., Sardella F., Alippi B., Faina M., Manetta A. (1994): A new respiratory valve system for measuring oxygen uptake during swimming. Eur. J. Appl. Physiol. 69, 159-162

Danneskiold-Samsøe, Bartels E.M., Lund H., Hagen K.B. et al. (2007): Aquatic exercise for the treatment of knee and hip osteoarthritis. Cochrane Database of Systematic Reviews (4)

Darby L.A., Yaekle B.C. (2000): Physiological responses during two types of exercise performed on land and in the water. J. Sports Med. Phys. Fitness 40(4), 303-311

de Bold A.J., Borenstein H.B., Veress A.T., Sonnenberg H. (1981): A rapid and potent natriuretic response to intravenous injection of atrial myocardial extracts in rats. Life. Sci. 28, 89-94

Delapille P., Verin E., Tourny-Chollet C., Pasquis P. (2001): Ventilatory responses to hypercapnia in divers and non-divers: effects of posture and immersion. Eur. J. Appl. Physiol. 86, 97-103

Denison D.M., Wagner P.D, Kingaby G.L., West J.B. (1972): Cardiorespiratory responses to exercise in air and underwater. J. Appl. Physiol. 33(4), 426-430

de Marées H. (2002): Bearb.: Heck H., Bartmu, U., Sportphysiologie. Sport und Buch Strauss, Köln, 437-83

DeMaere J.M., Ruby B.C. (1997): Effects of deep water and treadmill running on oxygen uptake and energy expenditure in seasonally trained cross country runners.J Sports Med. Phys. Fitness. 37(3),175-81

Di Prampero P. E. et al. (1974)**:** Energetics of swimming man, J. Appl. Physiol. 375, 11

Dickhuth H. H., Wohlfahrt B., Hildebrand D., Roikitzki L., Huonker M., Keul J. (1988): Jahreszyklische Schwankungen der Ausdauerleistungsfähigkeit von hochtrainierten Mittelstreckenläufern. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 39 (9), 346 – 55

Dickhuth H. H., Röcker K., Mayer F., Nieß A. et al. (1996): Bedeutung der Leistungs- und Trainingssteuerung bei Ausdauer- und Spielsportarten. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Jahrgang 47

Donovan C.M., Brooks G.A. (1984): Endurance training affects lactate clearence, not lactat production. J. Physiol. 244, E83-E92

Dressendorfer R.H., Morlock J.F., Baker D.G., Hong S.K. (1976): Effects of head-out water immersion on cardiorespiratory responses to maximal cycling exercise. Undersea. Biomed. Res. 3(3), 177-87

Dowzer C. N., Reilly T., Cable N. T. (1998): Effects of Deep and Shallow Water Running on Spinal Shrinkage. British Journal of Sports Medicine 32 (1), 44-48

Eckerson J., Anderson T. (1996): Physiological response to water aerobics. J. Sports Med. Phys. Fit., 32, 255-61

Edwards B.S., Zimmermann R.S., Schwab T.R., Heublein D.M., Burnett J.C. (1988): Atrial stretch, not pressure is the principal determinant controlling the acute release of atrial natriuretic factor. Circ. Res. 62, 191-195

Epstein M. (1978): Renal effects of head-out water immersion in man: implications for an understanding of volume homeostasis. Physiol. Rev. 58, 1577-1585

Epstein M., Norsk P., Loutzenhiser R. (1989): Effects of water immersion on atrial natriuretic peptide release in humans. Am. J. Nephrol. 9(1), 1-24

Epstein M., Levinson R., Sancho J. et al. (1977): Characterization of the renin-aldosterone system in decompensated cirrhosis. Circulation. Res. 41, 818-829

Epstein M., Satura T. (1971): Effect of water immersion on renin-aldosterone and renal sodium handling in normal man. J. Appl. Physiol. 31, 368-374

Epstein M., Pins D.S. et al. (1975): Suppression of ADH during water immersion in normal man. J. Appl. Physiol. 38, 1038-1044

Evans B., Cureton K., Purvi J. (1978): Metabolic and Circulatory Responses to Walking and Jogging in Water. Research Quarterly, 442-449

Fenzl M., Schizer W., Hartmann B., Villinger B., Knüsel O. (2005): Unterschiede in der maximalen Sauerstoffaufnahme bei körperlichen Belastungen im Wasser oder an Land. Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie" 53, 172-178

Flynn T.G., de Bold M.L., de Bold A.J. (1983): The amino acid sequence of an atrial peptide with potent diuretic and natriuretic properties. Biochem. Biophys. Res. Commun. 17, 859-865

Frangolias D., Rhodes E.C. (1995): Maximal and ventilatory threshold responses to treadmill and water immersion running. Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol.27, Iss. 7, 1007-1013

Frangolias D.D., Rhodes E.C., Taunton J.E., Belcastro A.N., Coutts K.D. (2000): Metabolic responses to prolonged work during treadmill and water immersion running. J. Sci. Med. Sport 3, 476–492

Froböse I., Nellessen G. (1998): Training in der Therapie. Ullstein Medical Verlagsgesellschaft mbH & Co, 197

Fujieda Y., Ohyama T., Sugiura K., Yamauchi H. (2002): Six-day creatine loading could improve anaerobic performance of repetitive maximal exercise in Japanese athletes. Medicine and Science in Sports and Exercise 34(5), 808

Fujishijma K., Shimizu T. (2003): Body Temperature, Oxygen Uptake and Heart Rate during Walking in Water on Land at an Exercise Intensity Based on RPE in Elderly Men. J. of Physiol. Anthropology and Appl. Hum. Science 22, 38-88

Gabrielsen A., Johansen L.B., Norsk P. (1993): Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. J. Appl. Physiol. 75, 581-585

Gabrielsen A., Videbaek R., Johansen L.B. et al. (2000): Forearm vascular and neuroendocrine responses to graded water immersion in humans. Acta Physiol. Scand. 169(2), 87-94

Gauer O. H. (1976): Die Rolle des intrathorakalen Kreislaufs in der Volumenregulation. In: Volumenregulation und Flüssigkeitslunge. Hrsg. Eckert, P., Georg Thieme Verlag Stuttgart, Sonderdruck, 3-9

Gauer O.H. (1978): Mechanoreceptors in the intrathoracic circulation and plasma volume control. The kidney in liver desease.

Geny B., Richard R., Mettauer B., Lonsdorfer J., Piquard F. (2001): Cardiac natriuretic peptides during exercise and training after heart transplantation. Cardiovasc. Res. 51, 521-528

Gerwien P., Kruse M., Greis M. (2010): Sportmedizinisches Lexikon. URL: http://www.zpl-lingen.de/110.0.html#c184, Stand: 15.03.2010

Gleim G.W., Nicholas J.A. (1989): Metabolic costs and heat rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. The American Journal of Sports Medicine 17, 248-252

Graveline D.E., Jackson M.M. (1962): Diuresis associated with prolonged water immersion. J. App. Physiol. 17(3), 519-524

Graveline D.E., McCally M. (1962): Body fluid distribution: implications for zero gravity. Aerospace Med. 33(11), 1281-1290

Greenleaf J.E., Morse J.T., Barnes P.R., Silver J., Keil L.C. (1983): Hypervolemia and plasma vasopressin response during water immersion in men. J. Appl. Physiol. 55(86), 1688-1693

Grossman E., Goldstein D.S., Hoffman A., Wacks I.R., Epstein M. (1992): Effects of water immersion on sympathoadrenal and dopa-dopamine systems in humans. Hypertension-Endocrine Branch, National Heart, Lung, and Blood Institute, National Institute of Neurological Disorders and Stroke, Bethesda, Maryland 20892. Source Am. J. Physiol. 262(6 Pt 2), R993-9

Grothe C., Hahn A., Hottenrott K. (2005): Zum Einfluss des Mediums Wasser auf die Herzfrequenz und ihre Variabilität. Institut für Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, In: Krankengymnastik. Zeitschrift für Physiotherapeuten. 10, 1428-1436

Guyton A.C. (1977): An overall analysis of cardiovascular regulation. Anaesth. Analg. 56, 761-768

Hahn A., Scholz G., Graubner, R. (2003): Zur Komplexität des Herzfrequenzverhaltens während der aqualen Immersion - Ableitungen für verschiedene Anwendungsbereiche. Krankengymnastik. Zeitschrift für Physiotherapeuten 11, 1952-1958

Hahn A., Scholz G., Grothe C., Schulze S. (2009): Herzfrequenzverhalten und Herzfrequenzvariabilität während der Immersion. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin Jahrgang 60 Nr. 9, 288-292

Harding P.E., Roman D., Whelan R.F. (1965): Diving bradycardia in men. J. Physiol. 181, 401

Hartmann B. (2008): Bewegungsbad und Bad als indizierte und dosierte Therapie: Faktoren – Wirkungen- Wirksamkeit, ÖZPMR, Österr. Z. Phys. Med .Rehabil. 18/2

Heck H. (1990): Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. Studienbrief der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes, Schorndorf, 77

Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W. (1985): Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. Int. J. Sports Med. 6, 117-130

Held C. et al. (1992): Wiederholte Wasserimmersion als alternatives, nichtmedikamentöses Therapieprinzip bei gestörter Natriumhomoiostase In: Z. ärztl. Fortbild., 86

Henke T. (1994): Zur biomechanischen Validierung der Komponenten der Fahrtechnik im Straßenradsport, Köln, 52

Hill A.V., Lupton H. (1923): Muscular exercise, lactic acid and the supply of and utilization of oxygen Quart. J. Med. 1, 135-71

Hohmann A., Lames M., Letzelter, M. (2002): Einführung in die Trainingswissenschaft. Wiebelsheim, Limpert Verlag, 141

Hollmann W., Hettinger T. (2000): Sportmedizin-Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Stuttgart, New York: Schattauer, 320, 355, 358, 560

Hollmann W., Stücker H.K., Predel H-G. et al. (2006): Spiroergometrie. Schatthauer gmbH. 36-51

Hong S.K., Song S.H., Kim P.K., Suh C.S. (1967): Seasonal observations on the cardiac rhythm during diving in the Korean ama. J. Appl. Physiol. 23, 18-22

Hong S.K. (1997): Breath-hold diving. In: Bove AA, Davis JC (Hrsg): Diving Medicine. W. B. Saunders, Philadelphia PA, 65-74

Holmer I. (1972): Oxygen uptake during swimming in man. J. Appl. Physio. 33 (4), 502–509

Horn M.E., Baer J.T., Vanderburgh P.M. (1998): Improved sprint cycle performance following consumption of a chromium-carbohydrate beverage during prolonged exercise. Medicine and Science in Sports and Exercise 30(5), 878

Hottenrott K., Neumann G. (2008): Methodik des Ausdauertrainings. Band 165: Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport

Hottenrott K. (1993): Trainingssteuerung im Ausdauersport. Theorien–Untersuchungen- Beispiele. Ahrensburg, 22

Howley E.T., Bassett D.R., Welch H.G. (1995): Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Medicine and Science in Sports and Exercise, 27 (9), 1292-1301

Huey L., Forster, R. (1997): Aqua Training Band 2. Meyer & Meyer, Aachen, 10-11

Huijing P. A., Toussaint H. M., Mackay R., Vervoorn K., Clarys J. P., Groot G. de, Hollander A. P. (1988): Active drag related to body dimensions. In: Ungerechts B. E., Wilke K., Reischle K. (Hrgg.). Swimming Science *V*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Publ., 31-37

Irving L., Scholander P.F., Grinell S.W. (1941): The respiration of the purpoise, Tursiops truncatus, J. Cell. Comp. Physiol. 17, 145–168

Itoh H., Sagawa N., Hasegawa M. et al. (1994): Expression of biologically active receptors for natriuretic peptides in the human uterus during pregnancy. Biochem. Biophys. Res. Commun. 203, 206-207

Jahns N. (2000): Leistungsdiagnostische Untersuchungsmethoden für Sport- und Berufstaucher. Diss. Universität Gottingen

Jeschke D., Lorenz R. (1998): Sportartspezifische Leistungsdiagnostik- energetische Aspekte. Sport und Buch Strauß, Köln

Johnson S.N., Plowman S.A., DeLancey M.R., Larson B.M., Rudie L., Miller B., Rzeutko K. (2002): Effects of a ginseng and mushroom based herbal supplement on lactate response to resistance exercise. Medicine and Science in Sports and Exercise 34(5), 1300

Johnston C.I., Hodsman P.G., Kohzuki M., Casley D.J., Fabris B., Phillips P.A. (1989): Interaction between atrial natriuretic peptide and the renin angiotensin aldosterone system. Endogenous antagonists. Am. J. Med. 87 (6B), 24S-28S

Kaiser D., Linkenbach H.J., Gauer O.H. (1969): Änderung des Plasmavolumens des Menschen bei Immersion in ein thermoindifferentes Wasserbad. Pflügers Arch. 308, 166-173

Kaiser D., Eckert P., Linkenbach H.J., Gauer O.H. (1963): Kreislauf und Wasserhaushalt bei Immersion im Wasserbad. Pflügers Arch. 278, 52-53

Katz V.L., McMurray R., Goodwin W.E., Cefalo R.C. (1990): Nonweightbearing exercise during pregnancy on land and during immersion: a comparative study. Am. J. Perinatol. Jul. 7(3), 281-4

Kemmer F.W., Halle M., Stumvoll M., Thurm U., Zimmer P. (2008): Diabetes, Sport und Bewegung. Diabetologie 2008, 3 Suppl. 2, 191–S194

Keul J., Simon G., Berg A., Dickhuth H.H., Goerttler I., Kübel, R. (1979): Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 30 (7), 212-218

Keul J., König D., Scharnagl H. (1999): Geschichte der Sportmedizin. 1. Auflage. Karl F. Haug Verlag, Heidelberg, 9, 12, 15, 34

Kindermann W., Simon G., Keul J. (1978): Dauertraining–Ermittlung der optimalen Trainingsherzfrequenz und Leistungsfähigkeit. Leistungssport 8 (1), 9-34

Kirsch K. und Gunga H.-Ch. (2008): Körperwasser und Schwerkraft. Wissenswirtschaftsmagazin fundiert, Freie Universität Berlin, Kommunikations- und Informationsstelle

Kjaer M., Engfred K., Fernandes A., Secher N.H., Galbo H. (1993): Regulation of hepatic glucose production during exercise in humans: role of sympathoadrenergic activity. Am. J. Physiol. 265, E275-83

Knechtle B. (2002): Aktuelle Sportphysiologie: Leistung und Ernährung im Sport. Karger Publishers, 19-22

Konstantaki M. Swaine, I.L. (1999): Lactate and cardiopulmonary responses to simulated arm-pulling and leg-kicking in collegiate and recreational swimmers. Int. J. Sports Med. Feb. 20(2), 118-21

Krasney J.A., Hajduczok G., Miki K. et al. (1989): Head – out water immersion: Acritical evaluation of the Gauer-Henry hypothesis. In Claybough J.R. and Wade C.E.: Hormonal regulation of fluid and electrolytes. Plenum Pub. Co., 147-185

Krishna G. G. und Danovitch G. M. (1983): Am J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 244, R481-R486

Kroidl R., Schwarz S., Burghart L. (2007): Kursbuch Spiroergometrie. Georg Springer Verlag KG, Stuttgart, 63-66

Kurtz A., Bruna R.D., Pfeilschifter J. et al. (1986): Atrial natriuretic peptide inhibits renin release from juxtaglomerular cells by a cGMP-mediated process. Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 83, pp. 4769-4773

Lange L., Lange S., Echt M., Gauer O.H. (1974): Heart volume in relation to body posture and immersion in a thermo-neutral bath. A roentgenometric tudy. Pflügers Arch. 352, 219-226

Lazar J., Morris M., Qureshi G., Jean-Noel G., Nichols W., Qureshi M., Salciccioli L. (2008): The effects of head-out-of-water immersion on arterial wave reflection in healthy adults. Journal of the American Society of Hypertension, Volume 2, Issue 6, Pages 455-461

Lea & Febiger (1986): Guidelines for graded exercise testing and exercise prescription. American College of Sports Medicine

Levin S. (1991): Aquatic therapy. A splashing success for arthritis and injury rehabilitation. Physican. and Spordsmed. 19, 119-126

Levin E.R., Gardner D.G., Samson W.K. (1998): Natriuretic peptides. N. Eng. J. Med. 339, 321

Lehmann M., Keul J. (1984): Häufigkeit der Hypertonie bei 810 Sportlern. Z. Kardiol. 73, 137–141

Lienert G.A. (1989): Testaufbau und Testanalyse. Göttingen, 13-16

Lifschnitz M.D., Epstein M., Larios O. (1985): Relationship between urine flow rate and prostaglandin E excretion in human beings. J. Lab. Clin. Med. 105, 234-238

Lin Y.C. (1984): Circulatory functions during immersion and breath-hold dives in humans. Undersea. Biomed. Res. 111, 23-38

Lin Y.C. (1988): Applied physiology of diving. Sports Med., 41-56

Little R.C. (1981): Tissue hyperosmolality asa meditor of vasodilation and trascappillary fluid flux in exercising skeletal muscle. Acta Physiol. Scand. (Suppl 379), 1-142

Löllgen, H. (2010). Ergometrie, Springer-Verlag. 3. Auflage, 25-32

Mader A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Rost R., Schürch P., Hollmann W. (1976): Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt und Sportmedizin, 27 (4), 80–8 und 27 (5), 109–12

Mader A., Madson O., Hollmann W. (1980): Zur Bedeutung der laktaziden Energiebereitstellung für Trainings-und Wettkampfleistungen im Schwimmen. Leistungssport 10, 263-279, 408-418

Madsen J. (1994): Exercise tolerance tests for divers. In: Ellitt, D.H. (edt.): Medical assessement of fitness to dive. Proccedings of an International conference at the Edinburgh Conference Centre, 8.-11. March, 93-97

Magel J.R. (1971): Comparison of the physiologic response to varying intesivies of submaximal work in tethered swimming and treadmill running. J. Sports. Med. 11, 203-212

Mano T., Iwase S., Saito M., Koga K., Abe H., Inamura K., Matsukawa T. (1991): Neural and humoral controlling mechanisms of cardiovascular functions in man under weightlessness simulated by water immersion. Acta. Astronaut., 91, 313

Marcus L.S., Hart D., Packer M. et al. (1996): Hemodynamic and renal excretory effects of human brain natriuretic peptide infusion in patients with congestive heart failure: a double-blind, placebo-controlled randomized crossover trail. Circulation. 94, 3184-3189

Martin D. (1982): Grundlagen der Trainingslehre, Teil 2. Hoffmann-Verlag, Schorndorf, 150-151

Maugha R.J. (1995): Creatine supplementation and exercise performance. International Journal of Sport Nutrition 5(2), 94-101

Mc Ardele D., Magel J.R., Lesmes G.R. u. Pechar G.S. (1976): Metabolic and cardiovascular adjustement to work in air and water at 18, 25 and 33 °C. J. Appl. Physiol. 40, 85-90

Mc Ardele D., Katch V., Katch L. (1991): Exercise Physiology, Energy Nutrition and Human Performance, p. 732. Lea & Febiger, Philadelphia/London, 120-123

Mc Ardele D., Glaser R.M., Magel J.R. (1971): Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. J. Appl. Physiol. 30(5), 733-738

McCally M. (1964): Plasma volume response to water immersion: implications for space flight. Aerospace Med. 35,130-132

McLellan T. M. (1987): The anaerobic threshold: concept and controversy, Australian Journal of Science and Medicine in Sport 19 (3), 3-8

Mercier B., Granier P., Mercier J., Trouqet J., Prefaut C. (1993): Anaerobic and aerobic components during arm-crank exercise in sprint and middle-distance swimmers. Eur. J. Appl. Physiol. 66, 461-466

Meuche S. (2009): Flüssigkeitshaushalt unter besonderer Berücksichtigung der Flüssigkeitsbilanzen und NT-proBNP vor, während und nach thermoneutraler Immersion. http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000009162

Miwa C., Mano T., Saito M. et al. (1996): Ageing reduces sympatho- suppressive response to head –out water immersion in humans. Acta. Physiol. Scand. 158(1), 15-20

Meyer K., Bücking J. (2005): Wassertherapie bei Herzinsuffizienz. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin Jahrgang 56, Nr. 12, 403–407

Meyer T. (2008): Belastungsuntersuchungen-Praktische Durchführung und Interpretation, in Kindermann W., Dickhuth H. -H, Röcker K., Nieß A. und Urhausen A. Sportkardiologie: Körperliche Aktivität bei Herzerkrankung, Steinkoppf-Verlag Darmstadt, 2. Auflage, 526

Michaud T. J., Brennen D. K., Wilder R. P., Sherman N. W. (1995): Aqua-Running and Gains in Cardio-Respiratory Fitness. Journal of Strength and Conditioning Research 9 (2), 78-84

Michaud T. J., Rodriguez J., Andres F. F., Flynn M. G., Lambert C. P. (1995): Comparative Exercise Response of Deep Water and Treadmill Running. Journal of Strength and Conditioning Research 9 (2), 104, 109

Miyashita M. et al. (1993): Medicine and Science in Aquatic Sports. Med. Sport. Science. Basel. Karger

Miwa C., Sugiyama Y., Mano T., Iwase S., Matsukawa T. (1996): Spectral characteristics of heart rate and blood pressure variabilities during head-out water immersion. Environ Med. 40(1), 91-94

Morlock J.F and Dressendorfer R.H. (1974): Modification of a standard bicycle ergometer for underwater use. Undersea Biomedical Research Vol. 1 (4), 335-342

Moro C., Polak J., Hejnova J. et al. (2006): Atrial natriuretic peptide stimulates lipid mobilization during repeated bouts of endurance exercise. Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 290(5), E864-E869

Mougios V., Delegiannis A. (1993): Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity. J. Sports. Med. Phys. Fitness 33, 27-33

Nakamitsu S., Sagawa S., Miki K., Wada F., Nagaya K., Keil L.C., Drummer C., Gerzer R., Greenleaf J.E., Hong S.K. et al. (1994): Effect of temperature on diuresisnatriuresis: AVP, ANP, and urodilatin during immersion in men. J. Appl. Physiol. 77, 1919-1925

Nakao K., Ogawa Y., Suga S. et al. (1992): Molecular biology and biochemistry of the natriuretic peptide system. II: Natriuretic peptide receptors. J. Hypertens. 10, 1111-1114

Neumann G., Schüler K-P. (1994): Sportmedizinische Funktionsdiagnostik. Johann Ambrosius Barth, 2.Auflage, Leipzig

Niklas A. (1988): Verfahren und Vorrichtung zur Spiroergometrie im Wasser, Med. Sport 28, 150-153

Norsk P., Ellegaard P., Videbeak R., Stadeager C., Jessen F., Johansen L.B., Kristensen M.S., Kamegai M., Warberg J., Christensen N.J. (1993): Arterial pulse pressure and vasopressin release in humans during lower body negative pressure. Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol. 264, R1024-1030

Nöcker J. (1980): Physiologie der Leibesübungen. 4., neubearbeitete Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 91–105

Obert P., Courteix D., Lecoq A., Guenon P. (1996): Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls. Eur. J. Appl. Physiol. 73, 136-143

Obert P., Falgairette G., Bedu M., Coudert J. (1992): Bioenergetic characteristics of swimmers determined during an arm-ergometer test and during swimming. Int. J. Sports Med. 13, 298-303

Ogihara T., Shima J., Hara H. et al. (1986): Significant increase in plasma immunoreactive atrial natriuretic polypeptide concentration during head-out water immersion. Life Science 38(26), 2413-2418

Olbrecht J. (2000): The Science of Winning (Planning, Periodizing and Optimizing Swim Training). Swimshop Luton, England

Pansold B. (1993): Leistungsdiagnostik mit Latktat und Mini 8. Handbuch–Dr. Lange LOX-PAPMethode/Miniphotometer 8

Pansold B., Zinner J. (1991): Analysis and Validity of Sportspecific and Ergometric Incremental Test Programmes. In: Bachl N., Graham T.E., Löllgen H. (Hrsg.): Advances in Ergometry. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag

Pansold B., Zinner J. (1994): Die Laktatleistungskurve- ein Analyse-und Interpretationsmodell der Leistungsdiagnostik im Schwimmen. In: Clasing D, Weicker H, Böning D: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 47-64

Pansold B., Zinne, J. (1982): Sportliche Leitungsstruktur im Spiegel leistungsdiagnostischer Daten, Olympiastützpunkt Berlin, 574-581

Park K.S., Choi L.K., Park Y.S. (1999): Cardiovascular regulation during water immersion. Appl. Human Sci. 18, 233-241

Perini R., Milesi S., Biancardi L., Pendergast D.R., Veicsteinas A. (1998): Heart rate variability in exercising humans: effect of water immersion. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. Mar. 77(4), 326-32

Peyré-Tartarug L.A., Kruel L.F.M. (1996): Deep water running: limits and possibilities for high performance. Rev. Bras. Med. Esporte vol.12 no.5

Pessenhoefer H., Schwaberger G., Schmid P. (1981): Zur Bestimmung des Individuellen aerob–anaeroben Übergangs. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 32 (1), 7-15

Pilmanis A.A., Henriksen J.K.C., Dwyer H.J. (1977): An Underwater Ergometer for Diver Work Performance Studies in the Ocean. Ergonomics 20, 51-55

Pirnay F., Deroanne R., Petit J. M. (1977): Influence of water temperature on thermal, circulatory and respiratory responses to muscular work. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 37, 129-136

Platen P. (2001): Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit 48-66 In: Rost, R. (Hrsg.): Lehrbuch der Sportmedizin Dt. Ärzte-Verlag, Köln

Pschyrembel, W. (Hrsg.) (2001): Pschyrembel. Klinisches Wörterbuch. Mit klinischen Syndromen und Nomina. Begr. von O. Dornblüth. 259. Aufl. New York: de Gruyter, 144

Quintana R., Robergs R.A., Parker D., Frankel C.C. (1997): Gender specific changes in the lactate threshold with increasing hypobaric hypoxia. Medicine and Science in Sports and Exercise 29(5), Supplement abstract 774

Reer R., Ramcke C., Rudolph K., Braumann K.M. (2001): Spiroergometrie im Strömungskanal: Vergleich der Schwimmökonomie sowie metabolisch-kardiozirkulatorischer Parameter zwischen ausdauerorientierten und sprintorientierten Schwimmern. Zeitschrift für Sportmedizin Jahrgang 52, 75

Rim H., Yun Y.M., Lee K.M. et al. (1997): Effect of physical exercise on renal response to head-out water immersion. Appl. Human Sci. 16(1), 35-43

Risch W.D., Koubenec H.J., Beckmann U., Lange S., Gauer O.H. (1978): The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. Pflügers Arch. 374, 115-118

Risch W.D., Koubenec H.J., Gauer O.H., Lange S. (1978): Time course of cardiac distension with rapid immersion in a thermo-neutral bath. Pflügers Arch. 374, 119-120

Ritchie S.E., Hopkins W.G. (1991): The intensity of exercise in deep-water running. Int. J. Sports Med. 12, 27-29

Roberts, A.D. (1991): Physiological capacity for sports performance. In: Pyke FS (ed.) Better Coaching: Advanced Coach's Manual. Canberra: Australian Coaching Council, 43-54

Robinson S. (1938): Experimental studies of physical fitness in relation to age. Arbeitsphysiol.10, 251

Röhling H., Bischoff G., Funk S., Hagen H., Wechsler J.G. (2005): Untersuchung zur Lebensqualität bei Adipositas. 21. Jahrestagung der Deutschen Adipositas-Gesellschaft, Berlin, 11

Röthig P. (1992): Sportwissenschaftliches Lexikon. Schorndorf. Hofmann, 528

Rost R. (2001): Lehrbuch der Sportmedizin, Deutscher Ärzte-Verlag Köln

Russel C.J., McNeill A., Evonuk E. (1972): Some cardiorespiratory and metabolic responses of Scuba divers to increased pressure and cold. Aeros. Med. 43 (9), 998-1001

Schlumberger A., Hemmling G., Frick U., Schmidtbleicher D. (1997): Herzfrequenz- und Laktatverhalten beim freien Laufen und beim Aquajogging. Dtsch. Z. Sportmed. 48, 183-189

Schmidt R.F., Thews G. (1997): Physiologie des Menschen. Springer Verlag (27. Auflage), Berlin, Heidelberg, New York, 583

Schnabel G., Harre D., Borde A. (1997): Trainingswissenschaft, Berlin: Sportverlag, 46

Schnizer W. (2001): Bewegungstherapie im Wasser und Wasserimmersion. Zeitschrift: Heilbad und Kurort (12), 296

Schnizer W., Fenzl M., Knüsel O., Hartmann B. (2006): Phys. Med .Rehab. Kurort 16, 330-336

Seps B., Beckers F., Aubert A.E. (2002): Head out water immersion as simulation study: a heart rate variability study. J. Gravit. Physiol. 9(1), 95-96

Sengenès C., Berlan M., De Glisezinski, Faseb J. et al. (2000): Natriuretic peptides: A new lipolytic pathway in human adipocytes. Faseb Journal,14, 1345-1351

Shanebrook J. u. R., Jaszcak (1976): Aerodynamic drag analysis of runners. Med. Sci. Sports 8, 43-45

Sheldahl I.M., Wann L.S., Clifford P.S., Tristani F.E., Wolf L.G., Kalbfleisch J.H. (1984): Effect of central hypervolemia on cardiac performance during exercise. Journal of Applied Physiology, Vol. 57, Issue 6, 1662-1667

Sheldahl L.M., Tristani F.E., Clifford P.S., Hughes C.V., Sobocinski K.A., Morris R.D. (1987): Effect of head-out water immersion on cardiorespiratory response to dynamic exercise. J. Am. Coll. Cardiol. 10, 1254–1258

Sheldahl L.M., Tristani F.E., Connelly T.P., Levandoski S.G., Skelton M.M., Cowley A.W. Jr. (1992): Fluid-regulating hormones during exercise when central blood volume is increased by water immersion. Am. J. Physiol. May, 262(5 Pt 2), R779-85

Shin W.T., Wilson M., Wilson T.W. (2003): Are hot tubs safe for people with treated hypertension? Canadian Medical Association or its licensors 169(12), 1265–1268

Shono T., Hotta N., Ogaki T., Shimizu T. (1993): Cardiorespiratory responses during flume swimming and treadmill running in swimmers. Ann. Physiol. Anthropol. 12, 145-150

Silvers W.M., Rutledge E.R., Dolny D.G. (2007): Peak cardiorespiratory responses during aquatic and land treadmill exercise. Med. Sci. Sports Exerc. 39(6), 969-75

Simon G., Thiesemann M. (1986): Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit im Schwimmsport. Leistungssport 16(3), 29-31

Simon G. (1994): Laktat zur aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik im Schwimmen. In Clasing D., Weicker H., Böning D.: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 81-87

Skipka W., Deck K. A., Böning D. (1976): Effect of physical fitness on vanillylmandelic acid excretion during immersion. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 271-776

Smidt N., de Vet HCW, Bouter L.M., Dekker J. (2005): Effectiveness of exercise therapy: a best evidence summary of systematic reviews. Aust .J. Physiother. 5, 71–85

Smith R.M., Neumann T.S. (1997): Abnormal serum biochemistries in association with arterial gas embolism. J. Emerg. Med. 15, 285-289

Smith D.E., Kaye A.D., Mubarek S.K., Kusnisck B.A., Anwahr M., Friedman I.M., Nossman B.D. (1998): Cardiac effects of water immersion in health volunteers. Echocardiography 15, 35-428

Smith D.J., Deuster P.A., Ryan C.J. (1990): Prolonged whole body immersion in cold water: hormonal and metabolic changes. Undersea Biomedical Research 17 (2) 139-47

Soliman A.H.N. (2004): Belastungssteuerung im Schwimmsport auf der Basis individueller Leistungsdiagnostik im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen. Diss. Universität Halle/Saale

Stegemann H., Kindermann, W. (1981): Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle bei unterschiedlichen Ausdauertrainierten aufgrund des Verhaltens der Lactatkinetik während der Arbeits- und Erholungsphase. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 32 (8), 213 – 21

Strømme S.B., Inger F. (1978): Comparison of diving bradycardia and maximal aerobic power. Aviat. Space. Environ Med. 49, 1267-127

Strength J., Barbosa T.M., Garrido M.F., Bragada J. (2007): Physiological adaptations to head-out aquatic exercises with different levels of body immersion. Cond. Res. 21(4), 1255-9

Sramek P., Simecova M., Jansky L, Savlikova J., Vybiral S. (2000): Human Physiological Responses to Immersion in Water of Different Temperatures. European Journal of Applied Physiology 8, 436.442

Sugiyama K., Katamoto S. (1992): Comparison of submaximal front crawl and breast stroke swimming in relation to energy expenditure. Ann. Physiol. Anthropol. 11, 635-640

Suttner S.W., Boldt, J. (2004): Natriuretic peptide system: physiology and clinical utility. Curr. Opin. Crit .Care 10, 336-41

Svedenhag J., Seger J. (1992): Running on land and in water: comparative exercise physiology. Med. Sci. Sports, Exerc. 24(10), 1155-1160

Tegtbur U., Busse M., Machold H., Brinkmeier U. (2001): Noradrenalin und Laktat im doppelten Stufentest vor und nach 6-monatiger ambulanter kardialer Rehabilitation. Sportmedizin/Clinical Sports Medicine-Germany (KCS), 2(6),106-113

Toussaint H. M. (1994): The determination of (over-) training effects in swimming. In Congress of Sports Medicine of the A.Z. St-Jan, vol. 13 (ed. M. D'Hooghe), 53-57

Toussaint H.M. (1988): Mechanics and energetics of swimming, Diss., Vrije Uni., Amsterdam

Toussaint H.M., Meulemans A., de Groot G., Hollander A.P., Schreurs A.W., Vervoon K. (1987): Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. Eur. J. Appl. Physiol. 56, 363-366

Town G.P., Bradley S.S. (1991): Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners. Medicine and Science in Sports and Exercise 23(2), 238-241

Treffene R.J. (1979): Swimming performance test: a method of training and performance time selection. Swimming Technique 5, 120-124

Troup J.P. (1984): Review, energy systems and training considerations. Journal of Swimming Research, 1, 13-16.

Ulmer H.-V. (1997): Arbeits- und Sportphysiologie, in Schmidt, R. F., Thews, G., Physiologie des Menschen, Springer-Verlag Heidelberg, 26. Auflage, 672-696

Völker K., Madsen O., Lagerström, D. (1983): Fit durch Schwimmen. perimed-Fachbuch- Verlagsgesellschaft, Erlangen

Volker H., Carmen T., Erich R. und Theo S. (1996): Zur Leistungsfähigkeit von Schwimmer/Innen der nationalen Spitzenklasse nach oraler Supplementation von Kreatin. Abteilung für Sportmedizin am Krankenhaus für Sportverletzte Lüdenscheid-Hellersen

Wasserman K., Whipp B.J., Koyal S.N., Beaver W.L. (1973): Anaerobic threshold and repiratory gas exchange during exercise. Journal of Applied Physiology 35, 236-243

Watenpaugh D.E., Pump B., Bie P., Norsk P. (2000): Does gender influence human cardiovascular and renal responses to water immersion? J. Appl. Physiol. 89, 621-628

Weber-Witt H. (1993): Erlebnis Wasser: Therapeutische Übungen und Schwimmen. Springer, 4

Weiß M., Weicker A. (1985): Gibt es eine Schwimmer-Hypertonie? Schweiz. Ztsch. Spordmed. 33, 122-132

Weiß M., Jost J., Volk G., Weicker H. (2003): Hormonelle Regulation der Elektrolyt-Volumen-Homöostase bei unterschiedlichen Bedingungen und sportlichen Belastungsformen. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin Jahrgang 54 Nr. 3, 77–85

Wick D. (2005): Biomechanische Grundlagen sportlicher Bewegungen. Spitta Verlag. Stuttgart/Balingen, 172

Wilber R. L., Moffat R. J., Scott B. E, Lee D. E, Cucuzzo N. A. (1996): Influence of Water Run Training on the Maintenance of Aerobic Performance. Medicine and Science in Sport and Exercise 28 (8), 1056,1062

Wilcock I.M., John B., Cronin, Wayne A., Hing (2006): Physiologial Response to Water Immersion. Sports Med .36 (9), 747-765

Willemsen J.J., Ross H.A., Jacobs M.C. et al. (1995): Highly sensitive and specific HPLC with fluorometric detection for determination of plasma epinephrine and norepinephrine applied to kinetic studies in humans. Clin. Chem. 41(10), 1455-1460

Wonisch M., Hofmann P., Pokan R., Kraxner W. et al. (2003): Spiroergometrie in der Kardiologie –Grundlagen der Physiologie und Terminologie. Journal der Kardiologie 10 (9), 383

Yamaji K., Greenley M., Northey D. R.,Hughbon R. L. (1990): Oxygen uptake and heart rate responses to treadmill and water running, Canadian Journal of Sports Science, 15, 96–98

Yu E., Kitagawa K., Mutoh, Y., Miyashita M. (1994): Cardiorespiratory responses to walking in water. Medicine and Sports Science, Vol. 39, Iss. 7, 35-41.

Yun S.H., Choi J.K., Park Y.S. (2004): Cardiovascular responses to head-out water immersion in Korean women breath-hold divers. Eur. J. Appl. Physiol. 91, 708-711

10 Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Auswahl von Basisbewegungen im aqualen Bewegungsbereich	9
Abb. 2	Aqua-Fitness Kompass	10
Abb. 3	Immersionseffekt	15
Abb. 4	Einflussfaktoren auf Organismus im Wasser	22
Abb. 5	Schema zum Belastungs-Beanspruchungskonzept modifiziert nach Ulmer (1997)	26
Abb. 6	Belastungsverfahren modifiziert nach de Marées (2002)	28
Abb. 7	Ventilatorische anaerobe Schwelle (AT) nach Beaver et al. (1986)	33
Abb. 8	Fahrrad „Evolution“ der Firma nemcomed®	39
Abb. 9	Aquabike „PROFESSIONAL“	40
Abb. 10	„SharkeBike“ der Firma BECO	40
Abb. 11	Unterwasserlaufband „Hydroworx 1100“	41
Abb. 12+13	Unterwasser-Laufband der Fa. SimpCo	41
Abb. 14	Übersicht Testentwicklung	51
Abb. 15	Flügel mit 5 verschiedenen Abstandpunkten (Positionen = Loch)	53
Abb. 16	Justierung des Bremswiderstandes (Becher) in Position 3 (Loch 3)	53
Abb. 17	Becherposition 3 und 5	53
Abb. 18	Testperson 34 Jahre	55
Abb. 19+20	Testperson 27 Jahre SE im Wasser und an Land	57
Abb. 21	Veränderung der Becherpositionen (Widerstand) während der Pause (1min)	57
Abb. 22	Proband mit EKG	60
Abb. 23	Legen eines venösen Katheters	60
Abb. 24	Proband mit EMG	60
Abb. 25	Proband bei Fahrrad-Spiroergometrie Land	62
Abb. 26	Proband bei Fahrrad-Spiroergometrie im Wasser	63
Abb. 27	Blutproben auf Eis	65
Abb. 28	Zentrifuge	65
Abb. 29	Proband mit angelegten Hautelektroden und Netzstrumpf	68
Abb. 30	Muskelaktivitäten Ergometrie Land von Proband SE	68
Abb. 31	Muskelaktivitäten Ergometrie Wasser von Proband SE	69
Abb. 32	Herzfrequenz in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser	71

Abb. 33	**Sauerstoff-Verbrauch in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**72**
Abb. 34	**Systolischer Blutdruck in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**73**
Abb. 35	**Laktat in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**74**
Abb. 36	**Glucose in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**75**
Abb. 37	**Freie Fettsäuren in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**76**
Abb. 38	**Respiratorischer Quotient in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**77**
Abb. 39	**Insulinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**78**
Abb. 40	**Adrenalinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**79**
Abb. 41	**Noradrenalinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**80**
Abb. 42	**ANP in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**81**
Abb. 43	**Proteinkonzentration in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser**	**82**
Abb. 44	**EMG-Flexoren und Extensoren des linken Beines in Ruhe, im anaeroben und maximalen Bereich an Land und im Wasser in einer Untergruppe von sieben Probanden**	**83**

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Einsatzbereiche aqualer Bewegungsformen und deren Zielstellungen	7
Tab. 2	Zielbereiche und deren spezifischn Kursangebote	8
Tab. 3	Modelle zur Gestaltung von Stufentests	29
Tab. 4	Übersicht über verschiedene Schwellenkonzepte und die Terminologie	35
Tab.5:	Testprotokoll streckenspezifische Stufentests über 100 m Pansold et al. (1994)	37
Tab. 6	Studienübersicht Vergleich von sportartspezifischen Bewegung im Wasser mit ergometrischen Untersuchungen an Land	42
Tab. 7/1	Studienübersicht Vergleich spiroergometrische Untersuchungen im Wasser vs. Land	43
Tab. 7/2	Studienübersicht Vergleich spiroergometrische Untersuchungen im Wasser vs. Land	44
Tab. 8	Vergleich von Aqua-Jogging/Aqua-Fitness mit Ergometrie oder Bewegungen an Land	45
Tab. 9	Festlegung der Belastungsstufen Wasser/Land	56
Tab. 10	Belastungsschema Land	62
Tab. 11	Belastungsschema Wasser	64
Tab. 12	Maximale und minimale Herzfrequenz (Schläge pro Minute) an Land und im Wasser an allen 3 Messpunkten (n = 17)	70
Tab. 13-24	Ergebnisse der Varianzanalyse	71-82
Tab. 25	Ethikantrag	129
Tab. 26	Protokoll EMG Proband SE	143
Tab. 27	Ergebnisse der Studie (MW ± STAW und SEM)	144

Ethikantrag

Antrag auf Beratung durch die Ethikkommission zur Durchführung eines medizinisch-wissenschaftlichen Vorhabens, welches nicht die klinische Prüfung eines Arzneimittels beinhaltet

Tab 25.: Ethikantrag

1. Titel der Studie	Pilotstudie: Randomisierte Cross-Over-Studie zum Vergleich der Wirkung von Training im Wasser und an Land bei gesunden, normalgewichtigen Probanden
2. Ethikkommissions -Antragsnummer	
3. Entscheidungen anderer Ethikkommissionen in derselben Sache	Nein
4. Gegenstand der Studie und ihre Ziele (Hypothesen, getrennt in Haupt- und Sekundärhypothesen)	I. Hintergrund der Untersuchung Der Aufenthalt im Wasser induziert physiologische Veränderungen, die in der Summe zu einem um ca. 700 ml gesteigerten Plasmavolumen (Arborelius et al. 1972) führt. Diese kopfwärts gerichtete Umverteilung des Plasmavolumens führt zur Aktivierung der kardialen Mechanorezeptoren und bedingt dadurch eine Reihe von hormonellen und neuronalen Reflexen: ANP steigt (Epstein et al. 1987, 89); ADH fällt (Epstein et al. 1975, 81; Norsk and Epstein 1988); Aldosteron fällt (Epstein and Satura 1971; Epstein et al. 1975) Hemmung des Sympathikus (Krishna et al. 1983; Miki et al. 1988); Stimulation der Prostaglandinbildung (Epstein et al. 1979; Lifschitz et al. 1985) Diese durch den Aufenthalt im Wasser induzierten physiologischen Veränderungen werden durch Training im Wasser modifiziert. Die durch hydrostatische Kompression bedingte Zunahme des Plasmavolumens ist geringer als bei Untertauchen in Ruhe. Training entspannt über den Sympathikus den cholinergen präkapillären, aber nicht den postkapillären Sphinkter, wodurch der Kapillardruck in der arbeitenden Muskulatur steigt (Little 1981). Die

	kopfwärts gerichtete Umverteilung des Plasmavolumens führt zur Aktivierung der kardialen Mechanorezeptoren und bedingt eine Reihe von hormonellen und neuronalen Reflexen, die jedoch durch zentrale Effekte des Trainings modifiziert werden: ANP steigt mehr (Lenz et al. 1988); ADH steigt (Melin et al. 1980; Convertino et al. 1988); Aldosteron unverändert (Rim et al. 1996) Hemmung des Sympathikus ist wesentlich geringer oder aufgehoben Vier Subtypen der Familie der Natriuretischen Peptide wurden bisher isoliert: Atrial- (ANP), Brain- (BNP), C-type- (CNP) und Dendroaspis (DNP) natriuretic peptide. Atriales Natriuretisches Peptid wird primär von den Vorhöfen sezerniert als Antwort auf Dehnungsreiz *(de Bold et al. Life Sci 1981).* Natriuretische Peptide wirken über spezifische Zellrezeptoren, die an eine Guanylat-Cyclase gekoppelt cGMP generieren. Diese Rezeptoren befinden sich in verschiedenen Geweben, z. B. Gefäßendothel, renale Sammelrohre und Fettgewebe. Bis vor kurzem war die Wirkung von ANP auf das Fettgewebe unbekannt. Jüngst wurde ein lipolytischer Effekt von Natriuretischen Peptiden auf isolierte Fettzellen nachgewiesen. (Lipolytischer Effekt: ANP>BNP>>CNP) *(Sengenès et al, Faseb J. 2000).* Ebenso induziert eine intravenöse Gabe von ANP in pharmakologisch wirksamer Dosierung (30-fach erhöht) die Lipolyse *(Gallitzky et al. J Lipid Res 2001).* Ziel des Vorhabens, konkrete Fragestellung bzw. Hypothesen: In der vorliegenden Pilotstudie sollen der Einfluss von Wassertraining auf die ANP-Konzentration und damit auf eine gesteigerte Lipidoxidation untersucht und gleichzeitig Stoffwechselparameter erhoben werden, die für eine Fallzahlschätzung für Folgestudien herangezogen werden können. Primäre Zielvariable:

	Vergleich des Anstiegs des atrialen natriuretischen Peptids unter Belastung im Wasser und an Land. Sekundäre Zielvariablen: Vergleich der Lipidoxidation bei gegebenen VO_2 Vergleich der Änderungen von Katecholaminen, Plasmarenin, Aldosteron in Ruhe und im Stufentest Blutdruck und Herzfrequenzverhalten in Ruhe und während des Stufentests Vergleich von Hämatokrit, Albumin, Glucose, freien Fettsäuren, Glycerol und Pyruvat in Ruhe und im Stufentest
5. Erläuterung der Bedeutung der Studie	Die Beeinflussung der ANP-Freisetzung könnte wegen dessen lipolytischer Wirkung von Bedeutung für die Adipositas-Therapie sein. Die hier vorgestellten Untersuchungen sollen erste Daten zur besseren Beurteilung dieser Vorstellung liefern.
6. Welche der folgenden Bestimmungen finden Anwendung Medizinproduktegesetz Strahlenschutzverordnung Röntgenverordnung Gentechnikgesetz Datenschutzgesetze	
7. Ggf.: Bezeichnung und Charakterisierung der Prüfprodukte	entfällt
8. Wesentliche Ergebnisse der vorklinischen Tests oder Gründe für die Nichtdurchführung derselben	Zur lipolytischen Wirkung von exogenem ANP wurden Voruntersuchungen an 14 normalgewichtigen gesunden Männer (Alter: 30±1 Jahr, BMI 24.4±0.4kg/m²) bei uns durchgeführt (AA3/03/28). Untersuchungen zur Beeinflussung der endogenen Freisetzung von ANP unter den hier genannten Trainingsbedingungen existieren in der Literatur nicht. Die hier beschriebenen Methoden können weder im Zellkultur- noch im Tiermodell angewendet werden.

9. Wesentlicher Inhalt und Ergebnisse der vorangegangenen Studien/Anwendungen der in der Studie zu prüfenden Produkte	Siehe -4-
10. Beschreibung der vorgesehenen Maßnahmen/Untersuchungsmethoden und eventuelle Abweichungen von den in der med. Praxis üblichen Maßnahmen/Untersuchungen	Protokoll: Nach der Screening-Untersuchung erfolgt eine sorgfältige Phänotypisierung der Patienten, die eine standardisierte Anamnese, körperliche Untersuchung, Messung anthropometrischer Daten sowie des Blutdrucks und metabolische Charakterisierung einschließt. Die Untersuchungen werden nachfolgend weiter beschrieben. Anschließend erfolgt die Randomisierung. Standardisierte Anamnese: Die Anamneseerhebung erfolgt mit Hilfe standardisierter Fragebögen. Es erfolgt eine Besprechung der Bögen mit dem Studienarzt, der anamnestische Details ergänzt oder hinterfragt. Körperlicher Status: Im Rahmen der ersten Untersuchung vor der Intervention und nach Abschluss der Intervention erfolgen Inspektion, Perkussion, Palpation von Kopf, Hals, Thorax, Abdomen, Wirbelsäule und Extremitäten; Gefäßstatus und orientierende neurologische Untersuchung nach einem Standard (siehe Anlage). Körpergewicht/Körperhöhe: Ermittlung des Körpergewichtes durch Wiegen des Probanden auf jeweils derselben, medizinisch geeichten, TÜV-geprüften Waage zur selben Tageszeit in Unterwäsche im Rahmen der ersten und letzten Untersuchung. Ermittlung der Körperhöhe im Rahmen der ersten Untersuchung mit entsprechender medizinisch geeichter, TÜV-geprüfter Messvorrichtung, Messung der Probanden am Morgen ohne Schuhe. Der Body-Mass-Index wird als Quotient von Körpergewicht (kg)/[Körperhöhe (m)]^2 berechnet.

	Hüft- und Taillenumfang: Der Umfang der Taille wird im Stehen in der Mitte des Abdomens (Mitte zwischen unterem Rippenbogen und Spina iliaca anterior superior) gemessen. Der Umfang der Hüfte wird im Stehen über dem Trochanter major des Oberschenkelknochens ermittelt. Sämtliche Messungen erfolgen am leicht bekleideten Probanden mit einem 2-m-langen Bandmaß im Rahmen der ersten Untersuchung sowie zu jeder weiteren Vorstellung durch denselben Untersucher. Der Quotient aus Taillenumfang/Hüftumfang wird berechnet (Waist-to-Hip-Ratio). Blutdruck/Herzfrequenz: Blutdruck und Herzfrequenz werden während der Spiroergometrien mittels einer an den Oberarmumfang angepassten Manschette gemessen bzw. mittels EKG gemessen. Laboruntersuchungen: Die folgenden Laboruntersuchungen erfolgen vor und während der Spiroergometrie an Land oder im Wasser in Ruhe und im Stufentest. Atriales Natriuretisches Peptid, Noradrenalin, Adrenalin, Plasma-Renin-Aktivität und Aldosteron, freie Fettsäuren, Glycerol, Glukose, Pyruvat, Hämatokrit, Albumin. Indirekte Kalorimetrie: Bei der Untersuchung vor dem Test erfolgt eine indirekte Kalorimetrie (Stoffwechselhaube) zur Bestimmung des Ruhe-Nüchtern-Umsatzes. Der Proband sollte mindestens 48 h keine sportliche Aktivität durchgeführt haben. Spiroergometrie: Diese Untersuchung erfolgt an Land und im Wasser. Die Belastungstests erfolgen auf einem Ergometer (AquaBike, Nemcomed). Der Test ist als Stufentest mit 5 – 6 Stufen zu jeweils 7 min und 1 min Pause

	angelegt. Dabei werden Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidaufnahme gemessen. Die Laktatkonzentrationen werden im Kapillarblut aus einem hyperämisierten Ohrläppchen auf jeder Stufe bestimmt. Eine venöse Blutabnahme erfolgt vor und während der Belastung. Nach Durchführung einer Belastung erfolgt eine einwöchige Pause. Nach der Pause wird die Untersuchung im jeweils anderen Medium (Cross over) vom gleichen Probanden wiederholt.
11. Bewertung und Abwägung der vorhersehbaren Risiken und Nachteile der Studienteilnahme gegenüber dem erwarteten Nutzen für die Studienteilnehmer und zukünftig erkrankte Personen	Aufgrund der potentiellen klinischen Implikationen erscheint die Durchführung der Untersuchung ethisch vertretbar. Für die hier untersuchten gesunden Probanden liegen keine Gesundheitsrisiken vor.
a. Voraussehbarer therapeutischer Nutzen für die Studienteilnehmer	Der Nutzen besteht in der Teilnahme an einem optimal gesteuerten Trainingsprogramm.
b. Voraussehbarer medizinischer Nutzen für zukünftig erkrankte Personen	Die kontrollierte Steigerung der körperlichen Aktivität ist einer der Hauptpfeiler in der nicht-pharmakologischen Therapie von Herzkreislauf- und Stoffwechselerkrankungen und der meist bereits vorliegenden Adipositas. Die Möglichkeit, eine möglichst effektive Trainingsmaßnahme mit geringem Risiko für die Betroffenen zu finden, rechtfertigt die Durchführung unserer Untersuchungen.
c. Risiken und Belastungen für die Studienteilnehmer (alle im Einzelnen auflisten)	Mögliche Risiken: Blutdruck / Herzfrequenz: keine relevanten Risiken. Laboruntersuchungen: Die Blutabnahmen am Tag der Randomisierung, vor und während der Belastung erfolgen über einen Verweilkatheter, der in eine große antecubitale Vene eingeführt wird. Sonstige Blutabnahmen erfolgen mittels einer Kanüle. Es können Hämatome und Infektionen auftreten. Insbesondere das Risiko von Infektionen ist als sehr gering einzustufen. Indirekte Kalorimetrie: keine relevanten Risiken.

	Spiroergometrie: Bei einer Belastungsuntersuchung können theoretisch Myokardischämien und/oder Herzrhythmusstörungen auftreten. Dieses Risiko ist in der vorliegenden Studie als gering einzuschätzen, da Patienten mit relevanten Vorerkrankungen ausgeschlossen werden.
12. Maßnahmen zur Risikobeherrschung	Die Belastungsuntersuchungen erfolgen durch einen Sportwissenschaftler und unter ärztlicher Aufsicht.
13. Abbruchkriterien	a) Einzelne Versuchspersonen: Die Teilnehmer können die Studienteilnahme jederzeit auch ohne Angabe von Gründen beenden. b) Gesamtstudie: nicht vorgesehen.
14. Anzahl, Alter und Geschlecht der betroffenen Personen	20 Männer zwischen 20 und 40 Jahre
15. Statistische Planung und Angabe sowie biometrische Begründung der Fallzahl und Unterschrift des/der Statistikers/Statistikerin	Diese Studie hat einen explorativen Charakter. Ziel der Studie ist es, Daten zu sammeln, die eine exakte Fallzahlschätzung für zukünftige Studien ermöglicht. Darüber hinaus benötigen wir erste Daten zur Definition geeigneter Endpunkte bei Patientenstudien.
16. a. Darlegung und ggf. Erläuterung der Ein- und Ausschlusskriterien	Einschlusskriterien: Männer: • Alter ≥ 20 und ≤ 40 Jahre. • Body Mass Index ≤ 27 kg/m^2. • keine chronische Medikamenteneinnahme Ausschlusskriterien: • Krankheiten oder Funktionsstörungen, die nach Meinung des Prüfarztes eine Teilnahme an einer klinischen Prüfung ausschließen • sämtliche behandlungsbedürftige chronische Erkrankungen • postoperative Phasen • akute und chronische Infektionen

	• Geschäftsunfähigkeit oder sonstige Umstände, die es dem Patienten nicht ermöglichen, Wesen, Bedeutung und Tragweite dieser klinischen Prüfung vollständig zu verstehen • bekannter Medikamenten-, Drogen- oder Alkoholabusus • Teilnahme an einer klinischen Prüfung in den letzten 4 Wochen
b. Teilnehmerinformation (wer diese mündlich erteilt und Angabe, wie viel Zeit zwischen Aufklärung und Einwilligung verbleibt, ansonsten Verweis auf deren Inhalt als Anlage möglich)	Teilnehmerinformation siehe Anlage. Die Information der Probanden erfolgt durch einen der unten genannten Studienärzte mündlich. Anschließend wird die schriftliche Information ausgegeben. Zwischen der mündlichen Aufklärung und der Einwilligung des Probanden sollten mindestens 24h liegen.
c. Einwilligungserklärung (Verweis auf deren Inhalt als Anlage möglich)	siehe Anlage
d. Ggf. Information und Einwilligung des gesetzlichen Vertreters (ggf. auch Beschreibung des Verfahrens zur Einrichtung einer gerichtlichen Betreuung)	nicht vorgesehen, da nur Erwachsene untersucht werden
17. Maßnahmen zur Gewinnung von Studienteilnehmern (Aushang ?, Zeitungsannoncen? Etc.)	Die Studienteilnehmer sollen durch Zeitungsannoncen und Aushänge rekrutiert werden
18. Ggf.: Grund für die Einbeziehung und Darlegung des therapeutischen Nutzens für Personen, die minderjährig und/oder nicht einwilligungsfähig sind.	entfällt
19. Beziehung zwischen Studienteilnehmer und Studienarzt/-ärztin	entfällt
20. Ggf. Erklärung zur Einbeziehung möglicherweise vom Sponsor oder Studienarzt abhängiger Personen	entfällt
21. Maßnahmen, die eine Feststellung zulassen, ob ein Studienteilnehmer an mehreren Studien zugleich oder vor Ablauf einer in der vorangegangenen Studie festgelegten Frist teilnimmt.	Vor Einschluss in die Studie erfolgt eine detaillierte Aufklärung der Patienten. In der Einwilligungserklärung zur Studienteilnahme muss der Verzicht auf die Teilnahme an anderen klinischen Prüfungen durch den Patienten erklärt werden. Eine

	eventuelle Zuwiderhandlung führt zum Ausschluss aus der Studie.
22. Ggf.: Honorierung bzw. Kostenerstattung der Studienteilnehmer (Höhe, wofür soll gezahlt werden?)	Die Probanden erhalten eine Fahrtkostenerstattung von pauschal jeweils € 20 für die Voruntersuchung und die beiden Untersuchungstage an Wasser und an Land.
23. Ggf.: Plan für die Weiterbehandlung und medizinische Betreuung der betroffenen Personen nach dem Ende der Studie	entfällt
24. Ggf.: Versicherung der Studienteilnehmer (Versicherer, Versicherungsumfang, Versicherungsdauer)	Die Probanden werden im Rahmen der Haushaftpflichtversicherung versichert. Eine entsprechende Bestätigung und der Versicherungsnachweis werden nachgereicht. Eine Probandenversicherung nach AMG oder MPG ist nicht notwendig.
25. Ggf.: Dokumentationsverfahren (Verweis auf CRF-Bögen möglich)	Mittels CRF-Bögen
26. Ggf.: Beschreibung, wie der Gesundheitszustand gesunder betroffener Personen dokumentiert werden soll	Anamnesebogen und Originaldaten der Blutdruck-, EKG- und Laborbestimmungen
27. Ggf.: Methoden, unerwünschte Ereignisse festzustellen, zu dokumentieren und mitzuteilen (wann, von wem und wie ??)	Verlaufsbögen im CRF (Prüfärzte)
28. Vorgehen zum Schutz der Geheimhaltung der gespeicherten Daten, Dokumente und ggf. Proben, Darlegung der Verschlüsselung der Daten von Studienteilnehmern	Studienergebnisse werden in pseudonymisierter Form aufbewahrt. Ein Zugang Dritter zu diesen Daten ist nicht vorgesehen. Personenbezogene Daten und studienbezogene Ergebnisse werden getrennt voneinander aufbewahrt.
29. Erklärung zur Einhaltung des Datenschutzes	Wir verpflichten uns sämtliche relevanten Datenschutzrichtlinien zu befolgen.
30. Namen und Anschriften der Einrichtungen, die als Studienzentrum oder Studienlabor in die Studie eingebunden sind, sowie der Studienleiter und die Studienärzte	Studienleiter: Prof. Dr. med. Jens Jordan Tel.: 030 9417 2220 Fax: 030 9417 2587

	Studienärzte: Dipl.-Med. Susanne Klaua Tel.: 030-9417-2237 E-mail: KLAUA@FVK.CHARITE-BUCH.DE Dr. med. Andreas Birkenfeld Tel.: 030-9417-2567 Email: BIRKENFELD@FVK.CHARITE-BUCH.DE Dr. med. Stefan Engeli Tel.: 030-9417-2576 Email: ENGELI@FVK.CHARITE-BUCH.DE Dr. med. Michael Boschmann Tel.: 030-9417-2267 Email: BOSCHMANN@FVK.CHARITE-BUCH.DE Charité Campus Buch Franz-Volhard Centrum für Klinische Forschung Wiltbergstraße 50 13125 Berlin Brita Karnahl Dipl. Sportwissenschaftlerin Universität Potsdam Am Neuen Palais 10 14415 Potsdam Dr. med. Lars Brechtel Olympiastützpunkt Fritz-Lesch-Str. 29 13053 Berlin
31. Angaben zur Eignung der Prüfstelle, insbesondere zur Angemessenheit der dort vorhandenen Mittel und Einrichtungen sowie des zur Durchführung der klinischen Prüfung zur Verfügung stehenden Personals und zu Erfahrungen in der Durchführung ähnlicher Studien	Die vorhandenen Mittel und Einrichtungen sowie des zur Durchführung der klinischen Prüfung zur Verfügung stehenden Personals erlauben die Durchführung dieser klinischen Studie. Es bestehen hinreichende Erfahrungen in der Durchführung ähnlicher klinischer Prüfungen.

32. Vereinbarung über den Zugang des Prüfers/Hauptprüfers/Leiter der klinischen Prüfung, zu den Daten und den Grundsätzen über die Publikation	Prüfer und Leiter der Prüfung haben Zugang zu sämtlichen Daten. Eine Publikation der Ergebnisse ist vorgesehen.
33. Angaben zur Finanzierung der Studie	Eine Forschungsförderung wurde vom Helios Research Center beantragt. Eine Anschubfinanzierung in Höhe von 5.000,00 € ist bereits erfolgt.
a. Finanzierungsquelle (Name und Sitz)	s.o.
b. Höhe der kalkulierten Kosten pro Teilnehmer und insgesamt	Die Kosten der Studie liegen voraussichtlich bei 750,00 € pro Proband x 20 Probanden = 15.000,00 €
c. Höhe der Kostenerstattung pro Teilnehmer und insgesamt	Siehe -22-

Name und Unterschrift der/des Antragstellers:

Ich versichere hiermit, dass die in diesem Antrag gegebenen Informationen richtig sind. Ich bin der Auffassung, dass es möglich ist, die o. g. Studie in Übereinstimmung mit dem Protokoll, den nationalen Rechtsvorschriften durchzuführen.

Name: Jordan
Vorname: Jens
Adresse: Franz-Volhard Centrums für Klinische Forschung, Haus 129, Wiltbergstr. 50, 13125 Berlin

Position: Leiter des Franz-Volhard Centrums für Klinische Forschung

Datum: 20.05.05
Unterschrift:

CHARITÉ CAMPUS BUCH

Patienteneinwilligung

Studie zum Vergleich der Wirkung von Belastung im Wasser und an Land bei gesunden, normalgewichtigen Probanden

Einwilligungserklärung

Name: _____

Geburtsdatum: _____

Adresse: _____

_____

Telefon: _____

Ich wurde von meinem Arzt, Dr._____, schriftlich und mündlich über Wesen, Bedeutung und Tragweite der o.g. Beobachtung aufgeklärt. Ich habe alle Punkte der Information gelesen und verstanden. Alle mich interessierenden Fragen hat mein Arzt, Dr. _____ ,in für mich verständlicher Form beantwortet. Über den Ablauf der Untersuchung, meine Rechte und Pflichten, insbesondere die Ärztin/den Arzt bei auffälligen Beschwerden unverzüglich zu unterrichten, bin ich informiert worden. Ein Exemplar der Information und der Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Ich erkläre hiermit mein Einverständnis zu der Teilnahme an dieser Beobachtung. Meine Teilnahme ist freiwillig und kann von mir jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen werden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ferner bin ich mit der Erhebung meiner personenbezogenen Daten und Krankheitsdaten sowie ihrer verschlüsselten Speicherung, Nutzung und Veröffentlichung der Ergebnisse in ebenfalls verschlüsselter Form einverstanden. Der verschlüsselten Speicherung, Nutzung und Veröffentlichung von Daten, die aus Blut- und Gewebeproben gewonnen wurden, stimme ich ebenfalls zu. Des Weiteren trete ich eventuelle wirtschaftliche Rechte, welche aus den Erkenntnissen dieses Projektes resultieren, an den Leiter der Studie ab.

....

Ort, Datum Unterschrift des Probanden

.....

Unterschrift des untersuchenden Arztes

CHARITÉ CAMPUS BUCH

Charité | Campus Buch | Wiltbergstraße 50 | 13125 Berlin
Prof. Dr. med. Jens Jordan

Studie zum Vergleich der Wirkung von Belastung im Wasser und an Land bei gesunden, normalgewichtigen Probanden

Patienten-/Probandeninformation

Sehr geehrter Proband,
Screeningvisite:
Bei diesem Termin untersuchen wir Sie gründlich und führen eine Blutentnahme durch. Bei dieser Visite werden Sie nach dem Zufallsprinzip zuerst dem Belastungstest an Land oder im Wasser zugeteilt. Beim übernächsten Termin wird dann der Belastungstest im jeweiligen anderen Medium durchgeführt. Vor dem Beginn des Belastungstests werden mehrere Untersuchungen durchgeführt, die nachfolgend beschrieben werden.

Untersuchungen vor und während der Belastung:
Vor und während des Belastungstests im Wasser oder an Land werden Blutproben über eine Verweilkanüle („Braunüle“, „Flexüle“) aus einer Vene am Unterarm entnommen.
Anschließend erfolgt der Belastungstest im Wasser oder an Land. Dabei wird die Belastung schrittweise bis zur Erschöpfung oder zur sechsten Belastungsstufe gesteigert. Gleichzeitig werden Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidabgabe gemessen. Diese Messung wird dadurch ermöglicht, dass Sie während der Belastung ein Mundstück („Schnorchel“) im Mund haben, über das die Atemgase gemessen werden können. Außerdem wird während der Belastungsuntersuchung auf jeder Belastungsstufe eine kleine Menge Blut (ca. 1 Tropfen) aus dem Ohrläppchen entnommen, um die Bildung von Milchsäure im Körper zu messen. Weiterhin werden vor und während des Belastungstests Ihr Blutdruck und Ihre Herzfrequenz aufgezeichnet.

Nach Durchführung dieses Belastungstests erfolgt eine Pause von 7 Tagen und die gleichen Untersuchungen werden dann noch einmal an Land oder im Wasser durchgeführt, je nachdem, wo Sie Ihren ersten Belastungstest schon abgeschlossen haben.

Beschreibung aller in der Studie durchgeführten Untersuchungen Gefahren / Risiken:
Blutentnahmen erfolgen zum Teil über eine Verweilkanüle oder mittels einer „normalen“ Blutabnahme aus einer Vene. Dabei können blaue Flecke, in sehr seltenen Fällen Infektionen entstehen.

Die Belastungsuntersuchungen haben bei Menschen, die jung sind und unter keinen Herzkreislauferkrankungen leiden, ein extrem geringes Risiko. Theoretisch könnten

Herzrhythmusstörungen oder Durchblutungsstörungen des Herzens auftreten. Aus diesem Grund werden wir zumindest bei der ersten Belastungsuntersuchung ein EKG schreiben.

Datenschutz:

Die personenbezogenen Daten und Informationen aus dieser Studie werden vertraulich behandelt. Die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten, die Ihre Person betreffen, werden in verschlüsselter (pseudonymisierter) Form gespeichert. Die unverschlüsselten Originaldaten und Fragebögen befinden sich in der Akte beim Prüfarzt bzw. auf einer gesicherten nur berechtigten Personen (i.d.R. Studienleiter, Prüfarzt, verantwortliche Studienschwester) zugänglichen, durch eine Firewall gesicherten Datenbank der Universitätsklinik. Der Schlüssel zur Entschlüsselung der zuvor pseudonymisierten Daten liegt - getrennt von diesen auf einem separaten Computer - ebenfalls beim Prüfarzt und ist, wie die Einwilligungserklärung, nur diesem zugänglich.

Die von Ihnen im Rahmen dieser Studie entnommenen Blutproben werden ebenfalls durch das zuvor gebildete Kennwort verschlüsselt, so dass eine Verbindung zwischen Ihrer Person und der dazu gehörigen Blutprobe nur mit dem bei dem/der Studienarzt/Studienärztin auf einem separaten Computer gespeicherten Schlüssel möglich ist. Die Blutproben und der Schlüssel werden in einem, Dritten nicht zugänglichen, Bereich der Klinik gelagert und untersucht und nach Abschluss der Studie bzw. auf Ihr Verlangen hin, spätestens nach Ablauf von 10 Jahren nach Studienende vernichtet. Die Ergebnisse der Untersuchung werden in pseudonymisierter Form bearbeitet und anonymisiert veröffentlicht. Sie können jederzeit Auskunft über die von Ihnen stammenden Daten verlangen und bei Ihrer Unrichtigkeit eine Berichtigung derselben fordern.

Da wir in dieser Untersuchung möglicherweise auch mit privaten Firmen kooperieren, müssen wir einen Teil der Daten in anonymisierter Form weitergeben. Die Weitergabe der Daten ist jedoch nur zulässig, wenn Sie mit der Aufzeichnung Ihrer Krankheitsdaten und deren Weitergabe einverstanden sind.

Darüber hinaus sind alle an der Untersuchung beteiligten Personen an die ärztliche Schweigepflicht gebunden.

Versicherungsschutz: wird nachgereicht

Ihre Teilnahme an dieser Untersuchung ist freiwillig. Sie können zu jedem Zeitpunkt der Untersuchung Ihr Einverständnis zurückziehen und der Weiterverarbeitung Ihrer Daten widersprechen. Sollten Sie Ihr Einverständnis widerrufen, so entstehen Ihnen daraus keine Nachteile. Die Bestimmungen des Datenschutzes und der ärztlichen Schweigepflicht werden eingehalten. Der Versuchsleiter (Prof. Dr. Jens Jordan, Tel: 030 9417 2220) beantwortet gern alle auftretenden Fragen.

Notizen/Fragen an den Arzt:

Protokoll EMG - Beispiel

Proband: SE

Tab. 26: Protokoll EMG Proband SE

Muskel	Seite - links
m. quadriceps vastus medialis (vm)	6,2
m. quadriceps rectus femoris (rf)	21,3
m. quadriceps vastus lateralis (vl)	17,4
m. biceps femoris (bf)	21,5
m. semimembranosus (sm)	22,6
m. tibialis anterior (ta)	12,1
m. gastrocnemius medialis (gm) und	13,0
m. gastrocnemius lateralis (gl)	9,4
Referenz	Fibulaköpfchen

Statistik bei gepaarten Stichproben

Tab. 27: Ergebnisse (MW ± SD und SEM)

	Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
GLU_B_L	89,7143	17	10,5278	2,8137
GLU_B_W	85,5714	17	6,3696	1,7023
GLU_AS_L	91,5000	17	8,6885	2,3221
GLU_AS_W	88,6429	17	6,7144	1,7945
GLU_PEAK_L	104,5536	17	18,2146	4,8681
GLUK_PEAK_W	93,1786	17	17,5911	4,7014
LAC_B_L	1,2971	17	0,3348	0,8949
LAC_B_W	1,3614	17	0,2897	0,7743
LAC_AS_L	5,0686	17	2,9255	0,7819
LAC_AS_W	3,8357	17	2,1253	0,5680
LAC_PEAK_L	10,7993	17	3,1614	0,8449
LAC_PEAK_W	8,0214	17	3,4722	0,9280
VO_2_B_L	5,1458	17	1,2254	0,2972
VO_2_B_W	6,1523	17	1,4699	0,3559
VO_2_AS_L	28,7179	17	5,1563	1,3781
VO_2_AS_W	26,7236	17	4,5362	1,0348
VO_2_PEAK_L	41,5907	17	6,5800	1,7586
VO_2_PEAK_W	41,6236	17	5,4383	1,4534
INS_B_L	5,4793	17	4,5693	1,2212
INS_B_W	3,7686	17	2,3507	0,6283
INS_AS_L	3,5886	17	1,3139	0,3512
INS_AS_W	3,9407	17	1,4769	0,3947
INS_PEAK_L	3,3186	17	1,3142	0,3512
INS_PEAK_W	3,3186	17	1,2746	0,3406
ANP_B_L	36,3779	17	14,6399	3,9127
ANP_B_W	38,3214	17	16,3701	4,3751
ANP_AS_L	42,6786	17	15,7317	4,2045
ANP_AS_W	56,1964	17	36,8299	9,8432
ANP_PEAK_L	52,6607	17	12,2072	3,2625
ANP_PEAK_W	68,6814	17	64,1272	17,1387
RQ_B_L	0,8152	17	0,0950	0,023
RQ_B_W	0,8070	17	0,0873	0,021
RQ_AS_L	0,9126	17	0,0847	2,266
RQ_AS_W	0,8734	17	0,0708	1,894
RQ_PEAK_L	1,1021	17	0,7075	1,891
RQ_PEAK_W	1,0464	17	0,0701	1,874

FFS_B_L	400,4286	17	267,0159	71,3630
FFS_B_W	543,5714	17	262,5961	70,1818
FFS_AS_L	339,8214	17	182,3602	48,7378
FFS_AS_W	443,5300	17	185,4563	49,5653
FFS_PEAK_L	272,8214	17	144,3264	38,5728
FFS_PEAK_W	371,2071	17	161,9997	43,2962
PRO_B_L	6,9857	17	0,4148	0,1109
PRO_B_W	6,8429	17	0,4831	0,1291
PRO_AS_L	7,2764	17	0,2996	8,008
PRO_AS_W	7,0979	17	0,5237	0,1400
PRO_PEAK_L	7,6714	17	0,3049	8,149
PRO_PEAK_W	7,3264	17	0,5289	0,1414
HF_B_L	74,1429	17	10,3616	2,7693
HF_B_W	71,7857	17	10,8853	2,9092
HF_AS_L	149,2857	17	18,3489	4,9039
HF_AS_W	142,3571	17	18,8296	5,0324
HF_PEAK_L	178,6429	17	16,6299	4,4445
HF_PEAK_W	175,2857	17	19,8123	5,2951
EPI_B_L	0,43	17	0,31	0,09
EPI_B_W	0,38	17	0,28	0,08
EPI_AS_L	1,1397	17	0,4097	0,1136
EPI_AS_W	0,9219	17	0,7231	0,2006
EPI_PEAK_L	3,3041	17	2,6569	0,7369
EPI_PEAK_W	2,0627	17	0,9928	0,2753
NOREPI_AS_L	2,32	17	0,71	0,20
NOREPI_AS_W	2,33	17	0,80	0,22
NOREPI_AS_L	9,8838	17	10,4747	2,9052
NOREPI_AS_W	5,2285	17	3,5123	0,9741
NOREPI_PEAK_L	18,6854	17	6,6028	1,8313
NOREPI_PEAK_W	12,5515	17	5,7829	1,6039
SYSRR_B_L	132,8571	17	18,1059	4,8390
SYSRR_B_W	132,3571	17	12,7979	3,4204
SYSRR_AS_L	156,5000	17	17,7623	4,7472
SYSRR_AS_W	153,5714	17	15,2906	4,0866
SYSRR_PEAK_L	172,2857	17	19,8782	5,3127
SYSRR_PEAK_W	161,4286	17	20,2929	5,4235

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt zum einen Frau Dr. med. Susanne Wiesner für die Überlassung des Themas und die ausgezeichnete Betreuung während des gesamten Studienablaufs sowie bei der Fertigstellung dieser Dissertationsschrift und zum anderen meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Ditmar Wick für die geduldige und umfangreiche Betreuung während meiner Promotionszeit.

Ich danke beiden für das mir entgegengebrachte Vertrauen und Verständnis.

Ein weiterer herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. habil. Rer. nat. Frank Bittmann für seine hilfreiche Unterstützung bei der Fertigstellung der Dissertationsschrift.

Herrn Dr. med. Lars Brechtel, Humboldt-Universität Berlin, danke ich für seine Unterstützung bei der Vorbereitung und der Durchführung der Studie.

Allen Mitarbeitern des Klinischen Forschungszentrum Franz-Volhard Berlin danke ich für ihre Hilfe bei der Durchführung dieser Studie.

Außerdem danke ich Dr. Mario Hermsdorf, Jens Wein, Dr. René Kittel, Dr. Dagmar Drogan und Dr. Karin Binder für die vielfältige Unterstützung während des Studienablaufes sowie bei der Auswertung der Studienergebnisse.

Bei allen Patienten, die an der Studie teilgenommen haben, möchte ich mich herzlich bedanken.

Meinem verständnisvollen Partner Olli, meinen Eltern und meiner Tochter Nadine danke ich herzlichst für ihre Liebe und Unterstützung.

Curriculum vitae

Persönliche Daten:

Name:	Brita Karnahl
Geboren:	14.11.1965 Berlin

Bildungsweg:

1972 – 1982	Allgemeine Oberschule in Halle-Neustadt
1982 – 1986	Fachhochschulstudium am Institut für Lehrerbildung Halle /Saale
1995 – 2006	Studium der Sportwissenschaft an der Humboldt Universität Berlin und an der Universität Potsdam

Beruflicher Werdegang:

1986 - 1990	Lehrerin an der Polytechnischen Oberschule in Halle-Neustadt
1990 – 1995	Horterzieherin in einer Kindertagestätte in Berlin-Charlottenburg
2006	Abschluss Diplom-Sportwissenschaftlerin
2004	Lehrtätigkeit an der Universität Potsdam
Seit 1995	Geschäftsführung der AquaMedical-Akademie

Eidesstattliche Erklärung

Hierdurch versichere ich an Eides statt: Ich habe diese Dissertationsarbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt. Sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Berlin, 14.06.2010

Brita Karnahl